발 간 등 록 번 호
11-1741000-100011-14

www.mois.go.kr

급경사지 관리 실무편람

종합해설서

행정안전부

Contents

제1장 총론 ····· 19

1.1 목 적 ····· 20
1.2 적용 범위 ····· 21
1.3 용어의 정의 ····· 22
1.4 한국급경사지안전협회 ····· 23
1.5 방재관리대책대행자 ····· 24
1.6 업무의 흐름 ····· 25

제2장 급경사지 정의 및 분류 ····· 29

2.1 개요 ····· 30
2.2 정의 ····· 31
2.2.1 급경사지의 정의 ····· 31
2.2.2 급경사지의 정의 해설 ····· 31
2.2.3 그 밖에 관리가 필요한 비탈면 ····· 35
2.3 급경사지 분류 ····· 36
2.3.1 자연비탈면(산지) ····· 36
2.3.2 인공비탈면 ····· 37

제3장 급경사지 지질·지반공학적 특성 및 붕괴 요인 ····· 51

3.1 개요 ····· 52
3.2 급경사지의 지질·지반 특성 ····· 53
3.2.1 지질학적 특성 ····· 53
3.2.2 지반공학적 특성 ····· 74
3.3 급경사지 붕괴 요인 ····· 80
3.3.1 자연적 요인 ····· 80
3.3.2 인위적 요인 ····· 88

3.3.3 급경사지 붕괴징후 인지 방법 ····· 90
3.4 급경사지 붕괴 유형 ····· 93
3.4.1 자연비탈면 붕괴 유형 ····· 93
3.4.2 인공비탈면 붕괴 유형 ····· 97
3.4.3 옹벽 및 석축의 붕괴(손상)유형 ····· 105
3.5 급경사지 붕괴사례 ····· 116
3.5.1 자연비탈면 붕괴사례 ····· 116
3.5.2 인공비탈면 붕괴사례 ····· 127
3.5.3 옹벽 및 석축 붕괴사례 ····· 144

제4장 급경사지 실태조사 및 등록 ····· 155
4.1 개요 ····· 156
4.1.1 급경사지 실태조사의 필요성 ····· 156
4.1.2 국내외 급경사지 실태조사 관련 사례 ····· 160
4.2 급경사지 실태조사 ····· 167
4.2.1 급경사지 실태조사 대상지 ····· 167
4.2.2 급경사지 실태조사서 작성 ····· 172
4.2.3 조사결과 협의 및 보고서 작성 ····· 192
4.2.4 급경사지 관리기관 협조 사항 ····· 196
4.3 신규 급경사지 등록 ····· 200
4.3.1 급경사지 명칭 기준 ····· 200
4.3.2 급경사지 등록 절차 및 방법 ····· 201

제5장 급경사지 안전점검 ····· 211
5.1 개요 ····· 212
5.1.1 급경사지법의 안전점검 ····· 212
5.1.2 점검장비 ····· 213
5.2 안전점검표 ····· 215

Contents

5.3 점검의 주기 및 방법 ····· 223
5.3.1 해빙기 점검 ····· 223
5.3.2 우기 점검 ····· 225
5.3.3 옹벽 및 축대 점검시 유의사항 ····· 226
5.3.4 안전점검의 예산 ····· 229
5.4 점검결과의 기록 ····· 230
5.4.1 기록항목 ····· 230
5.4.2 안전점검 결과의 급경사지통합시스템 등록 ····· 230
5.5 점검결과의 공개 ····· 232

제6장 붕괴위험지역의 지정·관리 ····· 235
6.1 개요 ····· 236
6.2 붕괴위험지역 지정·고시 절차 ····· 237
6.2.1 급경사지 재해위험도 평가 및 주민의견수렴 ····· 238
6.2.2 급경사지 붕괴위험지역 지정 요청 ····· 238
6.2.3 급경사지 붕괴위험지역 지정·고시 ····· 239
6.2.4 붕괴위험지역 지형도면의 작성 ····· 240
6.2.5 급경사지 붕괴위험지역 해제 및 변경 ····· 242
6.3 재해위험도평가 기준 및 업무해설 ····· 244
6.3.1 급경사지 재해위험도 평가 계획 ····· 246
6.3.2 “자연비탈면(또는 산지)” 재해위험도 평가기준 ····· 249
6.3.3 “인공비탈면” 재해위험도 평가기준 ····· 267
6.3.4 “옹벽 및 축대” 재해위험도 평가기준 ····· 287
6.3.5 재해위험도 평가 및 붕괴위험지역 해제 평가의 예산 ····· 305
6.4 붕괴위험지역에서의 행위협의 ····· 305
6.5 위험표지의 설치 ····· 307

제7장 급경사지 정비계획 수립 ····· 311
7.1 개요 ····· 312
7.2 재해예방을 위한 긴급 안전조치 ····· 313
7.3 정비 중기계획 수립 ····· 314
7.3.1 중기계획 수립 절차 ····· 314
7.3.2 정밀조사 ····· 314
7.3.3 정비사업 우선순위 선정 방법 ····· 318
7.3.4 정비 중기계획 사례 ····· 324
7.4 정비 실시계획 수립 ····· 325
7.4.1 실시계획 절차 ····· 325
7.4.2 구조 및 비구조 세부계획 수립 ····· 326
7.4.3 정비 실시계획 사례 ····· 327
7.5 사유지 급경사지 붕괴위험지역 정비 ····· 335

제8장 급경사지 구조적 대책 ····· 337
8.1 개요 ····· 338
8.2 공법 선정 ····· 339
8.2.1 보수·보강의 필요성 판단 ····· 340
8.2.2 보수·보강 수준의 결정 ····· 340
8.2.3 유형별 대책공법의 분류 ····· 340
8.3 급경사지 안정해석 방법 ····· 342
8.3.1 개요 ····· 342
8.3.2 지반강도정수 산정 방법 ····· 342
8.3.3 암반분류평가 방법 ····· 354
8.3.4 급경사지 안정해석 방법 ····· 361
8.3.5 급경사지 안전율기준 ····· 377
8.4 보수·보강공법 ····· 379

Contents

8.4.1 보수·보강공법의 종류 ····· 379
8.4.2 보수·보강공법의 특징 ····· 382
8.5 공법적용시 유의사항 ····· 430
8.5.1 절취 ····· 430
8.5.2 앵커 ····· 430
8.5.3 록볼트 ····· 430
8.5.4 쏘일네일링 ····· 431
8.5.5 콘크리트 옹벽공 ····· 432
8.5.6 돌쌓기(블록) 옹벽공 ····· 433
8.5.7 돌망태옹벽 ····· 434
8.5.8 계단식옹벽/합벽식옹벽/버팀벽 ····· 434
8.5.9 격자블록 ····· 435
8.5.10 숏크리트 ····· 435
8.5.11 식생공 ····· 436
8.5.12 지표수배수시설 ····· 436
8.5.13 지하수배수시설 ····· 437
8.6 방재신기술 ····· 438

제9장 붕괴위험지역 비구조적 안전관리 ····· 441
9.1 개요 ····· 442
9.1.1 관계법령 ····· 442
9.1.2 주민대피 관리기준 ····· 449
9.1.3 급경사지 계측관리 ····· 450
9.2 주민대피 권고기준 ····· 452
9.2.1 주민대피 관리 권고기준 ····· 452
9.2.2 주민대피 관리기준 설정 운영 ····· 466
9.2.3 대피명령 ····· 488
9.3 급경사지 상시계측관리 ····· 490
9.3.1 계측관리의 필요성 ····· 490

9.3.2 붕괴위험성 경감을 위한 계측관리 ····· 491
9.3.3 피해저감을 위한 계측관리 ····· 493
9.3.4 급경사지 상시계측관리 사업 ····· 497
9.3.5 붕괴위험지역 상시계측관리를 위한 조사방법 ····· 509

제10장 급경사지 정보체계 구축 및 운용 ····· 549

10.1 개요 ····· 550
10.2 급경사지 정보관리 ····· 552
10.2.1 급경사지통합시스템 구축 ····· 552
10.2.2 급경사지통합시스템 매뉴얼 ····· 555

참고문헌 ····· 599

부록

부록1. 주요 용어 ····· 614
부록2. 국내외 계측 사례 및 시장조사 ····· 624
부록3. 웹 기반 급경사지 통합관리 사례 ····· 691
부록4. 주요 응답 사례 ····· 706
부록5. 급경사지 조사 비용 산정표 ····· 709

Contents

표 목차

〈표 3-1〉 대표적 화산암의 구분 ····· 58
〈표 3-2〉 대표적인 반심성암의 구분 ····· 59
〈표 3-3〉 대표적인 심성암의 구분 ····· 60
〈표 3-4〉 쇄설성퇴적암의 구분 ····· 64
〈표 3-5〉 비쇄설성퇴적암의 구분 ····· 66
〈표 3-6〉 대표적인 변성암의 구분 ····· 69
〈표 3-7〉 비엽리상 변성암의 구분 ····· 71
〈표 3-8〉 지반조사 표준품셈 암반 분류 ····· 79
〈표 3-9〉 급경사지 피해 현황 ····· 86
〈표 3-10〉 깎기비탈면의 파괴형태 ····· 99
〈표 3-11〉 Varnes(1978)의 흙깎기비탈면 붕괴 유형 분류 ····· 100
〈표 3-12〉 일본토질공학회 토사비탈면 파괴 심도에 따른 파괴 유형 분류 ····· 100

〈표 4-1〉 비탈면 관련 인명피해 현황 ····· 157
〈표 4-2〉 2019~2023년 기준 급경사지로 등록된 지역의 피해 현황 ····· 158
〈표 4-3〉 급경사지 및 붕괴위험지역 등록 현황 (행정안전부, 2024) ····· 159
〈표 4-4〉 산림청 산사태취약지역 지정 관리 절차 ····· 161
〈표 4-5〉 조사자 정성적 판단기준 ····· 189

〈표 5-1〉 안전점검의 종류 및 내용 ····· 215
〈표 5-2〉 해빙기 대비 주요 점검항목 및 내용 ····· 224
〈표 5-3〉 우기 대비 주요 점검항목 및 내용 ····· 225
〈표 5-4〉 옹벽 및 축대 점검시의 점검항목 및 장비 ··· 227
〈표 5-5〉 조사항목별 조사방법 ····· 228

〈표 6-1〉 급경사지 재해위험도 등급 ····· 245

〈표 7-1〉 안전조치 명령서 ····· 313
〈표 7-2〉 정밀조사 주요 조사 항목 ····· 316
〈표 7-3〉 급경사지 대책공법 ····· 317
〈표 7-4〉 우선순위 결정을 위한 평가 항목 ····· 318
〈표 7-5〉 기본평가항목 배점 ····· 319
〈표 7-6〉 부가적 평가항목 배점 ····· 319
〈표 7-7〉 급경사지 재해위험도 ····· 320
〈표 7-8〉 시민불편도 등급 ····· 320
〈표 7-9〉 기본평가 우선순위 결정 (예) ····· 321
〈표 7-10〉 추진가능성에 의한 우선순위 조정 ····· 322
〈표 7-11〉 계획성에 의한 우선순위 조정 ····· 322
〈표 7-12〉 우선순위 작성 예 ····· 323

〈표 8-1〉 통일분류법에 의한 사질토 특성표 ····· 344
〈표 8-2〉 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질 정수 ····· 345
〈표 8-3〉 모래 및 자갈 지반의 내부마찰각(ø) 값 ····· 346
〈표 8-4〉 토공 재료의 개략적인 단위중량 ····· 346
〈표 8-5〉 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위 ····· 347
〈표 8-6〉 토공 재료의 개략적인 강도정수 ····· 347
〈표 8-7〉 암석에 따른 기본 마찰각의 개략적인 값 ····· 348
〈표 8-8〉 암반의 강도정수 ····· 348
〈표 8-9〉 도로설계편람(Ⅰ)에 제시하는 암반의 주요 물성치 ····· 349
〈표 8-10〉 충전물을 포함하는 불연속면의 전단강도 ···· 350
〈표 8-11〉 사질토에서의 N값와 내부마찰각의 관계 ···· 351
〈표 8-12〉 RMR 분류 기준 및 점수 ····· 355
〈표 8-13〉 RMR 평점 보정기준 ····· 355
〈표 8-14〉 RMR 암반등급 분류 및 강도정수 ····· 356
〈표 8-15〉 불연속면에 대한 보정 ····· 356
〈표 8-16〉 비탈면 굴착방법에 대한 보정치 ····· 356
〈표 8-17〉 SMR 평가 ····· 357
〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준 ····· 358
〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준 ····· 359
〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준 ····· 360
〈표 8-19〉 깎기비탈면 안정성 해석시 적용 기준 안전율 ····· 379
〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류 ····· 380
〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류 ····· 381

〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류 ····· 382
〈표 8-21〉 쌓기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽 표준치수 ··· 385
〈표 8-22〉 깎기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽 표준치수 ··· 385
〈표 8-23〉 쌓기비탈면에서의 돌쌓기(석축) 옹벽의 기초치수(예시) ····· 386
〈표 8-24〉 깎기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽의 기초치수(예시) ····· 386
〈표 8-25〉 콘크리트 옹벽의 구조형식 ····· 403
〈표 8-26〉 집수정 종류 및 국가건설기준 ····· 418
〈표 8-27〉 토사비탈면의 원리별 대책공법 종류 ····· 428
〈표 8-28〉 암반비탈면의 원리별 대책공법 종류 ····· 429
〈표 8-29〉 급경사지 재해 관련 방재신기술 현황 ····· 438

〈표 9-1〉 계측 및 주민대피 관련 국내법 ····· 442
〈표 9-2〉 진단항목별 계측내용 ····· 446
〈표 9-3〉 행정안전부·국토교통부·산림청 관리기준 및 주요내용 비교 ····· 448
〈표 9-4〉 지질별 강우기준(강원권, 1시간) ····· 453
〈표 9-5〉 급경사지 붕괴 예·경보를 위한 강우량 기준 (강릉시) ····· 453
〈표 9-6〉 급경사지 붕괴 예·경보를 위한 강우량 기준 (경기지역 일부) ····· 454
〈표 9-7〉 변위계에 따른 주민대피 권고기준 ····· 455
〈표 9-8〉 지표경사계에 따른 주민대피 권고기준 ····· 455
〈표 9-9〉 지중경사계에 따른 주민대피 권고기준 ····· 456
〈표 9-10〉 간극수압계에 따른 주민대피 관리기준 ····· 456
〈표 9-11〉 함수비계에 따른 주민대피 관리기준 ····· 457
〈표 9-12〉 하중계에 따른 주민대피 관리기준 ····· 457
〈표 9-13〉 지하수위계에 따른 주민대피 관리기준 ····· 457
〈표 9-14〉 계측기기에 따른 주민대피 관리기준 평가 ··· 458
〈표 9-15〉 토사재해 경보 및 대피 명령의 시점 기준 ··· 460
〈표 9-16〉 토사재해 및 홍수 피해 규모 분류 ····· 462
〈표 9-17〉 산림청 산사태 재난 위기경보 수준 ····· 463
〈표 9-18〉 권역별 토양함수지수 ····· 465
〈표 9-19〉 단계별 조정·해제 기준 ····· 475
〈표 9-20〉 급경사지 주민대피 대상지역 선정 (대전광역시 00구 사례) ····· 477
〈표 9-21〉 00지구 주민대피 담당자 지정 (대전광역시 00구 사례) ····· 477
〈표 9-22〉 00지구 재해약자(어린이, 노약자 등) 현황 (대전광역시 00구 사례) ····· 477
〈표 9-23〉 00지구 주민 대피소 및 대피로 등 체크리스트 (대전광역시 00구 사례) ····· 480
〈표 9-24〉 00지구 주민 야간대피를 위한 Action Plan (대전광역시 00구 사례) ····· 480
〈표 9-25〉 00지구 주민대피 사전대비계획 수립 (대전광역시 00구 사례) ····· 482
〈표 9-26〉 00구 주민대피 홍보 방송 문안(00구 사례) ··· 488
〈표 9-27〉 주민대피 시 점검 사항 ····· 489
〈표 9-28〉 암반비탈면의 붕괴형태 및 적용 계측기 ····· 513
〈표 9-29〉 토사비탈면의 붕괴형태 및 적용 계측기 ····· 515
〈표 9-30〉 옹벽의 붕괴형태 및 적용 계측기 ····· 516
〈표 9-31〉 급경사지에 적용되는 계측항목 및 계측기기 ··· 539

Contents

그림 목차

〈그림 1-1〉「급경사지 재해예방에 관한 법률」업무의 흐름도 ····· 25
〈그림 1-2〉 급경사지 관리체계 ····· 26

〈그림 2-1〉 급경사지의 분류 ····· 30
〈그림 2-2〉 하천에 연접한 급경사지 ····· 32
〈그림 2-3〉 시설물에 부속 또는 접한 급경사지 ····· 33
〈그림 2-4〉 급경사지와 시설물 간의 이격거리 개념 ····· 33
〈그림 2-5〉 일본의 급경사지와 시설물과의 이격거리 기준 사례 ····· 34
〈그림 2-6〉 자연비탈면의 토석류 발생 개요도 ····· 37
〈그림 2-7〉 깎기비탈면의 구성 ····· 38
〈그림 2-8〉 토사깎기비탈면 내 표층붕괴 ····· 39
〈그림 2-9〉 암반깎기비탈면 실례 ····· 39
〈그림 2-10〉 혼합깎기비탈면에서의 토층붕괴 ····· 40
〈그림 2-11〉 혼합깎기비탈면 실례 ····· 40
〈그림 2-12〉 복합깎기비탈면 실례 ····· 40
〈그림 2-13〉 쌓기비탈면의 대표 단면 ····· 42
〈그림 2-14〉 쌓기비탈면의 대표단면 ····· 42
〈그림 2-15〉 땅깎기 및 흙쌓기 부위의 명칭 ····· 42
〈그림 2-16〉 옹벽의 분류 ····· 43
〈그림 2-17〉 콘크리트 옹벽의 분류 ····· 44
〈그림 2-18〉 보강토 옹벽의 구성 ····· 44
〈그림 2-19〉 보강토 옹벽의 설치기준 ····· 45
〈그림 2-20〉 돌망태 옹벽의 배수시설 ····· 46
〈그림 2-21〉 돌(블록)쌓기 옹벽(석축)의 구성 ····· 46
〈그림 2-22〉 돌(블록)쌓기 옹벽(석축)의 단면 및 배수시설 ····· 47
〈그림 2-23〉 기대기 옹벽의 종류 ····· 48

〈그림 3-1〉 한반도 지질도 ····· 55
〈그림 3-2〉 한반도의 주요 암석 분포 ····· 57
〈그림 3-3〉 화성암 산상 ····· 57
〈그림 3-4〉 화산암의 불규칙한 절리 양상 ····· 58
〈그림 3-5〉 퇴적암 생성과정 ····· 61
〈그림 3-6〉 이암 ····· 62
〈그림 3-7〉 셰일 ····· 63
〈그림 3-8〉 사암 ····· 63
〈그림 3-9〉 역암 ····· 64
〈그림 3-10〉 평면파괴 취약 석회암 구성 암반비탈면 ···· 65
〈그림 3-11〉 탄층으로 구성된 지반 붕괴사례 ····· 66
〈그림 3-12〉 화강편마암 ····· 67
〈그림 3-13〉 호상편마암 ····· 67
〈그림 3-14〉 안구상편마암 ····· 67
〈그림 3-15〉 반상변정질편마암 ····· 67
〈그림 3-16〉 도로방향의 편리 발달 ····· 68
〈그림 3-17〉 편암비탈면 붕괴 ····· 68
〈그림 3-18〉 도로방향의 박리 발달 ····· 68
〈그림 3-19〉 규암 내 발달하는 판상절리 형태 ····· 70
〈그림 3-20〉 혼펠스 ····· 70
〈그림 3-21〉 풍화단계별 화강암 양상 ····· 72
〈그림 3-22〉 화강암질 비탈면 내 발달한 층상절리 양상 ··· 72
〈그림 3-23〉 화강풍화토 비탈면의 침식 및 세굴 현상 ··· 72
〈그림 3-24〉 퇴적암질 비탈면 내 층리구조 ····· 73
〈그림 3-25〉 층리구조(좌) 및 엽리구조(우) ····· 74
〈그림 3-26〉 일축압축시험 ····· 75
〈그림 3-27〉 점재하시험 ····· 75
〈그림 3-28〉 탄성파탐사 ····· 76
〈그림 3-29〉 T.C.R.과 R.Q.D. 관계 ····· 77
〈그림 3-30〉 표준관입시험 ····· 78
〈그림 3-31〉 비탈면에서 발견되는 지질학적 취약 요소 ··· 81
〈그림 3-32〉 단층에 의한 붕괴 발생 사례 ····· 82
〈그림 3-33〉 습곡 ····· 83
〈그림 3-34〉 암맥 ····· 83
〈그림 3-35〉 엽리 및 엽리면을 따라 발생한 평면파괴 ··· 84
〈그림 3-36〉 층리 및 층리의 미끄러짐에 의한 평면파괴 ··· 85
〈그림 3-37〉 유색광물에 의한 약대 ····· 85
〈그림 3-38〉 깎기비탈면 상부 전답에 존재하는 붕괴 발생 요인 배수구 ····· 87

〈그림 3-39〉 계곡부 및 집수지형 ····· 88
〈그림 3-40〉 산사태 시작점으로 작용된 산지 내 임도 현황 ····· 90
〈그림 3-41〉 인장균열의 노출 형태 ····· 91
〈그림 3-42〉 배부름 및 하단부 지반 융기 ····· 91
〈그림 3-43〉 형태에 따른 산지 붕괴의 분류 ····· 94
〈그림 3-44〉 토석류 발생 사례 ····· 95
〈그림 3-45〉 깎기비탈면 파괴유형 ····· 98
〈그림 3-46〉 얕은 성토 붕괴 : 빗물의 표면침식에 의한 붕괴 ····· 102
〈그림 3-47〉 얕은 성토 붕괴 : 빗물 침식에 의하여 표층활동이 생기는 경우 ····· 102
〈그림 3-48〉 얕은 성토 붕괴 : 노면수의 한 지점 집중이나 배수공 막힘으로 표면수가 성토면으로 유입되는 경우 ····· 103
〈그림 3-49〉 깊은 성토 붕괴 : 고함수비 점성토 지반의 돌출 ····· 103
〈그림 3-50〉 깊은 성토 붕괴 : 기반암 상단부 성토부에 활동면이 형성되는 경우 ····· 103
〈그림 3-51〉 깊은 성토 붕괴 : 깊은성토파괴를 유발하는 지형 형태와 깊은 성토재료로 구성된 쌓기비탈면 붕괴 ····· 104
〈그림 3-52〉 기초지반을 포함한 성토 붕괴 ····· 105
〈그림 3-53〉 침하발생 모식도 ····· 106
〈그림 3-54〉 옹벽배면 지반침하 ····· 106
〈그림 3-55〉 저면활동 ····· 107
〈그림 3-56〉 원호활동 ····· 107
〈그림 3-57〉 옹벽의 전도 ····· 107
〈그림 3-58〉 기초부 세굴 ····· 108
〈그림 3-59〉 옹벽 기초부 세굴 상태 및 흔적 ····· 108
〈그림 3-60〉 옹벽 손상 ····· 109
〈그림 3-61〉 균열발생형태 ····· 110
〈그림 3-62〉 전면부의 종방향 균열 ····· 110
〈그림 3-63〉 전면부의 횡방향 균열 ····· 110
〈그림 3-64〉 배수공 상태에 따른 판단기준 ····· 110
〈그림 3-65〉 배수공 불량 상태 ····· 110
〈그림 3-66〉 콘크리트 열화 ····· 111
〈그림 3-67〉 전면부의 균열 ····· 112
〈그림 3-68〉 전면부의 파손 ····· 112
〈그림 3-69〉 전면부의 균열 ····· 112
〈그림 3-70〉 전면부의 파손 ····· 112
〈그림 3-71〉 전면판의 유실 ····· 113
〈그림 3-72〉 전면판의 이격 ····· 113
〈그림 3-73〉 전면판의 유실 ····· 113
〈그림 3-74〉 전면판의 이격 ····· 113
〈그림 3-75〉 전면부의 배부름 현상 ····· 114
〈그림 3-76〉 전면부의 배부름 현상 ····· 114
〈그림 3-77〉 자중에 의한 변형 ····· 115
〈그림 3-78〉 전면부의 진행선 변형 ····· 115
〈그림 3-79〉 철망 파손 모식도 ····· 115
〈그림 3-80〉 우면산 산사태 현장 ····· 117
〈그림 3-81〉 래미안APT 지구 산사태 현장 ····· 118
〈그림 3-82〉 래미안APT 지구 산사태 현장 항공사진 ··· 118
〈그림 3-83〉 신동아APT 지구 산사태 현장 항공사진 ··· 119
〈그림 3-84〉 사천지역에서 발생한 산사태 ····· 121
〈그림 3-85〉 거창지역에서 발생한 산사태 ····· 123
〈그림 3-86〉 강원도 천전지구 산사태 현황 ····· 124
〈그림 3-87〉 경기도 기산지구 산사태 현황 ····· 125
〈그림 3-88〉 경기도 금동지구 산사태 현황 ····· 126
〈그림 3-89〉 경기도 심곡지구 산사태 현황 ····· 127
〈그림 3-90〉 낙석위험블록 ····· 128
〈그림 3-91〉 퇴적암의 차별풍화에 의한 낙석 ····· 129
〈그림 3-92〉 퇴적암의 차별풍화에 의한 낙석 ····· 129
〈그림 3-93〉 상부자연비탈면에 존재하는 낙석위험블록 ··· 130
〈그림 3-94〉 쐐기파괴 모식도 ····· 130
〈그림 3-95〉 퇴적암에서의 쐐기파괴 ····· 131
〈그림 3-96〉 변성암에서의 쐐기파괴 ····· 131
〈그림 3-97〉 평면파괴 모식도 ····· 132
〈그림 3-98〉 퇴적암에서의 평면파괴 ····· 132
〈그림 3-99〉 변성암에서의 평면파괴 ····· 133
〈그림 3-100〉 화강암에서의 평면파괴 ····· 133
〈그림 3-101〉 전도파괴 ····· 134
〈그림 3-102〉 전도파괴의 종류 ····· 135
〈그림 3-103〉 하부암이탈 ····· 135

Contents

〈그림 3-104〉 활동파괴 ····· 136
〈그림 3-105〉 깎기비탈면 활동파괴 사례 ····· 137
〈그림 3-106〉 우수에 의한 얕은 침식 ····· 137
〈그림 3-107〉 우수에 의한 표층유실 ····· 138
〈그림 3-108〉 편절편성 쌓기비탈면 유실 개요도 ····· 138
〈그림 3-109〉 편절편성 쌓기비탈면 붕괴사례 ····· 139
〈그림 3-110〉 완전쌓기비탈면 유실 개요도 ····· 139
〈그림 3-111〉 쌓기비탈면 유실 및 노면수 도로유입에 의한 붕괴사례 ····· 140
〈그림 3-112〉 사행하도의 수충부 피해 발생 부분 ····· 141
〈그림 3-113〉 하상지장물에 의한 수충부 피해 발생 부분 ····· 141
〈그림 3-114〉 수위상승에 의한 성토부 지반의 침식 및 세굴 ····· 142
〈그림 3-115〉 하천수충부에서의 도로 및 쌓기비탈면 유실 사례 ····· 142
〈그림 3-116〉 유송잡물에 의한 배수기능상실로 인한 붕괴 ····· 143
〈그림 3-117〉 유송잡물에 의한 배수기능상실로 인한 붕괴사례 ····· 143
〈그림 3-118〉 전반적인 경사균열 ····· 144
〈그림 3-119〉 배면 관통 경사균열 ····· 144
〈그림 3-120〉 이격, 탈락 및 단차(상단부) ····· 144
〈그림 3-121〉 덧댐콘크리트 들뜸, 탈락 ····· 144
〈그림 3-122〉 덧댐콘크리트 들뜸내부 ····· 144
〈그림 3-123〉 전면벽체 수직도 측정 ····· 144
〈그림 3-124〉 배수공의 토립자 배출흔적 ····· 145
〈그림 3-125〉 배면 지반침하(1) ····· 145
〈그림 3-126〉 배면 지반침하(2) ····· 145
〈그림 3-127〉 철근노출 및 박락 상태 ····· 145
〈그림 3-128〉 보강재의 부식 및 이격 ····· 145
〈그림 3-129〉 신축이음부 이격(전면) ····· 145
〈그림 3-130〉 신축이음부 이격(상부) ····· 146
〈그림 3-131〉 전면부의 단차 ····· 146
〈그림 3-132〉 수직균열(폭0.3㎜내외) ····· 146
〈그림 3-133〉 배면 배수측구 낙엽퇴적 ····· 146
〈그림 3-134〉 앵커 두부의 부식상태 ····· 146
〈그림 3-135〉 시공이음부 박락 ····· 146
〈그림 3-136〉 블록 수직균열 ····· 147
〈그림 3-137〉 균열폭 변위측정자 설치 ····· 147
〈그림 3-138〉 블록부 침하/백태 발생 ····· 147
〈그림 3-139〉 수직도 측정(87.40°) ····· 147
〈그림 3-140〉 상·하블록 벌어짐 ····· 147
〈그림 3-141〉 배수로 막힘 ····· 147
〈그림 3-142〉 옹벽 상부 전도 ····· 147
〈그림 3-143〉 옹벽 상부 전도(원인) ····· 147
〈그림 3-144〉 석축의 배부름 발생(1) ····· 148
〈그림 3-145〉 석축의 배부름 발생(2) ····· 148
〈그림 3-146〉 쌓기돌 이완 및 공동 발생 ····· 148
〈그림 3-147〉 이완 및 토사 유실 ····· 148
〈그림 3-148〉 지하수 유출 부위(1) ····· 148
〈그림 3-149〉 지하수 유출 부위(2) ····· 148
〈그림 3-150〉 집수정 설치 상태 ····· 149
〈그림 3-151〉 집수정 배수구 불량 ····· 149
〈그림 3-152〉 배면의 콘크리트 포장균열(1) ····· 149
〈그림 3-153〉 배면의 콘크리트 포장균열(2) ····· 149
〈그림 3-154〉 석축 상부 균열 ····· 149
〈그림 3-155〉 상단 콘크리트 균열 ····· 149
〈그림 3-156〉 옹벽상부 담장 균열 ····· 150
〈그림 3-157〉 모르타르의 열화 및 탈락 ····· 150
〈그림 3-158〉 배수공 막힘 ····· 150
〈그림 3-159〉 노견 배수로 막힘 및 파손 ····· 150
〈그림 3-160〉 견칫돌틈새의 목본류서식 ····· 150
〈그림 3-161〉 견칫돌틈새의 넝쿨류 서식 ····· 150
〈그림 3-162〉 우수에 의한 상부 침하 ····· 151
〈그림 3-163〉 석축의 벽체 누수 ····· 151
〈그림 3-164〉 석축의 하부 세굴 및 이격(1) ····· 151
〈그림 3-165〉 석축의 하부 세굴 및 이격(2) ····· 151
〈그림 3-166〉 석축 상부 담장 전도 ····· 151
〈그림 3-167〉 전도 부위 모르타르 박락 ····· 151
〈그림 3-168〉 다년생 목본류 식생 ····· 152
〈그림 3-169〉 석축 상부 담장 균열 ····· 152
〈그림 3-170〉 견칫돌 파손 ····· 152
〈그림 3-171〉 사춤모르타르 열화 ····· 152

〈그림 4-1〉 향후 기후변화에 따른 연평균 강수량과 토양수분함량 변화예측결과 ····· 156
〈그림 4-2〉 산림청 산사태 발생 우려지역 도면조사 사례 ····· 161
〈그림 4-3〉 국토교통부 국도변 비탈면 관리 체계 ····· 162
〈그림 4-4〉 토사재해경계구역 조사를 위한 도면조사 사례 ····· 163
〈그림 4-5〉 일본의 비탈면붕괴(토사재해) 유형 구분 ··· 164
〈그림 4-6〉 연차별 토사재해경계구역 및 토사재해특별경계구역 지정 현황 ····· 165
〈그림 4-7〉 홍콩의 비탈면관리시스템 사례 ····· 166
〈그림 4-8〉 수치지형도 및 공간정보프로그램을 활용한 도면조사 개념도 ····· 167
〈그림 4-9〉 도면조사 알고리즘 ····· 168
〈그림 4-10〉 조사우선순위 결정방법 흐름도 ····· 169
〈그림 4-11〉 급경사지 현장조사 추진 단계 ····· 172
〈그림 4-12〉 급경사지 실태조사서의 구성 ····· 173
〈그림 4-13〉 급경사지 실태조사서 양식 ····· 174
〈그림 4-14〉 실태조사서 일반정보 ····· 175
〈그림 4-15〉 도로비탈면의 주요 지점별 용어 ····· 178
〈그림 4-16〉 급경사지의 구분 및 종단길이 ····· 178
〈그림 4-17〉 실태조사서 붕괴위험요인 ····· 179
〈그림 4-18〉 토사비탈면의 주요 결함인자 ····· 180
〈그림 4-19〉 단층 및 단층에 의한 붕괴 형태 ····· 180
〈그림 4-20〉 단층 및 단층에 의한 붕괴 형태 ····· 181
〈그림 4-21〉 지질구조에 의한 내측방향 발달 절리 형태 ····· 181
〈그림 4-22〉 들뜬 돌 ····· 181
〈그림 4-23〉 풍화도의 구분 ····· 182
〈그림 4-24〉 콘크리트옹벽 및 석축의 대표적 결함인자 ·· 182
〈그림 4-25〉 비탈면 횡단형상의 구분 ····· 183
〈그림 4-26〉 식생 밀도 ····· 184
〈그림 4-27〉 급경사지의 구분 ····· 185
〈그림 4-28〉 상부 외력의 사례 ····· 185
〈그림 4-29〉 배수로 상태 ····· 186
〈그림 4-30〉 도로비탈면의 좁은 이격거리 사례 ····· 187
〈그림 4-31〉 농경지 유실 피해 ····· 187
〈그림 4-32〉 실태조사서 관리방안 및 조사자 의견 ····· 188
〈그림 4-33〉 급경사지 계측기 적용 운영 사례 ····· 188
〈그림 4-34〉 위험 해소방안으로서 적용가능 한 각종 대책공법 사례 ····· 190
〈그림 4-35〉 급경사지 대책공법 제안 체계도 ····· 191
〈그림 4-36〉 급경사지 실태조사 보고서 사례 ····· 195
〈그림 4-37〉 동행조사 절차도 ····· 196
〈그림 4-38〉 출입증 양식 사례 ····· 197
〈그림 4-39〉 급경사지 실태조사 추천양식 ····· 199
〈그림 4-40〉 침수가뭄 급경사지정보시스템 초기화면 ·· 201
〈그림 4-41〉 신규 급경사지 등록화면 ····· 202
〈그림 4-42〉 기본정보 입력화면 ····· 202
〈그림 4-43〉 기본정보 입력화면 ····· 203
〈그림 4-44〉 도로명검색 팝업화면 ····· 204
〈그림 4-45〉 실태조사서 정보 현황 화면 ····· 204
〈그림 4-46〉 실태조사서 정보 입력화면 ····· 205
〈그림 4-47〉 실태조사서 정보 입력화면 ····· 206
〈그림 4-48〉 급경사지 실태조사서 인쇄화면 ····· 208

〈그림 5-1〉 급경사지 점검을 위한 측정도구 ····· 213
〈그림 5-2〉 급경사지 점검을 위한 측정기기 ····· 213
〈그림 5-3〉 급경사지 점검을 위한 비파괴검사 장비 ···· 214
〈그림 5-4〉 급경사지 점검을 위한 접근장비 ····· 214
〈그림 5-5〉 급경사지 점검을 위한 기타 장비 ····· 214
〈그림 5-6〉 안전점검 결과 공개 예시(광명시) ····· 232

〈그림 6-1〉 급경사지 붕괴위험지역 지정·고시 절차 ···· 237
〈그림 6-2〉 급경사지 붕괴위험지역 지형도면 예시 ····· 241
〈그림 6-3〉 급경사지 붕괴위험지역 변경 절차 ····· 242
〈그림 6-4〉 급경사지 재해위험도 평가 절차 ····· 244
〈그림 6-5〉 사전 준비사항 사례 ····· 246
〈그림 6-6〉 대표적인 조사장비 ····· 247
〈그림 6-7〉 비접근식 조사 지원 장비 ····· 247
〈그림 6-8〉 접근식 조사 지원 장비 ····· 248

Contents

〈그림 6-9〉 안전교육 및 안전모 착용 ····· 248
〈그림 6-10〉 "자연비탈면 또는 산지" 재해위험도 평가표 ····· 249
〈그림 6-11〉 경사각 모식도 ····· 250
〈그림 6-12〉 급경사지 높이 개념 모식도 ····· 251
〈그림 6-13〉 급경사지 종단형상에 대한 현장 예시 ····· 253
〈그림 6-14〉 지반변형 현장 예시 ····· 256
〈그림 6-15〉 토층심도 측정 방법 ····· 257
〈그림 6-16〉 상부외력에 대한 현장 예시 ····· 258
〈그림 6-17〉 붕괴면적 환산 방법 및 낙석 현장 예시 · 259
〈그림 6-18〉 보호시설상태 현장 예시 ····· 260
〈그림 6-19〉 급경사지 좌우접합부의 연장, 폭 정의 ···· 261
〈그림 6-20〉 주요 보호대상시설 예시 ····· 264
〈그림 6-21〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도 ····· 265
〈그림 6-22〉 "인공비탈면" 재해위험도 평가표 ····· 267
〈그림 6-23〉 비탈면 경사각의 이해 ····· 268
〈그림 6-24〉 측정방법 1 : 클리노콤파스 경사계 이용 방법 ····· 268
〈그림 6-25〉 측정방법 2 : 클리노콤파스 각도계 이용 방법 ····· 269
〈그림 6-26〉 비탈면 높이의 이해 ····· 270
〈그림 6-27〉 레이저 거리측정기를 이용한 높이 측정 ·· 270
〈그림 6-28〉 급경사지 종단형상에 대한 현장 예시 ····· 272
〈그림 6-29〉 지반변형 및 균열 현장 예시 ····· 275
〈그림 6-30〉 급경사지 붕괴 형태 예시 ····· 279
〈그림 6-31〉 주요 보호대상시설 예시 ····· 284
〈그림 6-32〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도 ····· 285
〈그림 6-33〉 "옹벽 및 축대" 재해위험도 평가표 ····· 287
〈그림 6-34〉 옹벽 침하 현상 예시 ····· 288
〈그림 6-35〉 변위 발생 개념도 ····· 289
〈그림 6-36〉 세굴 발생 깊이 모식도 및 세굴 현상 예시 ····· 290
〈그림 6-37〉 옹벽 파손 및 손상 현상 예시 ····· 292
〈그림 6-38〉 균열발생 현상 예시 ····· 293
〈그림 6-39〉 콘크리트 구조물의 마모/침식 현상 예시 ··· 295
〈그림 6-40〉 콘크리트 구조물의 박리/박락 현상 예시 ··· 296
〈그림 6-41〉 콘크리트 구조물의 철근노출 현상 예시 ··· 297
〈그림 6-42〉 전도 및 배부름 현상 예시 ····· 298
〈그림 6-43〉 옹벽 백태 발생 현상 예시 ····· 299
〈그림 6-44〉 배출구 막힘 현상 및 배수구 추가 설치 사진 ····· 300
〈그림 6-45〉 주요 보호대상시설 예시 ····· 302
〈그림 6-46〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도 ····· 303
〈그림 6-47〉 행위협의 요청절차 흐름도 ····· 305
〈그림 6-48〉 급경사지 붕괴위험지역 표지판 양식 ····· 308

〈그림 7-1〉 중기계획 수립 절차 ····· 314
〈그림 7-2〉 급경사지 정밀조사 절차도 ····· 315
〈그림 7-3〉 급경사지 실시설계 시 검토의 필요성 ····· 326
〈그림 7-4〉 실시설계서 검토 프로세스 ····· 326
〈그림 7-5〉 대책 수립을 위한 대안 ····· 327

〈그림 8-1〉 재해위험도평가 항목을 적용한 대책공법 분류 ····· 341
〈그림 8-2〉 직접전단시험에 의한 파괴포락선 ····· 352
〈그림 8-3〉 c, ø 값을 변화시키면서 안전율(F.S) 값을 표시 ····· 353
〈그림 8-4〉 Q-System 평가를 위한 그래프 ····· 361
〈그림 8-5〉 무한비탈면 안정해석 ····· 363
〈그림 8-6〉 분할요소에 작용하는 힘 ····· 363
〈그림 8-7〉 GLE법 ····· 364
〈그림 8-8〉 Fellenius법 ····· 366
〈그림 8-9〉 Bishop의 간편법 ····· 367
〈그림 8-10〉 평면파괴에서의 평사투영해석 예 ····· 368
〈그림 8-11〉 평면파괴의 기하학적 조건 ····· 369
〈그림 8-12〉 쐐기파괴에서의 평사투영해석 예 ····· 372
〈그림 8-13〉 쐐기파괴의 기하학적 조건 ····· 373
〈그림 8-14〉 전도파괴 기본 개념도 ····· 374
〈그림 8-15〉 식생공 개념도(예시) ····· 383
〈그림 8-16〉 돌쌓기(석축) 개념도(예시) ····· 384
〈그림 8-17〉 돌쌓기(석축) 옹벽 공법의 형태 (찰쌓기 예시) ····· 386

〈그림 8-18〉 돌쌓기(석축) 옹벽공의 단면 및 기초 (예시) ····· 387
〈그림 8-19〉 돌붙임, 블록붙임 개념도(예시) ····· 388
〈그림 8-20〉 콘크리트(PC) 격자블록 개념도(예시) ····· 390
〈그림 8-21〉 콘크리트(현장타설) 격자블록 개념도(예시) ··· 391
〈그림 8-22〉 콘크리트(PC) 패널 개념도(예시) ····· 392
〈그림 8-23〉 콘크리트 뿜어붙이기 개념도(예시) ····· 393
〈그림 8-24〉 매트리스 게비온(Mattress Gabion) 개념도(예시) ····· 394
〈그림 8-25〉 록볼트(Rock bolt) 개념도(예시) ····· 395
〈그림 8-26〉 앵커(Anchor) 개념도(예시) ····· 396
〈그림 8-27〉 쏘일네일링(soil nailing) 개념도(예시) ···· 397
〈그림 8-28〉 억지말뚝 개념도(예시) ····· 398
〈그림 8-29〉 콘크리트 버팀벽(buttress) 개념도(예시) ··· 399
〈그림 8-30〉 합벽식 옹벽 개념도(예시) ····· 400
〈그림 8-31〉 계단식 옹벽 개념도(예시) ····· 401
〈그림 8-32〉 형태에 따른 일반적인 콘크리트옹벽의 분류 ····· 402
〈그림 8-33〉 콘크리트 옹벽의 종류 ····· 403
〈그림 8-34〉 옹벽 개념도(예시) ····· 404
〈그림 8-35〉 보강토 옹벽 개념도(예시) ····· 405
〈그림 8-36〉 일반적인 돌망태 옹벽의 설치형태(예시) · 406
〈그림 8-37〉 뜬돌 제거 개념도(예시) ····· 407
〈그림 8-38〉 낙석방지망 개념도(예시) ····· 408
〈그림 8-39〉 낙석방지울타리 개념도(예시) ····· 409
〈그림 8-40〉 피암터널 개념도(예시) ····· 410
〈그림 8-41〉 낙석방지 옹벽 개념도(예시) ····· 411
〈그림 8-42〉 산마루 측구 개념도(예시) ····· 413
〈그림 8-43〉 소단측구 개념도(예시) ····· 414
〈그림 8-44〉 L, U, J형 측구 개념도(예시) ····· 415
〈그림 8-45〉 도수로 개념도(예시) ····· 416
〈그림 8-46〉 수평배수공 개념도(예시) ····· 417
〈그림 8-47〉 집수정 개념도(예시) ····· 419
〈그림 8-48〉 경사완화(절취공법) 개념도(예시) ····· 421
〈그림 8-49〉 그라우팅 개념도(예시) ····· 422
〈그림 8-50〉 모르타르 개념도(예시) ····· 423
〈그림 8-51〉 암파쇄방호시설 개념도(예시) ····· 424
〈그림 8-52〉 사방시설 개념도(예시) ····· 425
〈그림 8-53〉 월류방지턱 개념도(예시) ····· 426
〈그림 8-54〉 와이어로프걸기공 개념도(예시) ····· 427

〈그림 9-1〉 정밀 안전진단 시 판단 흐름도 ····· 446
〈그림 9-2〉 연속강우와 선행강우의 개념 ····· 459
〈그림 9-3〉 경보선(WL)과 대피선(EL)의 선정 ····· 460
〈그림 9-4〉 등강우량선과 격자망 ····· 461
〈그림 9-5〉 강우지속시간-총강우량 관계를 이용한 토사재해 및 홍수피해 규모 예측 ····· 462
〈그림 9-6〉 산사태정보시스템 - 산사태 예측정보 제공 ··· 464
〈그림 9-7〉 토양함수지수를 산정하기 위한 Tank model ····· 465
〈그림 9-8〉 산사태 예측시스템을 위한 권역 구분 ····· 465
〈그림 9-9〉 급경사지 및 산사태 붕괴징후 판단기준 ···· 469
〈그림 9-10〉 급경사지 및 산사태(토석류) 붕괴징후 판단기준 ····· 469
〈그림 9-11〉 급경사지(옹벽) 및 사방댐 붕괴징후 판단기준 ····· 470
〈그림 9-12〉 옹벽, 석축의 붕괴사례 ····· 470
〈그림 9-13〉 주민대피 대상 00지구, 대피로 및 대피장소 지정(대전광역시 00구 사례) ····· 478
〈그림 9-14〉 00지구 급경사지 붕괴위험지역 주민 대피소 현황(전북 00군 사례) ····· 479
〈그림 9-15〉 주민대피 비상연락망 구축(대전광역시 00구 사례) ····· 483
〈그림 9-16〉 주민대피 상황전파 체계 ····· 487
〈그림 9-17〉 주민대피 명령 전달체계(00구 사례) ····· 488
〈그림 9-18〉 상시계측관리의 네 가지 구성요소 ····· 490
〈그림 9-19〉 급경사지 조성 중 붕괴발생 ····· 491
〈그림 9-20〉 붕괴 급경사지 전경 ····· 492
〈그림 9-21〉 (좌에서 우로)지표변위계, 함수비센서 ····· 492
〈그림 9-22〉 운영시스템 화면(예시) ····· 493
〈그림 9-23〉 국립공원 계측기 설치 전경 ····· 494
〈그림 9-24〉 통합운영시스템 화면 ····· 494
〈그림 9-25〉 국립공원 별 설치 위치 및 변위현장 표현 ····· 495

Contents

〈그림 9-26〉 국립공원 현장별 변위 이력과 현장 전원 상태 알림 ····· 495
〈그림 9-27〉 대구 중구 문화관광지(건들바위) 전경 ···· 496
〈그림 9-28〉 계측DB 상호연계 개념도 ····· 501
〈그림 9-29〉 대상구간 및 급경사지 전경 ····· 502
〈그림 9-30〉 경감로 구간 급경사지 위험요인 ····· 503
〈그림 9-31〉 대상구간 센서설치 전경 ····· 504
〈그림 9-32〉 전체현장 모니터링 화면 ····· 505
〈그림 9-33〉 현장 모니터링 화면과 데이터 ····· 505
〈그림 9-34〉 CCTV 모니터링 화면 ····· 505
〈그림 9-35〉 센서 설치 전경 ····· 507
〈그림 9-36〉 강우량계 및 CCTV/ 재해문자전광판 설치 전경 ····· 507
〈그림 9-37〉 현장 모니터링화면(3D표출) ····· 508
〈그림 9-38〉 3D 모니터링 화면과 센서 및 장비 아이콘 ····· 508
〈그림 9-39〉 암반비탈면 ····· 510
〈그림 9-40〉 암반비탈면 - 평면파괴 ····· 510
〈그림 9-41〉 평면파괴 시 불연속면 방향 ····· 511
〈그림 9-42〉 암반비탈면 - 쐐기파괴 ····· 512
〈그림 9-43〉 암반비탈면 - 전도파괴 ····· 512
〈그림 9-44〉 붕괴유형별 계측기 설치 위치 ····· 514
〈그림 9-45〉 토사비탈면 ····· 514
〈그림 9-46〉 파괴된 옹벽 ····· 516
〈그림 9-47〉 보강토옹벽 균열(좌) / 석축 배부름(우) ·· 516
〈그림 9-48〉 비탈면 변형발생 위치 ····· 517
〈그림 9-49〉 비탈면 상부 및 내부 인장균열 ····· 518
〈그림 9-50〉 비탈면 단차 발생 ····· 518
〈그림 9-51〉 암반비탈면 배부름(좌) / 동일비탈면 붕괴 후 전경(우) ····· 519
〈그림 9-52〉 지반 융기 ····· 519
〈그림 9-53〉 전신주 기울어짐(좌) / 옹벽 균열(우) ····· 520
〈그림 9-54〉 숏크리트 균열(좌) / 계단식옹벽 균열(우) ··· 520
〈그림 9-55〉 붕괴 비탈면의 급격한 지하수 용출 ····· 520
〈그림 9-56〉 계측기 설치사례 1 ····· 521
〈그림 9-57〉 붕괴 당시 비탈면 사진 ····· 521
〈그림 9-58〉 계측기 설치사례 2 ····· 522
〈그림 9-59〉 비탈면 근경 ····· 522
〈그림 9-60〉 계측기 설치사례 3 ····· 523
〈그림 9-61〉 비탈면 근경 ····· 523
〈그림 9-62〉 계측기 설치사례 4 ····· 524
〈그림 9-63〉 비탈면 근경 ····· 524
〈그림 9-64〉 계측기 설치사례 5 ····· 525
〈그림 9-65〉 비탈면 근경 ····· 525
〈그림 9-66〉 계측기 설치사례 6 ····· 526
〈그림 9-67〉 인장균열 및 발생변위 ····· 526
〈그림 9-68〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 7 ··· 527
〈그림 9-69〉 계측기를 이용한 모니터링 운영 ····· 528
〈그림 9-70〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 8 ··· 530
〈그림 9-71〉 급경사지 상시계측관리 운영 구성도 ····· 531
〈그림 9-72〉 급경사지 상시계측관리 운영 ····· 531
〈그림 9-73〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 9 ··· 532
〈그림 9-74〉 급경사지 상시계측관리 운영 ····· 533
〈그림 9-75〉 다 측점 지표변위기 ····· 536
〈그림 9-76〉 낙석방지망 ····· 538

〈그림 10-1〉 NDMS 침수가뭄급경사지정보시스템 구성도 ····· 551
〈그림 10-2〉 NDMS 급경사지통합시스템 메인화면 ···· 551
〈그림 10-3〉 NDMS 급경사지통합시스템 시스템 구성도 ····· 552
〈그림 10-4〉 NDMS 급경사지통합시스템 시스템 구성도 ····· 554

사진 목차

(사진 8-1) 식생공 ····· 383
(사진 8-2) 돌쌓기(석축) ····· 384
(사진 8-3) 돌쌓기(석축) 옹벽(찰쌓기) ····· 387
(사진 8-4) 돌쌓기(석축) 옹벽(메쌓기) ····· 387
(사진 8-5) 돌붙임 ····· 389
(사진 8-6) 콘크리트 격자블록 ····· 391
(사진 8-7) 콘크리트(PC) 패널 ····· 393
(사진 8-8) 콘크리트 뿜어붙이기 ····· 394
(사진 8-9) 매트리스 게비온(Mattress Gabion) ····· 395
(사진 8-10) 록볼트(Rock bolt) ····· 396
(사진 8-11) 앵커(Anchor) ····· 397
(사진 8-12) 쏘일네일링(soil nailing) ····· 398
(사진 8-13) 억지말뚝 ····· 399
(사진 8-14) 콘크리트 버팀벽(buttress) ····· 400
(사진 8-15) 합벽식 옹벽 ····· 401
(사진 8-16) 계단식 옹벽 ····· 402
(사진 8-17) 콘크리트 옹벽 ····· 404
(사진 8-18) 블럭식 옹벽 ····· 404
(사진 8-19) 보강토 옹벽 ····· 405
(사진 8-20) 돌망태 옹벽 ····· 406
(사진 8-21) 뜬돌 제거 ····· 407
(사진 8-22) 낙석방지망 ····· 408
(사진 8-23) 낙석방지울타리 ····· 410
(사진 8-24) 피암터널 ····· 411
(사진 8-25) 낙석방지 옹벽 ····· 412
(사진 8-26) 산마루 측구 ····· 413
(사진 8-27) 소단측구 ····· 414
(사진 8-28) L, U, J형 측구 ····· 415
(사진 8-29) 도수로 ····· 416
(사진 8-30) 수평배수공 ····· 418
(사진 8-31) 집수정 ····· 419
(사진 8-32) 경사완화(절취공법) ····· 421
(사진 8-33) 그라우팅 ····· 422
(사진 8-34) 모르타르 ····· 423
(사진 8-35) 암파쇄방호시설 ····· 424
(사진 8-36) 사방시설 ····· 425
(사진 8-37) 월류방지턱 ····· 426
(사진 8-38) 와이어로프걸기공 ····· 427

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 1 장 총론

1.1 목 적
1.2 적용 범위
1.3 용어의 정의
1.4 한국급경사지안전협회
1.5 방재관리대책대행자
1.6 업무의 흐름

제 1 장 총 론

1.1 목 적

최근 우리나라는 지속시간은 짧고 좁은 지역에 강우가 집중되는 호우특성으로 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 매년 많은 인명 및 재산피해가 발생하고 있다.

우리나라는 전 국토의 63% 이상이 산지로 구성되어 있고 표층이 얇아서 급경사지 붕괴에 매우 취약한 구조이며, 도시화·산업화의 과정에서 조성된 비탈면·옹벽(석축)·축대 등과 같은 급경사지의 급격한 증가는 피할 수 없는 사회적 특성이 되었다.

특히, 연평균 강우량(1200~1600mm)의 2/3 정도가 여름철에 집중되는 기후특성 때문에 급경사지 붕괴가 발생하기 쉬운 취약한 자연조건으로, 우기(5~10월) 뿐만 아니라 해빙기(3~4월)에도 매년 반복적으로 급경사지의 붕괴가 발생되어 사회 경제적으로 커다란 피해를 입고 있으며, 최근 5년간(2019년~2023년) 급경사지로 관리중인 비탈면의 경우는 인명피해가 없으나, 관리되지 않은 비탈면의 경우는 인명피해가 지속적으로 발생하고 있다.

급경사지 붕괴로 인하여 발생하는 피해는 급경사지 대상지 선정, 체계적인 안전점검, 정비계획 시행 및 유지관리 등을 통하여 많은 부분 사전 예방이 가능하며, 급경사지는 지반특성상 지반자체의 강도 분산이 매우 크고, 사계절이 뚜렷한 기후적 특성으로 풍화 진행이 급격히 이루어지기 때문에 지속적인 유지관리가 매우 중요한 분야라고 할 수 있다.

급경사지 관리기관 및 담당자는 급경사지에 대한 체계적인 관리를 통하여 자연재해로만 인식되어온 급경사지 붕괴에 대한 과학적인 방재대책 수립뿐만 아니라, 주민대피 관리기준 설정 및 급경사지 보수·보강공법의 합리적 적용 등을 통하여 인명 및 재산피해를 크게 저감시킬 수 있을 것이다.

특히, 급경사지 붕괴로 인한 인명피해를 저감하기 위해서는 상시계측관리 등을 통해 그 붕괴시기와 피해 범위를 예측하고 인명피해가 우려되는 붕괴위험지역 급경사지 주변에 거주하고 있는 주민을 사전에 효과적으로 대피시키는 것이 매우 중요하다.

따라서 급경사지 관리기관은 언제 급경사지 붕괴 경보를 발령하고 주민대피를 유도할 것인지에 대한 의사결정을 위한 주민대피 관리기준을 미리 설정하고, 비상시 대응하기 위한 사전 주민대피계획의 마련이 필요하다.

본 '급경사지 관리 실무편람'은 급경사지 관리기관의 담당자가 업무의 효율적 추진을 위하여 급경사지를 발굴하는 실태조사, 안전점검, 재해위험도 평가법, 붕괴위험지역의 지정·관리 절차, 붕괴위험지역 정비 중기·실시계획 수립, 급경사지 정비를 위한 보수·보강공법, 주민대피 및 상시계측관리 등을 쉽게 이해할 수 있도록 작성되었다.

특히 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 붕괴위험지역 급경사지에 대한 긴급 안전조치 명령, 상시계측관리 대상지 조사방법, 인명피해 최소화를 위한 주민대피 관리기준 설정·운영 요령 등을 사례와 함께 제시하여 급경사지 관리기관의 담당자가 기본적으로 알아야 할 실무적이고 필수적인 내용을 그림 및 사진을 중심으로 구성하여 쉽게 활용할 수 있도록 업무편람을 작성·보급하는 것을 목적으로 하였다.

1.2 적용 범위

본 실무편람은 「급경사지 재해예방에 관한 법률」(이하 '급경사지법'이라 한다) 제2조와 같은 법 「시행령」 제2조에서 규정한 급경사지에 대하여 적용한다. 「도로법」 제11조의 고속국도 및 같은 법 제12조의 일반국도, 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 '시설물안전법'이라 한다) 제2조제1호의 시설물에 관하여는 본 실무편람을 적용하지 않는다.

고속국도와 일반국도는 국토교통부에서 「시설물안전법」과 「도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼」에 따라 체계적으로 관리하고 있어 적용 대상에서 제외하였으며, 전체 급경사지에 관한 데이터베이스 구축 및 전국단위 지반재해위험지도 작성·보급 등을 위해서는 관련 자료를 공유할 수 있도록 관계기관 간 유기적인 협조체계가 필요하다.

1.3 용어의 정의

1. “급경사지(急傾斜地)”란 택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면(옹벽 및 축대 등을 포함한다. 이하 같다) 또는 이와 접한 산지로서

   1) 지면으로부터 높이가 5미터[비탈면과 주택 등 건축물의 최단(最短) 거리가 3미터 이내인 경우에는 3미터를 말한다] 이상이고, 경사도가 34도(S=1:1.483) 이상이며, 길이 (연장)가 20미터 이상인 인공 비탈면

   2) 지면으로부터 높이가 50미터 이상이고, 경사도가 34도 이상인 자연 비탈면

   3) 그 밖에 관리기관이나 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장이 재해예방을 위하여 관리가 필요하다고 인정하는 인공 비탈면, 자연 비탈면 또는 산지

2. “붕괴위험지역”이란 붕괴·낙석 등으로 국민의 생명과 재산의 피해가 우려되는 급경사지와 그 주변토지로서 제6조에 따라 지정·고시된 지역

3. “재해”란 「재난 및 안전관리 기본법」제3조 제1호 가목의 재난으로 급경사지에서 발생하는 피해

4. “재해위험도평가”란 급경사지의 붕괴 등과 관련하여 사회적·지리적 여건, 붕괴위험요인 및 피해예상 규모, 재해발생 이력 등을 분석하기 위하여 경험과 기술을 갖춘 자가 육안 또는 기구 등으로 검사를 실시하고, 정량(定量)·정성(定性)적으로 위험도를 분석·예측하여 재해의 위험도를 평가하는 것

5. “관리기관”이란 급경사지를 소유하거나 관리하는 다음 각 목의 행정기관 및 공공기관이다.

   1) 지방자치단체

   2) 지방산림청

   3) 「한국농어촌공사 및 농지관리기금법」에 따른 한국농어촌공사

   4) 「한국토지주택공사법」에 따른 한국토지주택공사

   5) 「국가철도공단법」에 따른 국가철도공단

   6) 「도시철도법」에 따른 도시철도공사

   7) 「국립공원공단법」에 따른 국립공원공단

8) 그 밖에 대통령령으로 정하는 행정기관 및 공공기관

※ 2025.1월 현재 급경사지법 제2조제5호 '자목'의 "그 밖에 대통령령으로 정하는 행정기관 및 공공기관"은 시행령에 별도 제정되어 있지 않음

6. "계측업"이란 이 법의 적용을 받는 급경사지 및 기타 대통령령으로 정하는 시설에 대한 상시계측을 업으로 하는 것을 말한다.

7. 위의 '용어의 정의' 이외 급경사지 관리 실무편람에 사용된 주요 용어는 〈부록 1〉의 '주요 용어'에서 자세히 설명한다.

1.4 한국급경사지안전협회

한국급경사지안전협회는 급경사지에 관한 연구 및 정보교류의 활성화와 급경사지에 대한 안전관리 지원을 위하여 2020년 7월 설립되었으며, 협회의 업무는 다음과 같다.

1. 급경사지 재해예방과 방재 의식 고취를 위한 교육 및 홍보
2. 급경사지 재해예방, 재해 응급대책 및 재해 복구 등에 관한 자료의 조사·수집 및 보급
3. 급경사지 재해예방, 재해 응급대책 및 재해 복구 등에 관한 각종 간행물의 발간
4. 급경사지 분야의 기술 발전을 위한 관련 산업의 육성·지원과 기술의 개발
5. 민간 주도의 급경사지 재해 관련 국내외 행사의 유치
6. 급경사지 분야 전문인력의 양성 지원 및 인력 데이터베이스 구축·관리
7. 급경사지 분야에 관한 정부 위탁사업의 수행
8. 급경사지의 피해 예방을 위한 기초 및 정밀조사 등 현장 조사의 실시
9. 신규 급경사지의 발굴을 위한 실태조사, 안전점검 및 재해위험도평가
10. 재해 발생 시 신속한 피해 원인조사 등 현장 지원
11. 급경사지 상시계측관리를 위한 계측기술의 연구 및 개발
12. 국내외 급경사지 관련 단체와의 교류 및 협력

13. 급경사지의 안전관리를 위한 정책연구 및 개발
14. 급경사지의 피해 예방을 위한 기초 및 정밀조사 등 현장조사의 실시
15. 신규 급경사지의 발굴을 위한 실태조사, 안전점검 및 재해위험도평가
16. 재해 발생 시 신속한 피해 원인조사 등 현장지원
17. 급경사지 상시계측관리를 위한 계측기술의 연구 및 개발
18. 국내외 급경사지 관련 단체와의 교류 및 협력
19. 급경사지의 안전관리를 위한 정책연구 및 개발

1.5 방재관리대책대행자

급경사지 관리기관은 다음 업무 중 기초·타당성 조사 및 분석, 기본·실시 설계 등 전문성이 요구되는 사항에 대하여 「자연재해대책법」 제2조 제14호에 따른 방재관리대책대행자로 하여금 대행하게 할 수 있다.

1. 급경사지에 대한 안전점검
2. 붕괴위험지역 지정을 위한 재해위험도평가
3. 붕괴위험지역 정비 중기계획의 수립
4. 붕괴위험지역 정비 실시계획의 수립

1.6 업무의 흐름

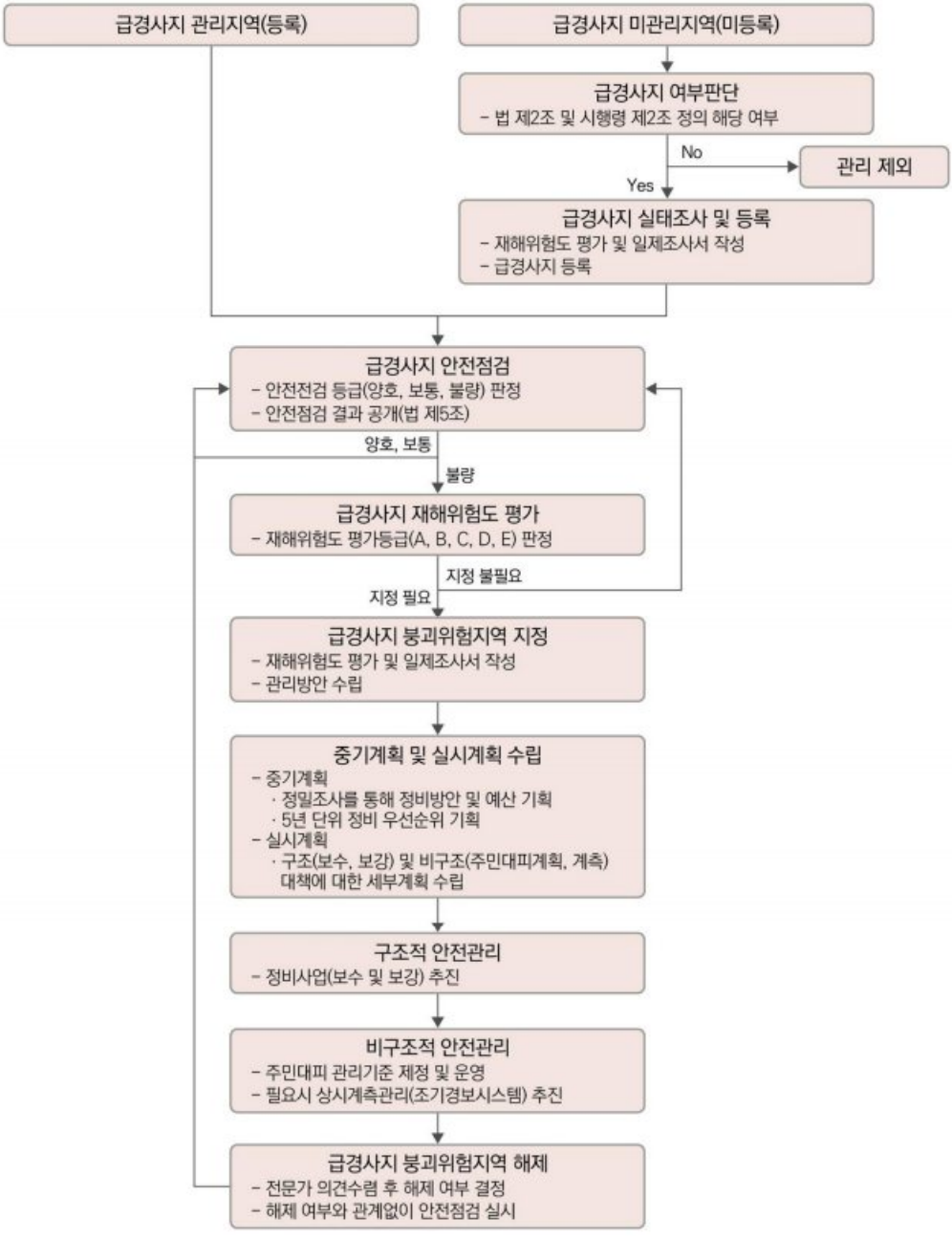
「급경사지 재해예방에 관한 법률」에서 정하고 있는 업무의 흐름은 다음과 같다.

붕괴위험지역 지정 및 관리 → 붕괴위험지역 정비계획 수립 및 추진 → 붕괴위험지역 조치, 응급대책 및 응급부담 → 재해예방기술 축적 및 보급

붕괴위험지역 지정 및 관리	(지정) 시장·군수·구청장 (관리) 관리기관	- 급경사지 안전점검 / 관리기관 / 연2회 이상 - 급경사지 안전점검 / 시장·군수·구청장 / 연1회 이상 - 붕괴위험지역 지정 / 시장·군수·구청장 / 재해위험도평가 등 - 현지조사 실시 / 시장·군수·구청장 / 현지조사단 구성 - 붕괴위험지역 계측관리 / 관리기관 / 계측자료 실시간 제공 - 주민대피 관리기준 제정·운영 / 시장·군수·구청장 - 붕괴위험지역에서의 행위 협의 / 관계 행정기관 / 소관 관리기관과 사전협의 - 위험표지 설치 / 관리기관 / 눈에 잘 띄는 곳에 적정수
붕괴위험지역 정비계획 수립 및 추진	(수립) 관리기관 (제출) 관리기관 ⇒ 시장·군수·구청장 ⇒ 시·도지사 ⇒ 행정안전부장관	- 붕괴위험지역 정비 중기계획 수립 / 관리기관 / 매5년 - 이주대책 수립 / 시장·군수·구청장 / 주민의견 수렴 등 - 붕괴위험지역 정비사업 실시계획 / 관리기관 / 매년 - 실시계획 추진실적 확인 / 행정안전부 장관 / 기관 포상 ※ 정비사업 비용의 전부 또는 일부 국고지원 - 실시계획 수립 시 인·허가 의제 / 관리기관 / 관계 행정기관의 장과 미리 협의한 사항
붕괴위험지역 조치	(안전확보) 관계인 (토지수용·사용) 관리기관	- 붕괴위험지역의 안전 확보 / 관계인 / 자체 안전점검 및 응급조치 및 보수·보강 등 「공동주택관리법」 제2조제1항제10호에 관리주체, 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제30조 및 31조에 관리권자 등 및 관리공단 등 - 토지·물건 또는 권리 수용 또는 사용 / 관리기관 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」 준용
응급대책 및 응급부담	(안전조치) 관계인 (대피명령 등) 시장·군수·구청장	- 안전조치 명령 / 시장·군수·구청장 ⇒ 관계인 / 시설사용 제한·금지, 보수보강 또는 제거 - 대피명령 또는 강제대피 / 시장·군수·구청장/ 지역주민 등 - 시설의 일시사용 / 시장·군수·구청장 / 재해발생 우려 시 - 응급조치 종사자 치료·보상 / 시장·군수·구청장
재해예방을 위한 기술의 축적 및 보급	급경사지 조성한 자 관리기관 시장·군수·구청장 행정안전부 장관 시·도지사 계측업자 성능검사대행자	- 준공도서 제출 / 급경사지 조성자 ⇒ 시장·군수·구청장 - 급경사지 현황자료 제출 / 관리기관 ⇒ 시장·군수·구청장 - DB구축 및 정보제공 / 시장·군수·구청장 ⇒ 필요한 자 - 시스템 개발·보급·운영 및 지반재해위험지도 작성·보급 / 행정안전부 장관 - 계측업 및 성능검사대행자 등록 / 시·도지사(기준 충족 시) - 계측기기 성능검사 / 성능검사대행자 / 적합 시 필증 교부 - 실무교육훈련과정 사전 이수 / 계측전문인력(계측업, 성능검사대행업) / 실무교육대행기관(행정안전부 장관 지정)

〈그림 1-1〉「급경사지 재해예방에 관한 법률」업무의 흐름도

상기의 법적 업무의 흐름을 바탕으로 급경사지 등록에서부터 안전조치 및 붕괴위험지역 해제까지의 일련의 과정을 정리하면 다음의 체계와 같다.



〈그림 1-2〉 급경사지 관리체계

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 2 장

급경사지 정의 및 분류

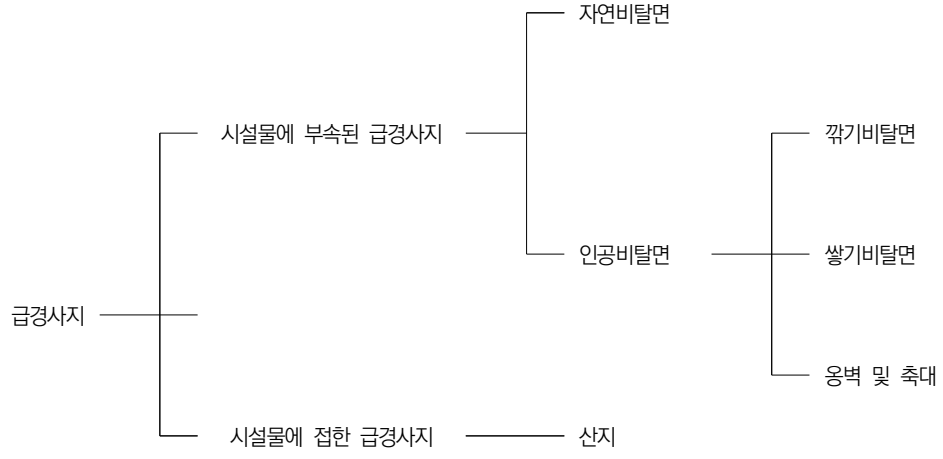
2.1 개요
2.2 정의
2.3 급경사지 분류

제2장 급경사지 정의 및 분류

2.1 개요

급경사지는 주변 시설물과의 관계, 조성원인(자연, 인공), 조성방식(깎기, 쌓기, 옹벽 및 축대) 등을 통해 분류되며, 분류 상태에 따라 관리 방법, 설계 기준, 조사 방법, 안정성 해석, 대책공법 결정 방향 등이 구분되어 적용된다.

급경사지는 일반적으로 경사가 급한 비탈면으로 「급경사지 재해예방에 관한 법률」(이하 '급경사지법'이라 한다) 제2조 제1항에서 "택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 자연비탈면, 인공비탈면(옹벽 및 축대 등을 포함한다) 및 이와 접한 산지"로 정의되며 일반적인 급경사지의 분류는 〈그림 2-1〉과 같다.



※ 시설물 : 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등

〈그림 2-1〉 급경사지의 분류

본 장에서는 급경사지법에서 정의하는 급경사지인 인공비탈면(옹벽 및 축대 포함), 자연비탈면(산지) 등에 대하여 일반적인 노출 특성 및 주요 특성 등을 안내하고자 한다.

2.2 정의

2.2.1 급경사지의 정의

「급경사지법」에서는 급경사지의 정의를 다음과 같이 명시하고 있다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」의 정의 관련

법 제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. "급경사지란 **택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면(옹벽 및 축대 포함) 또는 이와 접한 산지**로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다.

시행령 제2조(급경사지의 정의) 법 제2조제1호에 따른 급경사지는 다음 각 호와 같다
1. 지면으로부터 높이가 5미터[비탈면과 주택 등 건축물의 최단(最短) 거리가 3미터 이내인 경우에는 3미터를 말한다] 이상이고, 경사도가 34도 이상이며, 길이가 20미터 이상인 인공 비탈면
2. 지면으로부터 높이가 50미터 이상이고, 경사도가 34도 이상인 자연 비탈면
3. 그 밖에 관리기관이나 특별자치시장·시장(「제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법」 제11조제1항에 따른 행정시장을 포함한다. 이하 같다)·군수 또는 구청장(자치구의 구청장을 말한다. 이하 같다)이 재해예방을 위하여 관리가 필요하다고 인정하는 인공 비탈면, 자연 비탈면 또는 산지

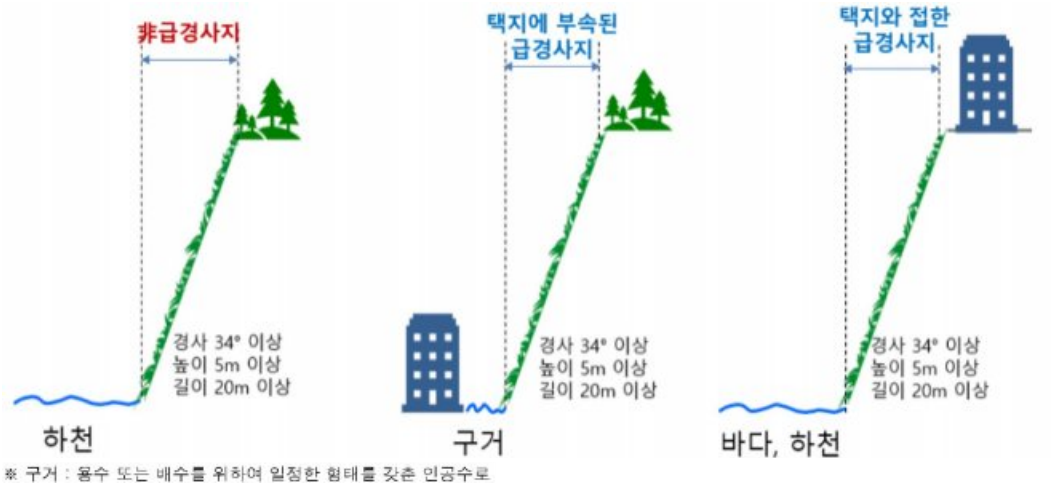
2.2.2 급경사지의 정의 해설

(1) 시설물

법적 정의에서 급경사지는 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등에 부속된 비탈면을 명시하고 있다.

이러한 시설물은 해당 급경사지 주변에 존재하여 급경사지 붕괴시 인명 또는 재산피해가 발생 가능한 시설물로서 보호대상이 되는 시설물을 의미하며, 대표적으로 택지는 주거용, 공공용, 산업용 등 각종 건축물 및 이와 관련된 시설이 입지된 부지를 말하고, 도로, 철도 및 공원의 경우 해당 시설부지를 의미하고, 그 외에도 학교, 운동장, 공장 등이 있다.

비탈면 주변에 하천, 저수지, 논, 밭 등이 존재하여 피해 우려가 없는 경우 급경사지에서 제외할 수 있으나, 해당 비탈면 주변에 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등이 존재하여 비탈면 붕괴시 피해가 예상될 경우는 급경사지에 포함한다.



〈그림 2-2〉 하천에 연접한 급경사지

(2) 시설물에 부속된 비탈면

법에서 명시된 '택지, 도로, 철도 및 공원시설 등에 부속된 비탈면'에서 '부속'의 사전적 의미는 '연접', '딸려 붙은 사물'이며, 「급경사지법」에서의 의미를 사례로 제시하면 다음과 같다.

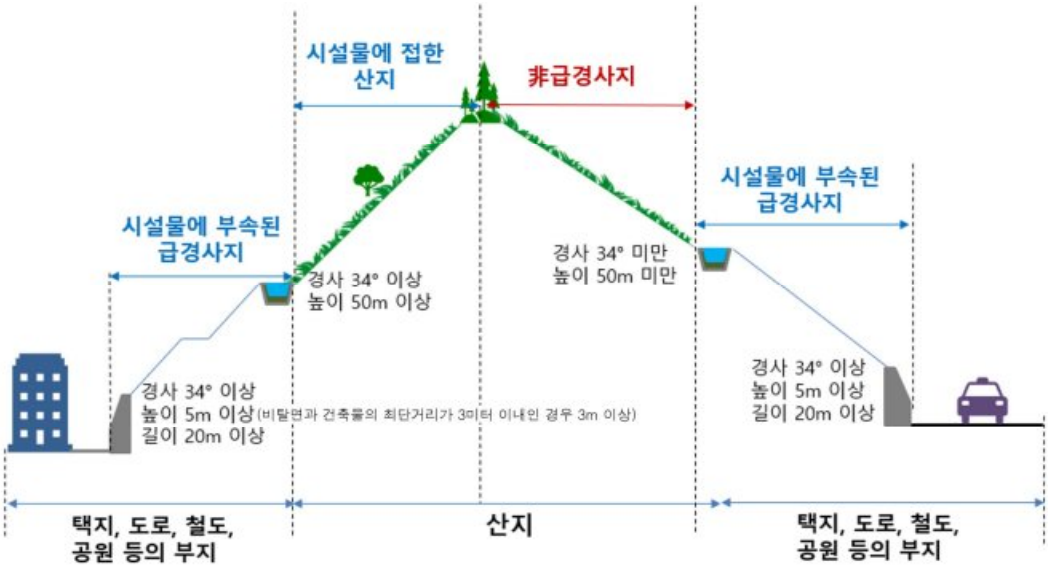
첫 번째로 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등의 조성부지에 수반되는 비탈면을 말하며, 이러한 비탈면이 「급경사지법」 시행령 제2조에서 정의된 기준을 만족하면 급경사지에 해당한다.

두 번째로는 이미 존재하는 인공비탈면 및 자연비탈면이 「급경사지법」 시행령 제2조에서 정의된 기준을 만족하는 상황에서 그 비탈면 주변에 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등이 나중에 조성되는 경우로서 해당 비탈면의 붕괴시 인명 피해 또는 시설물의 피해가 예상되는 경우다.

(3) 시설물에 접한 산지

부속된 비탈면 이외에도 급경사지는 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등에 접한 산지도 급경사지에 해당한다.

'접한'에 대한 사전적 의미는 '이어서 닿다'이며, 「급경사지법」에서의 접한 산지는 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등의 부지 밖에 존재하는 자연비탈면으로서 「급경사지법」 시행령 제2조에 정의된 기준을 만족하고, 해당 비탈면의 붕괴시 인명 피해 또는 시설물의 피해가 예상되는 경우다.



〈그림 2-3〉 시설물에 부속 또는 접한 급경사지

(4) 급경사지 붕괴시 피해가 예상되는 범위

비탈면이 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등에 부속 또는 접하였다고는 하나, 해당 비탈면과 시설물 사이의 거리가 멀어서 피해가 발생하지 않는 경우도 존재하므로 '부속과 접한'에 대한 정량적인 조건이 필요하다.

이러한 정량적인 지표를 제시하기 위하여 이격거리 개념이 필요한데, 이격거리는 비탈면 하단(비탈끝)과 주거지 또는 도로 등의 시설물과의 최단거리를 의미하며, 이 이격거리가 피해 범위보다 넓은 경우 피해 가능성이 낮을 것으로 예상할 수 있다.

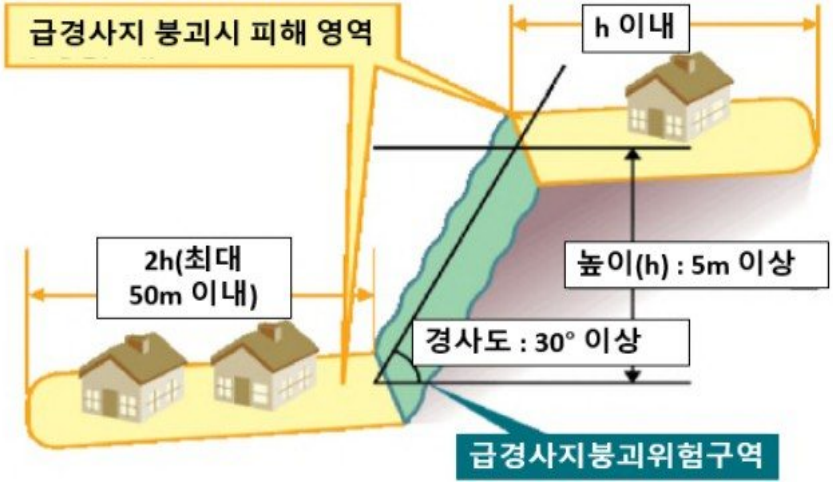
〈그림 2-4〉 급경사지와 시설물 간의 이격거리 개념

급경사지 피해 범위에 대한 연구는 국내외에서 추진되었으며, 그 사례는 다음과 같다.

일본의 급경사지 피해 범위 관련 연구 사례

'급경사지붕괴위험개소 조사요령'에 의하면, 토석류 피해 범위는 토석류가 발생하는 구역에서 하상 경사가 3도가 되는 지점까지의 거리로 규정하고 있다.

급경사지의 경우 경사도 30°및 높이 5m 이상의 급경사지가 인가와 공공시설에 피해를 줄 우려가 있는 피해영역을 비탈면 높이의 2배 이내로 하되, 50m를 상한으로 설정하고 있다.



〈그림 2-5〉 일본의 급경사지와 시설물과의 이격거리 기준 사례

국립재난안전연구원의 급경사지 피해 범위 관련 연구 사례

국립재난안전연구원(2011)의 연구 결과에 의하면, 일반적인 급경사지의 붕괴범위 기준은 급경사지의 하단의 경우는 하단으로 부터 해당 비탈면 높이의 2배 정도이며, 비탈면 상단의 경우는 비탈면 높이의 1배 정도를 피해 범위로 추정하며, 피해범위가 50m를 초과시에는 50m로 제한하고 있다.

행정안전부 「자연재해위험개선지구 관리지침」의 피해 범위

「자연재해위험개선지구 관리지침」(2021.12.29.)에서는 피해액 산정을 위해 자연재해위험개선지구별 침수면적 또는 피해 범위를 제안하고 있다.

급경사지의 경우, 「붕괴위험지구 투자우선순위 결정 개선방안 연구」(국립방재연구원, 2011.

12월)에서 제안하는 방식을 기준으로 피해 범위를 급경사지의 하단으로부터 해당 비탈면 높이의 2배 정도로 하고, 50m 초과시에는 50m로 제한하고 있다.

급경사지 붕괴시 피해가 예상되는 범위 기준

급경사지 하부에 시설물이 존재하는 경우의 피해 범위는 해당 비탈면 높이의 2배 이며, 그 높이가 50m 초과시에는 50m로 제한한다.

급경사지 상부에 시설물이 존재하는 경우의 피해 범위는 해당 비탈면 높이의 1배 이며, 그 높이가 50m 초과시에는 50m로 제한한다.

2.2.3 그 밖에 관리가 필요한 비탈면

「급경사지법」 시행령 제2조제3항의 '그 밖에'는 같은법 시행령 제2조제1항 및 제2항에서 정의된 기준에 미치지 않는 비탈면이라도 관리기관 또는 지방자치단체장이 붕괴 시 인명 또는 재산피해가 예상되어 관리가 필요하다고 인정하는 비탈면을 의미하며, 대표적인 사례는 다음과 같다.

1) 펜션, 태양광시설, 풍력시설 등의 조성을 위해 통상적인 인·허가 등을 통해 인위적으로 조성된 비탈면 중 붕괴 시 인명 또는 재산피해가 예상되는 비탈면

2) 통상적인 인·허가와 관계가 없는 경우라도 인위적으로 조성 또는 훼손된 비탈면 중 붕괴 시 인명 또는 재산피해가 예상되는 비탈면

2.3 급경사지 분류

2.3.1 자연비탈면(산지)

자연비탈면은 일반적으로 산지를 의미하며, 구릉지나 계곡과 같이 자연 순응 원리에 의하여 자연적으로 생성된 경사면을 나타낸다.

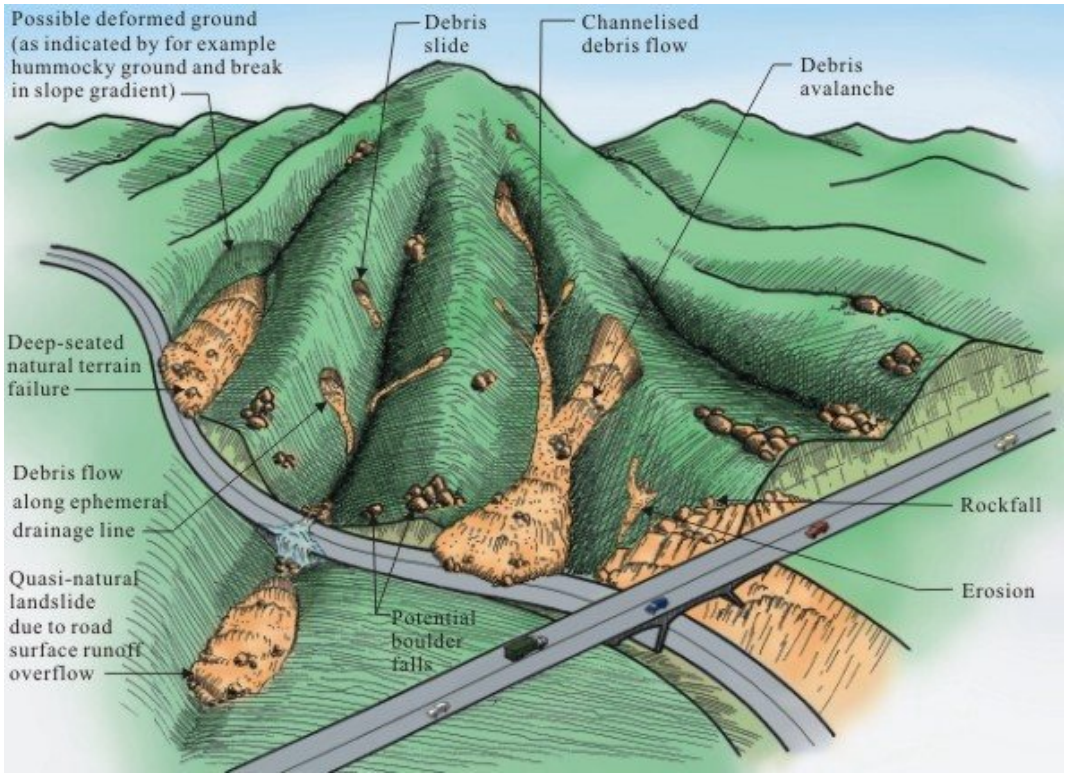
오랜 기간 동안의 변화를 거치면서 안정화되어 왔던 자연비탈면은 지형, 지진활동, 지하수위 흐름, 강도감소, 응력 변화 및 풍화 등의 변화로 인하여 급격하게 붕괴가 발생될 수 있으며, 이러한 자연비탈면의 붕괴는 이들 영향이 매우 복잡하고 다양하게 얽혀 파괴에 이르는 것으로 추정 및 연구되고 있다.

대부분의 경우 자연비탈면의 안정성 문제는 많은 불확실성을 가지고 있으며, 이와 관련하여 Peck(1967)은 다음과 같이 주장하였다. “자연비탈면의 안정성 예측을 위한 방법은 연구지역이 과거 산사태 발생지역으로 이전부터 지속적인 연구가 진행되고 있고, 비탈면 하부의 굴착과 같은 몇몇 인위적인 건설공사에 의해 영향을 받고 있다면 아마도 최선의 조건일 것이나, 과거 연구지역이 아닌 다른(random) 위치에서 지진발생과 같은 발생 가능성에 대한 문제를 가진 산사태 발생의 메카니즘에 대한 것이라면 아마도 안정성 예측에 대해서는 최악의 조건일 것이다.”.

자연비탈면에서 존재하는 활동면(slip surface)을 미리 아는 것은 비탈면의 거동을 예측하고 이해하는 것을 훨씬 수월하게 만들며, 이러한 활동면은 기존 산사태 혹은 지각구조 활동의 원인에 의해 자주 발생 된다.

또한 자연적인 지형변형 프로세스에 의해서도 활동면이 발생 되며, 이러한 활동면에서의 전단강도는 활동 이전에 최대강도를 가지고 있다가 점차적으로 잔류강도로 감소하며, 이러한 것들은 산사태 발생지역에서 쉽게 인지할 수 없으나, 기존에 전단면이 위치하고 있다면 안정성 평가를 신뢰성을 가지고 수행할 수 있을 것이다.

자연비탈면에서 진행성 붕괴에 대한 문제는 시간이 경과함에 따라 더욱더 증대되고 있음을 알 수 있는데, 진행성 붕괴를 나타내는 대부분의 지반재료는 풍화에 의해 점차적으로 화학적 결합력이 감소하는 점토와 셰일(shale, 이암판)임을 알 수 있으며, 풍화는 이러한 결합에 의해 저장된 에너지를 감소시킨다(Bjerrum, 1966).



〈그림 2-6〉 자연비탈면의 토석류 발생 개요도

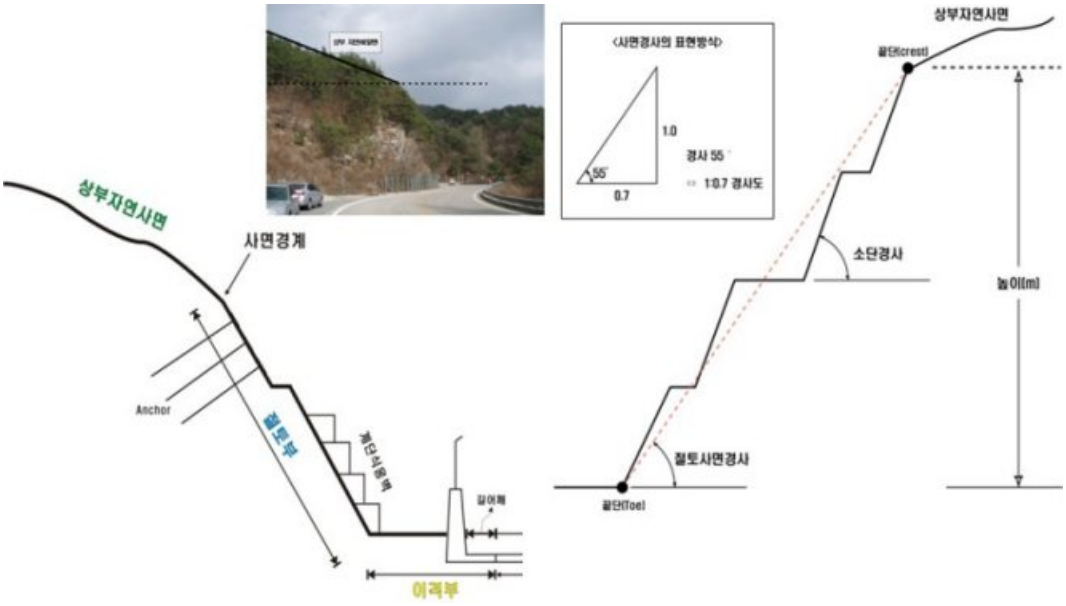
2.3.2 인공비탈면

급경사지에서 정의하는 인공비탈면은 "높이가 5m 이상이고, 경사도가 34°이상이며, 길이가 20m 이상인 비탈면"을 말하며, 깎기비탈면과 쌓기비탈면, 옹벽 및 축대 등으로 구분된다.

(1) 깎기비탈면

깎기비탈면은 '절토비탈면'이라고도 하며, 도로나 부지확보를 위해 지반을 인위적으로 절토하여 발생된 비탈면을 말한다.

깎기비탈면은 자연적으로 형성된 지반에 인위적인 변형을 가해서 조성된 구조물이기 때문에 비탈면 구성물질의 풍화, 세굴 등에 의해 안정성이 저감될 수 있어 지속적인 유지관리가 필수적이다.



〈그림 2-7〉 깎기비탈면의 구성

비탈면 구성물질의 70% 이상이 토사로 이루어진 비탈면을 토사비탈면이라고 하며, 비탈면 경사, 지반정수, 침투수 등이 안정성에 큰 영향을 미친다. 대규모 붕괴비탈면에서 토사비탈면이 차지하는 분포비율은 상대적으로 높으며, 구성 물질이 비교적 균질하여 사전붕괴 인지에 가장 유리하다. 대표적인 붕괴유형으로는 침식, 표층유실, 활동파괴 등이 있다.

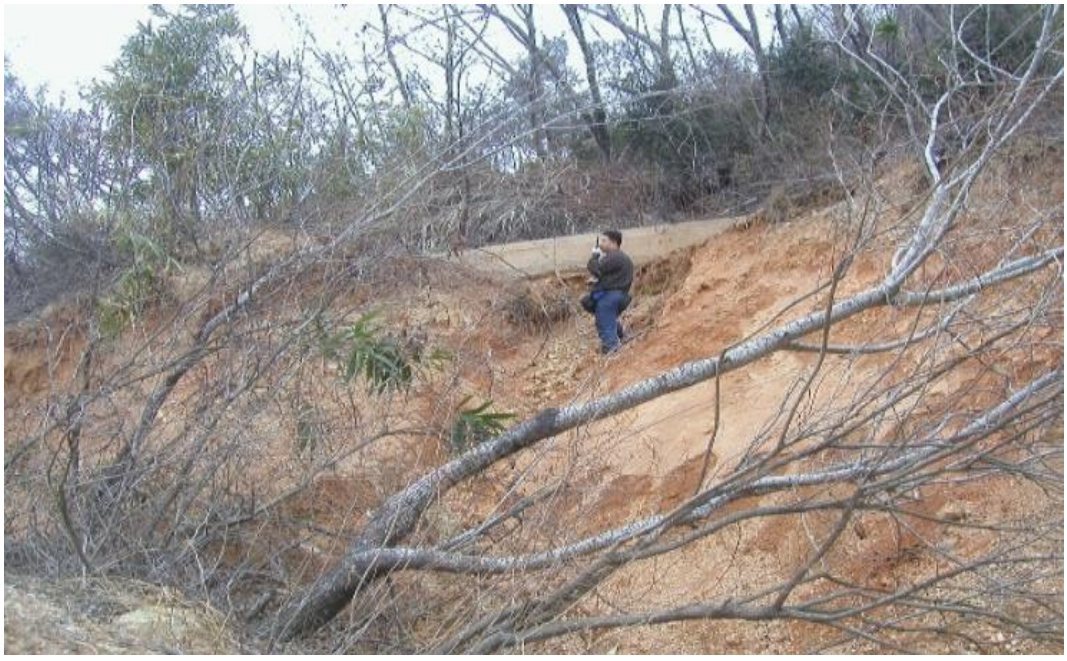
암반비탈면은 비탈면 구성물질의 70% 이상이 암반으로 구성된 비탈면을 지칭하며 주로 불연속면에 의한 거동지배를 우세하게 받는다. 대표적인 붕괴유형으로는 낙석, 쐐기파괴, 전도파괴 및 평면파괴 등이 있다.

투수율이 낮은 암반층과 토사지반이 상하로 구성되어 있는 것을 혼합비탈면이라 한다.

혼합비탈면에서 암반과 토사의 지층경계선(또는 지층구분선)이 비탈면 방향 쪽으로 기울어져 있는 혼합비탈면의 경우, 강우 시 지하수의 흐름은 토사층으로 침투된 우수가 불투수층인 암반층과 토사층의 경계인 지층경계선을 따라 흐르게 되며, 지층경계선을 따라 지하수가 이동하는 경우 토사유실이나 저항력 감소로 인해 집중강우 시 붕괴될 수 있는 위험성을 가지고 있으므로 주의해야 한다.

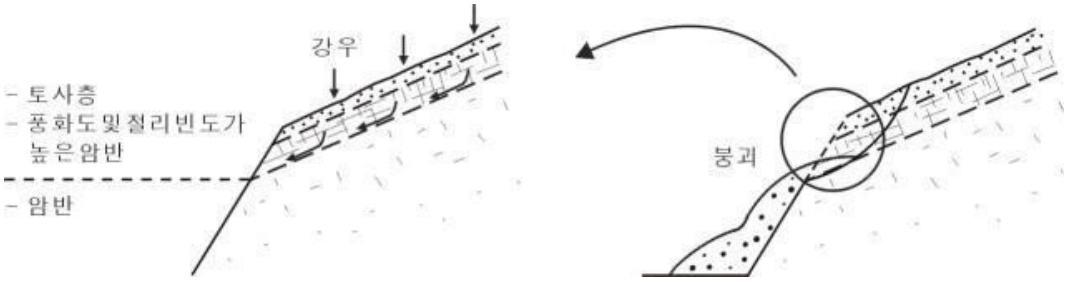
암반비탈면과 토사비탈면이 종단방향으로 반복될 때 복합비탈면이라 하며, 일반적으로

지질적인 요인에 의해 단층대나 전단대가 존재하는 비탈면이 이에 해당되고, 차별풍화가 진행되어 암반비탈면과 토사비탈면이 반복되는 경우가 있으며, 이 외에도 지형적인 요인이나 지하수 영향에 의해 혼합비탈면 형태로 노출될 수 있다.



〈그림 2-8〉 토사깎기비탈면 내 표층붕괴

〈그림 2-9〉 암반깎기비탈면 실례



〈그림 2-10〉 혼합깎기비탈면에서의 토층붕괴

〈그림 2-11〉 혼합깎기비탈면 실례

〈그림 2-12〉 복합깎기비탈면 실례

(2) 쌓기비탈면

쌓기비탈면은 '성토비탈면'이라고도 하며, 지반 위에 흙이나 암석을 쌓아서 형성되는 인공 비탈면을 말한다.

일반적으로 비탈면의 표면은 수평이 아니라 경사져 있기 때문에 토체는 안정성을 확보하기 위하여 잠재활동면을 따라 하향으로 이동하려는 경향을 가진다.

토체의 활동은 흙의 전단강도가 비탈면의 자중 및 회전 하중에 의한 전단력 보다 작은 경우에 발생할 수 있으며, 이러한 토체의 활동을 방지할 수 있도록 흙의 전단강도를 증가시키기 위하여 적절한 안정성을 확보한 상태로 시공되어 진다.

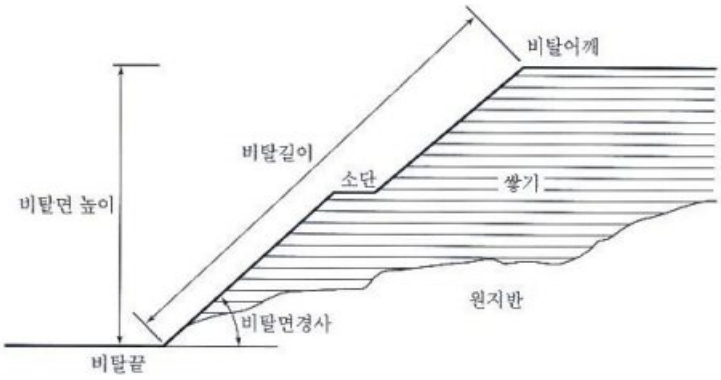
쌓기비탈면에 사용되는 재료는 대부분 현지에서 활용 가능한 토사, 암석 등을 사용하며, 때로는 점성토와 같이 과도한 침하, 변형을 유발하여 성토재료로 사용이 부적합한 재료를 사용하거나, 강우 등 기상조건의 영향을 받아 충분한 다짐을 실시하지 못하는 경우가 발생될 수 있다.

또한 쌓기비탈면은 장기적으로 침하 등의 과정을 거치면서 안정화되는 과정을 거치게 되는데, 최근에는 대규모공사로 기계화 시공에 의한 급속 시공을 실시하게 됨으로써 재료의 품질관리가 많이 향상된 것이 사실이나, 과거의 쌓기비탈면의 경우 시공과 관리의 기록이 거의 없는 실정이다.

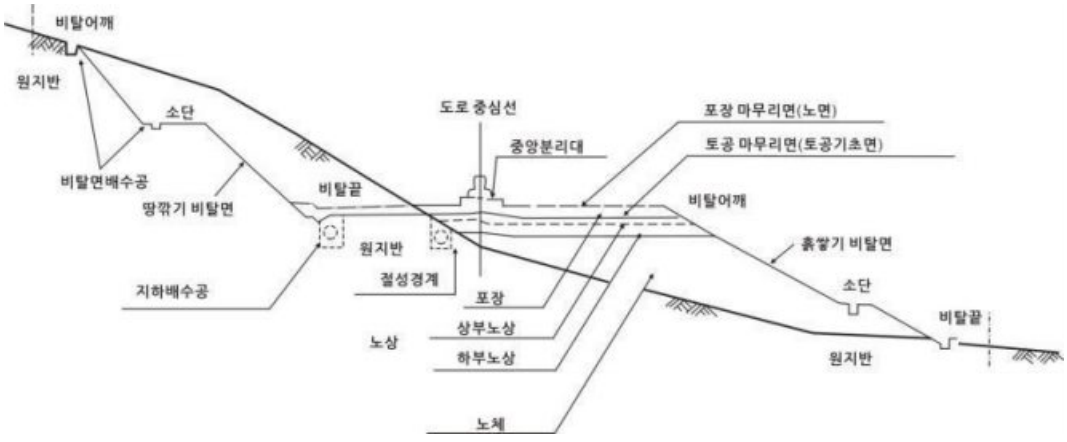
따라서, 쌓기비탈면을 안정적으로 유지관리하기 위해서는 공사중에는 규격에 적합한 토공재료를 사용하며, 다짐 등 규정에 맞는 품질관리가 요구되고, 원지반의 경사가 14°(1:4)이상인 경우 원지반과 경계면에서의 활동을 방지하기 위해 층따기를 실시하여야 하며, 쌓기비탈면 높이가 높은 경우 장기적인 침하, 변형관리를 위하여 계측 등 시공관리 기록 유지가 중요하다.

쌓기비탈면의 종류는 쌓기비탈면이 만들어지는 관련 구조물과 연관되어 구분되는 것이 대부분이고, 도로나 철도의 성토는 포장이나 철길을 통하여 각각의 교통하중을 지탱하게 되므로 쌓기비탈면은 상부 구조물을 충분히 지지할 수 있어야 하며, 부등침하 등으로 구조물의 손상이나 기능이 저해되지 않도록 해야 한다.

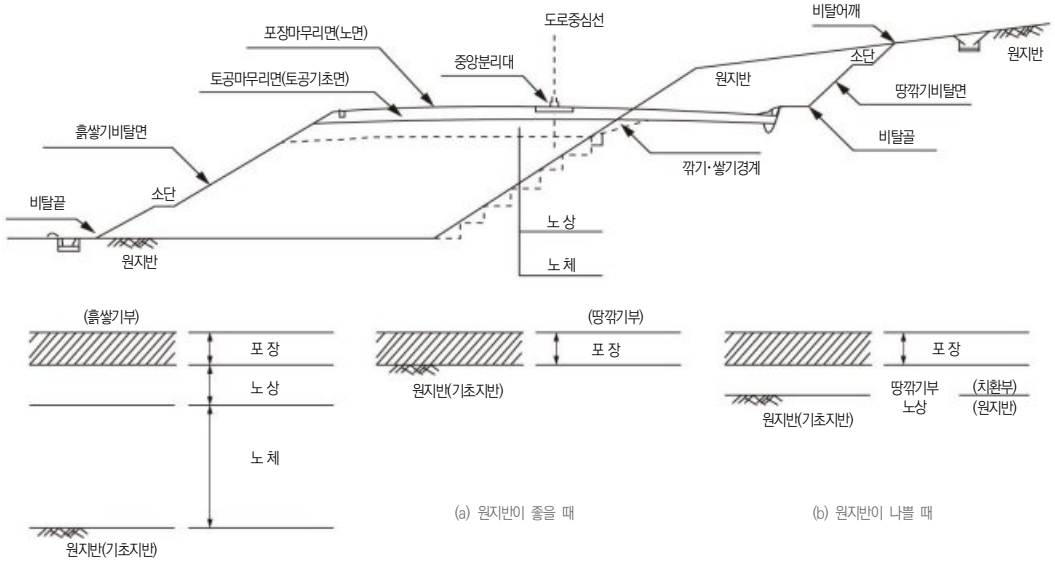
한편 하천제방, 택지 및 필댐은 지수, 물막이, 저수를 목적으로 하는 쌓기비탈면이므로 유수, 월류, 침투수 등에 의한 세굴, 퀵샌드(Quick sand), 파이핑(Piping)의 방지와 이것에 의한 비탈면 붕괴가 발생 되지 않도록 조치하여야 한다.



〈그림 2-13〉 쌓기비탈면의 대표 단면(건설공사 비탈면 설계기준(2011))



〈그림 2-14〉 쌓기비탈면의 대표단면(한국도로공사)

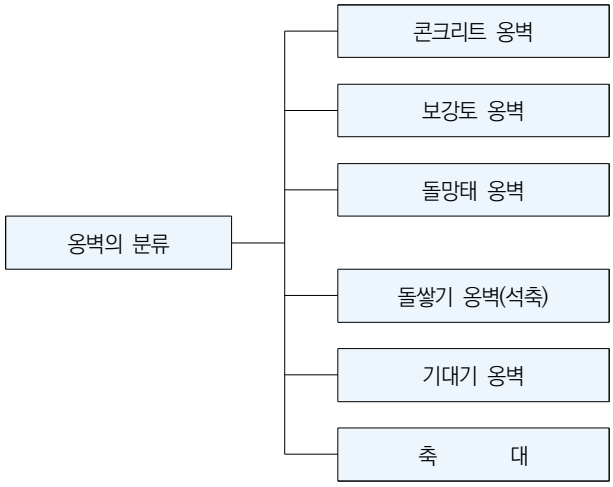


〈그림 2-15〉 땅깎기 및 흙쌓기 부위의 명칭(국가건설기준 KDS 44 30 00 도로 토공)

(3) 옹벽 및 축대

옹벽은 '흙 또는 암반으로부터 안정을 유지하기 어려운 곳에 붕괴를 방지하고 사용 목적에 따른 기능을 수행하기 위하여 설치하는 구조물'을 말하며, 축대는 '구조물 상부 부지를 평평하게 조성하여 활용할 목적으로 높이 쌓아 올린 시설물'로서 옹벽의 일종으로 볼 수 있다.

옹벽은 콘크리트, 블록, 돌 등의 다양한 재료를 사용하여 지반을 안정화하여 옹벽 상부 또는 하부의 시설물을 보호하는 시설물로 사용 재료와 구조적 특성에 따라 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 돌망태 옹벽, 돌(블록)쌓기 옹벽(석축), 기대기 옹벽, 축대 등으로 분류할 수 있다.

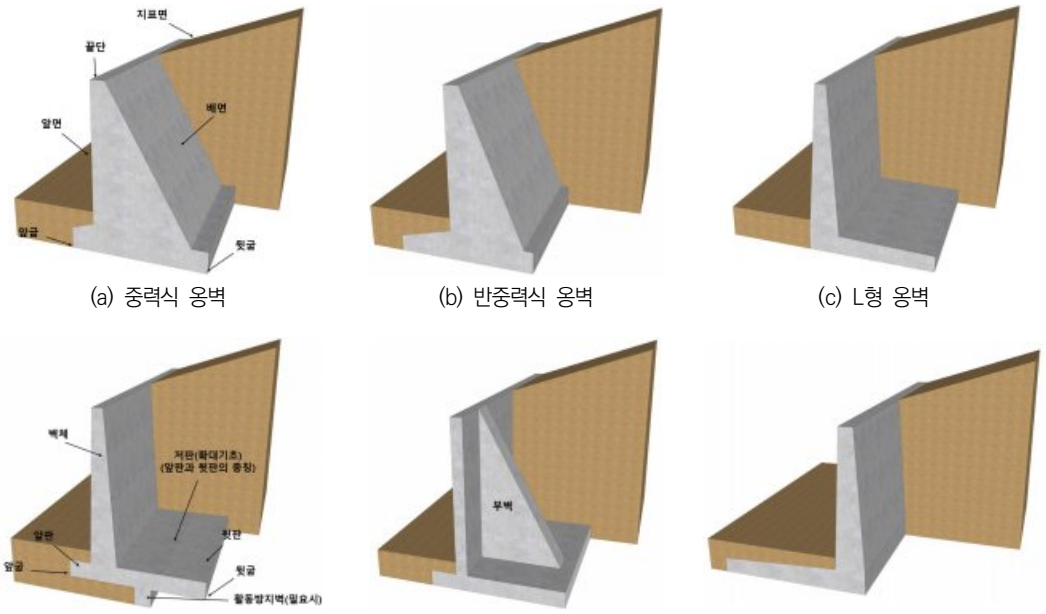


〈그림 2-16〉 옹벽의 분류

콘크리트 옹벽

콘크리트 옹벽은 비탈면의 안정성을 유지하고 옹벽 전면 또는 배면에 공간을 확보하기 위해 설치하며, 옹벽의 형식은 중력식, 반중력식, 캔틸레버식, 부벽식 등으로 분류한다.

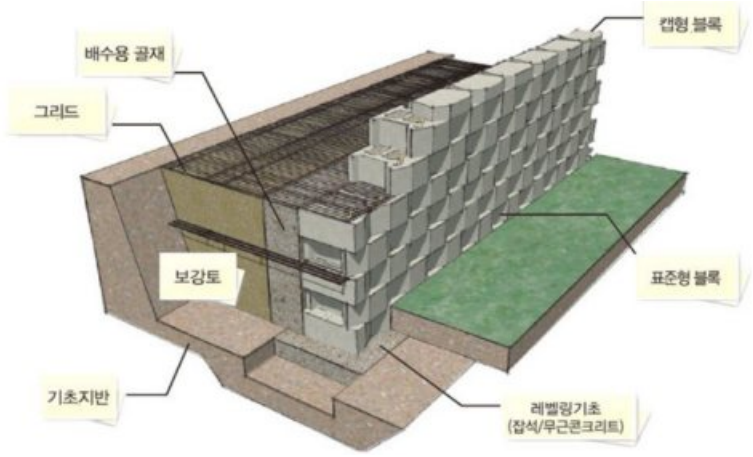
콘크리트 옹벽은 옹벽과 기초지반 사이의 파괴, 옹벽배면 지반의 파괴와 옹벽을 지지지하는 기초지반의 파괴가 발생하지 않도록 설계해야 하며, 콘크리트 옹벽의 설계수명기간 동안 과도한 변형, 단면손상 및 파괴가 발생하지 않아야 한다.



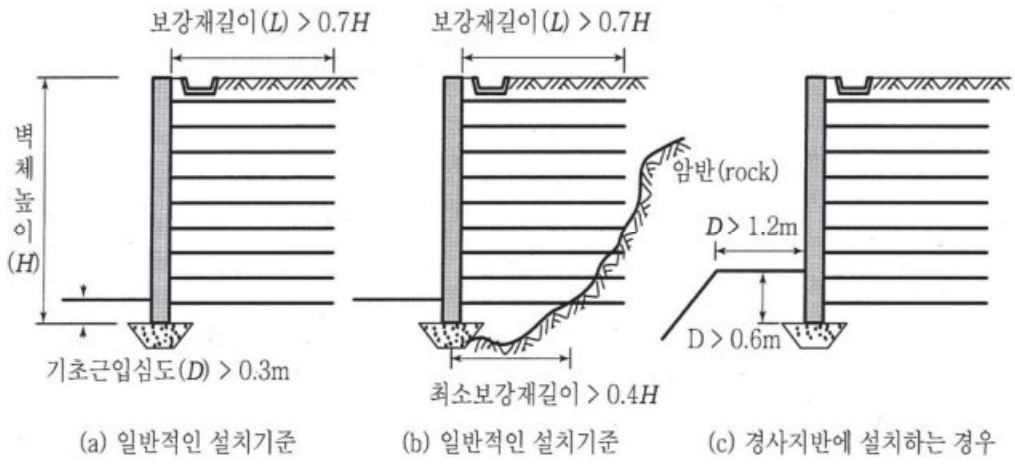
〈그림 2-17〉 콘크리트 옹벽의 분류

보강토 옹벽

보강토 옹벽은 금속(스트립, 그리드 등) 또는 토목섬유 보강재(지오텍스타일, 지오그리드, 띠형 섬유 등)의 인장저항력과 흙과의 마찰저항력을 활용함으로서 수직에 가까운 보강토체를 형성하여 옹벽의 기능을 수행하며, 전면판의 형식과 보강재의 재질 및 삽입방법에 따라 구분할 수 있고 국내에서 적용되는 일반적인 형식으로는 블록형과 패널형으로 대별할 수 있다.



〈그림 2-18〉 보강토 옹벽의 구성



〈그림 2-19〉 보강토 옹벽의 설치기준

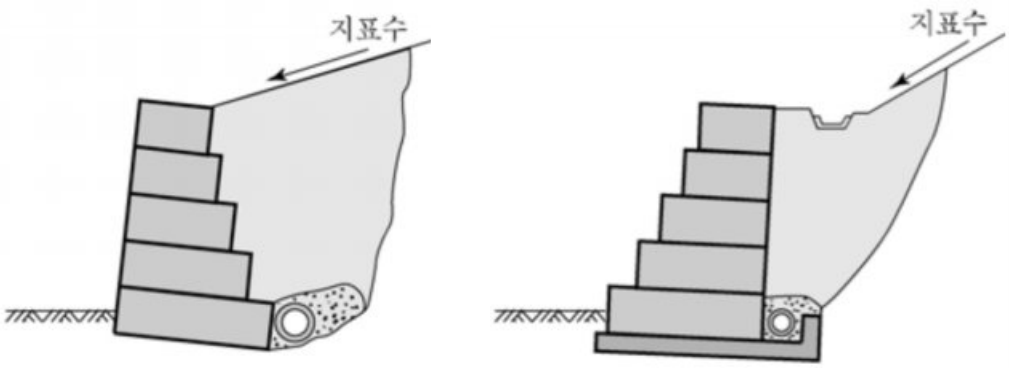
돌망태 옹벽

돌망태 옹벽은 일정한 규격으로 짜여진 철망에 중량의 사석 또는 잡석을 채워 쌓음으로써 중력식 옹벽과 같이 자중에 의해서 배면토압에 저항하는 옹벽의 한 종류이며, 돌망태 옹벽의 주요부재는 철망과 채움재로 이루어진다.

돌망태 옹벽은 철망의 일부가 부식, 손상 또는 파손되더라도 원래의 형상을 유지하고 옹벽의 기능을 유지할 수 있어야 하며, 채움재로 사용되는 돌은 철망의 망목 보다 크고 장기적인 내구성을 지닌 재료를 사용해야 한다.

돌망태 옹벽은 수직전면형으로 설치하는 경우는 시공 중 변형과 장기적인 안정성을 고려하여 전면부분이 6°~10° 이상 뒤로 경사지게 설치하며, 평지의 경우 0.3m이상, 경사지반의 경우 0.6m이상 기초지반에 근입되도록 한다.

또한 옹벽배면의 지표 경계면에 부직포 등을 설치하여 배면의 토사가 유출되지 않도록 해야 하며, 옹벽 배면 또는 옹벽 전면에서 지표수가 유입되는 지형에서는 별도의 배수시설을 설치하여야 한다.



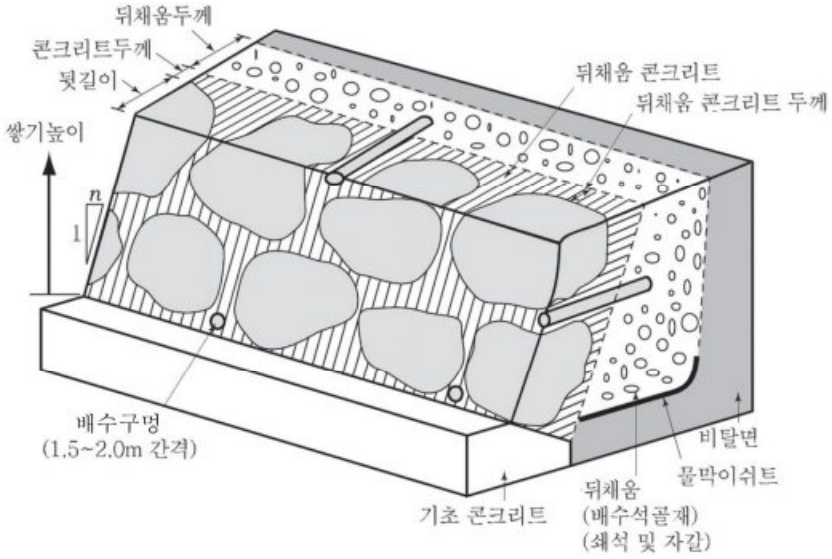
(a) 옹벽배면의 맹암거와 유공간　　(b) 표면배수 및 옹벽배면 앵암거

〈그림 2-20〉 돌망태 옹벽의 배수시설

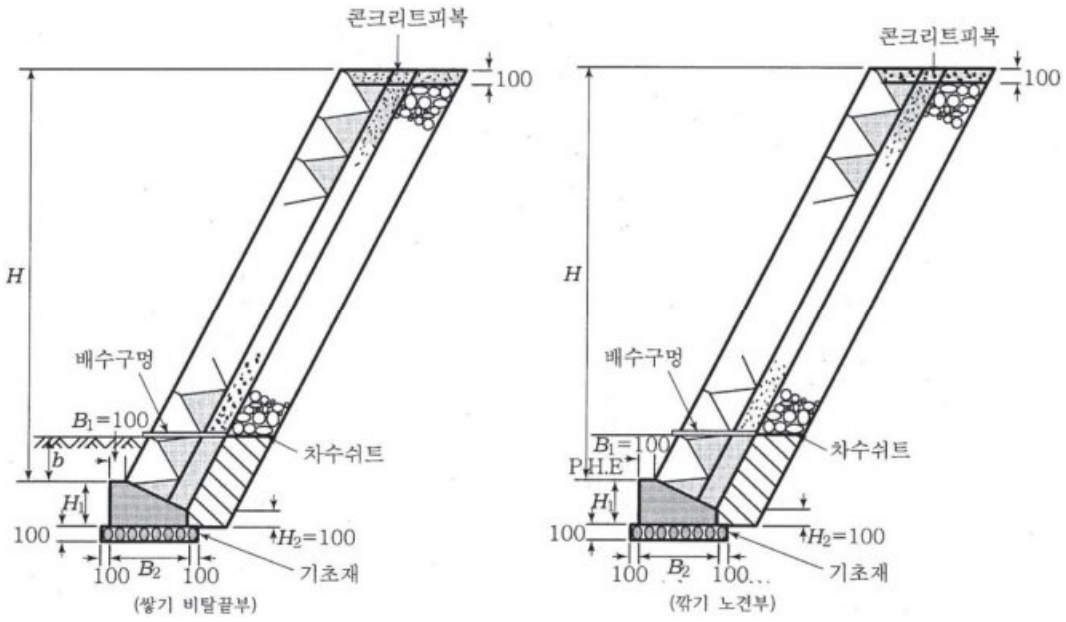
돌(블록)쌓기 옹벽

돌(블록)쌓기 옹벽은 과거부터 석축(石築)이라는 용어로 흙이 무너지지 않거나, 비탈면 표면 보호용으로 사용되어 왔으며, 다듬은 돌(또는 콘크리트 블록)을 비탈면 표면에 쌓는 방법으로 돌의 틈새에 모르타르나 그라우트를 채운 찰쌓기와 채우지 않은 메쌓기로 구분할 수 있다.

돌(블록)쌓기 옹벽은 일반적으로 표준선정 도표에 제시된 옹벽규격을 선택하여 적용하며, 한계높이는 7m로 하며, 찰쌓기는 5m, 메쌓기는 3m를 표준으로 하며, 이보다 높게 설계하고자 할 때는 중력식 옹벽으로 고려하여 옹벽의 두께와 기초의 크기를 결정하여야 한다.



〈그림 2-21〉 돌(블록)쌓기 옹벽(석축)의 구성



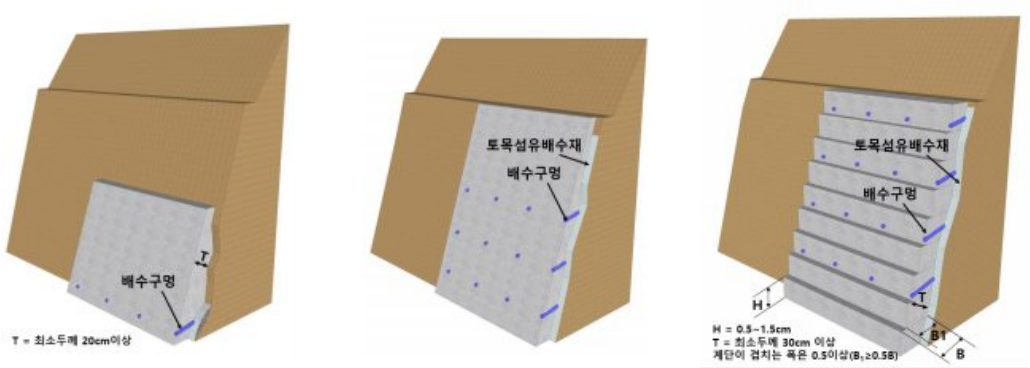
〈그림 2-22〉 돌(블록)쌓기 옹벽(석축)의 단면 및 배수시설(단위:mm)

기대기 옹벽

기대기 옹벽은 깎기비탈면 하단부의 지지력이 상실된 공간이 발생하여 추가적으로 암이탈이 발생할 위험성이 높거나 단층 등의 파쇄대 발달에 의한 깎기비탈면의 침식 등으로 불안정성이 예상될 때 비탈면의 안정성을 높이기 위해 적용하는 공법이다.

기대기 옹벽은 비탈면에 기대어 평행하게 설치하는 합벽식 옹벽, 비탈면 하부에 지지력이 상실된 공간에 콘크리트 등을 채우는 버트리스(buttress)옹벽, 계단형태로 옹벽을 만들어 이탈과 붕괴를 방지하는 계단식옹벽으로 구분될 수 있으며, 형식에 따라 최소 200~300mm 이상의 벽체두께를 확보하여야 하고, 배수공, 토목섬유 배수재 등을 설치하여 옹벽배면으로 유입되는 지하수를 적절히 배수처리하여 수압이 안정성을 저해하지 않도록 해야 한다.

기대기 옹벽은 비탈면에 밀착되어 비탈면의 안정성을 확보하는 방식으로 옹벽과 비탈면의 일체성을 확보하기 위하여 시공 중 거푸집 변형에 의한 공동이 발생되지 않도록 주의해야 한다.



(a) 버트리스 옹벽 (b) 합벽식 옹벽 (c) 계단식 옹벽

〈그림 2-23〉 기대기 옹벽의 종류

축대

축대(築臺)는 사전적으로 '돌이나 기타 재료를 높이 쌓아 올려 만든 대나 터'를 의미하며, 공학적으로는 옹벽의 일종으로서 옹벽은 옹벽 상부에 비탈면이 존재하나, 축대의 경우 상부를 편평하게 조성하는 구조물이다.

축대는 예로부터 경험적인 판단에 의해 돌 등의 재료를 적절히 엇물리게 쌓아 이탈, 전도, 붕괴 등을 방지하도록 설치되어 왔기 때문에 축조된지 오랜기간이 경과 할수록 설계기준, 도면 등의 근거가 없고, 구조적 안정성을 판단하기 어려우며, 장기적으로 틈새에 토사 등이 유입되어 배수효율이 저하되거나, 폭우시 과도한 수압상승 등에 의해 붕괴사고 발생비율이 높다.

따라서, 축대는 가급적 콘크리트 옹벽이나 보강토옹벽 등으로 대체 적용하되, 불가피하게 사용해야 하는 경우 중력식 옹벽으로 고려하여 안정성을 확보할 수 있도록 해야 한다.

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 3 장

급경사지 지질·지반공학적 특성 및 붕괴 요인

3.1 개요

3.2 급경사지의 지질·지반 특성

3.3 급경사지 붕괴 요인

3.4 급경사지 붕괴 유형

3.5 급경사지 붕괴사례

제3장 급경사지 지질·지반공학적 특성 및 붕괴 요인

3.1 개요

국토의 63% 정도가 산지로 이루어진 지형 특성을 고려해 보면 국토 전반적으로 생활권의 확장에 따른 산지 및 택지 개발 등으로 인한 급경사지가 지속적으로 증가하는 상황이며, 이러한 급경사지는 대부분이 생활권 내지 시설지와 연접해 있어 해빙기 및 하절기 집중호우 시에 급경사지 붕괴와 같은 재해가 발생하고 있어 위험 급경사지에 대한 효율적인 관리가 필요하다.

급경사지 붕괴의 발생에 대한 지질학적 영향은 지질구조적 요인과 모암의 암석별 요인으로 구분하여 설명할 수 있다.

지질구조적인 요인은 단층, 절리 및 풍화로 구분되며, 단층의 경우 단층에 의한 파쇄대는 풍화가 빨리 진행되어 연약층을 형성하고 지하수로의 역할을 하여 비탈면붕괴를 촉진시킨다.

절리의 경우 절리의 경사방향과 비탈면의 경사방향이 같게 되면 비탈면의 안정성은 감소하게 되며 비탈면의 경사보다 절리의 경사가 낮은 경우 중력에 의해 암비탈면 붕괴발생이 용이하게 된다.

풍화의 경우 풍화도가 높을수록 단위중량과 내부마찰각이 감소하고 물을 많이 흡수하게 되어 전단저항력이 감소하게 되므로 비탈면 붕괴 발생이 용이하게 된다.

모암에 기인하는 암석 종류별 요인은 변성암, 퇴적암, 화성암으로 구분하여 설명할 수 있다.

변성암의 경우 엽리방향과 절리가 비탈면의 경사방향과의 관계에서 불리한 조건일 때 비탈면 안정성에 많은 영향을 준다.

퇴적암의 경우 투수성이 큰 사암, 석회암 등이 혈암 혹은 토사층과 함께 존재하면 비탈면 붕괴의 가능성이 커지며 활동면은 토사층과 암반층 사이의 경계구간에서 일반적으로 발생하고 있으며, 퇴적암의 특징인 층리면을 따라 평면파괴 형태의 비탈면 붕괴도 다수 발생하고 있어,

퇴적암 지역에서의 비탈면 방향과 층리 방향의 관계를 면밀히 고려하여야 한다.

화성암의 경우 변성암과 퇴적암에 비하여 비탈면 붕괴의 발생빈도가 작지만 분출암에서는 비탈면 붕괴의 발생가능성이 높다.

대부분의 비탈면에서 안정성과 직·간접적으로 영향을 주는 요인들은 이와 같이 비탈면이 위치한 지역의 지질적 특성, 지반의 물리적 특성, 식생 특성 등은 급경사지의 안정성에 영향인자로 작용한다. 또한 식생, 함수비 등도 직·간접적으로 비탈면의 안정성에 영향을 주는 인자들이므로 급경사지 점검 시에 고려될 필요가 있다.

3.2 급경사지의 지질·지반 특성

3.2.1 지질학적 특성

(1) 한반도의 지질

한반도에서 발견된 가장 오래된 암석은 25억년 전에 형성된 신·시생대 변성화성암이며, 그보다 더 오래된 암석은 암석의 순환을 통해 19~18억년 전에 고·원생대 변성퇴적암 및 화성암으로 변화되었다.

이들 고·원생대 암석들은 한반도의 기저를 이루며 북쪽에서 남쪽으로 낭림, 경기, 영남육괴로 나뉜다.

함경도-평안도-강원도 북부-황해도 지역의 고·원생대 암석으로 구성된 낭림육괴와 경기도-강원도 남부-충청도 지역의 고·원생대 암석으로 구성된 경기육괴는 임진강을 따라 추가령 지구대까지 동서 방향으로 발달한 임진강대에 의해 서로 나뉘며, 경기육괴는 전라도-경상도 지역의 고·원생대 암석으로 구성된 영남육괴와 화순을 포함한 전남 지역에서 태백을 포함한 강원 지역까지 북동 방향으로 발달한 옥천대에 의해 나뉜다.

옥천대는 주로 강원도에 해당하는 북서부의 태백산 분지와 남서부의 옥천변성대로 구성되어 있으며, 이들 고원생대 변성암 및 화성암들 의 대부분은 대략 35km 지하에서 형성되어 오랜 세월 동안 침식과 구조 운동에 의해 현재 지표로 노출되었다.

고생대 퇴적암은 평안도에 분포하는 평남 분지, 강원도에 분포하는 태백산 분지 그리고

옥천변성대에 주로 분포하며, 임진강대와 함경도 북동부에도 나타난다.

평남 분지와 태백산 분지는 고생대 초 캄브리아기-실루리아기 퇴적암으로 이루어진 조선누층군과 이를 부정합으로 덮는 고생대 말 석탄기-페름기의 퇴적암으로 이루어진 평안누층군으로 구성된다.

조선누층군은 해성 환경에 퇴적되었으며 주로 석회암으로 구성되어 있다.

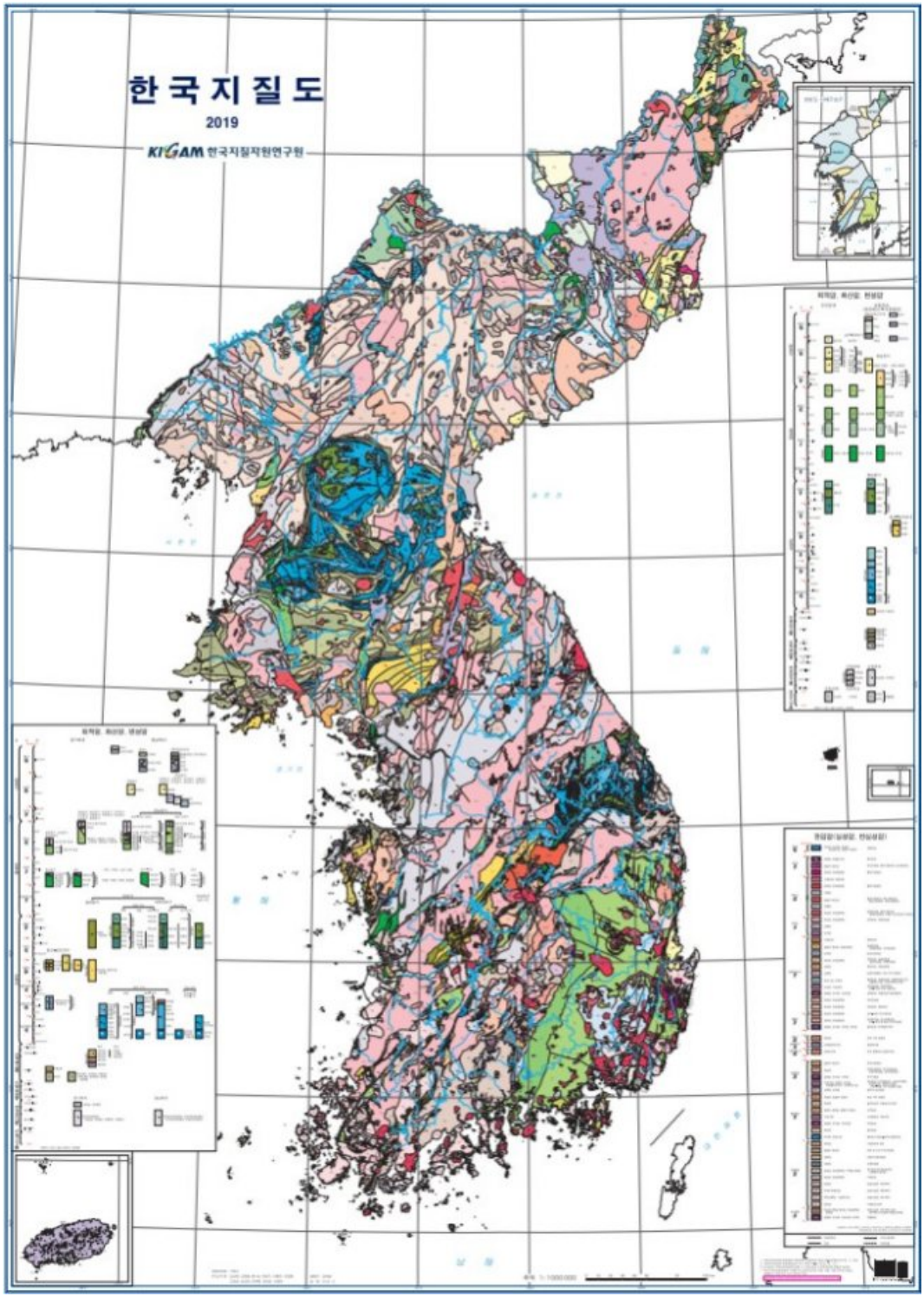
평안누층군은 주로 육성층으로 구성되어 있으며 석탄을 많이 포함하고 있다.

중생대에 해당하는 트라이아스기와 쥐라기 퇴적암은 매우 제한된 지역에서만 나타나는 반면, 백악기 퇴적암은 경상도와 전라도 지역에 넓게 분포하며 이 시기에 형성된 퇴적암을 경상누층군이라 한다.

경상누층군은 호수에 퇴적된 육성퇴적암이며 이들 호수는 공룡들에게 좋은 서식지였기 때문에, 백악기 퇴적층 내에는 공룡 발자국, 공룡 알, 공룡 뼈 등의 화석이 많이 보존되어 있으며, 고생대 말기인 페름기에서 중생대 백악기까지 한반도 주변에는 섭입대가 형성되어 이와 관련된 화성암이 광역적으로 관입하였고, 특히 쥐라기 화강암이 한반도를 광역적으로 관입함으로써 고·원생대 암석과 함께 한반도의 기저를 이루고 있으며 이때 관입한 화강암을 대보화강암이라고 한다.

신생대에 들어와서 동해가 형성되면서 일본이 한반도로부터 분리되었고 이때 한반도의 동부가 상승하여 경동지괴 지형이 형성되었으며 또한, 백두산, 울릉도, 독도, 제주도 화산과 추가령지구대가 형성되었고 함경도와 포항 지역에 신생대 퇴적암이 형성되었다.

이와 같이 한반도 지표에는 시·공간적으로 다른 시기와 환경에서 만들어진 암석, 즉 25억 년 전에서 현재까지 사이에 형성된 암석과 지하 60km 지하와 지표 사이에서 형성된 암석이 분포되어 있는 것으로 보고되고 있다.



〈그림 3-1〉 한반도 지질도 (한국지질자원연구원, 2019)

(2) 암종별 지질학적 분포 특성

한반도의 2/3 이상은 화강암과 변성암으로 구성되어 있다.

화강암은 주로 쥐라기와 백악기 화강암인 대보 화강암과 불국사 화강암으로 구성되어 있으며, 쥐라기 화강암은 백악기 화강암보다 상대적으로 깊은 곳에서 마그마가 굳어 형성되었기 때문에 일반적으로 백악기 화강암에 비해 더 조립질이다.

이들 화강암은 대부분 유백색이지만 홍색을 띠는 알카리 화강암도 있다.

일부 화강암은 지하 깊은 곳에서 구조 운동을 받아 엽리를 보여주며 이를 엽리성 화강암이라 부르고 지하 깊은 곳에서 아주 강한 구조 운동을 받는 경우 압쇄암으로 변하기도 하며 이러한 방향성을 보이는 화강암들은 호남 전단대를 포함한 주향이동 단층을 따라 나타난다.

변성암은 주로 편마암으로 구성되어 있으며, 셰일, 사암, 석회암, 염기성 화성암 기원의 변성암인 편암, 규암, 대리암, 각섬암이 임진강대와 옥천변성대를 중심으로 나타난다.

편마암은 퇴적기원의 편마암과 화성기원의 편마암으로 구분할 수 있다.

퇴적기원의 변성암은 호상 편마암으로 주로 나타나며, 화성기원의 변성암은 주로 반정질 편마암으로 나타난다.

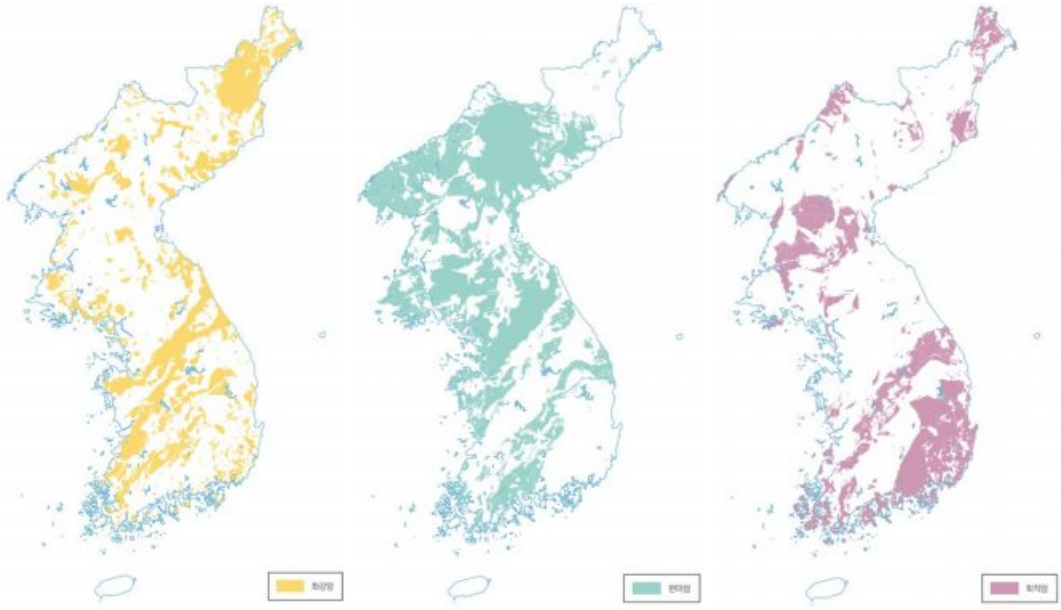
그리고 이들 편마암이 모두 강한 변성작용을 받으면 암석의 일부분이 녹아 혼성질 편마암으로 변하며 일부 반정질 혹은 호상 편마암은 심부에서 구조운동을 받아 안구상 편마암으로 변화되기도 한다.

퇴적암은 셰일, 사암, 역암, 석회암이며, 평남 분지, 태백산 분지와 경상 분지에 주로 분포한다.

경상 분지를 포함한 백악기 분지들에서는 퇴적암과 함께 용암이 굳어서 만들어진 화산암, 화산 폭발 쇄설물이 쌓여서 만들어진 화산쇄설암인 응회암이 나타난다.

이들 화산암 및 응회암은 대부분 산성 및 중성 성분을 갖는 유문암질이나 안산암질이며, 백두산, 독도, 울릉도 화산 상부도 유문암질이 안산암질 화산암 및 응회암로 구성되어있는 반면에 백두산 하부의 용암대지와 제주도의 대부분은 염기성 화산암인 현무암이나 조면현무암으로 구성되어 있다.

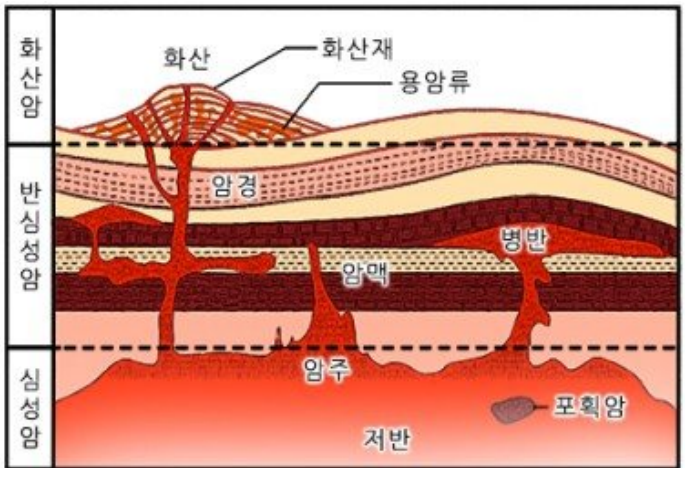
백두산에는 용암이 매우 빠른 속도로 식어 유리질로만 만들어진 흑요석이 나타나며, 백두산과 제주도에는 기공이 많은 화산쇄설암인 스코리아와 부석이 나타난다.



〈그림 3-2〉 한반도의 주요 암석 분포 (한국지질자원연구원, 1995)

① 화성암

화성암은 마그마가 지표로 나오거나, 지각 내에서 냉각·응고된 암석을 말한다. 화성암은 암석화된 지점을 기준으로 화산암(또는 분출암), 반심성암, 심성암으로 구분할 수 있다.



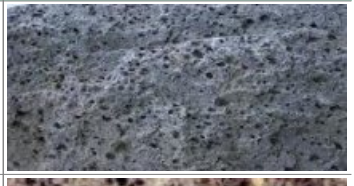
〈그림 3-3〉 화성암 산상 (사이언스올)

(가) 화산암 또는 분출암

- 정의 : 마그마가 지표 또는 지하 얕은 곳에서 응고된 암석
- 조직 : 세립질(마그마가 지표에 노출되면서 급격히 응고되어 암석의 결정이 작은 조직)
- 종류 : 현무암, 안산암, 유문암 등
- 특징 : 불규칙한 절리 발달이 특징으로 낙석, 소규모 붕괴 가능

〈그림 3-4〉 화산암의 불규칙한 절리 양상

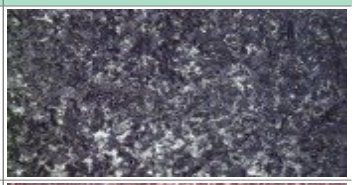
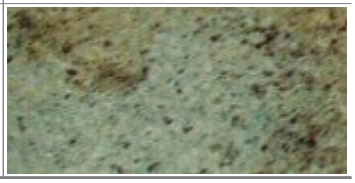
〈표 3-1〉 대표적 화산암의 구분

화성암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
화산암	현무암	- 암색 : 흑색, 회색 - 주요광물 : 감람석, 휘석, 사장석 - 특징 : 구멍이 많으며, 표면이 거침	
	안산암	- 암색 : 흑색 - 주요광물 : 사장석, 휘석, 각섬석 - 특징 : 세립질, 반암질 암석	
	유문암	- 암색 : 흰색 - 주요광물 : 석영, 알칼리장석, 사장석 - 특징 : 일부 물결무늬 관찰	

(나) 반심성암

- 정의 : 심성암과 화성암의 중간적 조직을 나타내는 화성암
- 조직 : 완정질(조립질)로 중립질의 반상 조직을 나타냄
- 종류 : 휘록암, 반암, 석영 반암 등
- 특징 : 관입암 형태의 암맥상태로 존재. SiO2 함량이 65% 이상으로 흰색을 띠는 암석을 산성암맥이라 함. 일반적으로 관입암 형태로 존재하기 때문에 차별풍화에 의해 공학적 강도에 차이가 나타나기도 함.

〈표 3-2〉 대표적인 반심성암의 구분

화성암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
반심성암	휘록암	- 암색 : 암록색, 흑록색, 회록색 - 주요광물 : 사장석, 휘석, 각섬석 - 특징 : 입상조직	
	반암	- 암색 : 보통황색, 백색, 회색 - 주요광물 : 알칼리장석, 석영 - 특징 : 세립의 석기 속에 많은 반정 관찰	
	석영 반암	- 암색 : 회백색, 회색, 암회색, 녹회색, 담갈색, 갈색 - 주요광물 : 석영, 정장석, 사장석, 운모 - 특징 : 반상조직을 가지며 세립질	

(다) 심성암

- 정의 : 마그마가 지하 심부에서 응고된 암석
- 조직 : 조립질 (마그마가 지각 내 천천히 응고되어 암석의 결정이 커진 조직)
- 종류 : 반려암, 섬록암, 화강암 등

〈표 3-3〉 대표적인 심성암의 구분

화성암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
심성암	화강암	- 암색 : 유백색, 담홍색, 담회색 - 주요광물 : 장석, 석영, 운모 - 특징 : 층상절리 발달	
	섬록암	- 암색 : 회색, 회녹색 - 주요광물 : 사장석, 각섬석, 휘석 - 특징 : 반자형입상 조직, 석영과 알칼리 장석은 사장석 결정의 틈을 메우는 형태	
	반려암	- 암색 : 녹색, 어두운색 - 주요광물 : 사장석, 휘석 - 특징 : 반짝거림	

② 퇴적암

퇴적암은 물과 바람 등으로 운반된 광물이 지표의 낮은 압력과 낮은 온도 상태에서 퇴적작용을 거쳐 만들어진 암석을 말하며 생성원인에 따라 쇄설성 퇴적암과 비쇄설성 퇴적암으로 구분할 수 있다.

〈그림 3-5〉 퇴적암 생성과정(edunet.net)

(가) 쇄설성 퇴적암

- 정의 : 모암이 풍화, 침식, 화산작용 등을 겪고 부스러진 암석입자들이 운반작용에 의해 쌓여 형성된 암석
- 종류 : 셰일, 사암 역암

㉠ 이암

- 정의 : 주로 점토로 이루어진 세립질의 퇴적암으로, 표면이 알갱이로 잘게 부서지는 슬래킹(slaking)이 특징
- 특성 : 점토로 이루어진 세립지의 이암이 풍화가 진행되면서 물을 흡수하면 암이 팽창되면서 시멘트 밀크처럼 흐르는 등 공학적으로 매우 취약함
- 주요 분포지역 : 경상북도 포항, 경주, 경상남도 울산 등지

〈그림 3-6〉 이암

㉡ 셰일

- 정의 : 주로 입자의 크기가 작은 진흙이 퇴적되어 오랜 세월동안 쌓이면서 단단하게 굳어져 형성된 퇴적암
- 특성 : 층리가 발달하여 풍화에 대한 저항성이 약하고, 쪼개짐이 우수하여 공학적으로 취약
  : 층리면의 방향에 따라 대규모 평면파괴 발생 가능성 있음
  : 다른 암과 교호될 경우 셰일 노출부분이 차별풍화로 먼저 약화되며 셰일 상부의 지지력 상실로 낙석 발생원인 제공
- 주요 분포지역 : 경상남(북)도 일대, 옥천대 지역

〈그림 3-7〉 셰일

ⓒ 사암

- 정의 : 지름이 0.063~2mm인 모래 크기의 입자들이 쌓여 고화된 퇴적암
- 특성 : 근접 관찰 시 특별한 암조직은 없으며, 반투명 모래(석영) 알갱이로 구성되어 있어 햇빛에 광택을 발산
  : 신선한 암은 암반강도가 강함
- 주요 분포지역 : 경상남(북)도, 전라북도, 강원도 일대

〈그림 3-8〉 사암

㉣ 역암

- 정의 : 쇄설성퇴적암 중 2mm 이상의 크기를 갖는 입자가 우세한 암석
- 특성 : 자갈(역)과 바탕 암과의 차별풍화 현상으로 낙석 발생 가능성 있음
  : 역암 기질의 함양량이 클수록 더 단단함
- 화산각력암과 구별 : 자갈(역)이 둥글게 마모

〈그림 3-9〉 역암

〈표 3-4〉 쇄설성퇴적암의 구분

퇴적암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
쇄설성 퇴적암	이암	- 퇴적물 : 실트, 점토 - 촉감 : 부드러움 - 특징 : 무르고 잘 부서짐	
	셰일	- 퇴적물 : 점토 - 특징 : 쪼개짐 관찰	
	사암	- 퇴적물 : 모래 - 촉감 : 절리면이 비교적 까칠함 - 특징 : 층리발달 미약 세립질화강암과 조직 유사	
	역암	- 퇴적물 : 자갈(역) - 촉감 : 거칠지만 자갈(역)은 부드러움 - 특징 : 층리발달 미약	

(나) 비쇄설성 퇴적암

- 정의 : 생물학적, 화학적 침전으로 만들어진 퇴적암
- 종류 : 석회암, 탄층, 석고 등

㉠ 석회암

- 정의 : 주로 탄산칼슘 성분으로 이루어진 퇴적암
- 특성 : 화학적 풍화에 취약하여 낙석이 쉽게 발생
  : 단층과 습곡이 관찰되기도 함
  : 대규모 붕괴로 인한 테일러스(talus, 애추)가 형성되는 경우가 있음.
  : 용식작용(암석이 물에 의해 화학적으로 용해되는 작용) 발생 가능
  : 석회암이 풍화된 토사지반은 강도가 매우 약하여 붕괴 가능성이 높음
- 주요 분포지역 : 충청북도 제천, 단양, 강원도 영월, 삼척, 정선, 태백 등지

〈그림 3-10〉 평면파괴 취약 석회암 구성 암반비탈면

㉡ 탄층

- 정의 : 탄소분을 함유한 석탄으로 이루어져 있는 퇴적암
- 특징 : 우리나라에서는 사암이나 셰일 사이에서 교호로 분포하고 있음
  : 수십 cm ~ 수 m 폭으로 노출 (우리나라 평균 : 1m 내외)
  : 지하수와 접촉하게 되면 탄층의 강도가 감소되어 붕괴 가능성이 높아짐
- 주요 분포지역 : 강원도 태백, 충청북도 단양, 보은, 전라남도 화순 등지

〈그림 3-11〉 탄층으로 구성된 지반 붕괴사례

〈표 3-5〉 비쇄설성퇴적암의 구분

퇴적암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
비쇄설성 퇴적암	석회암	- 암색 : 회색 우세 흰색~흑색 다양함 - 구성 : 탄산칼슘 - 특징 : 층리 조밀 발달	
	탄층	- 암색 : 흑색 - 구성 : 석탄 - 특징 : 물에 취약	

③ 변성암

변성암은 기존 암석이 생성 당시와 다른 온도, 압력, 화학적 조건에서 새로운 광물조직으로 변한 암석을 말하며, 변성암에서 엽리 유·무에 따라 크게 엽리상 변성암, 비엽리상 변성암으로 구분할 수 있다.

(가) 엽리상 변성암

- 정의 : 엽리가 관찰되는 변성암
- 종류 : 편마암, 편암, 천매암 등

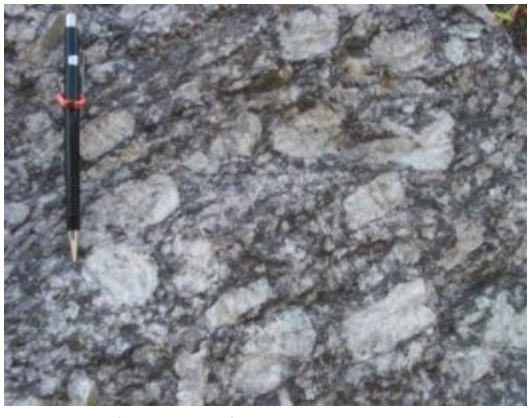
㉠ 편마암

- 정의 : 기존의 암석이 고온 고압의 변성과정을 받아 생기는 암석으로 굵은 편리가 발달하여 있고, 큰 결정으로 이루어져 있음
- 특징 : 입도가 큰 두 종류 이상의 광물들이 층을 이루고 있음
  : 운모, 녹니석과 같은 판상 광물의 함유량이 적음
- 종류
  - 화강편마암 : 화강암과 혼돈되기 쉬우며, 엽리가 관찰됨
  - 호상편마암 : 밝은 띠와 어두운 띠가 층을 이루며 나타남
    풍화가 진행되면 어두운 띠가 상대적으로 약대가 됨
  - 안구상편마암 : 눈알 모양의 문양이 관찰
  - 반상변정질편마암 : 어두운 바탕에 정방형의 밝은색 광물이 관찰

〈그림 3-12〉 화강편마암

〈그림 3-13〉 호상편마암

〈그림 3-14〉 안구상편마암



〈그림 3-15〉 반상변정질편마암

㉡ 편암

- 정의 : 석운, 운모 등의 광물 입자가 옆으로 배열된 연한 회색인 갈색을 띄는 변성암
- 특징 : 편마암보다 작은 광물 결정들로 구성되며, 변성작용에 의해 생긴 면구조인 편리 구조가 존재
  : 편리는 쪼개짐이 우세하므로 방향성에 따라 대규모 붕괴 가능성 있음
  : 판상광물이 편리를 따라 배열되는 것이 특징임

〈그림 3-16〉 도로방향의 편리 발달

〈그림 3-17〉 편암비탈면 붕괴

㉢ 천매암

- 정의 : 석영, 세리사이트지운모, 녹니석으로 구성된 엽리상 변성암
- 특징 : 얇은 박편으로 쪼개지는 성질이 우세
  : 서로 다른 얇은 층이 평행하게 발달하는 박리 존재
  : 벽개 내지 편리의 표면을 따라 금색 광택을 보임

〈그림 3-18〉 도로방향의 박리 발달

〈표 3-6〉 대표적인 변성암의 구분

변성암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
엽리상 변성암	편마암	- 특징 : 광물조직은 화강암과 유사 밝은 띠와 어두운 띠가 반복	
	편암	- 특징 : 편마암과 엽리 형태 유사 조직의 육안관찰이 어려움	
	천매암	- 특징 : 쪼개짐이 우세함	

(나) 비엽리상 변성암

- 정의 : 엽리가 관찰되지 않는 변성암
- 종류 : 규암, 혼펠스 등

㉠ 규암

- 정의 : 각암이나 규질의 사암에 열에 의한 접촉변성작용이 일어나 형성된 변성암
- 특징 : 석영이 재결정하여 이루어져 있으며 매우 단단함
  : 광물 알갱이의 경계가 뚜렷하지 않고 서로 잘 결합되어 있어 줄무늬도 없음
  : 지질해머 내지 못으로 긁어도 잘 긁히지 않음

〈그림 3-19〉 규암 내 발달하는 판상절리 형태

㉡ 혼펠스

- 정의 : 염기성화성암이 접촉변성작용을 받으면 사장석과 각섬석을 주성분으로 하는 혼펠스를 만듦
- 특징 : 입자의 크기가 조밀하고 밀도가 높은 접촉 변성암
  : 균일하고 세립인 입자들이 방향성 없이 모자이크 상태로 노출

〈그림 3-20〉 혼펠스

〈표 3-7〉 비엽리상 변성암의 구분

변성암			
분류	암석명	야외특징 및 구분방법	암석사진
비엽리상 변성암	규암	- 특징 : 암석강도가 매우 강함 석영입자가 치밀, 견고함	
	혼펠스	- 특징 : 모자이크 형태로 입자 배열	

(3) 암종별 구조적 특징

① 화강암

화성암은 지하 심부에서 지표까지 분출되는 과정 중에서 지하 심부에서 생성된 심성암의 일종으로 완결정질 구조를 가지며, 오랜 지질 시간 동안 지각운동으로 인해 노출된 화강암은 응력 해방으로 인해 절리가 생성되고, 이들 절리를 따라 오랜 시간 동안 기계적 풍화작용을 받는다.

풍화작용에 따른 화강암의 구조적 특징은 다음과 같다.

- 풍화단계 : 괴상(초기) ⇒ 규칙적인 절리암반(중간) ⇒ 핵석, 풍화토(최종)
- 층상절리(sheeting joint : 압력이 제거되어 생기는 절리로 지표면에 평행하게 발달함)에 의한 평면파괴 위험성 내포
- 층상절리의 경사각이 40°이상인 경우 미끄럼 방지를 위한 대책공법 필요
- 화강풍화토(급격한 물리적·화학적 풍화에 의해 생성됨)는 흘러내림이나 붕괴 가능성을 고려한 대책공법 필요

〈그림 3-21〉 풍화단계별 화강암 양상

〈그림 3-22〉 화강암질 비탈면 내 발달한 층상절리 양상

〈그림 3-23〉 화강풍화토 비탈면의 침식 및 세굴 현상

② 퇴적암

층리는 암석이 만들어질 때 구성입자들의 퇴적순서에 따라 층을 이루며 쌓이는 것을 말하며, 퇴적암을 구별할 수 있는 가장 큰 특징이다.

층리의 경사가 깎기비탈면의 경사보다 작고 암반의 내부마찰각보다 크면 대규모 붕괴 가능성이 높고 경사가 20°이하로 매우 완만한 층리면에서도 강우 시 충전물질의 강도 감소로 붕괴가 발생하는 경우도 있으며, 비탈면과 유사한 방향의 층리가 관찰되는 깎기비탈면은 유지관리에 주의가 요구된다.

〈그림 3-24〉 퇴적암질 비탈면 내 층리구조

③ 변성암

퇴적암은 퇴적물이 이동하여 퇴적되는 과정을 통해 쌓이면서 층상으로 쌓이는 평행한 구조인 층리구조(bedding structure)를 갖는 반면에 변성암은 광역변성작용으로 인해 압력을 받는 방향에 수직방향으로 광물 입자들이 눌려지면서 두 종 이상의 광물들이 교대로 늘어선 판상의 가로줄 무늬를 갖는 엽리구조(foliation structure)를 갖는다.

〈그림 3-25〉 층리구조(좌) 및 엽리구조(우)

3.2.2 지반공학적 특성

암종의 공학적 분류는 지질학적인 암석 종류와는 무관하게 암석의 강도와 전반적인 균열 상태 등을 감안하여 수행하는 방법으로, 시추코어의 형상, 탄성파속도, 일축압축강도시험, 표준관입시험, 탄성파속도 등을 병행하여 결정하기도 하며, 일반적으로 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암 등으로 구분되며, 관리기관별로 공학적 분류 기준이 상이한 경우가 많다.

다음은 국내 주요 기관별 공학적 암반 분류 사례를 나열한 것이다.

(1) 강도에 따른 암종 분류법

① 일축압축강도시험

- 정의 : 원통형 또는 각주 형태의 암석 시험편에 구속압(confining pressure)이 없는 상태에서 압축력을 작용시켜 파괴가 일어났을 때의 하중(Pc)을 시험편의 단면적(A)으로 나눈 값을 일축압축강도라고 함 (Sc = Pc / A)
- 특징 : 일축압축시험을 통해 얻어진 일축압축강도는 시험편의 형태, 크기, 함수율, 재하속도, 재하면의 거칠기 등과 같은 요소에 의해 영향을 받음

〈그림 3-26〉 일축압축시험

② 점재하시험

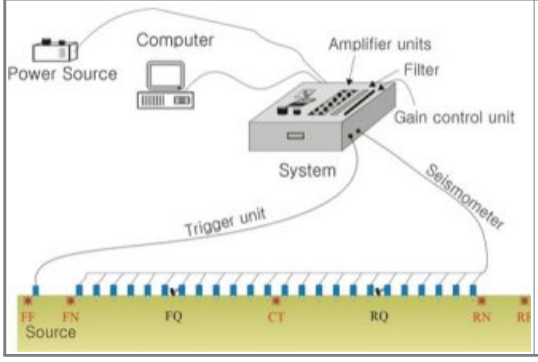
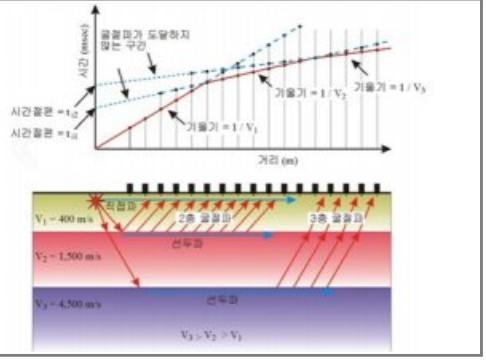
- 정의 : 시료에 점하중을 가하여 시료 내부의 인장강도가 발생하게 해서 암석을 깨뜨리는 방법으로 점재하시험과 일축압축강도와는 거의 완전한 선형관계가 있음
- 특징 : 암판정을 정량적으로 쉽고 빠르게 현장에서 수행할 수 있을 뿐만 아니라 일축압축강도를 비교적 정밀하게 추정할 수 있는 유용한 방법임

〈그림 3-27〉 점재하시험

(2) 탄성파속도에 따른 암종 분류법

① 탄성파탐사

- 정의 : 지표면이나 시추공 등에 설치된 탄성파 발생장치를 이용하여 인위적으로 탄성파를 발생시킨 후 지층 경계면에서 반사 또는 굴절되어 되돌아온 파동을 수진하여 지하의 지질구조 내지 지층의 물리적 특성을 분석하는 방법
- 특징 : 탄성파 자료해석 시 제작된 단면 또는 입체로부터 탄성파의 진포과 위상, 반사층의 연속성과 배열 형태, 속도 정보 등을 통합적으로 분석하여 지층의 구조 및 층서, 물성, 유체 정보 등을 해석

굴절법 탄성파탐사 모식도	주시곡선 개념도
	

〈그림 3-28〉 탄성파탐사(google.com)

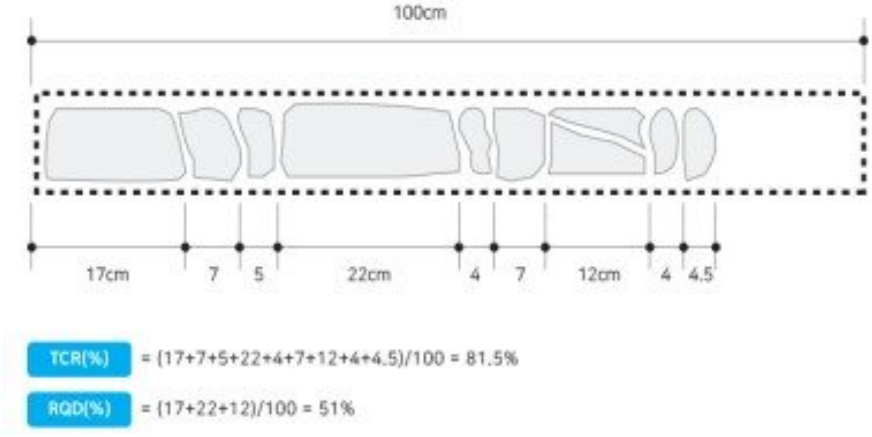
(3) 암석코아 상태에 따른 암종 분류

① 코어회수율(T.C.R)

- 정의 : 현장에서 지반의 물성 및 역학적 특성을 파악하기 위해서 코어 채취기를 이용하여 암석시료를 채취할 때 파쇄되지 않은 상태로 회수되는 정도를 의미하며 암반의 구성에 따라 시추한 암석의 길이에 대한 회수된 코어 길이를 백분율로 나타낸 것
- 특징 : 암석의 강도 추정, R.Q.D.판정, 절리와 층리의 간격 파악, 절리상태 파악, 함유물의 유무 판정 등에 활용 가능

② 암질지수(R.Q.D.)

- 정의 : 절리의 다수를 나타내는 지표로서 R.Q.D.가 크면 암반의 상태가 양호하게 안정된 상태이고, 이 반대가 되면 균열, 절리가 심한 불량한 상태의 암반을 의미함 시추코어 중 100mm 이상 되는 코어 길이의 함을 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값으로 암질의 상태를 나타내는데 사용
- 특징 : 세계적으로 널리 보편화되어 있어 신뢰성이 높고, 측정방법이 쉬우며, 직접 육안으로 판정이 가능하고 급경사지 구매 결정, 암반의 분류 등을 결정시 활용하고 있음

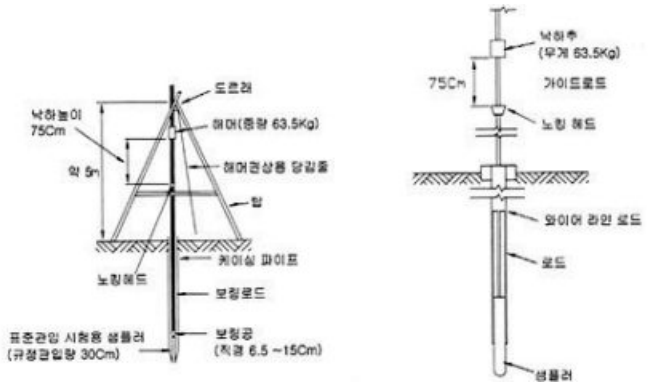


〈그림 3-29〉 T.C.R.과 R.Q.D. 관계 (geoinfo.or.kr)

(4) 표준관입시험에 따른 암종 분류

① 표준관입시험

- 정의 : 원위치에서 흑의 연경도, 상대밀도 등을 파악하기 위해 N값을 측정하는 관입 시험으로 지반의 지지력을 측정하는 시험임
- 특징 : 지반의 강도, 상대밀도, 내부마찰각 등 지반정수를 추정
  : 사질토에서 N값은 상대밀도, 내부마찰각 산정
  : 점성토에서 N값은 연경도, 전단강도, 일축압축강도 산정



〈그림 3-30〉 표준관입시험 (naver)

(5) 간편시험법에 따른 암종 분류

① 슈미트해머 시험

- 정의 : 암반 내지 콘크리트 표면경도를 측정하여 이 측정치로부터 대상체의 압축강도를 비파괴로 판정하는 방법으로 반발경도법은 타격법 중 하나의 방법으로 대상체 표면을 햄머로 타격하여 표면의 반발정도를 측정함
- 특징 : 슈미트햄머로 타격 시 반발도와 대상체의 압축강도 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 토대로, 타격 시 햄머 내의 중추 반동량을 반발도로 표시하여 이를 이용해 압축강도를 추정함

② 햄머타격 시험

- 정의 : 햄머 타격 시 부서짐 정도 내지 금속성 소리, 튕겨져 나오는 정도를 통해 암반을 주관적으로 분류
- 특징 : 풍화 정도 내지 암반 내 풍화된 절리면의 발달 유무를 현장에서 빠르게 추정할 수 있음

③ 육안식별

- 정의 : 암반이 가지고 있는 불연속면(절리, 층리, 단층 등)의 풍화 정도 및 균열의 발달 정도를 육안으로 확인함으로써 암반을 주관적으로 분류
- 특징 : 암반의 풍화 정도 및 균열 발달 상태를 쉽게 파악이 가능함

(6) 암반 분류

암반의 특성에 따라 풍화암, 연암, 보통암, 경암, 극경암으로 구분하며, 탄성파속도를 고려하여 대표적 암종 분류를 제시하였다.

〈표 3-8〉 지반조사 표준품셈 암반 분류

암반 분류	시추상황 (비트기준)	대표암종 (신선암 기준)	풍화도 (광물 변질도)	암석일축 압축강도 (MPa)	시험편 P파속도 (㎞/sec)	현장암반 P파속도 (㎞/sec)
풍화암	Metal crown bit로 굴삭, 무수보링 가능	-	암 내부까지 풍화 광물 대부분 변질	50이하	1.80이하	1.20이하
연 암	Metal crown bit로 굴삭 가능, 코어 회수율 낮음	미고결 퇴적암	암 내부까지 풍화, 광물 부분 변질	300이하	3.30이하	2.50이하
보통암	Diamond bit로 굴삭, Metal crown bit로 굴삭시 비효율	사암, 사질셰일 편암류 화산 쇄설암	불연속면을 따라 다소 풍화 진행, 광물 일부 변색	30~80	3.0~4.8	2.0~3.5
경 암	Diamond bit로만 굴삭	역암, 편마암류 화성암류	불연속면을 따라 약간 풍화 변질, 암 내부는 신선	80~150	4.3~5.7	3.1~4.8
극경암	Diamond bit의 마모율이 높음	규질암류 Hornfels Chert	대단히 신선, 광물 변질 없음	150이상	5.20이상	4.50이상
파쇄대	그라우팅이나 2중 케이싱설치가 필요한 붕괴암반	단층, 관입, 물의작용 등에 기인한 파쇄대	-	-	-	상대적 저속도대

3.3 급경사지 붕괴 요인

비탈면 붕괴는 지질학적 요인, 수리적 요인, 인위적 요인 등에 의해 발생되며, 이들의 복잡한 조합으로도 발생하기 때문에 붕괴 원인을 정확히 파악하고 이에 대처하는 것이 중요하다 (국토교통부, 2011).

유지관리의 측면에서 붕괴 발생이 가능한 비탈면을 우선적으로 분류하고 이들 비탈면에 대한 정확하고 세심한 평가를 통해서 비탈면 붕괴가 발생되지 않도록 미리 조치하는 것 또한 매우 중요하며, 정확한 붕괴 발생 원인의 규명은 대책공법의 수립에 가장 큰 기준이 되고, 붕괴가 되지 않은 부분에 대하여도 추가 붕괴 가능성을 검토하는데 중요한 역할을 하게 된다.

지질적인 요인은 지반 자체가 가지는 불연속면의 특성이 열악하거나, 파쇄대가 존재하거나, 상대적으로 취약한 암질이 포함되는 경우를 말하며, 수리적인 요인은 지표수나 지하수와 같은 유수에 의해 비탈면이 약해지는 것으로 집중호우기나 국지적인 강우에 따른 영향, 지형적으로 계곡부에 인접하여 지표수의 흐름에 민감한 지형 등을 예로 들 수 있다.

인위적인 요인은 잘못된 설계, 시공상의 부실, 유지관리상의 부실 등을 말한다.

3.3.1 자연적 요인

(1) 지질학적 요인

지질적인 요인은 지반 내에 있는 독특한 불연속면이 취약 상태로 있는 것을 의미한다.

지질적인 붕괴 요인으로 작용하는 지질구조는 단층, 습곡, 암맥, 엽리, 층리, 편리 등이 있으며, 이러한 지질구조는 주변 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하는 경향이 있으므로 비탈면 붕괴에 매우 민감하다.

특히 단층은 비탈면에서 가장 많이 관찰되는 지질적인 취약 요소로서 미끄러짐에 취약한 점토광물을 다량으로 포함하거나, 물리적, 화학적 풍화의 영향으로 쉽게 토사화되기 때문에 단층을 포함하는 비탈면은 유지관리에 신중을 기하여야 한다.

(a) 단층 (b) 습곡

〈그림 3-31〉 비탈면에서 발견되는 지질학적 취약 요소

1) 단층/전단대

암반 내 형성된 틈을 경계로 그 양측의 지괴가 상대적으로 변위가 발생하여 어긋난 것을 단층이라고 하며, 단층과 유사한 전단대는 전단응력의 영향으로 암석이 부스러지면서 형성된 뚜렷한 폭을 가진 취성 또는 연성 변형대을 말한다.

일반적으로 비탈면에서 단층은 강한 암괴가 갈라져서 변위된 것으로 구분가능하며, 전단대는 상대적으로 연약한 지반이 응력을 받아 변형을 받은 것이므로 일련의 불연속면들이 폭을 가지고 밀집되어 연속되는 형태로 노출된다.

비탈면에서는 단층조선, 단층점토, 단층각력암, 압쇄암의 존재 여부 등으로 단층과 전단대의 판별이 가능하다.

단층과 전단대의 존재는 과거 지반이 심한 변형작용을 받아 지반이 교란, 파쇄되었음을 의미하므로 비탈면 붕괴에 매우 취약한 부분이다.

단층은 일반적으로 규칙절리를 수반하는 것이 특징이므로 같은 방향의 절리가 조밀하게 반복되는 경우에는 이를 단층으로 추정할 수 있으며, 비탈면 정밀조사 시, 이러한 경우가 발견되면 양측 지괴의 변위가 확실하게 관찰되지 않더라도 약대로서 인지하여야 한다.

단층면과 파쇄대는 지하수의 이동경로로서 풍화가 급속히 진행되며, 지반이 열화되어 비탈면의 불안정 요인으로 작용하게 되는데 특히, 단층점토는 물이 침투되었을 때 쉽게 팽창하는 성질이 있으며, 주변 지반과 비교하여 강도가 약하므로 단층 방향이 비탈면에 불리하게 발달하면 붕괴면으로 작용할 가능성이 높으므로 특별한 주의가 필요하다.

비탈면에 대한 조사 수행 시, 단순히 대규모의 균열이 발견되었다고 하여 모두 단층인 것은 아니므로 단층의 특성을 나타내는 활면(slickenside), 조선(striation), 단층각력(fault breccia)이나 점토, 상대적인 변위, 특정 절리패턴, 지형양상 등의 단서를 종합·판단하여 단층 여부를 결정하여야 한다.

〈그림 3-32〉 단층에 의한 붕괴 발생 사례

2) 습곡

수평으로 퇴적된 지층이 횡압력을 받으면 물결처럼 굴곡된 단면을 보여주는 데 이러한 구조를 습곡이라고하며 배사(지층이 횡압력에 밀려 형성된 습곡에서 볼록한 부분, 지층이 위로 휘어져 올라간 모양)와 이와 반대로 향사(지층이 횡압력에 밀려 형성된 습곡에서 오목한 부분, 지층이 아래로 휘어져 내려간 모양) 로 구성된다.

대부분의 습곡은 대규모 지각 변형의 영향으로 만들어지기 때문에 비탈면에 발달하는 층리의 변화를 자세히 관찰하여야만 습곡임을 인지할 수 있어 실제로 비탈면에서 습곡을 구분하기는 쉽지 않다.

비탈면에서는 때때로 소규모의 습곡 구조를 관찰할 수 있는데, 이를 소습곡 또는 파랑습곡(crenulation)이라 하며, 소습곡은 대규모 습곡 지대의 일부일 가능성이 높고, 비탈면 안정성의 측면에서 불리한 단층 등이 수반되어 나타나는 경우가 많기 때문에 주의하여야 한다.

습곡의 배사와 향사의 힌지(hinge) 부분은 균열이 집중적으로 발달하게 되며, 비탈면에서는 배사와 향사의 힌지 부분이 약대에 해당되므로 습곡 지대에 있는 비탈면은 힌지 부분을 찾아 대책공법을 적용하는 것이 필요하다.

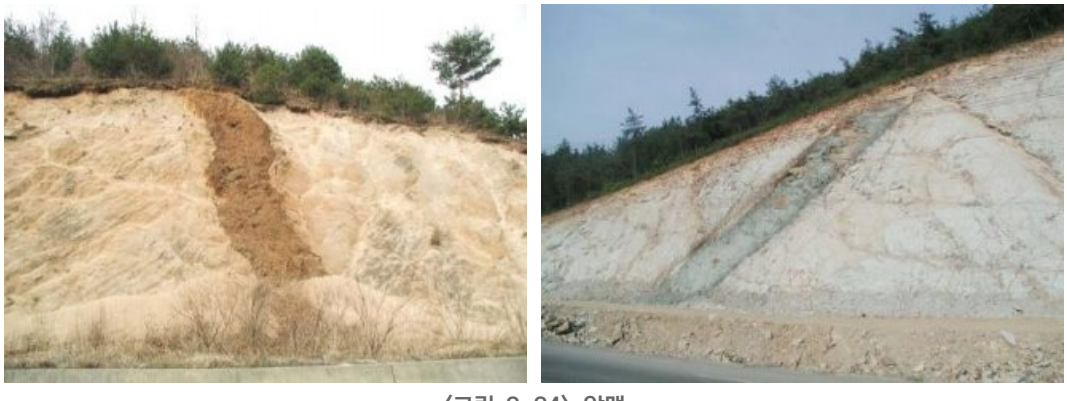
〈그림 3-33〉 습곡

3) 암맥

비탈면에서 기존암에 층리나 엽리 등의 불연속면을 가로지르며 부조화적으로 다른 종류의 반심성암체가 용융 상태로 뚫고 들어 온 것을 암맥이라 하며, 암맥은 산성암맥과 염기성 암맥으로 구분된다.

산성암맥은 화강암질 마그마에서 기원된 산물이며, 염기성암맥은 현무암질 마그마에서 기원한 산물로서 산성암맥은 야외에서 밝은색을 띠고, 염기성암맥은 어두운색을 띤다.

차별풍화과정을 거쳐 먼저 열화될 경우 암맥이 최초 붕괴면으로 작용하기도 하는데, 암의 특성상 완전풍화 되었을 때 입도분포가 다양하지 못하여 입자간의 맞물림 효과를 기대하기 힘든 만큼, 낮은 강도정수를 가지는 특징이 있으므로 주의하여야하며, 염기성암맥은 주변 암석보다 약한 사례가 많아 붕괴가 집중되는 부분에 해당되므로 주의가 요구된다.



〈그림 3-34〉 암맥

4) 변형/변성 엽리

광역변성작용에 의해 만들어지는 변성암은 변성 정도에 따라 엽리의 발달정도가 달라지며, 편마구조는 보통 편마암류에서 나타나고, 편리는 편암류에 나타나는 면구조를 말한다.

이들 변형/변성작용에 의해 만들어지는 엽리의 방향이 비탈면 방향과 동일하게 발달할 경우, 슬라이딩이 발생될 확률이 높다.

변성정도가 심한 경우 엽리가 형성되고 상대적으로 약한 경우는 편리가 형성되며, 일반적으로 편마암의 면구조를 엽리라 하고, 편암의 면구조를 편리라고 한다.

유수가 엽리면으로 침투하게 되면, 우흑대(mesosome)의 풍화 부분을 따라 선택적으로 침투하게 되며, 이 부분은 점토광물로 변질되어 붕괴에 취약한 요인으로 작용한다.

〈그림 3-35〉 엽리 및 엽리면을 따라 발생한 평면파괴

5) 층리

지층의 단면에서 볼 수 있는 특징으로서 퇴적물이 층상으로 쌓여 만들어진 평행한 구조를 층리라고 하며, 층리면 내 약한 강도를 가지는 충전물질이 분포하고 비탈면 방향과 불리하게 작용되면 대규모의 평면파괴가 발생하므로 주의해야 한다.

특히 층리에 의한 파괴는 층리 경사가 20°이하인 곳에서도 종종 발생하게 되는데, 이암이나 셰일 지반의 층리는 층리면 자체의 거칠기 정도가 약하므로 저각에서도 쉽게 붕괴되므로 주의가 필요하다.

또한 풍화에 강한 사암과 상대적으로 풍화에 취약한 이암이 교호할 경우 차별풍화로 인하여 낙석이 쉽게 발생하므로 하부 지반 탈락에 의한 지지력 상실에 유의하여야 한다.

〈그림 3-36〉 층리 및 층리의 미끄러짐에 의한 평면파괴

6) 유색광물에 의한 약대형성

철과 마그네슘을 많이 포함하는 암석일수록 풍화에 약한 유색광물의 함량이 높고 차별풍화 현상이 쉽게 발생해 암석강도가 쉽게 저하될 수 있으며, 유색광물이 포함된 층이 비탈면 방향과 유사하게 나타나면 붕괴면이 될 수 있다.

또한 흑연이나 탄층 등이 협재하는 경우에도 유의해야 하며, 이러한 유색광물이 집중적으로 띠 형태로 노출되면 비탈면 안정성을 검토하여야 하고, 토사비탈면에서도 녹색, 흑색, 적색, 주황색 등 원색에 가까운 흙이 나타나면 일반적으로 붕괴에 취약하므로 주의가 요구된다.

〈그림 3-37〉 유색광물에 의한 약대

7) 취약한 암

공학적으로 취약한 암에는 이암, 석회암, 편암, 셰일, 천매암 등이 있으며, 이들로 구성된 비탈면은 기본적인 암반강도가 낮으므로 설계나 유지관리상의 공종 선택시 신중하여야 하고, 암반 내의 불연속면이 비탈면방향과 불리하게 작용하면 위험성이 증대되므로 세심한 주의가 요망된다.

(2) 수리적 요인

급경사지 붕괴의 수리적인 요인은 크게 기후적 요인, 인공적 요인, 지형적 요인으로 구분하며, 이러한 수리적 요인은 단기적으로 비탈면 활동력 증가와 지반저항력의 감소를 유발하고, 장기적으로 열화 및 비탈면 시설의 노후화를 가속시키므로 이에 대한 유지관리 대책의 수립이 필수적이다.

1) 기후적 요인 : 집중강우, 동결융해

지구 온난화에 따른 이상기후 확대로 국내 여름철 집중강우의 패턴이 과거에 비해 장기화(2020년 기상관측 이래 최장 장마 기록 - 중부 54일, 제주 49일, 남부 38일 등, 기상청, 2020) 되면서 최근 급경사지 붕괴로 인한 피해가 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다.(행정안전부, 2021)

〈표 3-9〉 급경사지 피해 현황(2017-2021년, 행정안전부)

구 분	피해현황(개소)	붕괴위험지역	인명피해(명)	피해액(백만원)
2017년	15	13	-	192
2018년	10	7	-	137
2019년	8	2	-	915
2020년	208	23	-	6,482
2021년	7	5	-	53

집중강우는 간극수압의 증가, 활동력의 증가 및 지반강도의 저하 등을 유발하여 비탈면의 주요파괴요인이 되므로 신속한 배수 및 침투방지를 위한 대책을 수립·시행하여야 한다.

특히 집중강우는 비탈면의 붕괴를 유발하는 가장 직접적인 원인에 해당되며, 집중강우 시

우수의 침투 정도, 유수 침투로 인한 지하수위 및 간극수압의 변화 등이 비탈면 붕괴와 직접 관련이 높다.

또한 기후적으로 동결융해를 장기간 반복하는 산간지방이나 고지대, 고개 정상부에 위치한 비탈면은 표층지반의 동상에 의한 동결융해작용으로 인하여 비탈면 녹화의 박락이나 표층유실이 발생하며, 암반비탈면에서는 불연속면 내 침투한 유수의 동결융해의 반복으로 불연속면이 약화되고, 해빙기 기간 중 낙석이 발생될 수 있으므로 이에 대한 주의가 요구된다.

2) 인공적 요인 : 전답, 과수원 등

급경사지 중 깎기비탈면의 경우, 상부에 인공시설물 등이 위치하기도 한다.

특히 상부에 위치하는 전답은 강우 시 지표수의 침투를 용이하게 하는 특징이 있으며, 침투된 지하수는 활동력을 증가시키고, 깎기부 방향으로의 유선을 형성하는 등 비탈면의 안정성을 저하시키므로 이에 대한 대책을 수립·시행해야 한다.

따라서 가급적 상부자연비탈면에 전답 등이 위치하지 않도록 하여야 한다. 부득이하게 전답이 있는 경우에는 전답의 농경과 관련된 배수시설이 적절하게 관리되도록 조치하는 것이 중요하다.

〈그림 3-38〉 깎기비탈면 상부 전답에 존재하는 붕괴 발생 요인 배수구

3) 지형적 요인 : 계곡부

계곡부는 지표·지하수의 지속적인 공급으로 지반강도를 약화시키고, 계절 변화에 따른 동결

융해로 지반열화를 가속시켜 비탈면의 안정성을 저하시키므로 이에 대한 대책을 수립·시행하여야 한다.

계곡부의 경우 풍화의 결과로 인하여 토사층이 두껍게 형성되어 있는 경우가 많으며, 유송잡물들이 함께 버려져 있는 경우가 많아 집중호우기동안 급작스러운 토석류를 유발시키므로 깊은 계곡부인 경우에는 관리에 만전을 기하여야 한다.

계곡부에는 주로 현장타설 방식으로 배수구를 설치하고 비탈면 내 종배수구와 연결하여 집수되는 지표수를 제어하여야 하며, 계곡부 지하로 흐르는 지하수의 유량이 많으면 지하배수구나 수평배수공, 집수시설을 설치하여 배수효율을 증가시키는 방안을 검토하여야 한다.

〈그림 3-39〉 계곡부 및 집수지형

3.3.2 인위적 요인

(1) 설계 및 시공상의 요인

불충분한 지반조사로 현지 지반강도에 대한 부적절한 단면설계경사의 적용, 비탈면 위치의 지형, 지질 및 수리조건을 고려하지 못한 설계 등은 붕괴요인으로 작용한다.

우리나라의 경우, 과거 1960, 1970년대의 급속한 경제발전에 따른 도로건설 과정에서 산악지형에 위치한 도로를 단기간 내에 건설할 목적으로 무리한 화약발파를 실시하였던 바가 있으며, 이로 인한 발파균열로 낙석과 대규모 붕괴위험성을 가진 비탈면이 다수 분포한다.

특히 강원도 지역은 과거 군사지역이 집중된 특성상 도로 자체의 건설에만 집중한 나머지 급경사비탈면이 산재되어 있다.

설계 및 시공 과정에서 비탈면을 형성될 때, 1~2공의 시추조사 또는 매우 간략한 조사만을 가지고 비탈면을 계획하는 경우가 많으며 비탈면은 짧은 거리의 범위 내에서도 특성 변화가 뚜렷한 구조물이기 때문에 비탈면이 조성되는 단계별로 인위적인 요인이 발생될 수 있으므로, 이에 대하여 즉각적인 대처를 수행하여야 붕괴를 예방할 수 있다.

(2) 유지관리상의 요인

급경사지는 다른 토목구조물과 달리 그 변화를 감지하기 힘들며, 방치할 경우 붕괴되어 피해가 발생될 가능성이 높기 때문에 정기적인 점검과 적절한 보수·보강 등의 유지관리를 실시하여야 한다. 인공비탈면은 때로는 다른 토목공사와 맞불려 취약해 지기도 한다.

도로비탈면의 경우에는 도로와 직접 접하여 위치하는 비탈면이기 때문에 도로포장을 새롭게 실시하거나 도로 하부 배수시설을 설치하는 공사를 진행할 경우, 비탈면의 하부를 굴착하는 실수를 범할 수도 있다.

만약 비탈면의 하부를 특별한 조치 없이 굴착한다면 하부의 상실에 의한 지지력이 사라지게 되고 경사면의 이동을 유발시키는 직접적인 원인이 될 수 있기 때문에 비탈면과 가까운 지반에 대한 공사를 진행할 경우 비탈면의 하부를 굴착하지 않도록 주의해야 한다.

(3) 산지 내 임도, 군사도로, 공사도로 등의 관리부실 요인

급경사지를 형성하는 산지 내 조성되어 있는 임도, 군사도로, 공사도로 등은 임시적인 이동통로 확보를 목적으로 조성된 구조물이기 때문에 산지를 깎아 형성함에 있어 안정성 확보를 위한 배수시설, 도로 하부 유실 방지 공법 등이 적용되지 않은 상태가 대부분으로 도로 조성 후 방치된 상태로 특별한 관리가 진행되지 않을 경우에는 산사태 발생의 시작점으로 작용될 가능성이 높다.

산사태의 특성상 산지 상부에서의 소규모 유실이 발생 강우와 함께 산지 하부로 이동하며 주변 토사와 암반의 활동을 유발시켜 점차 대규모 활동 붕괴를 야기하게 되므로 산사태 위험지역 내 임도, 군사도로, 공사도로 등이 존재하는 산지에 대해서는 우기전 도로의 균열 상태, 도로 하부 유실 여부 등을 점검할 필요가 있으며, 공사를 위해 임시로 개통한 공사도로의 경우에는 공사 후 임의 방치되지 않도록 관리를 철저히 할 필요가 있다.

〈그림 3-40〉 산사태 시작점으로 작용된 산지 내 임도 현황

3.3.3 급경사지 붕괴징후 인지 방법

붕괴징후는 붕괴 전 또는 진행 중에 외형적으로 나타나는 전조현상으로 붕괴 위치나 규모를 예측하고 예방하는 중요한 단서가 되고 우리나라 급경사지 중 구성 비율이 높은 암반비탈면은 급작스런 변형 거동 특성을 보이며, 특별한 붕괴징후를 관찰하기 어렵다.

그러나 비탈면 중 대규모 붕괴는 점진적인 변형거동특성을 보이는 혼합비탈면이나 토사비탈면 또는 절리빈도가 심한 파쇄암반비탈면에서 발생하며, 여러 붕괴징후를 동반하므로 주의 깊게 관찰하면 붕괴를 예방할 수 있다.

비탈면의 붕괴 징후는 비탈면의 상단부, 중간부, 하단부를 면밀히 관찰함으로써 포착할 수 있다.

붕괴비탈면은 상단부에서 인장균열이나 단차, 수목의 기울어짐 현상 등이 관찰되며, 중간부에서는 배부름, 낙석, 누수 현상 등이 관찰되고 하단부에서는 도로가 융기하거나, 옹벽이나 측구 등의 구조물 변형이 관찰되기도 한다.

붕괴활동면이 발생된 비탈면이 거동할 때 상단부에서는 인장균열이 발생하고 주로 상부 자연비탈면에서 관찰되며 붕괴부 이동방향에 수직으로 발달하는 것이 특징으로 비탈면 내에서도 인장균열이 발견될 수 있다.

인장균열 발생시 지반 내 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부 등과의 연관성을 파악하여야 하고, 균열의 규모, 위치, 깊이, 방향 등의 조사 자료를 토대로 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측할 수 있다.

〈그림 3-41〉 인장균열의 노출 형태

깎기부나 상부자연비탈면에서 활동면 상단의 균열부에 나타나는 지반의 고저차를 단차라 한다. 붕괴가 진행되는 비탈면에서는 인장균열과 단차가 복합적으로 나타나기도 한다.

깎기부에서 활동면 하단의 변형으로 관찰되는 붕괴징후의 인지자로서 지반이 전방으로 밀리는 현상을 배부름이라 하며, 비탈면 선단부위나 도로에서 발견되는 활동면 하단의 변형으로 부풀은 현상을 융기라고 한다.

일반적으로 도로부에서 융기가 관찰되는 비탈면은 회전활동이나 병진활동에 의한 대형 비탈면 파괴일 가능성이 크므로 이를 고려한 적정한 대책 수립이 요구된다.

〈그림 3-42〉 배부름 및 하단부 지반 융기

일반적으로 자연지반은 큰 변형이나 변위가 발생하기 전까지 인지하기 어렵지만, 인공구조물의 경우 시공 당시의 모양이나 위치가 변형되면 비탈면의 움직임에 대한 인지가 가능하다.

따라서 옹벽, 배수구, 점검로, 전신주 등 비탈면과 인접한 시설의 변형을 관찰하여 붕괴 징후를 예측할 수 있고 비탈면에 시공한 콘크리트뿜어붙이기나 비탈면녹화, 계단식옹벽, 돌망태옹벽, 철재 점검로가 설치되어 있는 경우 이들의 변상이나 변형이 비탈면의 거동을 개략적으로 지시하는 역할을 하므로 이들 비탈면 시설물에서 변형이 발생될 경우, 이를 고려한 적절한 대책이 요구된다.

평상시 깎기비탈면의 지하수 유출지점이나 유출량, 시간에 따른 유출 변동량을 점검하여 붕괴징후를 인지할 수 있으며, 급격한 유출량의 변화나 용출수의 탁도가 증가하면 추가 붕괴가 발생할 수 있으므로 적절한 대책을 수립해야 한다.

3.4 급경사지 붕괴 유형

3.4.1 자연비탈면 붕괴 유형

(1) 산지 붕괴 유형

산지 붕괴는 자연비탈면에서 발생되는 산비탈면에 있는 물질이 중력방향으로 떨어지거나 미끄러지는 모든 현상 즉, 산사태를 통칭하는 용어이다.

Skempton and Hutchinson(1969)은 산사태를 비탈면 경계부에서 생긴 전단파괴에 의해 흙덩이 또는 돌덩이가 아래로 내려오는 것이라 정의하였으며, Cruden(1991)은 비탈면 하부로 암반 또는 토석류가 군집(mass)의 형태로 이동하는 현상이라고 정의하였다.

산사태는 지형변화의 한 과정으로 이해 할 수 있으나, 그 결과가 인간생활 권역에 피해를 입히기 때문에 재해로 분류되고 이와 같은 재해에는 산사태를 비롯하여 지진, 홍수, 화산폭발 등이 있으며, 그 발생에 대한 예측이 거의 불가능하거나 아주 어려운 자연현상이다(Smith, 1966).

산사태는 형태, 생성 메커니즘 및 매질에 따라서 여러 가지 종류(type)로 분류되는데, Varnes(1978)는 형태에 따라 낙반(fall), 전도(topple), 활동(slide), 퍼짐(spread) 및 유동(flow)의 5가지로 구분하고 각 형태별 사태물질의 종류에 따라 용어를 제안 하였으며, EPOCH (European Community Programme, 1993)에서도 사태의 형태와 발생 매질에 따른 분류법을 제시하였다.

그리고 산사태 발생 원인이 단일작용에 의한 것인가 또는 복합적인 작용에 의한 것인가의 여부에 따라 단일(single) 또는 복합(multiple or compound)이라는 용어를 사용하기도 한다(Brunsden, 1985; Hutchinson, 1988).

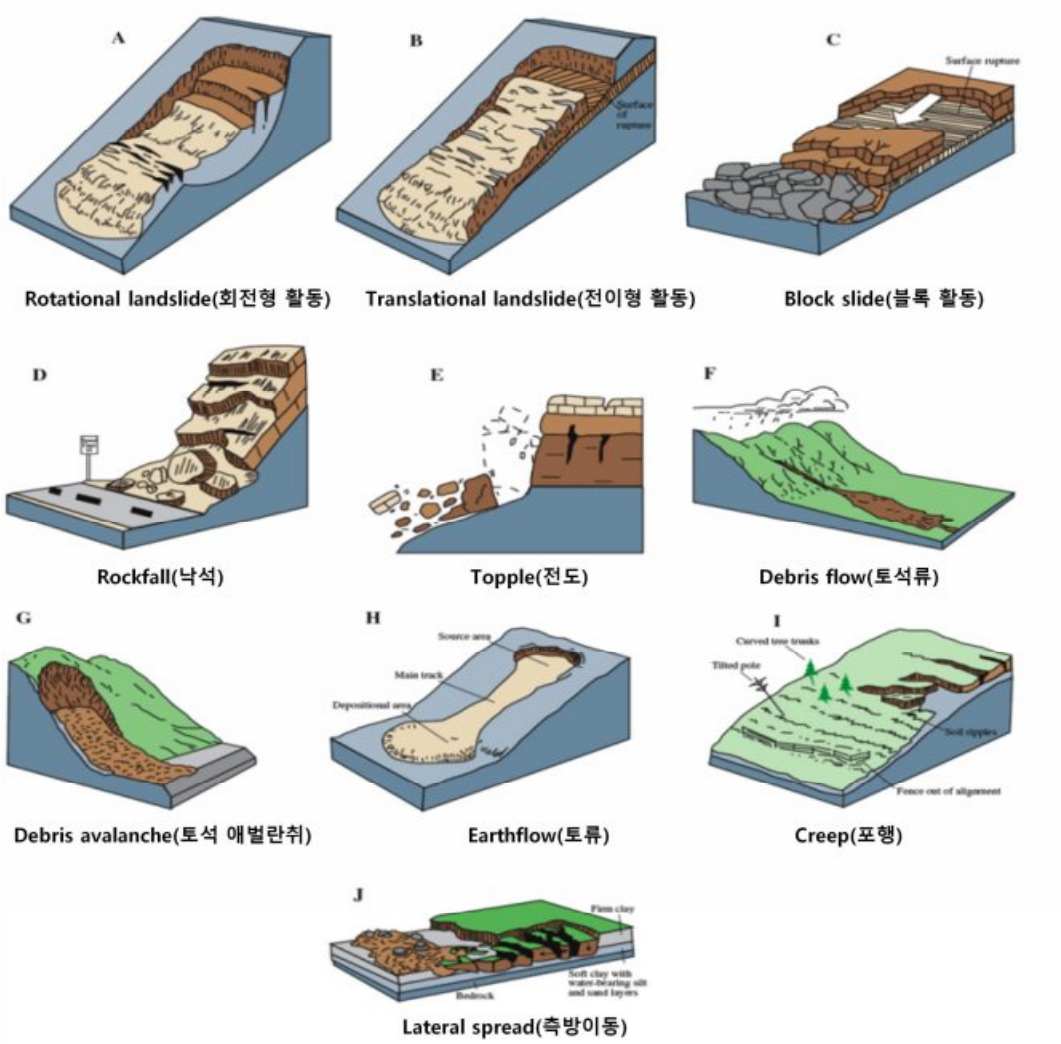
산사태는 전술한 바와 같이 여러 학자들에 의해 정의되고 분류되고 있는데, 〈그림 3-43〉은 주요 산사태 형태에 대해서 그 특징을 일반인들도 쉽게 알 수 있도록 미국지질조사소(USGS)에서 제작한 모식도이다(Highland and Johnson, 2004).

주요 산사태 유형 중 활동(slide)은 회전형 활동(rotational slide)과 전이형 활동(translational slide)으로 구분되는데, 전자(그림 3-43, A)의 경우는 파괴가 일어난 사태면이 위로 오목한 형태를 보이면서 사태물질은 곡면을 따라 이동하는 반면에 후자(그림 3-43 B)의 경우는

비교적 평평한 파괴면을 따라 사태물질이 직선적으로 아래로 이동하는 형태이다.

블록 활동(block slide, 그림 3-43, C)은 단일 블록 또는 응집력을 가지는 몇몇의 블록이 전이형 활동의 형태로 붕괴되는 형태이다.

낙석(rockfall, 그림 3-43, D)은 급경사의 비탈면이나 절벽에서 암석이 파괴되어 하부로 떨어지는 형태이며, 전도(topple, 그림 그림 3-43, E)는 단열에 의해 분리된 암석이 중력의 작용에 의해 전방으로 회전하면서 붕괴되는 형태이다.



〈그림 3-43〉 형태에 따른 산지 붕괴의 분류(USGS, 2004)

유동(flow)은 5가지의 주요 형태로 나뉘는데, 먼저 토석류(debris flow, 그림 3-43, F)는 토층, 암편, 유기물질, 공기 및 물 등이 섞여 곤죽의 상태로 비탈면 하부로 흘러가는 현상이며, 사태물질 내에 자갈보다 작은 입자로 구성된 세립물질의 함유량이 전체의 50% 이하이면서, 집중호우나 눈(snow)의 녹음으로 인해 표층에 급격한 물의 흐름이 생길 때 발생한다.

일반적으로 토석류가 발생되는 지반은 비교적 암반강도가 강한 암반면 위에 얇은 토층이 형성되어 있는 형태이고 토층은 주로 큰 암괴가 혼합된 붕적층이 주를 형성하고 있으며, 암괴의 크기는 매우 다양하게 분포한다.

토석류는 호우에 의해 계곡 주변의 비탈면이 붕괴하여 그 붕괴토사가 하상퇴적물과 함께 계곡을 흘러내리는 경우와 붕락한 토사가 계곡의 어느 지점을 일시적으로 막고 그 뒤를 따르는 계곡류에 의해 일시에 붕괴되며 발생되는 경우로 나눌 수 있다.

토석류의 붕괴규모는 전면부에서 큰 규모를 예측하기가 어려운 상태이나, 발생 규모에 따라 붕괴가 발생된 연장이 수십m~수km에 이르기까지 매우 다양한 규모를 보인다.

토석류가 발생된 계곡부의 경사는 계곡부의 경사에 따라 10~50°의 범위로 매우 다양하며, 경사가 급할수록 이동암괴의 크기 및 수량에 큰 차이를 보이고, 계곡부의 나무와 큰 규모의 암괴를 쓸고 내려오는 경우가 많다.

토석류가 유입되게 되면 도로하부 횡배수관 기능을 마비시키게 되며, 도로를 월류하는 토석류가 이동되는 경우가 많다.

〈그림 3-44〉 토석류 발생 사례

토석류의 흐름 특성은 구성 물질에 따라 변하게 구분되고 이러한 구성 물질은 기후, 기상, 지형, 토지 이용 상황 등에 따라 다양하게 변하게 되어 토석류의 유동 특성을 결정하는 중요한 역할을 하게 된다.

따라서 토석류의 유동 특성을 파악하기 위해서는 구성 물질의 특성을 규명하는 것이 반드시 필요하며 이를 토대로 실험이나 현장 모니터링 등의 방법을 통해 검증한 후 설계 등의 적용해야한다.

토석류 발생은 크게 다음의 세가지 유형으로 시작되며, 각 유형별 구분은 토석류 발생 현장조사를 통해 구분할 수 있으나 엄밀한 구분은 어렵다고 볼 수 있다.

- 강우시 자연비탈면 파괴로 인한 쇄설물의 이동
- 계곡유량으로 인한 계곡 바닥과 측벽의 세굴, 침식물의 이동
- 계곡내 퇴적된 자연 토사댐의 붕괴로 인한 쇄설물의 이동

국내에서의 일반적인 토석류 시작은 경사가 급한 계곡상부에서 표층붕괴의 형태로 시작되는 사례가 우세하다.

토석 애벌란취(debris avalanche, 그림 3-43, G)는 토석류의 아주 급격한 흐름을 의미하며, 토류(earthflow, 그림 3-43, H)는 그 형태가 모래시계 모양인 것이 특징인데 비탈면물질의 액상화가 진행되면서 비탈면 상단부가 함몰되면서 발생하며 주로 세립질 물질이나 점토를 함유하는 암석으로 구성된 비탈면이 물에 의해 포화된 상태에서 나타난다.

이류(mudflow)는 토류의 형태이면서 비탈면물질이 충분히 유동할 수 있을 만큼의 수분을 함유했을 때 발생하며, 사태물질에는 모래, 실트 및 점토 크기의 입자들이 적어도 50% 이상 포함되어 있는 경우이며, 포행(creep, 그림 3-43, I)은 비탈면 물질이 비탈면 하부로 아주 서서히 이동하는 현상을 일컫는다.

3.4.2 인공비탈면 붕괴 유형

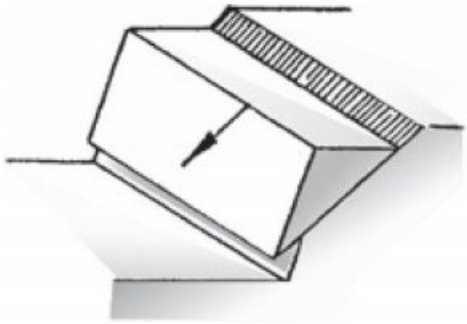
(1) 깎기비탈면 붕괴 유형

깎기비탈면의 붕괴 형태는 암비탈면의 경우 평면파괴, 쐐기파괴, 전도파괴 등으로, 토사비탈면의 경우 원호파괴, 표층유실, 세굴 등으로 분류되며, 혼합비탈면의 경우 이들의 복합적인 붕괴 형태를 갖고 유지관리 측면에서 비탈면의 붕괴 발생현황을 객관적으로 파악하는 것은 매우 중요한 일이다.

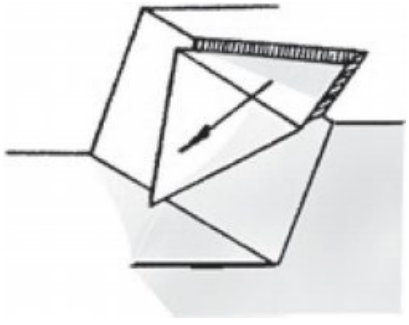
현재 가장 널리 사용되고 있는 붕괴형태의 분류 방법은 'Hoek & Bray(1981)의 암비탈면 파괴유형 분류법'으로 암비탈면을 대상으로 4가지의 파괴유형을 제시하고 있다.

Hoek & Bray(1981)는 암비탈면의 파괴 활동면의 형상에 따라 평면파괴(planar failure), 쐐기파괴(wedge failure), 원호파괴(circular failure) 및 전도파괴(toppling failure)의 4가지 파괴 유형을 제시하였다.

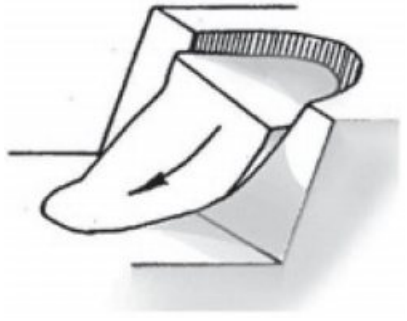
Hoek & Bray(1981)의 분류는 암비탈면의 파괴 유형을 분류하는 데 가장 널리 사용하는 방식이며, 이 중에서 평면파괴, 쐐기파괴 및 원호파괴는 연장성이 뚜렷한 하나 또는 두 개의 불연속면을 따라 미끄러짐이 발생하는 것으로, 불연속면의 길이와 간격, 그리고 상호간의 교차 형태에 따라 복잡한 활동면을 갖기도 한다.



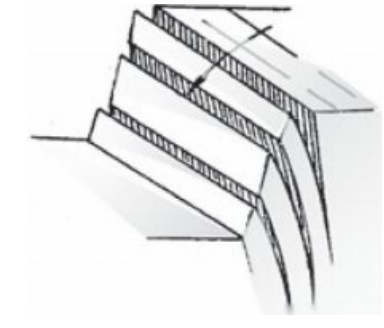
〈평면파괴〉



〈쐐기파괴〉



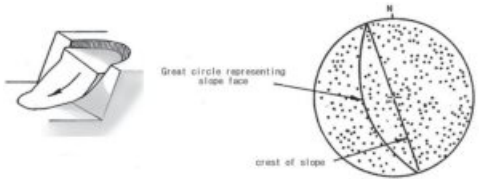
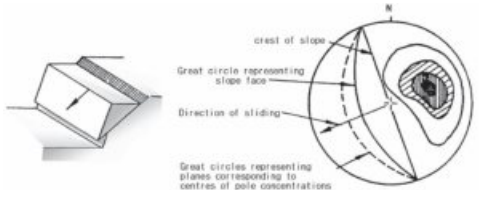
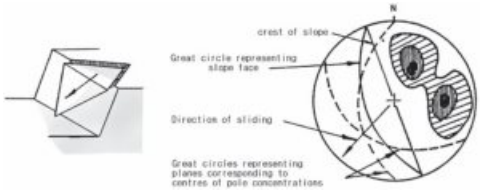
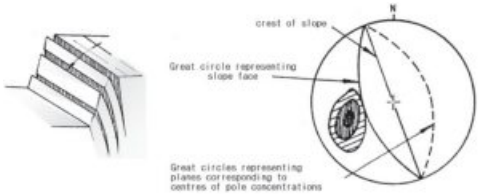
〈원호파괴〉



〈전도파괴〉

〈그림 3-45〉 깎기비탈면 파괴유형

〈표 3-10〉 깎기비탈면의 파괴형태(Markland, 1972)

구분	전형적인 파괴형태와 극점분포	발생조건
원호파괴		• 토층비탈면 및 불연속면이 불규칙하게 많이 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 암반에서 원호파괴가 발생 • 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생
평면파괴		• 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생 가능 • 비탈면과 비탈면의 경사방향이 같고 그 주향은 유사 • 불연속면의 경사각 < 비탈면의 경사각
쐐기파괴		• 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반 블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태 • 두 불연속면의 교선과 비탈면의 경사방향이 같고 각 절리면의 주향이 비탈면의 주향과 유사 • 비탈면의 경사 > 불연속면 교선의 경사 > 마찰각
전도파괴		• 비탈면과 불연속면의 경사방향이 반대이고, 불연속면의 주향과 비탈면의 주향이 비슷 • 경사조건 : 90°-불연속면의 경사 + 불연속면의 마찰각 < 비탈면의 경사

Varnes(1978)는 토사비탈면이 이동하는 형태, 속도 등 동역학적 메커니즘에 따라 비탈면 붕괴를 구분하고 지반공학적 관점에서 비탈면 붕괴 활동을 낙하, 전도, 활동, 퍼짐 및 유동 등으로 분류하였으며, 이러한 활동 형태가 2개 이상 겹치는 것을 복합 활동으로 구분하였다.

〈표 3-11〉 Varnes(1978)의 흙깎기비탈면 붕괴 유형 분류

운동형태		물질의 형태			
		기반암		공학적 토사	
				조립질	세립질
낙 하		낙반		낙석	토사 낙하
전 도		암반 붕락		토석 전도	토사 전도
활 동	회전 활동	소규모	암반 붕락 암반	토석 붕락 토석	토사 붕락 토사
	병진 활동	대규모	블록 활동 암반 활동	블록 활동 토석 활동	블록 활동 토사 활동
퍼 짐		암반 퍼짐		토석 퍼짐	토사 퍼짐
유 동		암반 흐름 (깊은 포행)		토석 흐름	토사 흐름 (토사 포행)
복 합		두 가지 이상의 붕괴 원리 조합			

비교적 얕은 심도를 가지는 토사비탈면 파괴를 일본토질공학회(1989)에서는 파괴의 심도를 기준으로 유형을 구분하였다.

얕은 비탈면의 붕괴는 심도 및 원인에 따라서 침식(erosion), 표면붕락(surface fall), 얕은 활동(shallow slide), 중간 깊이 활동(medium depth slide) 및 깊은 활동(deep slide)으로 분류된다.

〈표 3-12〉 일본토질공학회 토사비탈면 파괴 심도에 따른 파괴 유형 분류

파괴 유형	특 징
침식 (erosion)	유수에 의한 비탈면 표면의 침식
표면 붕락 (surface fall)	식생의 뿌리를 포함한 표면 붕락
얕은 활동 (shallow slide)	1 m 정도의 두께를 가지는 표면 활동 파괴
중간 깊이 활동 (medium depth slide)	1 m 이상의 두께를 가지는 중간 깊이의 활동파괴
깊은 활동 (deep slide)	비탈면 배후의 지반으로부터 발생하는 깊은 활동파괴

(2) 쌓기비탈면 붕괴 유형

쌓기비탈면은 노면수 유입으로 인하여 기반암과 성토부의 경계부가 붕괴되는 경우가 많다. 즉 암반 위에 성토를 실시한 편절편성구간에서 집중강우시 계곡부 및 노면수가 쌓기비탈면으로 유입되어 암반면 위로 지하수가 흘러 토사가 세굴 및 유실되고, 상부 토층이 유실되면서 붕괴가 발생되는 유형에 해당된다.

쌓기비탈면은 인접부에 비탈면이 붕괴된 토사나 토석류가 발생되어 유로를 차단시키는 지역과 도로의 구조상 집수가 잘 되는 지역에서 붕괴발생빈도가 높다.

일반적으로 비탈면의 붕괴 형태로 알려진 암반 붕괴는 암반으로 이루어진 깍기비탈면에서 주로 발생되는 현상으로 쌓기비탈면의 붕괴 양상의 분류법에는 맞지 않는다.

일본도로협회에서는 쌓기비탈면의 붕괴 형태를 규모에 따라 구분되어져 왔으며, 이는 “얕은 성토 붕괴”, “깊은 성토 붕괴”, “기초지반을 포함한 붕괴”로 크게 구분된다.

1) 얕은 성토 붕괴

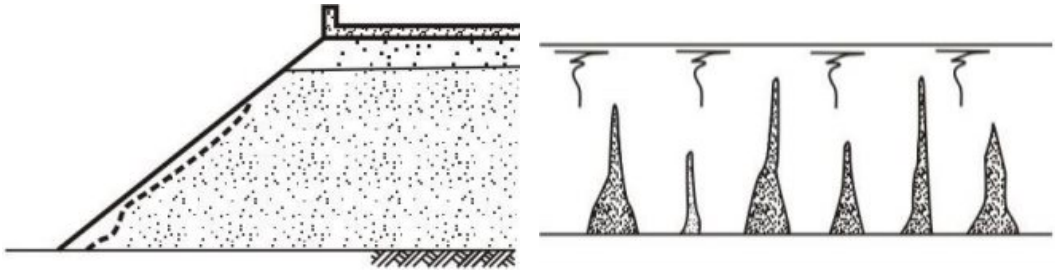
쌓기비탈면의 구성재료가 침식을 받기 쉬운 토양으로 구성되어 있고, 배수가 갖추어지지 않을 때에는 표면수가 집중되어 성토 표면 지반을 세굴시키고, 차츰 커다란 표층 붕괴로 진행되는 경우가 많다.

또한, 시공 직후의 강우로 인한 토사의 붕괴나, 침투수의 영향으로 팽윤·약화하기 쉽게 되는 흙을 덧붙여 시공한 경우에는 강우시에 경계부를 중심으로 붕괴가 일어나는 경우가 있으며, 이러한 표층 부분의 붕괴는 성토 본체의 기능까지 영향을 미치는 일은 드물지만, 붕괴가 넓은 범위로까지 번져, 보다 대규모적인 붕괴를 유발시킬 수 있다.

성토재료가 가는 모래나 화산재층 등으로 구성된 경우 우기 시 빗물에 의해 표면 침식됨에 따라 세굴 홈(gully)이 발생되며, 보통 이런 붕괴 양상은 성토면이 침식을 받기 쉬운 흙으로 구성되어 있고 배수 설비가 불충분한 경우에 발생하게 된다.

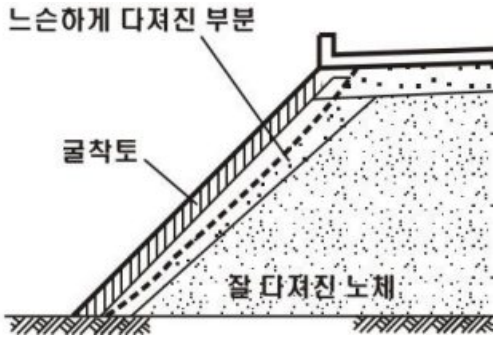
빗물의 침식으로 인해 표층활동이 생기는 경우 〈그림 3-47〉과 같은 형태로 붕괴가 발생되며, 특히 토질이 점성토이거나 사질토, 실트 등 포화도 상승으로 인하여 강도가 현저하게 저하되는 지반에서 나타나기 쉽다.

이런 붕괴 형태는 성토 내의 다짐 정도가 불균질할 때 일어나는 현상으로 성토 내부층은 잘 다져지고, 표층부는 다짐 정도가 느슨한 경우 그 경계면이 불연속면이 되어 침투된 물이 경계부 에서 고이거나 성토표층부의 간극수압이 상승되어 발생하는 표층활동의 형태이다.



단면도 정면도

〈그림 3-46〉 얕은 성토 붕괴 : 빗물의 표면침식에 의한 붕괴



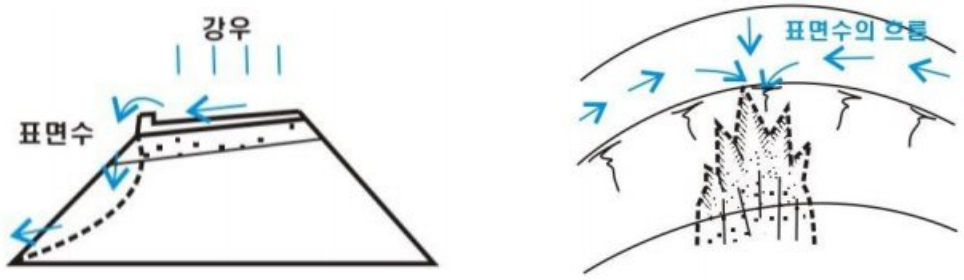
단면도

〈그림 3-47〉 얕은 성토 붕괴 : 빗물 침식에 의하여 표층활동이 생기는 경우

〈그림 3-47〉는 배수공이 토사나 유송잡물 등으로 막혀 월류된 계곡수나 도로상의 노면수가 쌓기비탈면 쪽으로 유입되어 세굴이나 붕괴가 발생되는 형태이며 이러한 붕괴 형태는 성토 재료의 종류는 거의 관계가 없으나, 침식되기 쉬운 흙일수록 붕괴에 취약한 것으로 알려져 있다.

이러한 붕괴가 발생되는 요인은 도로 선형의 급커브 지점 등 노면이 편구배가 되는 지점 또는 종단방향으로 하향 구배로 변한 지점, 특히 양쪽 조건이 중복된 노면수가 하나의 지점으로 집중되는 경우에 관찰된다.

또한 집중호우기시 성토부에 설치된 배수시설이 막히거나 성토 내 매설한 횡배수관의 단면 부족 및 배수관 막힘 현상으로 물이 월류할 경우 관찰된다.

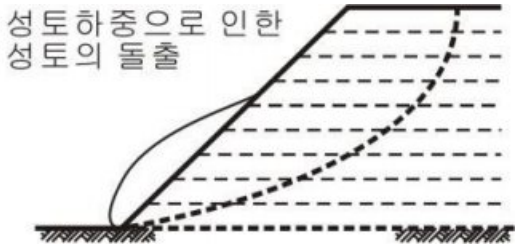


〈그림 3-48〉 얕은 성토 붕괴 : 노면수의 한 지점 집중이나 배수공 막힘으로 표면수가 성토면으로 유입되는 경우

2) 깊은 성토 붕괴

고함수비(高含水比)의 점성토로 높은 성토를 급속하게 시공했을 경우에는, 성토 내의 과잉 간극수압이 발생되어 성토의 깊은 부분부터 붕괴되거나 구성 지반이 돌출되는 경우가 있다. 이러한 붕괴는 특히 성토재료가 화산재질의 점성토로 구성될 때 발생된다.

경사진 지반 위에 성토를 한 경우에는 강우 뿐 만이 아니라 지반으로부터의 침투수의 영향을 받아 성토 내의 지하수위가 상승되기 때문에, 붕괴가 성토 전체로 미치는 경우도 있지만 일반적으로 기반암이 급구배를 이루고 있을 경우 유수가 침투되면 기반암과 성토재료 사이에서 활동면이 형성되게 되고 활동면이 깊을 경우 깊은 성토붕괴가 발생되게 된다.



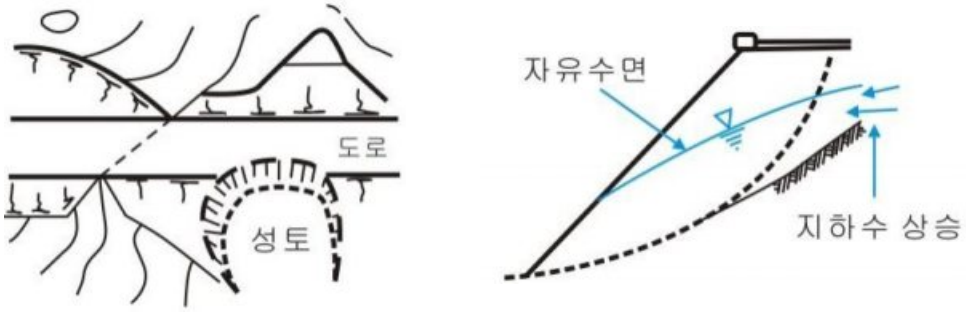
〈그림 3-49〉 깊은 성토 붕괴 : 고함수비 점성토 지반의 돌출

〈그림 3-50〉 깊은 성토 붕괴 : 기반암 상단부 성토부에 활동면이 형성되는 경우

주변으로부터 지표수나 지하수 보급이 풍부한 지형 조건에 성토를 한 경우 간극수압의 상승에 의해 쌓기비탈면이 붕괴되기도 한다.

특히 〈그림 3-51〉의 좌측 그림과 같이 쌓기비탈면 상단부 깎기비탈면 쪽에서 넓고 깊은 계곡이 형성되어 있는 경우 깊은 성토 붕괴가 발생될 수 있으므로 주의가 필요하다.

또한 완전쌓기비탈면과 같이 성토부의 깊이가 굉장히 깊을 경우 지하수 상승에 의한 자유수면 형성의 영향으로 붕괴가 발생될 수 있으며, 이럴 경우 도로 자체가 완전히 파손되는 경우가 많다.



평면도 단면도

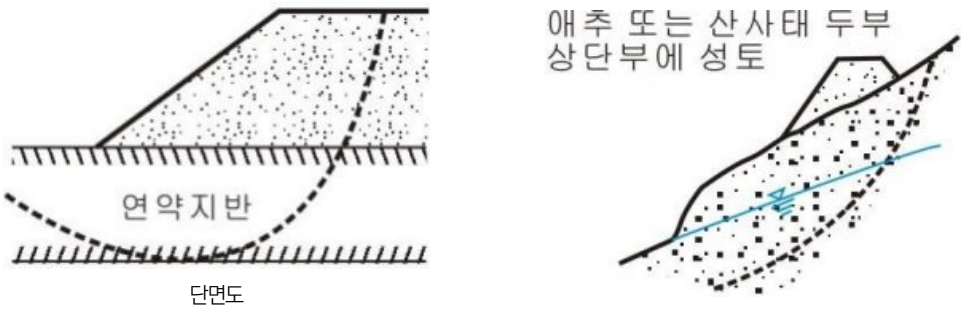
〈그림 3-51〉 깊은 성토 붕괴 : 깊은성토파괴를 유발하는 지형 형태와 깊은 성토재료로 구성된 쌓기비탈면 붕괴

3) 기초지반을 포함한 성토 붕괴

표층부의 풍화가 심한 급경사면 또는 지반 내에 쉽게 활동(滑動)하는 토층이 발달한 비탈면 (연약지반) 상에 성토를 하게 되면, 지반 내에 활동면을 발생시키고 대규모적인 붕괴를 일으키는 경우가 있으며 연약지반 상에 시공한 성토에 발생하는 붕괴는 그 전형적인 것이다.

또한, 옛 산사태지의 두부(頭部)에 성토를 행한 경우에도 산사태가 재발되어 지반의 대규모 붕괴가 발생하기도 한다.

이러한 붕괴들은 모두가 그 자체 상태로 산사태가 발생할 위험성을 지닌 불안정한 비탈면 상에 성토를 시공한 것이 직접적 계기가 되어 발생된 경우가 많고 이러한 붕괴 형태는 일반적으로 대규모이며, 토사가 비탈면 아래의 먼 곳에까지 이르러 큰 재해를 야기하는 경우가 있기 때문에 산사태와 더불어 충분히 주의할 필요가 있다.



단면도

〈그림 3-52〉 기초지반을 포함한 성토 붕괴

3.4.3 옹벽 및 석축의 붕괴(손상)유형

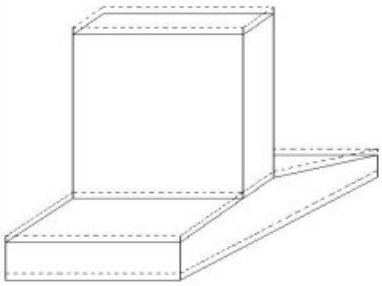
옹벽은 흙막이 구조물으로써 비탈면처럼 붕괴유형을 보이지 않고 구조물을 구성하는 요소들이 부분적으로 손상이나 결함의 형태로 나타나고 손상이나 결함은 한 가지 원인에 의해서 발생하는 것이 아니라 발생한 현상과 원인의 복잡한 조합에 따라 손상패턴을 달리한다.

(1) 콘크리트 옹벽 손상

콘크리트 옹벽에서 발생하는 손상의 종류는 실시하는 안전점검 및 정밀조사 등의 유지관리 과정에서 발견할 수 있는데 구조물 침하, 구조물 전도, 구조물 활동, 콘크리트 파손 및 손상, 콘크리트 마모 및 침식, 콘크리트 열화, 콘크리트 균열, 세굴, 배수공 불량 등으로 구분할 수 있다.

구조물 침하는 옹벽구조물이 시공위치에서 수직방향으로 가라앉는 현상으로 정의할 수 있으며 침하가 부분적으로 발생할 경우에는 인접한 블록간의 단차를 육안 또는 측정 장비를 활용하여 확인할 수 있다.

침하의 주원인은 기초지반의 압밀침하, 부등침하, 기초의 세굴 등이며 옹벽 하단 기초지반의 전단파괴에 의해서도 발생할 수 있으며 주로 전도와 활동과 같은 외적 변형과 침하의 형태에 따라 콘크리트 구조체의 균열을 수반하는 것이 특징이다.



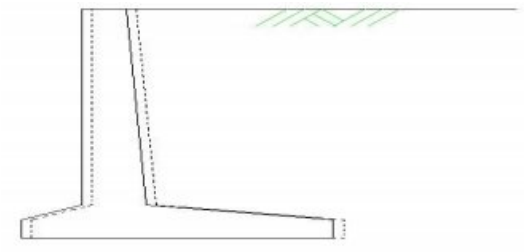
〈그림 3-53〉 침하발생 모식도

〈그림 3-54〉 옹벽배면 지반침하

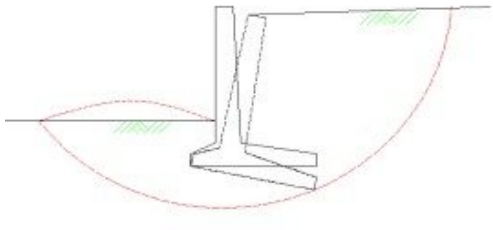
구조물 활동은 저면활동과 원호활동으로 구분되며 저면활동은 작용하는 토압의 수평분력에 의해서 토압이 작용하는 방향으로 활동하려는 것을 말하는데 이 경우 기초지반의 저항력(자중+마찰력)이 부족하면 옹벽은 전체적 또는 부분적으로 이동이 발생하며, 그 정도가 심각할 경우 배면지반의 침하 및 변형의 주된 발생 원인이 될 수 있다.

저면활동 시 토괴는 주동 상태에 있으며, 발생형태는 주로 전면으로 이동하는 형태를 나타낸다〈그림 3-55〉.

원호활동은 저면활동과는 관계없이 지반의 전반적인 전단파괴로 인해 〈그림 3-56〉과 같은 파괴형태를 나타낸다.



〈그림 3-55〉 저면활동



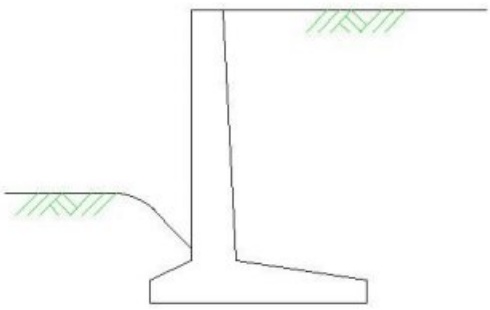
〈그림 3-56〉 원호활동

구조물 전도는 기울기의 개념으로 옹벽이 설계 시 또는 준공시보다 기울어지는 현상으로서 일반적으로 침하를 동반하여 발생하며 경사가 심해지면 옹벽의 전도에 대한 안정성에 문제가 발생할 수 있다.

전도 발생원인은 지반의 침하, 기초의 세굴, 뒤채움 토사에 과도한 토압, 과중한 상재하중, 기초 마운드의 산란이나 옹벽하단의 전단파괴 등에 기인하여 주로 발생한다.

〈그림 3-57〉 옹벽의 전도

세굴은 기초지반이 유실된 현상으로 기초지반의 지지력 저하와 수동토압의 감소로 침하, 전도, 활동 등의 외적안정성에 크게 영향을 미치는 결함 항목이며 특히, 하천옹벽과 같이 전면부 기초지반의 침투가 가능한 경우에 발생 가능성이 높으므로 특별한 관리와 주의를 요한다.



〈그림 3-58〉 기초부 세굴

〈그림 3-59〉 옹벽 기초부 세굴 상태 및 흔적

콘크리트 파손 및 손상은 지속적인 외력의 작용이나 과도한 충격에 의해 발생하는 결함으로 구조부재의 주요부가 부서지거나 파손되는 등 눈에 띄는 형상의 변화를 수반하며 이에 따라 구조부재의 안정성과 사용성을 심각하게 저하시키며 구조적인 기능을 회복시키기 위해서는 근본적인 보강이 필요하다.

파손으로 분류될 수 있는 결함의 형태는 옹벽의 전면부가 깨진 경우, 철근이 휘거나 부러진 경우 등으로 주원인으로는 낙석이나 차량의 충돌, 비탈면이나 토류벽 구조의 파괴로 인한 과도한 변위, 지진 등을 들 수 있으며, 파손의 크기는 영향부위의 최대치수(깊이, 폭, 변위 등)로 표시한다.

손상은 콘크리트 부위가 유실되었으나 철근의 노출은 없이 콘크리트 덮개의 손상만 발생한 현상으로 콘크리트 표면이 충격으로 거칠어진 상태에 있는 것으로 구분할 수 있다.

충격손상의 발생 원인은 낙석 및 기타 구조물의 충돌 등이며, 구조적 영향은 크지 않으나

콘크리트 덮개의 감소로 인해 철근의 부식이 촉진될 수 있다.

콘크리트 균열의 종류는 과응력 균열, 일반균열, 부식균열 등으로 구분되며, 과도한 외적하중이 작용한 결과로 발생하는 균열인 과응력 균열은 건조수축이나 온도변화에 의한 균열과는 달리 보통 직선으로 발생한다.

과응력 균열의 발생 원인으로는 시공 중 과하중 또는 설계오류나 상세 설계의 잘못으로 발생할 수도 있다.

〈그림 3-60〉 옹벽 손상

일반균열은 다양한 원인으로 발생하고 경우에 따라 다르나 원인이 불분명한 것들이 많으며, 철근배근 오류, 건조수축, 온도변화, 기후작용 및 화학작용 등으로 발생한다.

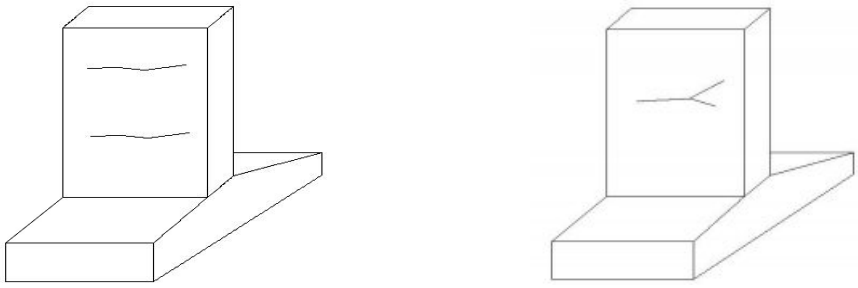
균열폭은 0.5mm 보다 작고 온도에 따라 변하며, 크기는 균열의 길이 및 폭으로 나타낸다.

일반균열로 야기되는 구조적인 영향은 크게 심각하지 않으나 구조물의 내구성 저하를 유발한다.

부식균열은 철근의 부식과 같은 화학작용에 의한 부식철근의 팽창으로 콘크리트가 쪼개지는 균열이며 부식된 철근을 따라 주로 발생한다.

균열폭은 최대부식 위치에서 가장 크고 끝으로 갈수록 폭이 줄어져 사라지고 균열 위치에서 적색, 주황색 또는 갈색의 부식 부산물이 종종 관찰되며 부식균열의 크기 역시 길이 및 폭으로 나타낸다.

부식균열이 구조적으로 미치는 영향은 일반적으로 크지는 않지만 철근의 단면 손실과 관련된 구조적인 기능저하를 유발할 수 있고 내구성의 저하를 야기한다.



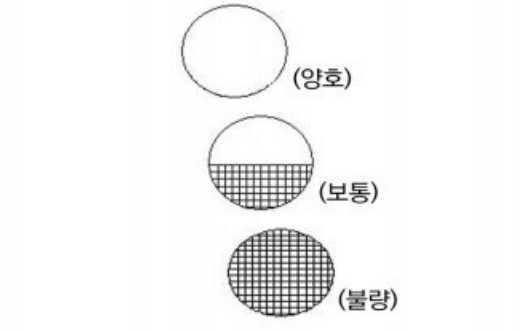
(a) 과응력균열 (b) 일반균열

〈그림 3-61〉 균열발생형태

〈그림 3-62〉 전면부의 종방향 균열

〈그림 3-63〉 전면부의 횡방향 균열

옹벽 배수공 불량은 우기 시 배면부의 토압 증가를 야기시켜 옹벽의 안전성에 크게 영향을 주는 경우가 있으며 옹벽 배수공 불량 유형은 뒤채움 흙의 유출이 없는 아주 양호한 상태, 뒤채움 흙의 유출이 부분적으로 일어나 배수의 원활한 흐름에 영향을 주는 보통의 상태, 뒤채움 흙의 유출로 인해 배수공이 완전히 막혀 옹벽 배면부의 과도한 수압증가를 초래하여 옹벽의 안전성에 큰 영향을 주는 불량한 상태로 구분할 수 있다.



〈그림 3-64〉 배수공 상태에 따른 판단기준

〈그림 3-65〉 배수공 불량 상태

콘크리트 열화는 공기 중의 배기가스가 녹은 물 또는 유해한 성분을 포함한 침투에 의해 상당한 깊이까지 변질하여 강도저하를 일으키는 현상이다.

열화를 유발하는 가장 큰 원인인 배기가스 및 유해수는 시공이음부 뿐만 아니라 콘크리트 자체에 배기가스 중에 함유된 아황산가스가 녹은 물(습기)이 침투함으로 인해 상당한 깊이까지 침투하여 여러 가지 손상의 원인이 되며 강산성의 유해수가 침투하는 경우에는 주로 재료가 시멘트 경화체인 콘크리트를 쉽게 열화하게 한다.

따라서 열화현상에 의해 박리, 박락, 백태 등과 같은 결함을 초래함과 동시에 외력에 대한 저항력을 감소하게 된다.

〈그림 3-66〉 콘크리트 열화

(2) 보강토 옹벽의 손상

보강토 옹벽의 손상종류는 앞서 전술한 콘크리트 옹벽의 손상종류와 유사한 구조물의 침하, 활동, 세굴, 전도 등이 있으나 전술한 바와 같아서 생략한다.

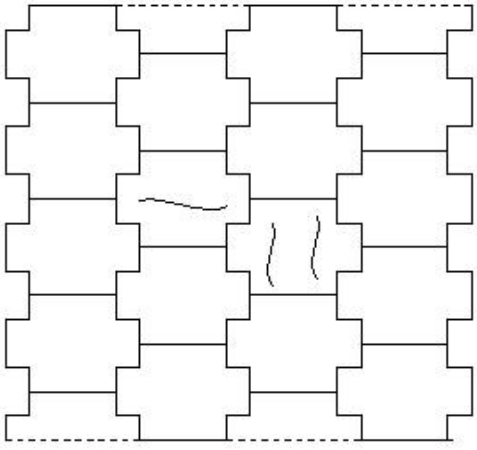
다만, 전면판, 전면블록 등 전면부의 손상 및 균열, 유실 및 이격, 배부름에 대하여 기술한다.

전면부의 손상은 지속적인 충격이나 과도한 충격에 의해 발생하는 결함으로 구조부재의 주요부가 깨지거나 망손 되는 등 눈에 띄는 형상의 변화를 수반하고 이에 따라 구조부재의 안전성과 사용성을 심각하게 저하시키며 구조적인 기능을 회복시키기 위해서는 근본적인 대책이 필요하다.

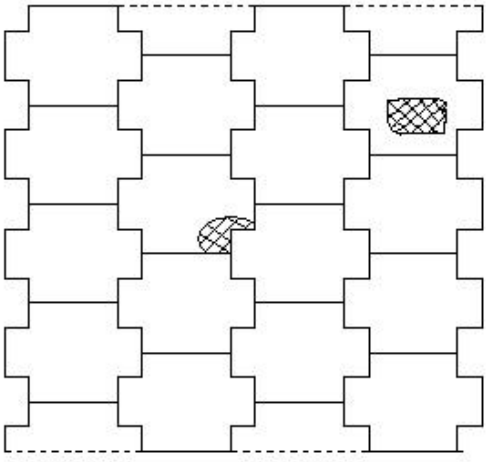
파손의 발생 원인으로는 낙석이나 차량의 충돌과 같은 외적충격, 비탈면이나 토류벽 구조의 파괴로 인한 과도한 변위로 구조적인 안전성 상실, 과도한 정적 하중, 지진 등을 들 수 있고, 파손이 발생하는 위치는 일반적으로 최대하중이 작용하는 위치나 응력이 최대로 발생하는

위치이다.

전면부의 균열은 옹벽의 외적·내적 요인에 의해서 발생되며, 보강토 옹벽에서의 균열발생 원인으로는 재료적 결함 또는 배면지반의 하중증가로 인한 발생 및 전면판의 연직하중에 대한 저항으로 추정할 수 있다.



〈그림 3-67〉 전면부의 균열



〈그림 3-68〉 전면부의 파손

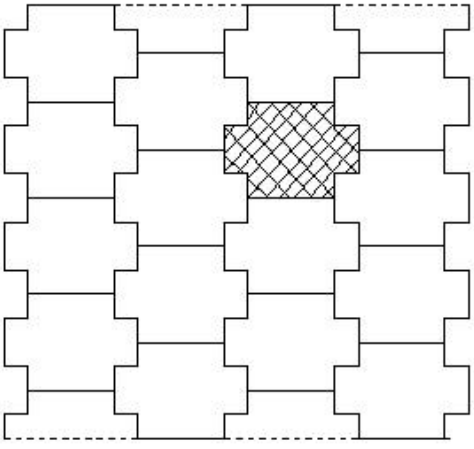
〈그림 3-69〉 전면부의 균열

〈그림 3-70〉 전면부의 파손

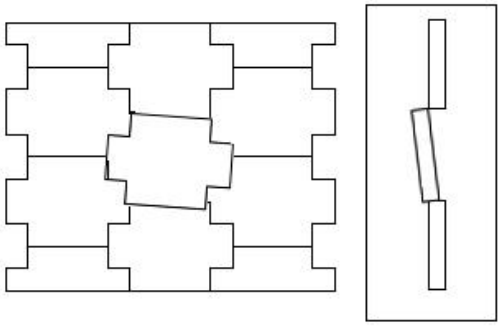
전면판의 유실은 보강토 옹벽 전면판 일부가 유실된 현상으로 육안으로 확인할 수 있고, 전면판의 이격은 전면판이 안쪽으로 밀려들어갔거나 주위블록에 비해 내려앉은 현상으로 인해 블록간의 간격이 벌어진 현상으로 이러한 현상은 국부적인 집중하중이나 배면지반 또는 기초부의 부등침하에 의해서 일어날 수 있다.

이런 경우에는 지속적인 관찰을 통하여 이격이 진행되는지를 확인해야 그 발생원인을 알아낼 수 있으며 그에 따른 조치를 취할 수 있다.

전면판의 유실이 발생할 경우 배면지반의 이동을 방지하기 위하여 전면판과 연결된 보강재의 인장력 저하가 발생하여 본래의 기능을 발휘하지 못할 수 있으므로 결함이 진행되지 않도록 신속한 보수조치를 실시하여야한다.



〈그림 3-71〉 전면판의 유실



〈그림 3-72〉 전면판의 이격

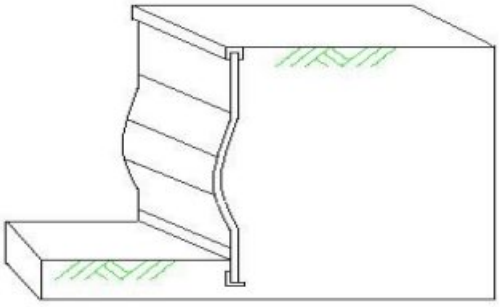
〈그림 3-73〉 전면판의 유실

〈그림 3-74〉 전면판의 이격

전면부의 배부름은 과도한 집중하중, 지반의 측방유동 또는 보강재의 국부적인 파단 및 마찰력 저하 등의 복합적인 요인으로 인해 옹벽의 전면부가 전체적 또는 부분적으로 전면으로 부풀어 오르는 현상으로 벽면의 변형으로 인해 상부지반의 침하를 유발할 수 있다.

보강토 옹벽의 특성상 보강재의 허용응력 이하의 변형이 발생되었을 경우에는 전체적인

안정성에는 큰 지장이 없으나, 그 이상의 변형 또는 지속적으로 변형이 발생하는 경우에는 즉각적인 보수·보강 조치가 실행되어야 한다.



〈그림 3-75〉 전면부의 배부름 현상

〈그림 3-76〉 전면부의 배부름 현상

(3) 석축의 손상

석축의 구조적 특성은 단일재료의 연속적인 구성으로 인해 중력식옹벽과 같은 자중으로 토압에 저항하는 구조물이며, 구조적 특성으로 판단할 때 석축은 중력식 콘크리트 옹벽과 유사하고 재료적 특성으로 볼 때 보강토 옹벽과 유사하게 볼 수 있다.

따라서 석축에서 발생하는 손상의 종류 및 원인은 보강토 옹벽 및 콘크리트 옹벽에서 발생한 원인과 동일하게 취급할 수 있으므로 기술을 생략하며, 석축에서 발생하는 손상의 종류는 침하, 활동, 전도, 이격, 파손, 손상 및 균열, 유실, 세굴, 배수공 불량 등이다.

(4) 돌망태 옹벽의 손상

돌망태 옹벽의 손상종류는 침하, 활동, 채움재 유실, 진행성 변형, 철망파손 등이다.

채움재의 유실은 부실시공 및 와이어 메쉬의 파손으로부터 발생될 수 있으며, 채움재의 유실로 인해 옹벽 자중 감소와 공극발생으로 인한 배면지반의 침하 및 활동저항력 감소로 인한 변형의 원인이 될 수 있다.

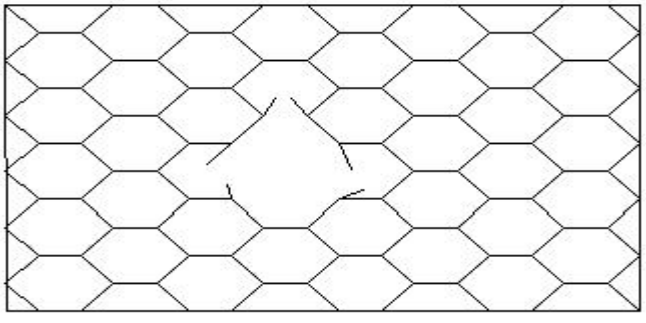
진행성 변형은 추가하중으로 인한 배면지반의 침하, 지반의 이완이나 높은 축조고로 인해 돌망태 옹벽 자중에 의한 변형으로 구분할 수 있고, 이러한 경우 변형은 주로 옹벽 하단부에서 발생하며, 옹벽의 수평력 증가로 인해 활동저항력 감소로 치명적인 위험요소가 될 수 있다.

〈그림 3-77〉 자중에 의한 변형

〈그림 3-78〉 전면부의 진행선 변형

석재와 같은 중량의 재료를 일정규격의 망에 채워 하나의 중력식 지지벽을 형성하는 돌망태 옹벽에서 철망은 매우 중요한 부재중에 하나이다.

철망파손은 채움재의 유실로 이어져 침하, 변형 등의 주요 원인이 되며, 과도한 응력작용, 부식에 의한 재료의 내구성 저하 등이 원인이 된다.



〈그림 3-79〉 철망 파손 모식도

3.5 급경사지 붕괴사례

급경사지의 붕괴는 많은 인명 피해와 재산 피해를 유발하며 대표적 사례는 다음과 같다.

1963년 6월 경상남도 거제군 장승포읍에서는 폭풍우에 의한 산사태 발생으로 6채의 가옥이 매몰되고 69명이 압사하는 참사가 있었고, 1999년 9월 부산광역시의 황령산에서 발생한 산사태 사고 때에는 20여만톤 이상의 토사가 도로를 덮쳐 시민 4명이 인명피해를 겪은 사례가 있었다.

또한 2002년 8월 태풍 루사와 함께 동반된 국지성 집중호우는 국도 35호선 강릉시 왕산면 대기리-삽당령 구간의 도로비탈면을 붕괴시켰으며 차량 6대가 매몰되었으며, 2011년 7월 말에 발생한 국지성 집중호우는 서울의 우면산 지역과 춘천 일대 등의 대규모 산사태를 유발시켜 30명 이상의 인명피해를 발생시켰다.

우리나라의 대표적인 비탈면 붕괴사례는 낙석과 평면파괴, 쐐기파괴 등의 암반비탈면 붕괴, 표층유실 및 세굴 등과 같은 토사비탈면 붕괴로 나타난다.

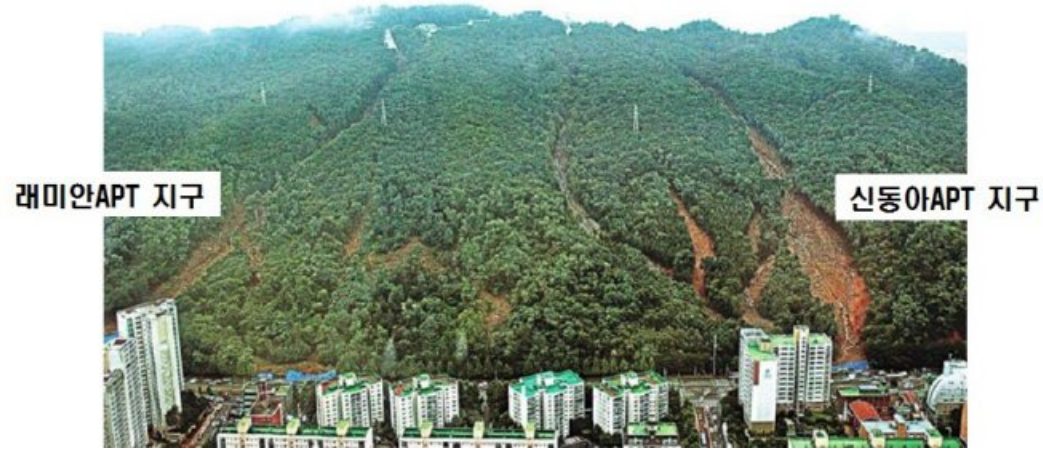
3.5.1 자연비탈면 붕괴사례

(1) 우면산 산사태(래미안APT 지구 및 신동아APT 지구)

대상지역은 서울시 서초구 방배3동에 위치한 래미안APT와 신동아APT 앞 우면산에서 발생된 산사태 구간이다.

래미안APT 지구는 2011년 7월 27일 오전 8시 30분쯤 집중호우로 인하여 토석류 산사태가 발생하였으며, 대량의 물과 함께 토사, 유목 등의 사태물질이 남부순환로를 넘어 래미안APT 3층까지 피해를 주었고 사망자가 3명 발생하였다.

한편 신동아APT 지구는 2011년 7월 27일 오전 8시 20분쯤 집중호우로 인하여 토석류 산사태가 발생되었으며, 토사, 전석 등의 사태물질은 남부순환로를 넘어 불교TV방송과 신동아APT 1층까지 피해를 주었고, 사망자는 불교TV방송에서 1명, 신동아APT에서 2명 발생하였다.



〈그림 3-80〉 우면산 산사태 현장 (한국지반공학회, 2011)

이 지역의 비탈면경사는 산 정상부 인근의 경우 25-30o정도 이며, 산 중턱과 하부의 경우 20-25°정도로서 지질분포의 차이에 의해 정상부의 비탈면경사가 더 급하다.

이 지역에는 엽리면, 단층, 절리가 발달하였으며, 엽리면은 하부에서는 완만하게 발달하나 정상부로 갈수록 급한 경사를 이루고 있고 다양한 방향의 절리가 발달하고 있으며 대체적인 절리방향이 비탈면방향과 반대로 지반내부로 강우침투가 용이하며, 13곳 이상의 약수터가 산재하고 있어 지하수위가 높게 형성되어 있다.

대상지역의 산사태에 대한 원인분석 결과 집중호우, 과거 붕괴이력으로 인한 두꺼운 붕적층, 높은 지하수위, 붕적층과 기반암사시의 점토층, 얇은 토층과 나무뿌리의 얕은 활착 등으로 분석되었다.

한편 산사태 붕괴과정은 다음과 같이 추정할 수 있다.

1) 집중호우로 인하여 국부적으로 얕은깊이의 활동파괴와 표층유실이 발생,
2) 비탈면붕괴로 인해 발생된 사태물질이 계곡부를 따라 하부로 이동,
3) 사태물질 이동시 계곡 하부 및 측면부에 존재하는 붕적토, 자갈, 암괴와 함께 이동,
4) 사태물질이 하부로 흘러내려가다가 흐름방향이 바뀌거나 계곡의 폭이 좁아지는 구간에서 유목 등으로 인해 임시 차단,
5) 이후 지속적인 강우와 계속적인 활동파괴 및 표층유실로 임시 퇴적된 사태물질이 한 번에 하부로 유동하여 래미안아파트에 충격되었다.

〈그림 3-81〉 래미안APT 지구 산사태 현장(한국지반공학회, 2011)

〈그림 3-82〉 래미안APT 지구 산사태 현장 항공사진(한국지반공학회, 2011)

〈그림 3-83〉 신동아APT 지구 산사태 현장 항공사진(한국지반공학회, 2011)

(2) 사천지역 산사태

2002년 8월 31일-9월1일 양일간에 걸쳐 한반도를 강타한 태풍 '루사'의 영향으로 강릉지역에 최대 900mm의 폭우가 내려 강릉시 사천면 일대에 수백개의 산사태가 발생되었다.

특히 산사태가 집중적으로 발생한 지역은 2000년 4월 산불이 발생한 지역과 일치하며, 산불로 인하여 산림이 황폐해진 직후 식생이 복원되기 이전에 발생한 것이며, 행정구역상으로 강릉시 사천면 노동리와 석교리에서 가장 많이 발생하였는데, 이 지역에서만 525개의 산사태가 확인되었다

이 지역은 전역이 화강암으로 중립 내지 세립질의 결정질 암석이며, 풍화심도는 얕으나 0.5-1m 내외의 고른 풍화대를 형성하고 산사태를 일으키는 미고결 토층은 대부분이 풍화토인 모래질로 구성되어 있다.

산사태가 발생한 지점의 풍화정도는 완전풍화(completely weathered)에 해당하는 흙이고 사태가 발생한 후의 노출된 암반의 상태는 대부분이 높은 풍화 또는 그 보다 덜 풍화된 보통풍화(moderately weathered) 암반이다.

따라서 이 지역은 완전풍화된 모래질의 흙이 기반암 경계를 따라서 침투된 강우에 의하여 발생한 산사태이며 사태물질은 암편이 거의 포함되지 않은 토사류(sediments flow)에 해당한다.

〈그림 3-84〉은 사천지역에 발생한 산사태의 사진들이며(한국지질자원연구원, 2006), 〈그림 3-84〉(a)와 〈그림 3-84〉(b)에서 보듯이 이 지역은 산불이 발생한 지역에서 산사태가 집중적으로 발생하였다.

〈그림 3-84〉(c)와 〈그림 3-84〉(d)는 이 지역에 발생한 산사태의 일반적인 형태로 토층과 암반의 경계부를 따라 비교적 얕은 깊이를 가지며 붕괴된 형태를 나타내고 있으며, 〈그림 3-84〉(e)는 산사태 발생 지역에 위치한 공원묘지가 붕괴된 것인데, 이곳은 묘지조성을 위해 계단식 석축옹벽의 인공구조물이 있었음에도 불구하고 많은 지점에서 붕괴가 되었다.

이 지역은 화강암으로 구성되어 있어 이 지역의 토층은 대부분 화강암의 풍화산물인 모래와 실트질로 이루어져 있는데, 산사태로 인해 엄청난 규모의 모래질 사태물질이 하부로 이동하였다.

〈그림 3-84〉(f)는 하부지역에 퇴적된 모래질의 사태물질이다. 사진은 복구를 위해 도로위에 퇴적된 사태물질의 일부를 좌우 가장자리에 쌓아 놓은 모습인데, 당시 도로위에 쌓인 퇴적물의 두께만 1.5m가 넘었으며, 산사태 피해지역의 하천과 전답, 가옥 등은 대부분 산에서 흘러온 모래질 사태물질에 매몰되면서 많은 피해가 발생하였다.

이 지역의 산사태는 표층에서부터 풍화도가 보통풍화 내지 심한풍화 정도 되는 기반암과의 경계면을 따라 전이형 활동(translational slide)의 형태로 붕괴가 시작되었다.

이것은 표층에서부터 유입되는 강우가 보통풍화 정도의 풍화대를 만나면서 더 이상 침투하지 못하고 그 경계면을 따라 내부에서 유동이 발생하고 이에 따른 토층의 전단강도가 저하되며, 물의 하중이 가중된 표층의 무게를 감당하지 못하고 암반과의 경계를 따라서 발생한 산사태로 비탈면 하부로 이동된 사태물질은 계곡부에서 다른 사태물질과 합쳐지면서 토류(earthflow)의 형태로 변하면서 하부로 흘러 내려갔다.

(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

〈그림 3-84〉 사천지역에서 발생한 산사태(한국지질자원연구원, 2006)

(a)와(b) 산불지역에 발생한 산사태, (c)사천지역에서 발생한 산사태의 일반적인 형태, (d)산사태의 깊이(약 90cm), (e)사천 공원묘지의 붕괴, (f)하부지역에 퇴적된 모래질의 사태물질

(3) 거창지역 산사태

2003년 9월 12일 ~ 13일에 걸쳐 우리나라에 상륙한 태풍 '매미'의 영향으로 거창군 가북면 일대에 집중적으로 산사태가 발생하였는데, 특히 용암리의 송정마을과 중촌리의 다전마을에서 100여개의 산사태가 발생하였으며, 강우량은 타 지역에 비하여 적은 편으로 161mm를 기록하고 있으나 전체 강우량이 하루에 집중된 점이 특이하다.

지질은 선캠브리아기의 변성암류인 흑운모 편마암과 흑운모 대상편마암을 기반으로 하여 이를 관입한 중생대의 화성암류로 이루어져 있으며, 이 지역의 산사태는 편마암 지대에서도 다소 발생되었으나 집중적으로 화강암 지대에서 발생되었다.

산사태가 발생한 지점은 대부분 능선에서 가까운 고지대로서 0.5m 내외의 얇은 전이형 붕괴형태를 보이고 있고, 이는 이 지역의 풍화상태가 고른 분포를 보여 산사태의 파괴가 기반암 상부의 얇은 풍화토층에서만 발생된 것으로 볼 수 있으며, 산사태가 발생한 상부의 단애(scarp)에서 관찰한 바에 의하면 약 0.5m 정도의 나무뿌리 깊이로 파괴면이 형성되어 있다.

〈그림 3-85〉은 거창지역에 발생한 산사태의 사진들로(한국지질자원연구원, 2006) 〈그림 3-85〉(a) 및 〈그림 3-85〉(b)는 사태물질이 계곡을 따라 하부로 이동하면서 계곡에 퇴적되어 있던 붕적층을 함께 쓸고 간 모습이다.

따라서 사태물질이 하부로 이동하면서 토석류의 양이 크게 증가하였으며, 이는 계곡하부의 위치하고 있는 마을에 큰 피해를 입혔다.(〈그림 3-85〉(c) 및 〈그림 3-85〉(d)).

특히, 송정리의 경우 산사태가 발생한 지점은 마을에서 약 0.5km 이상 떨어져 있지만 붕적토가 포함된 사태물질이 계곡 하부의 마을까지 내려왔고 중촌리의 경우 붕적토가 포함된 사태물질이 산사태 발생지점에서 1.5km 떨어진 다전마을까지 이동되어 큰 피해를 야기시켰으며, 마을을 덮친 사태물질은 주로 세립의 실트질 또는 점토질 물질이고 거력(boulder)도 혼합되어 있었기 때문에 마을을 관통하여 마을 앞을 지나는 도로까지 확산되었다.

(a) (b)

(c) (d)

〈그림 3-85〉 거창지역에서 발생한 산사태(한국지질자원연구원, 2006)

(a)사태물질의 이동, (b)계곡 붕적층의 침식, (c)실트/점토 및 거력으로 구성된 사태물질로 인한 가옥 피해, (d)마을을 관통한 사태물질을 수습한 모습.

(4) 강원도 춘천시 신북읍 천전리 산사태

강원도 춘천시 신북읍 천전리 산사태 현장(이하 천전지구)은 2011년 7월 27일 집중호우로 인하여 대규모 산사태가 발생된 현장으로, 13명의 사망사고가 발생된 비극의 사건이었다.

천전지구는 소양강 댐 인근에 위치하며, 음식점 및 펜션 등이 집중되어 있어 산사태 발생시 피해도가 매우 큰 지역에 해당된다.

천전지구는 토석류의 형태로 붕괴된 곳으로서, 붕괴부의 규모는 폭 10~15m, 높이 200m, 붕괴심도는 2~5m에 해당되며, 붕괴부의 경사는 평균 45~50°로 비교적 급한 편으로 붕괴부 최상단에는 과거 군사용 도로가 조성되어 있으며 다음과 같은 내·외적인 위험요인을 가지고 있었다.

① 과거 군사용 도로가 현재는 등산로로 활용되고 있으며, 본 도로에서 붕괴가 시작된 점을 고려하면 도로시공에 따른 도로하부 지지력 상실 등이 원인으로 작용되었을 가능성이 있다.
② 구성재료에 비하여 급경사(45~50°)의 자연경사를 가지고 있었다.
③ 지형적으로 계곡부에 위치하며, 작은 규모의 곡류가 수렴되는 부분으로, 우기시 많은 유수가 집중적으로 흐르는 구간이었다.

④ 토층의 두께가 1~3m로 붕괴부 좌우측부의 산등성이 부분에 비교하여 토층이 상대적으로 깊은 편이었다.

그러나, 천전지구의 주변 수목은 곧게 성장하고 있으며, (붕괴 이전의 자료를 살펴보면) 대형 계곡부가 아니었다는 점, 엽리의 발달방향이 비탈면의 붕괴 이동 방향과 다르다는 점 등 산사태가 발생될 것이라고 예상하기가 곤란한 지역에 해당되는 편이었다.

〈그림 3-86〉 강원도 천전지구 산사태 현황

(5) 경기도 포천시 일동면 기산리 산사태

경기도 포천시 일동면 기산리 산사태 현장(이하 기산지구)은 중부지방의 집중호우가 지속된 2011년 7월 27일 23시 30분경 주택지 배후의 산비탈에서 대규모 산사태가 발생된 현장으로, 붕괴토사가 인근 마을을 덮치면서 산사태 발생지 최근접지 ○○빌라의 입주민 3명이 사망하는 사고가 발생되었다.

산사태 발생부는 완경사의 소규모 계곡부로 형성된 지형으로 인근 주민들이 텃밭 등을 가꾸고 있었다.

기산지구는 집중강우시 얕은 계곡부로 유입된 지표수가 풍화토를 끌고 내려가는 토석류의 형태로 붕괴된 곳으로서, 붕괴부의 규모는 폭 25~30m, 높이 약 50m, 붕괴심도는 5m 이상이며, 붕괴부의 경사는 평균 30° 내외의 완경사로 이루어져 있다.

붕괴로 인해 일대 마을을 덮을 정도로 막대한 토사 이동이 발생되었고, 기산지구는 다음과 같은 내적인 위험요인을 가지고 있었다.

① 구성암인 화강암의 풍화토인 마사토로 구성되어 있으며, 토층의 심도가 5m 이상으로 매우 깊게 분포하는 특징을 보이는 구간이었다.

② 산사태 발생부 일대는 여러 방향의 소규모 계곡부가 형성된 지형적 특징을 보이고 있어 집중강우시 유수의 유입이 활발하게 발생될 수 있는 상황이었다.

상기의 붕괴 내적 원인이 존재하는 비탈면에 국지성 집중호우가 집중되면서 붕괴가 발생된 것으로 판단된다.

〈그림 3-87〉 경기도 기산지구 산사태 현황

(6) 경기도 포천시 신북면 금동리 산사태

경기도 포천시 신북면 금동리 산사태 현장(이하 금동지구)은 중부지방의 집중호우가 지속된 2011년 7월 27일 밤 9시 02분경 ○○농원 펜션 배후의 산비탈에서 산사태가 발생된 현장으로, 소규모 계곡부를 따라 암반층위의 얕은 표토층이 유실되는 붕괴가 발생되었으나, 붕괴와 더불어 일대에 분포하는 아름드리 잣나무가 토사와 함께 주말농원을 덮치면서

투숙객 3명이 사망하고, 7명이 부상을 입는 사고가 발생되었다.

금동지구는 집중강우시 얕은 계곡부로 유입된 지표수가 표토층을 유실시킨 표층유실의 형태로 붕괴된 곳으로서, 붕괴부의 규모는 폭 20m 내외, 높이 200m 이내, 붕괴심도는 1m 이하이다.

금동지구 산사태의 원인은 소규모 계곡부가 형성되어 있는 지형에 국지성 집중호우가 집중되면서 기반암 상층의 얕은 표토층 유실이 발생된 것으로 추정되지만 이 구간에 분포하는 아름드리 수목이 산사태 발생시 함께 전도하여 산지 하부로 이동하면서 펜션 건물을 덮쳐 인명피해 발생 등 피해를 키운 것으로 판단된다.

〈그림 3-88〉 경기도 금동지구 산사태 현황

(7) 경기도 포천시 신북면 심곡리 산사태

경기도 포천시 신북면 심곡리 산사태 현장(이하 심곡지구)은 중부지방의 집중호우가 지속된 2011년 7월 27일 밤 9시 55분경 ○○ 펜션 배후의 산지 정상부에서 산사태가 발생된 현장으로, 붕괴 토사와 수목 등이 펜션을 덮치면서 1명이 사망하고, 1명이 부상을 입는 사고가 발생되었다.

심곡지구는 집중강우시 얕은 계곡부로 유입된 지표수의 집중에 의해 산지 표토층이 유실된 표층붕괴의 한 형태로써, 붕괴부의 규모는 폭 20m 내외, 높이 150m 이내, 붕괴심도는 2m 내외이며, 심곡지구 산사태 발생부의 최상단부에는 고압송전선로 공사용 임시진입도로(길이 약 150m, 폭 약 4m)가 존재하고 있다.

〈그림 3-89〉 경기도 심곡지구 산사태 현황

3.5.2 인공비탈면 붕괴사례

(1) 깎기비탈면 붕괴사례

1) 낙석

낙석은 암반 내 불연속면(절리, 편리, 층리 등의 갈라진 틈)이 이완되어 암편이 모암(母巖)으로부터 분리되어 낙하하는 현상으로 규모면에서 암편을 셀 수 있을 정도의 소량인 것을 의미하고, 일반적으로 낙석의 규모가 커지면 암비탈면의 붕괴와 구별하기 어려우며, 암반과 낙석 사이에는

전단변형이 거의 없는 것이 특징이다.

낙석의 발생현황을 기록할 때에는 낙석의 평균크기, 최대크기를 기록하는 것이 중요하며, 낙석의 양도 함께 기록하여야 하고 낙석이 발생되는 비탈면은 낙석방지망을 이용하여 낙석을 하부로 유도하거나 낙석방지옹벽이나 낙석방지울타리 등을 이용하여 발생낙석이 도로에 침입하지 않도록 하여야 한다.

가. 시공불량 및 발파균열에 의한 낙석

도로개설시 깎기부의 법면처리 미흡 등으로 인한 시공불량이나 과발파로 인하여 깎기부에 남아 있던 이완암이 낙석으로 발생되는 경우이며, 가장 흔한 낙석 발생의 형태이다.

〈시공불량으로 인한 이완암〉

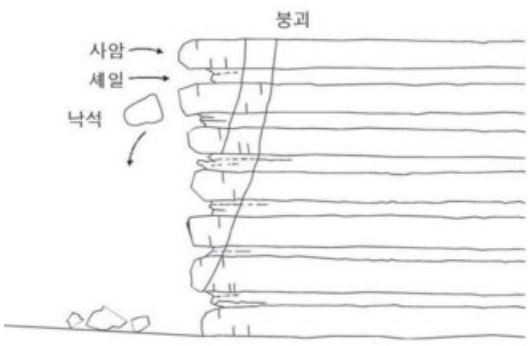
〈과발파흔적〉

〈그림 3-90〉 낙석위험블록

나. 퇴적암의 차별풍화에 의한 낙석

사암과 셰일층이 교호하는 지반으로 구성된 비탈면에서는 셰일층의 낮은 풍화저항력으로 차별풍화 현상이 발생하며, 차별풍화로 셰일층의 강도가 저하되고 침식되어 사암층의 하부 지지력을 상실시키고 이에 따라 낙석이나 암반붕괴가 발생된다.

이러한 비탈면 활동파괴에 대한 안정성 위해서 경사를 완화하여 안정적인 경사도를 확보하는 것이 중요하고, 향후 차별풍화로 인한 깎기부의 법면 불량 상태를 방지하기 위하여 면정리와 비탈면 녹화, 콘크리트 뿜어붙이기, 낙석방지망 등을 시공하여 추가적인 풍화나 침식을 방지함으로서 낙석이 더 이상 발생되지 않도록 관리하는 것이 중요하다.



〈낙석 모식도〉

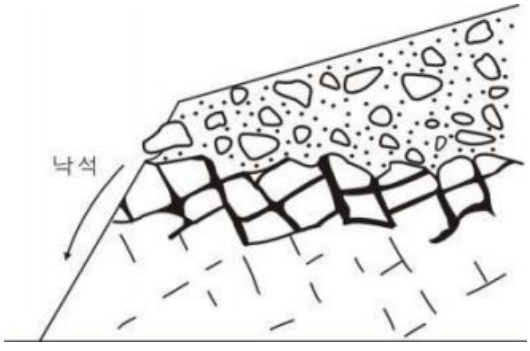
〈셰일과 사암 교호층〉

〈그림 3-91〉 퇴적암의 차별풍화에 의한 낙석

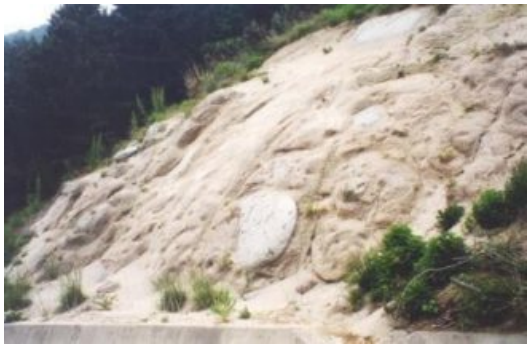
다. 붕적층이나 화강암, 변성암에서의 핵석지반에 의한 낙석

붕적층과 핵석지반의 공통점은 토사와 암이 혼재되어 분포되어 있다는 점은 공통점이지만, 붕적층은 구성 물질이 이동한 것이며, 핵석지반은 구성물질의 이동이 없다는 것에 차이점이 있으며, 이러한 지반들은 토사 내의 암이 지표수나 지하수의 토사 세굴 작용에 의해 하부 지지력이 상실되면서 낙석을 일으키는 위험성을 내포하고 있다.

이러한 지반의 안정적인 관리를 위해서는 암괴의 노출정도나 전체적인 핵석의 규모를 조사하여 판단하되, 대규모 핵석은 노출 부위를 무리하게 제거하지 말고 기대기식옹벽 등을 활용하여 하부를 보강하거나 특수망 등을 이용하여 원지반과 봉합하는 방안을 검토하여야 하며, 비탈면 내 지표수 유입으로 표층이 유실되어 지지력이 상실되지 않도록 산마루배수구나 소단배수구 등의 배수시설을 설치하는 것이 좋다.



〈낙석 모식도〉



〈핵석지반〉

〈그림 3-92〉 퇴적암의 차별풍화에 의한 낙석

라. 상부자연비탈면의 뜬돌

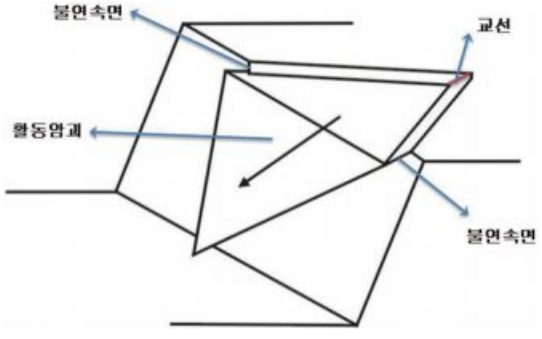
상부자연비탈면에 분포하는 낙석위험블럭이 지표수의 세굴작용으로 지지력이 상실되면 비탈면 하부로 급격히 낙하하여 피해를 주는 경우가 있고, 상부자연비탈면에 있는 낙석위험블럭은 식생피복 등으로 사전에 알기가 어려우므로 조사자는 각별히 주의해야 된다.

상부자연비탈면에 존재하는 토석은 식생으로 쉽게 제거하기 힘들기 때문에 포켓식 낙석방지망을 비탈면 경계에 설치하여 낙석 발생 시 방지망 내로 포획되게 하거나 비탈면 경계부를 따라 울타리를 설치하여 낙석이 도로에 유입되는 것을 미리 막는 방안 등을 통해 유지관리를 수행하는 것이 중요하다.

〈그림 3-93〉 상부자연비탈면에 존재하는 낙석위험블록

2) 쐐기파괴

쐐기파괴는 두 불연속면으로 이루어진 블록이 비탈면 경사방향을 따라 미끄러지는 파괴형태를 말하며, 이러한 파괴는 두 불연속면이 비탈면을 비스듬히 가로질러 존재하고 두 불연속면의 교선이 비탈면 방향과 일치할 때 일어나는 파괴 형상이며, 이들 불연속면 위에 놓여 있는 쐐기형 암반이 아래로 미끄러지는 형태로 붕괴되게 된다.



〈그림 3-94〉 쐐기파괴 모식도

가. 퇴적암에서의 쐐기파괴

경상도 지방의 일부 퇴적암은 층리면과 이에 거의 수직인 두 방향의 절리가 발달하기도 한다. 층리면이 비탈면 배면으로 기울어지면 두 방향의 수직절리는 쐐기파괴를 일으킨다.

또한, 층리면이 급한 경우에는 층리면과 한 방향의 수직절리의 조합으로 쐐기파괴가 발생될 수 있다.

〈그림 3-95〉 퇴적암에서의 쐐기파괴

나. 변성암에서의 쐐기파괴

변성암에 발달된 엽리면과 한방향의 절리가 조합될 경우 또는 두 방향의 절리가 있으면 쐐기파괴가 발생된다.

〈그림 3-96〉 변성암에서의 쐐기파괴

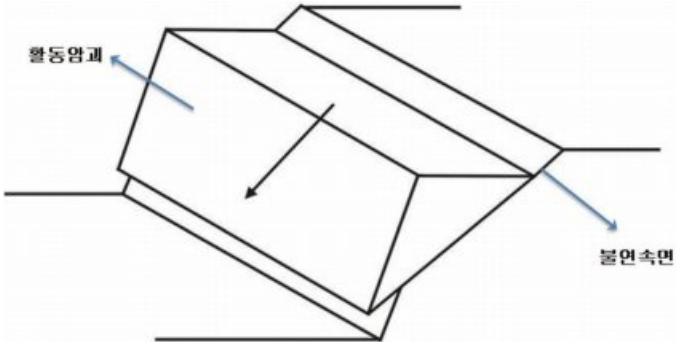
3) 평면파괴

비탈면 방향과 같은 방향의 불연속면을 따라 미끄러짐이 발생되는 파괴를 평면파괴라 하며, 중력의 작용으로 암괴가 평면파괴를 일으키는 경우 단일면 상의 암괴는 취약면의

경사방향을 따라 이동하게 된다.

비탈면 전문가들은 평면파괴를 쐐기파괴의 특수한 경우로 다루기도 하고 평면파괴는 주로 퇴적암이나 변성암과 같이 질서 정연한 지질구조를 가지는 암반에서 발견되며, 화강암과 같은 암석에서도 층상절리가 발달하는 경우 평면파괴가 유발되기도 한다.

평면파괴는 〈그림 3-97〉과 같이 단순화시켜 표현할 수 있다.



〈그림 3-97〉 평면파괴 모식도

가. 퇴적암에서의 평면파괴

퇴적암의 층리면은 연장성이 매우 우수하므로 층리면의 경사가 비탈면방향에 불리하게 분포하는 경우 넓은 영역에 걸쳐 대규모의 평면파괴를 일으킨다.

〈그림 3-98〉의 오른쪽 사진은 평면파괴 발생 후, 층리면을 따라 "깎기"를 수행하여 비탈면을 안정시킨 사례이다.

〈석회암의 평면파괴〉

〈경상계퇴적층의 평면파괴〉

〈그림 3-98〉 퇴적암에서의 평면파괴

나. 변성암에서의 평면파괴

변성암은 엽리를 비롯하여 여러 가지의 면구조를 암석 내 포함하고 있으며, 이들이 규칙적으로 발달하는 경우 암반의 거동을 지배하는 불연속면으로 작용할 수 있다.

주로 규암, 편암, 편마암, 천매암, 점판암 등에서 발생하며 야외에서 이들 암석이 관찰될 경우 불연속면과 비탈면 방향과의 상관성에 의한 불안정성을 고려하여 대책을 강구해야 한다.

〈천매암의 평면파괴〉

〈편암의 평면파괴〉

〈그림 3-99〉 변성암에서의 평면파괴

다. 화강암에서의 평면파괴

화강암에서 나타나는 층상절리는 도로 방향으로 기울어져 나타나는 경우가 많으므로 평면파괴의 가능성이 크고, 〈그림 3-100〉은 경상남도 가지산 일대 국도 24호선 화강암 분포지에서 나타나는 평면파괴의 사례이며, 깎기부에 나타나는 층상절리를 따라 지속적으로 낙석이 발생되고 있는 형태를 가진다.

〈그림 3-100〉 화강암에서의 평면파괴

4) 전도파괴

전도파괴(toppling failure)는 암주나 암석 블록들이 고정된 어떤 기준점에 대해 회전하면서 파괴되는 양상을 말하며 전도파괴의 종류에는 굴곡 전도파괴(flexural toppling), 블록 전도파괴(block toppling), 복합 전도파괴(block-flexure toppling) 등이 있다.

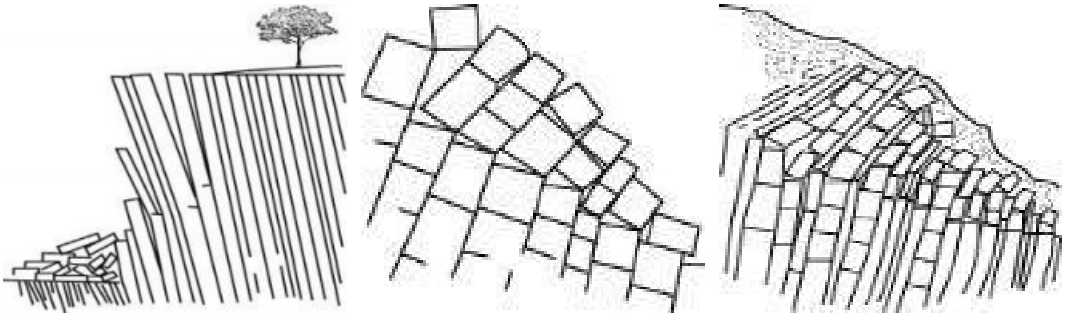
굴곡 전도파괴는 급경사의 불연속면으로 분리되어 있는 연속적인 암주들이 전방으로 구부러지면서 굴곡되어 붕괴되는 것을 말하며, 굴곡 전도파괴는 비탈면 하단의 미끄러짐, 침식 또는 세굴 등으로 시작되며, 암반 내에 깊고 넓은 인장균열을 형성하면서 후방의 암반 내부로 전파된다. 비탈면의 하부는 방향성과 규칙성이 없는 암괴들로 덮이게 된다.

블록 전도파괴는 경암의 각 암주들이 간격이 넓고 블록형태로 분리되었을 때 발생하며, 비탈면 하단을 형성하는 짧은 암주들은 배후에 있는 긴 암주들이 전복하면서 생기는 하중 때문에 앞으로 밀리게 되며 비탈면 하단의 이러한 미끄러짐은 더 많은 전도파괴가 비탈면 상부로 전파되게 한다.

복합 전도파괴는 수많은 교차 절리로 분리된 긴 암주들을 따라서 일어나는 반연속적인 굴곡으로 연속적인 암주들의 굴곡 파괴로 굴곡 전도파괴가 발생하는 반면, 복합 전도파괴는 암주의 교차 절리에 축적되는 변위가 원인이 된다.

이러한 형태의 전도파괴에는 작은 이동들이 수없이 많이 발생하기 때문에 굴곡 전도파괴보다는 인장균열이 적게 존재하며, 블록 전도파괴보다는 가장자리와 면의 접촉 및 공극이 적다.

〈그림 3-101〉 전도파괴



(a) 굴곡 전도파괴 (b) 블록 전도파괴 (c) 복합 전도파괴

〈그림 3-102〉 전도파괴의 종류

5) 하부암이탈

하부암이탈은 비탈면의 끝단(toe)이 세굴이나 침식, 낙석 발생으로 빠져 있는 현상을 말하며, 지지력 상실로 상부 지반의 연쇄적인 탈락을 발생시킬 수 있고, 이러한 하부암이탈은 퇴적암 지역에서 빈번히 관찰되며, 공사 중 무리한 인공 굴착에 나타나기도 한다.

하부암이탈이 발생된 비탈면은 계단식옹벽이나 버트리스와 같은 기대기옹벽 등을 적용하여 비탈면 끝단 하부를 채워 추가적인 붕괴에 대비하도록 하는 것이 좋다.

〈그림 3-103〉 하부암이탈

6) 활동파괴

연속체적 거동에 따른 붕괴양상을 활동파괴라고 하며, 토사비탈면에서 발생하는 원호파괴를 포함한다.

활동파괴는 전형적인 활동면 형상을 가지는 블록파괴(쐐기, 평면, 전도파괴)와 다르게 다양한 활동면의 형상을 가지는 붕괴를 총칭하며 활동면의 위치에 따라 비탈면내형, 비탈면경계형, 선단형, 저부형으로 구분하며, 활동면 형상에 따라 원호형, 직선형, 복합형으로 나눈다.

〈토사비탈면 활동파괴〉

〈혼합비탈면 활동파괴〉

〈그림 3-104〉 활동파괴

경기도 파주시 탄현면 금산리 345번지 일대 비탈면(이하 금산지구)에서 활동파괴가 발생하였다.

본 비탈면은 직하부에 공장 건축을 위해 조성된 인공비탈면으로 높이 약 50m 중 높이 약 35m까지는 암반으로 구성되어 있으며, 그 상부는 풍화토로 구성된 상태를 보이고 있다.

중부지방의 집중호우가 지속된 2011년 7월 27일 오후 6시 32분경 비탈면 붕괴가 발생되어 붕괴토사가 인근 공장을 덮쳐 공장 천장이 무너지면서 직원 3명이 사망하고, 2명이 부상을 당하는 사고가 발생되었다.

비탈면 상부의 풍화토 구간에서 발생된 원호파괴의 양상을 보이고 있으며, 붕괴부의 규모는 폭 약 20m, 높이 약 15m, 붕괴심도는 최대 3m에 해당하고, 기반암 상층의 풍화토 구간에서 활동이 발생된 양상을 보이고 있으며, 금산지구는 다음과 같은 내적인 위험요인을 가지고 있었다.

① 구성암 풍화, 파쇄의 영향으로 기반암 상층에 두꺼운 풍화토층이 분포하는 단면형상을 보이는 구간이었다.
② 금산지구 상부자연비탈면에는 우기시 지표수의 비탈면 내 침투를 방지하기 위한 산마루 배수구의 시공이 이루어지지 않은 상태로 집중강우시 다량의 유수가 붕괴부 내로 그대로 유입되는 양상을 보이고 있었다.
③ 강우가 그친 이후에도 장시간 비탈면 내에서 용출수가 확인될 정도로 지하수위가 높게 형성되어 있었다.
④ 붕괴부는 지질학적 원인에 의해 풍화, 파쇄의 양상이 타구간에 비해 심화되어 있으며, 이에 따라 구성암의 토사화가 깊은 심도로 이루어진 특징을 보이고 있었다.

〈그림 3-105〉 깎기비탈면 활동파괴 사례

7) 얕은파괴

가. 침식

침식작용은 보통 용식과 세굴로 나뉘는데 비탈면 표면에서 관찰되는 것은 주로 세굴 현상으로 우수가 편평한 비탈면을 이동하면서 발생되는 소규모의 침식을 우류침식이라 하며, 집중적인 대규모 세굴이 발생되면 이를 우열(gully)이라 한다.

〈우류침식〉 〈우열〉

〈그림 3-106〉 우수에 의한 얕은 침식

나. 표층유실

표층유실은 자연적인 풍화나 우수에 의해 지반이 넓게 벗겨지는 작용을 말한다.

〈풍화에 의한 표층유실〉

〈우수에 의한 표층유실〉

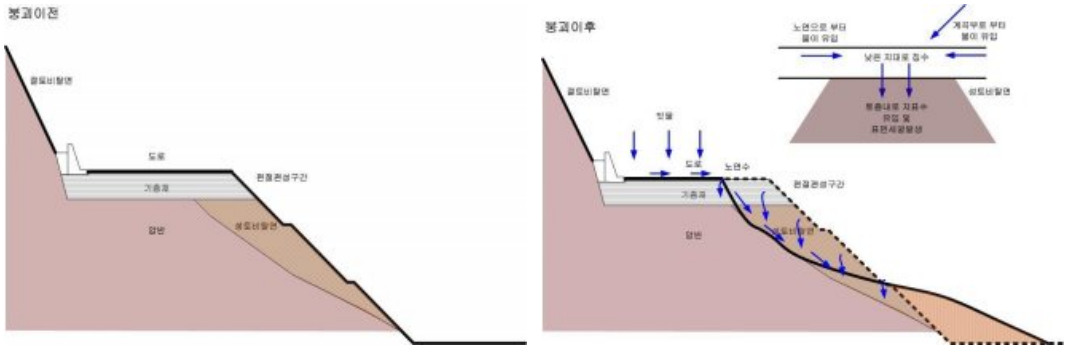
〈그림 3-107〉 우수에 의한 표층유실

(2) 쌓기비탈면 붕괴사례

1) 편절편성 쌓기비탈면

편절편성 쌓기비탈면은 집중강우시 노면으로부터 유입되는 노면수와 계곡으로부터 유입되는 계곡수의 영향을 받게 되며, 이러한 지표수는 낮은 지대로 집수되게 되고 도로 하부의 토층 내로 유입되어 암반과 쌓기비탈면의 경계부를 따라 흘러가게 된다.

따라서 암반과 쌓기비탈면과의 경계부를 따라 지표수(지하수)가 집중됨에 따라 붕괴부를 형성시키고 저항력이 상실되게 되면 붕괴가 발생되게 된다.

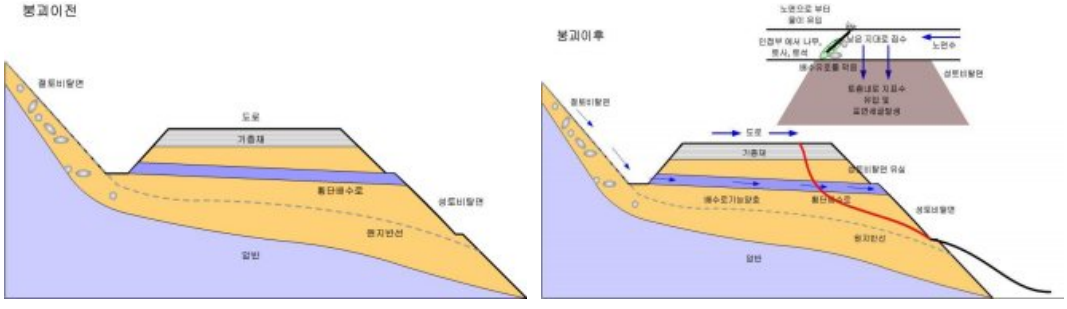


〈그림 3-108〉 편절편성 쌓기비탈면 유실 개요도

〈그림 3-109〉 편절편성 쌓기비탈면 붕괴사례

2) 완전쌓기비탈면

완전쌓기비탈면은 쌓기비탈면에서의 노면수 유입이 주요 붕괴 원인으로 알려져 있고, 완전쌓기비탈면은 도로의 기하구조상 집수가 발생되는 비탈면이며 인근 깎기비탈면이나 계곡부로부터 유입된 토사(또는 암괴)나 유송잡물이 상부 도로에 집적되고 노면수가 쌓기비탈면쪽으로 유입되면서 붕괴가 발생되는 형태이다.



〈그림 3-110〉 완전쌓기비탈면 유실 개요도

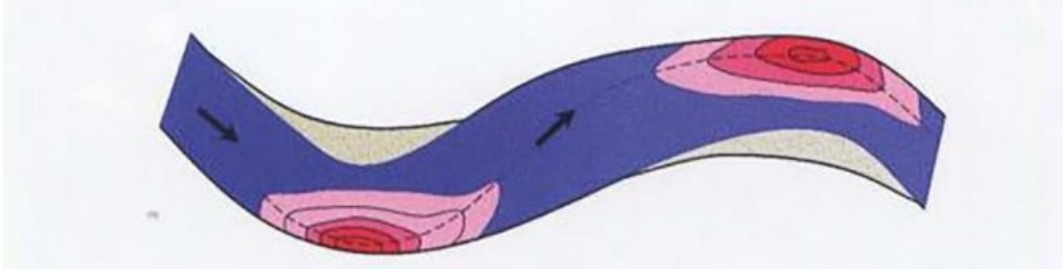
〈그림 3-111〉 쌓기비탈면 유실 및 노면수 도로유입에 의한 붕괴사례

3) 하천쌓기비탈면

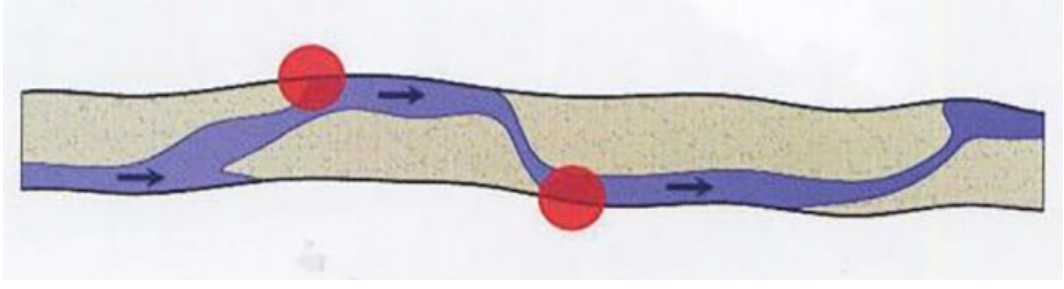
하천쌓기비탈면의 붕괴는 크게 하천 수충부의 도로유실과 유송잡물에 의한 배수기능저하에 따른 도로유실로 나눌 수 있다.

하천 수충부의 도로유실은 사행하천과 인접한 도로의 수충부에서의 침식과 하상 지장물에 의한 홍수시 수위 급상승에 따른 토사유출로 도로부의 쌓기비탈면이 붕괴되는 현상을 말한다.

이 경우는 대부분은 하천의 형태, 하상 지장물의 위치에 따른 수충부에서의 유속 증가 및 유심 증가로 인하여 피해 위험이 증가하게 된다.



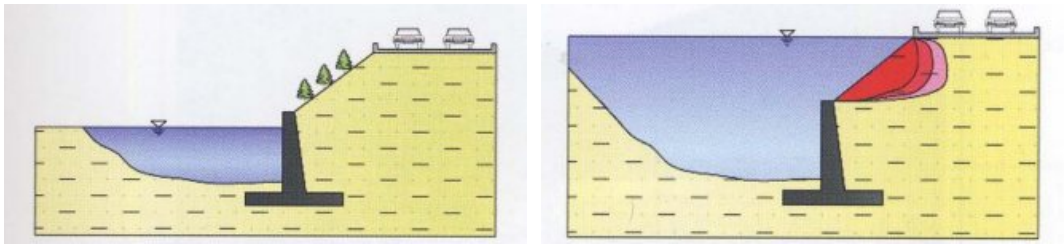
〈그림 3-112〉 사행하도의 수충부 피해 발생 부분



〈그림 3-113〉 하상지장물에 의한 수충부 피해 발생 부분

홍수가 발생되게 되면, 기 설치된 옹벽 등의 보호시설이 집중호우를 견디지 못하고 유실됨으로 인하여 붕괴가 발생되는 경우가 있고, 수위가 평상시보다 급격히 상승되면서 성토부의 세굴 및 침식을 증가시켜 붕괴를 유발하기도 한다.

또한 깎기비탈면의 붕괴, 토석류 발생 등으로 인해 하천으로 낙석이나 자연석이 유입되면서 하천의 통수단면을 급격히 감소시키고 유수의 흐름을 저해하여 붕괴가 발생되기도 한다.



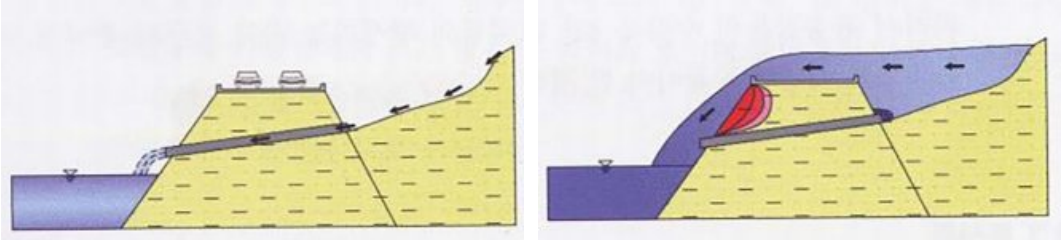
(가) 상시 유수의 흐름 (나) 홍수시 유수의 흐름

〈그림 3-114〉 수위상승에 의한 성토부 지반의 침식 및 세굴

〈그림 3-115〉 하천수충부에서의 도로 및 쌓기비탈면 유실 사례

집중호우기시에 계곡부로부터 유입되는 토사나 암괴, 유송잡물은 기존의 도로 횡배수관을 막아버리고, 이러한 횡배수관의 막힘 현상으로 인하여 계곡부의 유수는 도로 노면으로 침출되게 되고 수압을 발생시키게 되며, 이로 인하여 도로유실이 발생되게 된다.

이러한 붕괴 형태는 주로 산악지 도로에서 발생되는 전형적인 현상이다.



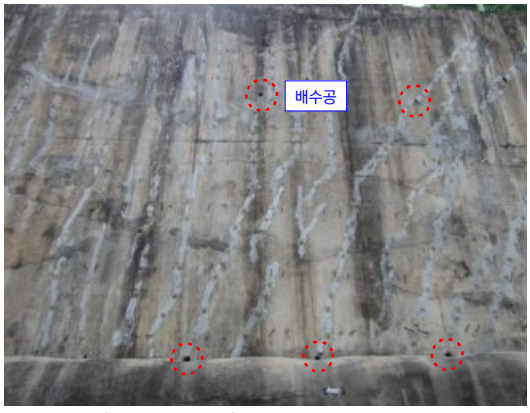
(가) 상시 정상배수 (나) 유송잡물에 의한 배수장애

〈그림 3-116〉 유송잡물에 의한 배수기능상실로 인한 붕괴

〈그림 3-117〉 유송잡물에 의한 배수기능상실로 인한 붕괴사례

3.5.3 옹벽 및 석축 붕괴사례

(1) 콘크리트 옹벽 손상 사례



〈그림 3-118〉 전반적인 경사균열

〈그림 3-119〉 배면 관통 경사균열

〈그림 3-120〉 이격, 탈락 및 단차(상단부)

〈그림 3-121〉 덧댐콘크리트 들뜸, 탈락

〈그림 3-122〉 덧댐콘크리트 들뜸내부

〈그림 3-123〉 전면벽체 수직도 측정

〈그림 3-124〉 배수공의 토립자 배출흔적

〈그림 3-125〉 배면 지반침하(1)

〈그림 3-126〉 배면 지반침하(2)

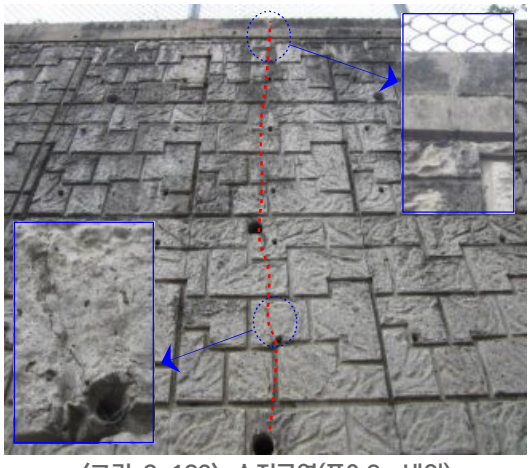
〈그림 3-127〉 철근노출 및 박락 상태

〈그림 3-128〉 보강재의 부식 및 이격

〈그림 3-129〉 신축이음부 이격(전면)

〈그림 3-130〉 신축이음부 이격(상부)

〈그림 3-131〉 전면부의 단차



〈그림 3-132〉 수직균열(폭0.3㎜내외)

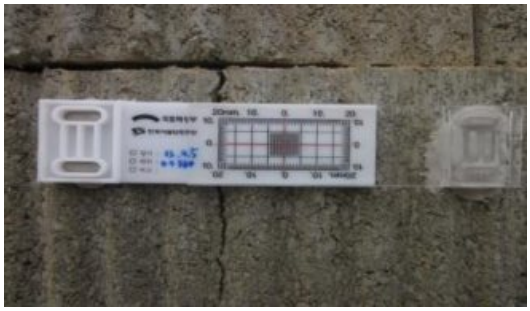
〈그림 3-133〉 배면 배수측구 낙엽퇴적

〈그림 3-134〉 앵커 두부의 부식상태

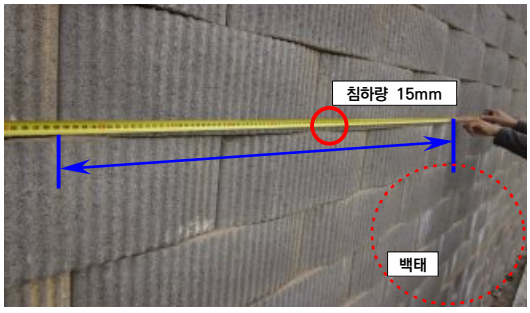
〈그림 3-135〉 시공이음부 박락

(2) 보강토 옹벽 손상 사례

〈그림 3-136〉 블록 수직균열



〈그림 3-137〉 균열폭 변위측정자 설치



〈그림 3-138〉 블록부 침하/백태 발생

〈그림 3-139〉 수직도 측정(87.40°)

〈그림 3-140〉 상·하블록 벌어짐

〈그림 3-141〉 배수로 막힘

〈그림 3-142〉 옹벽 상부 전도

〈그림 3-143〉 옹벽 상부 전도(원인)

(3) 석축의 손상 사례

〈그림 3-144〉 석축의 배부름 발생(1)

〈그림 3-145〉 석축의 배부름 발생(2)

〈그림 3-146〉 쌓기돌 이완 및 공동 발생

〈그림 3-147〉 이완 및 토사 유실

〈그림 3-148〉 지하수 유출 부위(1)

〈그림 3-149〉 지하수 유출 부위(2)

〈그림 3-150〉 집수정 설치 상태

〈그림 3-151〉 집수정 배수구 불량

〈그림 3-152〉 배면의 콘크리트 포장균열(1)

〈그림 3-153〉 배면의 콘크리트 포장균열(2)

〈그림 3-154〉 석축 상부 균열

〈그림 3-155〉 상단 콘크리트 균열

〈그림 3-156〉 옹벽상부 담장 균열

〈그림 3-157〉 모르타르의 열화 및 탈락

〈그림 3-158〉 배수공 막힘

〈그림 3-159〉 노견 배수로 막힘 및 파손

〈그림 3-160〉 견칫돌틈새의 목본류서식

〈그림 3-161〉 견칫돌틈새의 넝쿨류 서식

〈그림 3-162〉 우수에 의한 상부 침하

〈그림 3-163〉 석축의 벽체 누수

〈그림 3-164〉 석축의 하부 세굴 및 이격(1)

〈그림 3-165〉 석축의 하부 세굴 및 이격(2)

〈그림 3-166〉 석축 상부 담장 전도

〈그림 3-167〉 전도 부위 모르타르 박락

〈그림 3-168〉 다년생 목본류 식생

〈그림 3-169〉 석축 상부 담장 균열

〈그림 3-170〉 견칫돌 파손

〈그림 3-171〉 사춤모르타르 열화

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 4 장

급경사지 실태조사 및 등록

4.1 개요

4.2 급경사지 실태조사

4.3 신규 급경사지 등록

제4장 급경사지 실태조사 및 등록

4.1 개요

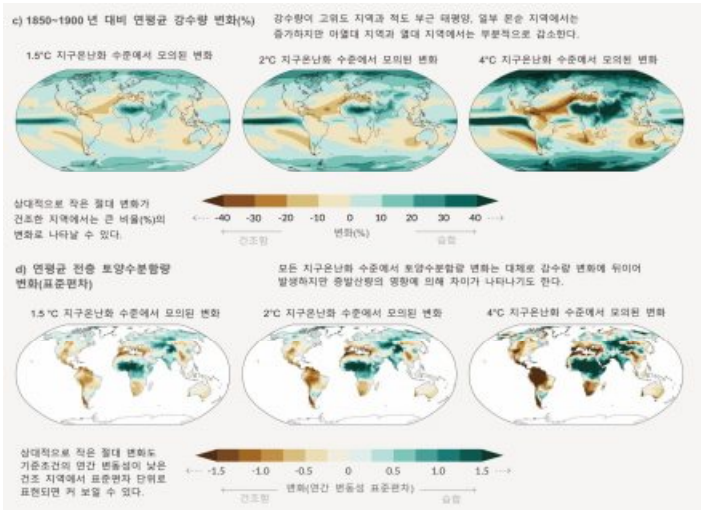
4.1.1 급경사지 실태조사의 필요성

최근 기후에 따른 강우패턴의 변화

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 6차 보고서에 따르면 전 세계적으로 기후변화가 빠르게 이뤄지고 있으며, 이러한 기후변화는 물순환 패턴을 변화시켜 과거보다 더 강한 강우량과 홍수, 가뭄 등을 야기할 수 있다고 보고되었다.

우리나라에서도 최근 하절기에 발생하는 강우의 특성이 짧은 시간 동안 많은 양의 강우가 발생하는 등 과거와 다른 강우패턴을 보이고 있다.

즉, 최근 변화하고 있는 기후에 따른 강우패턴 변화는 국내에서 매년 빈번하게 발생하는 산사태, 토석류, 낙석, 땅밀림 등 다양한 급경사지 재해에 밀접한 영향을 미칠 것으로 예상됨에 따라 향후 미래에 예측, 예상되는 급경사지 붕괴 패턴, 종류, 규모 등 위험지역에 대한 선제적인 조사와 분석을 통한 적절한 방안수립이 요구되는 실정이다.



〈그림 4-1〉 향후 기후변화에 따른 연평균 강수량과 토양수분함량 변화예측결과

출처 : IPCC 6차보고서

급경사지 관리 사각지대에서의 지속적인 피해 발생

2017년 청주 일대의 급경사지 및 토석류 피해로 사망사고(2명) 발생하였으며, 재해경감대책협의회를 통해 피해지 101개소를 조사한 결과, 101개소 모두 급경사지로 등록되지 않은 관리 사각지대로 확인되었다.

2019년 태풍 미탁 피해로 인해 삼척, 울진, 영덕, 포항, 부산 등에서 급경사지 및 토석류 등으로 인해 사망사고(9명) 발생하였으며, 사망사고 발생지역 삼척(1명), 울진(2명), 영덕(1명), 포항(1명), 부산(4명) 모두 관리 사각지대로 확인되었다.

2020년은 전국적인 장마(54일)로 다수의 급경사지 피해 및 토석류가 발생하였으며, 전라남도 곡성군 등 13개 지자체에서 사망사고(13명)가 발생하였다. 주요 원인으로는 인위적인 개발행위로 인한 피해는 8개소(17명)이며, 자연비탈면은 3개소(3명), 인공비탈면(옹벽)은 1개소(3명)으로 분석되었으며, 특히 전남 곡성군의 경우 붕괴부가 인공비탈면으로서 급경사지에 해당하나, 미관리 지역으로 성토 및 절토 부분이 붕괴 후 계곡을 따라 토석류가 발생 되어 인명피해를 유발한 것으로 조사되었다.

따라서 전국적인 급경사지 실태조사를 통해 미등록 급경사지를 발굴하고, 체계적인 DB 구축·관리를 통해 관리 사각지대를 해소함으로써 인명피해를 저감하는 것이 중요하다.

〈표 4-1〉 비탈면 관련 인명피해 현황

구분	계	급경사지 피해현황			
		2017년	2018년	2019년	2020년
관리사각지대(개소)	115	101		12	2
계(개소)	341	101	10	20	210
사망(명)	16	2	0	9	5
계(명)	16	2	0	9	5

※ 관리 사각지대 수치는 행정안전부 청주·괴산지역 급경사지 재해경감대책협의회 보고서(2017) 및 본 연구에서 현장 확인된 자료에 한함

급경사지 피해현황('19~'24년)

- 2019~2024년 급경사지에서 총 407개소 낙석, 비탈면 붕괴 등 피해 발생
  - 그중 C등급 이하에서 323개소(79.4%)으로 가장 많이 발생
- 여름철 장기간 집중호우로 피해*가 과거에 비해 급격하게 증가

* ('19년) 8건 → ('20년) 208건 → ('21년) 7건 → ('22년) 28건 → ('23년) 95건 → ('24년) 61건
* 인명피해 없음
* 붕괴위험지역 : ('19년) 2건 → ('20년) 28건 → ('21년) 5건→ ('22년) 4건 → ('23년) 24건 → ('24년) 25건

〈표 4-2〉 2019~2023년 기준 급경사지로 등록된 지역의 피해 현황

(단위 : 개소)

구 분	계 (피해 현황)	'19년		'20년		'21년		'22년		'23년		'24년	
		급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)	급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)	급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)	급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)	급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)	급경사지	피해 현황 (붕괴위험지역)
계	407 (88)	15,075	8(2)	15,732	208(28)	15,732	7(5)	16,071	28(4)	20,128	95(24)	25,409	61(25)
A 등급	20	918	-	1,260	6	1,260	-	1,147	3	970	4	1,048	7
B 등급	91	7,086	1	7,419	46	7,419	-	7,694	9	7,762	31	8,560	2
C 등급	215	5,852	5	5,969	131	5,969	3	6,049	12	9,629	40	13,559	26
D 등급	81	1,170	2	1,055	25	1,055	4	1,153	4	1,726	20	2,205	26
E 등급	-	49	-	29	-	29	-	28	-	41	-	37	-

급경사지 관리 사각지대에서의 재해발생 사유

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제정 이후 급경사지로 등록된 대상지는 2024년 2월 기준 25,409개소이며, 2008년에 최초의 급경사지 발굴을 위한 실태조사를 실시하였다. 2012년 이후는 관리기관에서 정비사업 대상지 및 국유지 등 필요시에만 등록하고 있다.

급경사지 관리대상의 증가가 크지 않은 이유는 관리기관(지방자치단체 등) 담당자가 급경사지 여부를 판단하고, 관련 시스템에 등록하는 업무를 수행하기 때문에 관리업무의 부담이 있다. 또한 주로 정비사업이 가능한 국·공유지 및 지방도 연접지를 위주로 차년도에 정비 가능한 개소 또는 민원 발생 지역만을 중점적으로 급경사지로 등록, 관리하여 제한적이다. 특히, 사유지의 경우 급경사지 등록시 정비사업 추진의 부담으로 인해 등록 및 붕괴위험지역을 최소화하는 실정이며, 전체 급경사지 관리대상 중 사유 급경사지는 10% 정도 수준으로 나타났다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 상 옹벽 및 축대(관리대상 : 높이 5m 이상, 연장 20m 이상)은 급경사지에 포함되어 있으나 관리기관 담당자가 제대로 인지하지 못하고 있는 실정이며 옹벽의 경우, 상·하부 인접 지역에 주택, 공장, 창고, 다중밀집시설 등이 존재, 붕괴 및 낙석 사고 발생 시 직접적인 매몰/파손 등 인명피해 발생 예상되는 고위험 지역으로 관리의 취약지대에 놓여있다.

〈표 4-3〉 급경사지 및 붕괴위험지역 등록 현황(행정**안전부, 2024**)

구분	급경사지 (개소)	붕괴위험지역 (개소)	급경사지 대비 붕괴위험지역 비율 (%)
2008년	8,948	-	-
2012년	13,599	349	3
2015년	13,766	888	6
2016년	14,060	1,265	9
2017년	13,758	1,265	9
2018년	14,325	1,485	10
2019년	15,075	1,573	10
2020년	15,732	1,307	8
2022년	16,071	1,820	11
2023년	20,128	2,037	10
2024년	25,409	2,142	8

4.1.2 국내외 급경사지 실태조사 관련 사례

산림청

- 「산림보호법」에 따라 산사태취약지역 관리

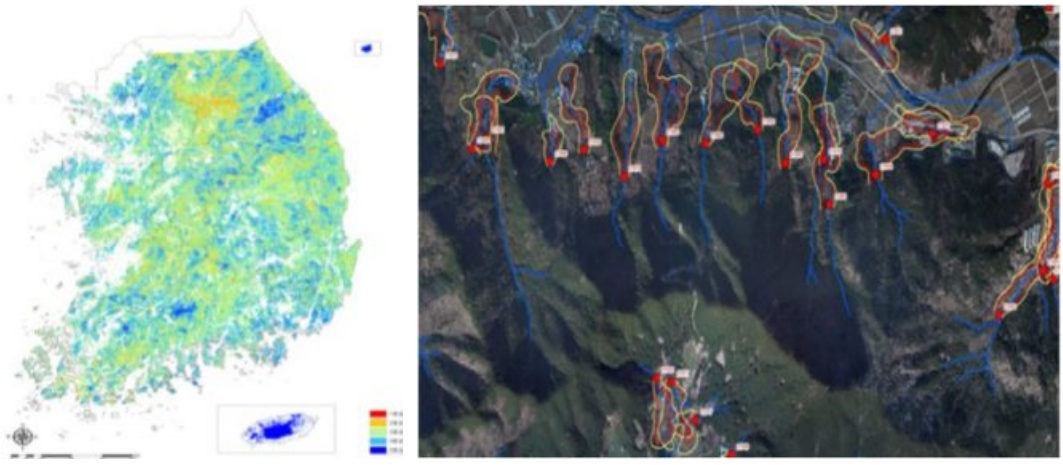
산림청은 2011년 우면산 산사태 이후 「산림보호법」 개정을 통해 산사태취약지역에 대한 근거를 마련하여 전국 산사태예방 장기대책(5년 주기)을 수립하여 체계적인 재해관리 추진하고 있다. 이를 통해 산사태취약지역 관리 강화 및 산사태 재난 안전망 구축, 산사태 예측고도화 및 다양한 원인의 산사태 예방·대응 체계 구축, 기후변화 등 산사태 재난 대비 법·제도 정비 등 산사태, 토석류 등의 산지재난에 대한 관리를 추진, 진행하고 있다.

- 관리 사각지대 발굴을 위한 산사태취약지역 실태조사 지속 추진

산사태취약지역 실태조사는 「산림보호법」 제45조의7에 근거하여 산사태위험지도 등을 활용한 도면조사를 통해 위험지역 약 26만개소를 추출하였다. 추출된 위험지역 중 산지 비탈면을 위주로 2013년부터 산림청에서는 기초조사를 추진, 실시하였다. 2021년에는 2020년 발생된 집중호우로 인해 많은 산지재난이 발생하여 전국을 대상으로 약 18,000개소에 대한 조사를 수행하고 있다.

- 실태조사 후 위험지역은 '산사태취약지역'으로 지정

도면조사를 통해 추출된 조사된 지역 중 산지재난 발생의 가능성이 높거나 위험요인이 관찰되는 위험지역은 '산사태취약지역'으로 별도로 지정하여 관리하고 있다. 최근에는 「산림보호법」 제45조의8에 근거하여 생활권을 중심으로 산사태취약지역의 지정이 확대되고 있으며 '산사태발생우려지역조사 및 취약지역 지정·관리지침'을 활용하여 취약지역을 지정, 관리하고 있다.



(1) 산사태위험지도　　(2) 토석류피해예측지도

〈그림 4-2〉 산림청 산사태 발생 우려지역 도면조사 사례

〈표 4-4〉 산림청 산사태취약지역 지정 관리 절차

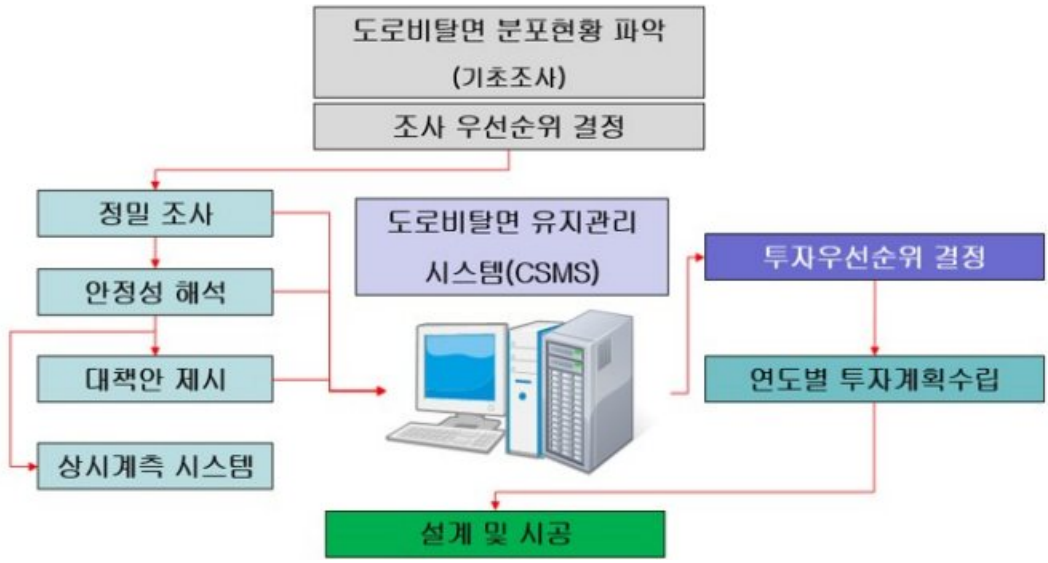
구 분	추 진 절 차	비 고
산사태 발생 우려지역 실태조사	• 인명피해 우려지역을 우선 실시	집중관리(지정심의 상정대상) 및 관심 대상 분류
↓		
지정예정지 열람 공고	• 사전협의 절차를 위한 열람 공고 - 소재지, 면적, 사유, 기간 등	관보, 공보, 소유자 등
↓		
이의신청	• 동의 등 토지사용 의견서 징구	열람공고 기간내(30일 이상)
↓		
지정위원회 심의	• 산사태취약지역 지정 심의	10명 이내의 위원회 구성
↓		
이의신청 결정통지	• 이의신청 결정 통지서 통지	이의신청 받은 날로부터 20일 이내
↓		
지 정	• 이의신청 완료 후 지정고시	고시한 날부터 효력 발생
↓		
유지관리	• 사방댐 등 사방사업 우선 시행	연차별 사방사업계획 작성
↓		
지정해제	• 사방사업 시행에 따른 지정목적 달성	담당자 현장확인 및 위원회 심의

국토교통부

- 도로법에 따른 국도 위험비탈면 관리

국토교통부는 도로법에 따라 도로시설물에 대한 유지관리를 추진하고 있다. 국도변 인접 비탈면의 경우, 1997년부터 국도 비탈면유지관리시스템(Cut Slope Management System, CSMS)을 도입하여 위험비탈면에 대한 전수조사 및 정비사업 추진 등 체계적으로 관리하고 있다.

국도 비탈면유지관리시스템은 국도 주변의 비탈면에 대해 공공기관의 전문가를 통한 전수조사를 수행하고 관리를 위한 운영체계로 2022년 기준 약 3.1만개소에 대한 국도변 비탈면 조사가 완료되었다. 완료된 비탈면에 대해서는 지속적인 점검 및 정비계획을 수립, 실시하고 있으며 세부적인 체계는 기초조사(발굴조사), 정밀조사, 안정해석, 대책공법 선정, 투자 우선순위 제시 등으로 구성되어 있으며 아래의 그림과 같다.



〈그림 4-3〉 국토교통부 국도변 비탈면 관리 체계

일본

- 「토사재해방지법」에 따른 비탈면관리 추진

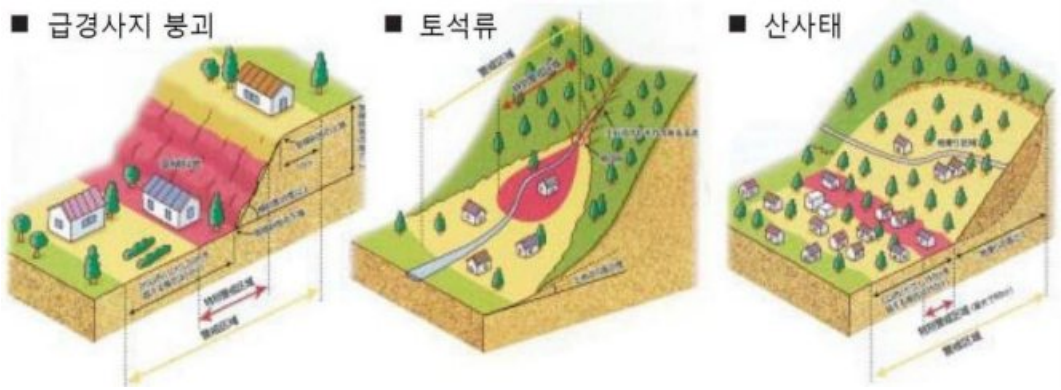
일본은 1999년 6월 히로시마 현에서 발생한 산사태로 100여명 이상의 인명피해가 발생하였다. 매년 빈번하게 발생되는 토사재해에 대한 위험, 방재를 위해 2000년에 「토사재해방지법」을 개정하면서 정부에서 위험비탈면을 주도적으로 발굴하기 위한 근거를 마련하였다.

일본 국토교통성에서 총괄하여 전국 위험지역, 관리 사각지대를 발굴한 뒤 '토사재해경계구역(재산피해 지역)' 및 '토사재해특별경계구역(인명피해 지역)'으로 지정하고 구조적대책(정비사업) 및 비구조적대책(조사, 점검 및 예·경보 등)을 통해 안전관리를 하고 있다.

- 관리 사각지대 위험비탈면 발굴을 위한 실태조사

'토사재해경계구역 조사'는 2001년부터 전국을 대상으로 국유지와 사유지 구분 없이 조사 추진 중이며, 효율적인 조사 추진을 위해 도면조사(토사재해위험지도 및 수치지형도 분석 등을 통한 조사대상지 추출) 후 현장조사를 추진하고 있다.

〈그림 4-4〉 토사재해경계구역 조사를 위한 도면조사 사례



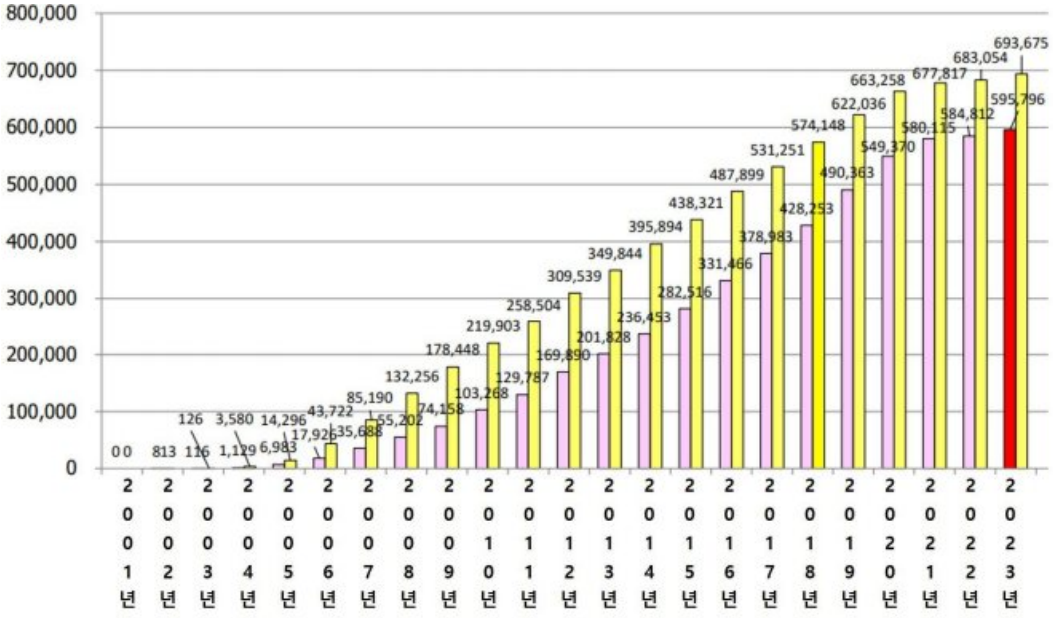
〈그림 4-5〉 일본의 비탈면붕괴(토사재해) 유형 구분

- 조사 후 위험지역은 토사재해경계구역으로 지정

토사재해가 우려되는 지역에 대해서는 급경사지 붕괴 위험구역, 토석류 위험구역, 산사태 위험구역으로 구분하여 관리하고 있다. 각각의 기준에 따라서 위험도가 높은 지역은 '토사재해경계구역'으로 지정하고, 구역 내 인가가 존재하여 직접적인 인명피해 가능 지역은 '토사 재해특별경계구역'으로 별도 지정하여 관리하고 있다.

토사재해경계구역 조사는 2001년부터 매년 실시하고 있으며, 전문기관을 통해 통일된 방식으로 추진하여, 현재 약 100만개소를 목표로 조사가 진행되고 있다. 2024년 기준 약 75만개소를 조사하고, 약 69만 개소를 토사재해방지법에 따라 토사재해경계구역으로 지정하여 관리하고 있다.

토사재해경계구역 약 69만 개소 중 약 46만 개소가 급경사지이며, 나머지 개소는 산사태(땅밀림) 또는 토석류 위험지역으로서 급경사지뿐만 아니라 산지(임야)의 위험지역도 종합적으로 관리하고 있다. 연차별 토사재해경계구역 및 토사재해특별경계구역의 지정 현황은 아래의 그림과 같다.



〈그림 4-6〉 연차별 토사재해경계구역 및 토사재해특별경계구역 지정 현황

홍콩

- 비탈면재해예방대책법을 중심으로 위험비탈면 관리

홍콩자치정부 내 토목공정서 토력공정처(Civil Engineering and Development Department, CEDD)의 지반공학부(Geotechnical Engineering Office, GEO) 주관하에 비탈면재해 예방대책법에 따른 비탈면재해예방대책 프로그램(Landslip Preventive Measures ; LPM)을 수행중이며, 1995년부터 10년간 24조원의 예산을 투자해 홍콩 내 58,000개 비탈면의 DB를 구축·관리하고 있다. 이 프로그램은 비탈면 붕괴에 의한 인명과 재산 손실 저감, 한정된 영역에서의 도시개발 극대화를 위한 지반안정성 확보, 비탈면 안정성 평가 및 보강을 위한 방법 표준화에 중점을 두고 있으며 산사태 위험등급도 작성, 산사태 상시 감시 및 사후관리 프로그램 등을 수행하고 있다. 또한 분기별로 비탈면조사 보고서 작성과 DB를 구축하여 별도로 관리하고 있다.

- 관리 사각지대 위험비탈면 발굴을 위한 실태조사

홍콩내 비탈면 전체 약 5.8만 개소에 대해 이미 전수조사를 완료하고, 비탈면관리시스템에 탑재하여 지속적으로 유지관리를 하고 있다. 위험비탈면에 대한 조사는 GEO의 전문가를 통해 추진하였으며, 지형, 지반, 지질, 시설물 결함요소 등을 조사하여 등급을 설정하고, 위험지역에 대해 집중적으로 관리하고 있다.

〈그림 4-7〉 홍콩의 비탈면관리시스템 사례

4.2 급경사지 실태조사

4.2.1 급경사지 실태조사 대상지

(1) 전국단위 도면조사 실시

도면조사 개념

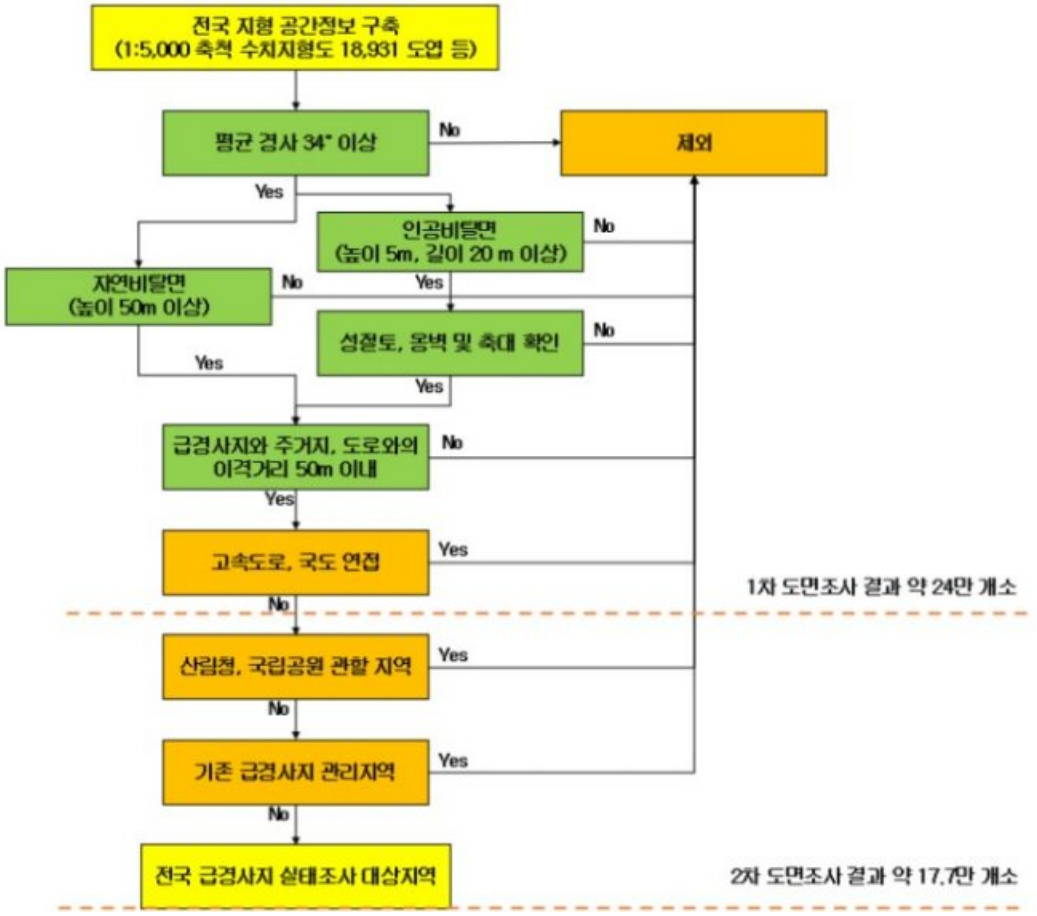
도면조사는 '전국 급경사지 실태조사'를 실시하기 위해 「급경사지법」에 해당하는 급경사지 추정지역의 개소수와 해당 대상지의 위치 및 규모 등 도면상 정보 제공을 목적으로 한다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 및 같은 법 시행령에서 정의하는 급경사지를 추출하기 위해, 현장에 직접적인 접근 없이 수치지형도, 항공사진, 연구보고서 등의 각종 자료를 이용하여 간접적으로 급경사지 추정지역을 추출하는 방법으로 도면조사는 GIS를 기반으로 하는 분석기법을 이용하여 법에서 정의하는 급경사지를 추출하고, 추출된 급경사지에서 조사가 불필요한 지역을 제외한 신규 발굴이 필요한 급경사지 실태조사 대상지를 추출하였다. 급경사지 실태조사 대상지 선정을 위한 도면조사의 개념도는 아래의 그림과 같다.

〈그림 4-8〉 수치지형도 및 공간정보프로그램을 활용한 도면조사 개념도

도면조사 알고리즘

전국 급경사지 실태조사 대상지를 추출하고, 추출된 대상지의 DB구축을 위해 아래의 그림과 같이 알고리즘을 개발하였다.



〈그림 4-9〉 도면조사 알고리즘

도면조사 알고리즘은 「급경사지법」에 따라 급경사지 경사, 길이, 높이가 법적 기준에 만족하고, 주거지 및 도로에 연접하는 급경사지를 추출하기 위한 절차로 구성되었다.

기존의 관리되고 있는 급경사지는 조사가 불필요함에 따라 알고리즘을 보완하여 산림청과 국립공원 관할지역 및 기존 급경사지 관리지역을 제외하는 방식으로 알고리즘을 보완하였다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 정의 관련

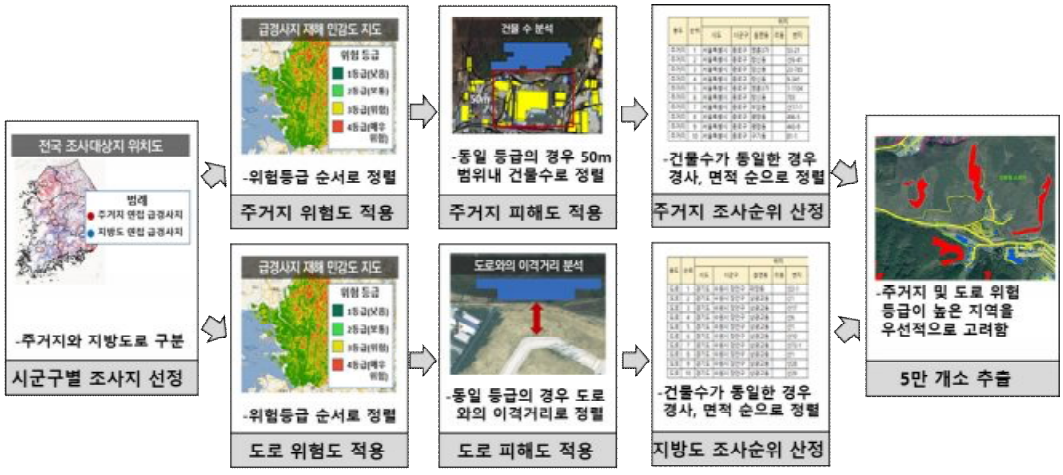
법 제2조(정의)
1. "급경사지란 택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면 또는 이와 접한 산지로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다.

시행령 제2조(급경사지의 정의)
1. 지면으로부터 높이가 5미터[비탈면과 주택 등 건축물의 최단(最短) 거리가 3미터 이내인 경우에는 3미터를 말한다] 이상이고, 경사도가 34도 이상이며, 길이가 20미터 이상인 인공 비탈면
2. 지면으로부터 높이가 50미터 이상이고, 경사도가 34도 이상인 자연 비탈면

(2) 조사우선순위 선정방법

조사우선순위 선정방법

전국 급경사지 실태조사 추진을 위해 조사우선순위 개념을 적용하였고, 적용된 개념을 바탕으로 도면조사 결과인 약 17.7만개소를 행정구역으로 구분하고, 이를 다시 주거지와 지방도에 연접한 급경사지로 구분하여 각 대상지에 대한 조사우선순위를 결정하였다.



〈그림 4-10〉 조사우선순위 결정방법 흐름도

급경사지 조사우선순위 기준 및 절차

- 1단계(시군구별 구분)
  - 전국 급경사지 추출지역 17.7만 개소를 시군구로 구분
- 2단계(주거지 구분)
  - 해당 시군구내 급경사지중 주거지에 연접한 급경사지만 구분
- 3단계(위험도 적용)
  - 해당 시군구의 주거지 연접 급경사지와 국립재난안전연구원 '급경사지 재해 민감도 지도'를 중첩하여 위험도가 높은 순으로 정렬
  - 위험한 등급순으로 정렬시 동일 등급에 해당하는 경우가 다수 발생하므로 동일 등급 내에서도 순위를 산정하기 위해 피해도 적용이 필요
- 4단계(피해도 적용)
  - '급경사지 재해 민감도 지도'의 동일 등급의 경우도 급경사지 하부에 건축물이 많은 경우 피해 정도가 클 것이므로 급경사지와 이격거리 50m 이내 건축물의 개수를 기준으로 내림차순으로 정렬
- 5단계(지형 정보 적용)
  - 피해도의 건물수가 동일한 경우, 추출된 지형정보를 이용하여 급경사지의 평균경사가 급한 순서로 순위를 부여하고, 평균경사까지 동일한 경우 급경사지 면적이 큰 순서로 순위 부여
- 6단계(최종 순위 결정)
  - 1단계부터 5단계까지 순서에 따라 해당 시군구의 주거지에 연접하는 급경사지의 조사우선순위를 결정하고 이를 DB로 구축

지방도 연접 급경사지의 조사우선순위 기준 및 절차

- 1단계(시군구별 구분)
  - 전국 급경사지 추출지역 17.7만 개소를 시군구로 구분
- 2단계(도로 연접 구분)
  - 해당 시군구내 급경사지중 도로와 연접한 급경사지만 구분
- 3단계(위험도 적용)
  - 해당 시군구의 도로 연접 급경사지와 국립재난안전연구원 '급경사지 재해 민감도 지도'를 중첩하여 위험도가 높은 순으로 정렬
  - 위험한 등급별로 정렬시 동일 등급의 경우도 다수가 선정됨에 따라 동일 등급 안에서 별도로 순위를 산정하기 위해 피해도 적용이 필요
- 4단계(피해도 적용)
  - '급경사지 재해 민감도 지도'의 동일 등급의 경우도 급경사지와 도로와의 거리가 짧을수록 피해 정도가 클 것이므로 급경사지와 도로와의 이격거리를 10m 간격의 구간으로 0m에서 50m까지 5구간으로 구분하여 각 구간별 순위를 부여
- 5단계(지형 정보 적용)
  - 피해도의 이격거리 구간이 동일한 경우, 추출된 지형정보를 이용하여 급경사지의 평균경사가 급한 순서로 순위를 부여하고, 평균경사까지 동일한 경우 급경사지 면적이 큰 순서로 순위 부여
- 6단계(최종 순위 결정)
  - 1단계부터 5단계까지 순서에 따라 해당 시군구의 지방도에 연접하는 급경사지의 조사우선순위를 결정하고 이를 DB로 구축

4.2.2 급경사지 실태조사서 작성

(1) 급경사지 현장조사 단계

도면조사 결과를 바탕으로 추출 대상지에 대한 현장조사는 '대상지 확인', '급경사지 규모 측정', '급경사지 여부 판단', '급경사지 재해위험도 평가 및 등급 결정', '실태조사서 작성 및 사진 촬영', '실태조사 DB 구축' 등 6단계로 추진된다.

급경사지 현장조사는 기본적으로 행정안전부 「급경사지 재해위험도 평가 기준」, 「급경사지 관리 실무편람」, 「급경사지 실태조사서 양식」, 「급경사지 시·종점 분할기준」 등 관련 기준을 바탕으로 실시되며 세부적인 현장조사 단계는 아래의 그림과 같다.

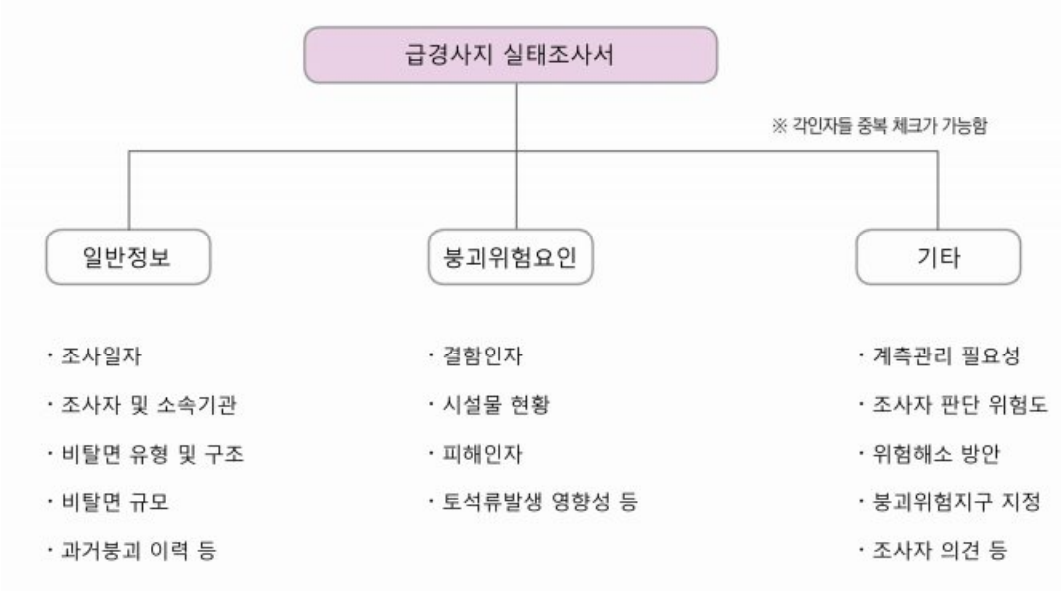
〈그림 4-11〉 급경사지 현장조사 추진 단계

(2) 급경사지 실태조사서 개요

- 급경사지 실태조사서의 구성

급경사지에 대한 조사를 위해서는 급경사지의 일반정보, 붕괴위험요인, 기타정보(계측관리 필요성, 재해위험도 평가, 위험 해소방안, 붕괴위험지구 지정, 조사자 종합 의견)의 기재를 위한 “급경사지 실태조사서”를 작성해야 한다.

급경사지 실태조사서는 급경사지의 정보들을 기재하기 위한 목적으로 작성되는 서식으로 경우에 따라 중복 기재가 가능하다. 특히, 급경사지 실태조사서는 향후 재해위험도 평가를 위한 가장 기본적인 조사서로 현장에서 취득한 정보 등을 종합적으로 고려하여 작성이 필요하다. 급경사지 실태조사서, 재해위험도 평가의 결과는 급경사지에 대한 향후 관리방안 마련, 유지관리를 위한 기초자료로 활용되므로 체계적인 관리가 중요하다.



〈그림 4-12〉 급경사지 실태조사서의 구성

(3) 급경사지 실태조사서 작성방법

급경사지 실태조사서

1 일반정보	명칭					
	조 사 자		소속		성명	
			소속		성명	
	조사일자		20 년 월 일			
	위치	행정구역	시·도 시·군·구 읍·면·동 리·동 번지선			
		GPS좌표	시점 : 위도(° ′ ″), 경도(° ′ ″)			
			종점 : 위도(° ′ ″), 경도(° ′ ″)			
	관리주체			용도 (보호 목적)	①도로②아파트③주택④공단 ⑤공원⑥철도⑥기타( )	
	유형		토지	①인공비탈면 ②자연비탈면	구조	①토사 ②암반 ③옹벽 및 축대 *구조가 복합인 경우, 중복 표기
			임야 (산지)	①인공비탈면 ②자연비탈면		
	규모	최고수직고	m		산마루 측구 유무	①있음(구조:) ②없음
		평균경사	°			
		종단길이	m			
	붕괴이력		①발생연도 : 년 ②발생이력 없음		조사종류	①신규조사 ②재조사
2 붕괴위험요인	결함인자	토사	①원호파괴(붕괴) ②표층유실 ③인장균열 ④단차 ⑤배부름 ⑥세굴 ⑦기타( )			
		암반	①낙석 ②뜬돌 ③단층 ④절리방향(매우유리/유리/양호/불리/매우불리) ⑤풍화도(신선/약간풍화/보통풍화/심한풍화/완전풍화/풍화잔류토) ⑥기타( )			
		콘크리트옹벽	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥박리·박락·층분리 ⑦기타( )			
		석축	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥탈석 ⑦기타( )			
		비탈 형상	①오목형 ②직선형 ③볼록형 ④돌출형			
		식생밀도	수목 : ①상 ②중 ③하 / 초본식물 : ①상 ②중 ③하			
		용출수 발생부위	①상단부 ②중단부 ③하단부 ④없음			
		상부외력	①건물/②철탑/③농경지/④철도/⑤묘지/⑥참호/⑦배수 불량/⑧기타			
	시설물 현황	종 류	( ) *시설물이 복수인 경우, 모두 기입			
		상 태	①불량 ②보통 ③양호 *시설물이 복수인 경우, 대표 1개 상태만 기입			
	피해인자	이격거리	- 보호 대상시설과의 이격거리 : ( ) m			
		피해예상 규모	건물 동, 세대, 명/ 농경지 ha/ 도로 m/ 하천 m 기타 시설명 :			
	토석류 발생 검토 영향성	주변지형	①산악지 ②구릉지 ③평야지 ④기타			
		토석류 가능성	상부 산지 및 좌·우 계곡부에서 토석류 발생 가능성 : ①있음 ②없음			
		상부 집수지형	급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해 우려가능성 : ①있음 ②없음			
3 관리방안	계측관리 필요성		①계측필요(사유), ②계측불필요			
	조사자 판단 위험도		①A등급(매우 낮음) ②B등급(낮음) ③C등급(보통) ④D등급(높음) ⑤E등급(매우 높음)			
	위험해소 방안		①보수 ②보호공법 ③보강공법 ④정밀조사 ⑤이주대책 ⑥기타( )			
	붕괴위험지구 지정		①지정일자(. .) ②미지정		지구지정 후 정비사업추진	①기완료 ②추진중 ③미추진
4 조사자 의견						

〈그림 4-13〉 급경사지 실태조사서 양식

일반정보 작성방법

<table>
<tr><td rowspan="11">①
일
반
정
보</td><td colspan="2">명칭</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">조 사 자</td><td>소속</td><td colspan="2"></td><td>성명</td><td></td></tr>
<tr><td>소속</td><td colspan="2"></td><td>성명</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">조사일자</td><td colspan="5">20 년 월 일</td></tr>
<tr><td rowspan="3">위
치</td><td>행정구역</td><td colspan="5">시·도 시·군·구 읍·면·동 리·동 번지선</td></tr>
<tr><td rowspan="2">GPS좌표</td><td colspan="5">시점 : 위도(° ′ ″), 경도(° ′ ″)</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 위도(° ′ ″), 경도(° ′ ″)</td></tr>
<tr><td colspan="2">관리주체</td><td colspan="2"></td><td>용도
(보호 목적)</td><td colspan="2">①도로②아파트③주택④공단
⑤공원⑥철도⑥기타( )</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">유형</td><td>토지</td><td>①인공비탈면
②자연비탈면</td><td rowspan="2">구조</td><td colspan="2" rowspan="2">①토사 ②암반 ③옹벽 및 축대
*구조가 복합인 경우, 중복 표기</td></tr>
<tr><td>임야
(산지)</td><td>①인공비탈면
②자연비탈면</td></tr>
<tr><td rowspan="3">규모</td><td>최고수직고</td><td colspan="2">m</td><td rowspan="3">산마루 측구
유무</td><td colspan="2" rowspan="3">①있음(구조:) ②없음</td></tr>
<tr><td>평균경사</td><td colspan="2">°</td></tr>
<tr><td>종단길이</td><td colspan="2">m</td></tr>
<tr><td colspan="2">붕괴이력</td><td colspan="2">①발생연도 : 년
②발생이력 없음</td><td>조사종류</td><td colspan="2">①신규조사 ②재조사</td></tr>
</table>

〈그림 4-14〉 실태조사서 일반정보

- 급경사지 명칭
  - 신규조사의 경우
    - 급경사지의 가장 큰 영역을 차지하는 '지번 주소'를 기반으로 신규 급경사지 명칭 부여함
    - '시·도', '시·군·구', '읍·면·동', '리' 순으로 '시·도·군·구·읍·면·동·리'를 제외한 명칭을 활용함

※ (예시1) 대전광역시 서구 월평동 312번지 → 대전 서 월평 N00지구

※ (예시2) 세종특별자치시 고운동 1675번지 → 세종 고운 N00지구

※ (예시3) 충청북도 보은군 장안면 황곡리 300-1번지 → 충북 보은 장안 황곡 N00지구

※ (예시4) 서울특별시 관악구 봉천동 산3-1번지 → 서울 관악 봉천 N00지구

※ (예시5) 강원특별자치도 화천군 화천읍 동촌리 산304번지 → 강원 화천 화천 동촌 N00지구

▸ 일련번호는 'N00지구'형태로 부여하며, 동·리 주소가 동일한 경우 전년도 기존 번호 이후부터 순차적으로 일련번호를 부여함

※ (예시)대전 서 월평 N1지구, 대전 서 월평 N2지구, ...대전 서 월평 N28지구

① 시·도 명칭	+	② 시·군·구 명칭	+	③ 읍·면·동 명칭	+	④ 리 명칭	+	④ 일련번호 (N00지구)

▸ 도로명 주소일 경우 지번 주소로 전환하여 명칭 작성

※ (예시) 대전광역시 유성구 계룡로123번길 52 → 대전광역시 유성구 봉명동 574번지 → 대전 유성 봉명 N00지구

- 재조사의 경우

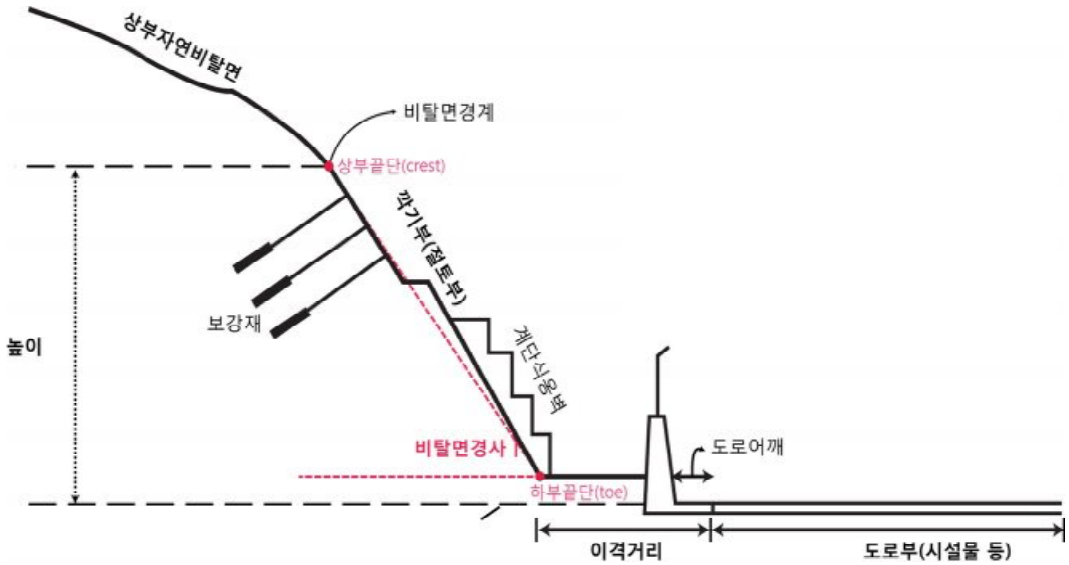
▸ 지방자치단체에서 관리하는 급경사지 고유명칭을 그대로 기술함

- 조사자 : 실태조사 담당자 소속과 성명 기입
- 조사일자 : 실태조사 일자 기입
- 위치
  - 행정구역 : 조사대상 급경사지가 위치한 행정구역 기입(가장 큰 영역 차지하는 주소)
    기타주소 : 예) 상원식당 후면, 솔빛초등학교 후면 등 특정시설 없을 경우 시점부 주소와 동일하게 기입
  - GPS좌표 : 대상지의 시·종점 좌표('도·분·초') 기입
- 관리주체 : 실태조사 완료 후 지자체 담당자와 협의하여 파악한 후 작성
  - 관리기관명 : (관리기관) 급경사지를 소유하거나 관리하는 행정기관 및 공공기관
    (관계인) 해당토지의 소유자·점유자 또는 관리인 등 개인

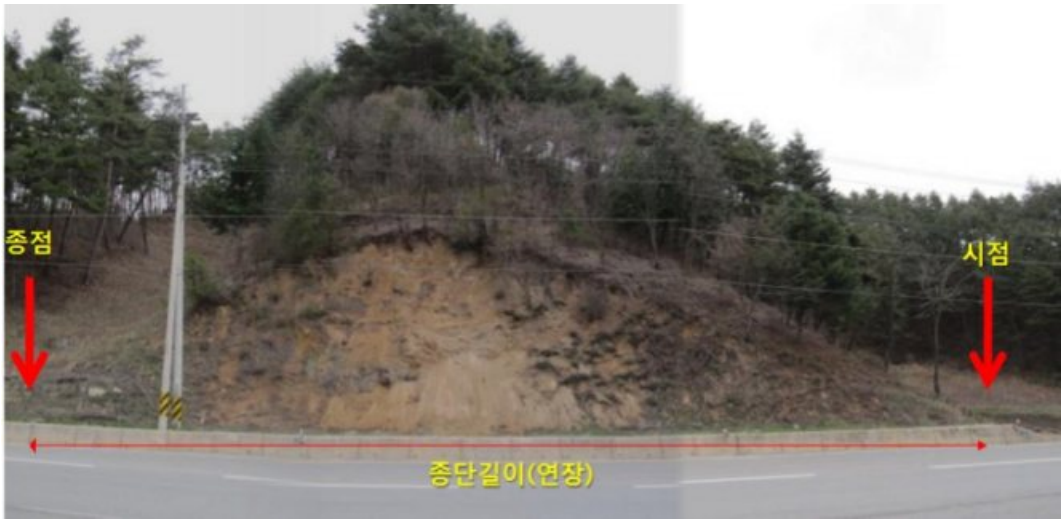
※ (관리기관) 지자체, 지방산림청, 한국농어촌공사, 한국토지주택공사, 국가철도공단, 도시철도공사, 국립공원공단(급경사지법 제2조제1호에 명시)

※ (관계인) 다만, 시장·군수·구청장 등이 붕괴위험지역으로 지정·고시한 경우, 시·군·구가 관리기관이 됨(급경사지법 제6조제2항)

- 용도(보호 목적) : 보호대상시설이란 비탈면의 붕괴로 인해 인명 및 재산 피해가 예상되는 택지, 도로, 철도 및 공원 등과 같은 시설물을 말함
- 유형 : 자연비탈면, 인공비탈면(옹벽 및 축대 포함)
  - 토지 : 일반 주소번지
  - 임야 : 산 주소번지
- 비탈면 구조 : 급경사지의 비탈면 구조를 기입하며, 동일 급경사지 횡단면에서 비탈면 구조가 복합인 경우 복합된 구조 전부 기입
  - 복합(토사+옹벽 또는 축대, 암반+옹벽 또는 축대)인 경우 중복해서 체크함
    ※ 다만, 옹벽 및 축대 규모가 높이 5m, 연장 20m 이상인 경우에만 해당되고, 그 외 옹벽 및 축대는 결함인자 항목만 체크함
  - 토사 : 표면의 구성재료의 70% 이상이 토사로 구성된 비탈면으로 토층심도율(토사깊이/비탈면 높이)이 0.4초과하는 비탈면
  - 암반 : 표면의 구성재료의 70% 이상이 암반으로 구성된 비탈면
  - 혼합 : 암과 토사가 혼합된 비탈면으로 토층심도율(토사깊이/비탈면 높이)이 0.2~0.4에 해당하는 비탈면
- 규모 : 비탈면의 규모 기입
  - 최고수직고 : 거리측정기를 사용하여 지면으로부터 급경사지 최정점부까지의 수직고를 미터(m) 단위로 측정
  - 평균경사 : 클리노미터를 사용하여 종단면에서 최하부 정점과 최상부 정점을 연결한 선과 수평면 사이의 각을 도(°) 단위로 측정함
    ▸ 급경사지 면이 고르지 못하여 경사각 측정이 모호한 경우 전체적인 기울기 경향을 고려하여 경사각 측정
  - 종단길이 : 워킹메타를 사용하여 급경사지 시·종점의 연장 측정
- 산마루 측구 유무 : 비탈면 내 산마루 측구의 유무 기입
- 붕괴이력 : 실태조사 완료 후 지자체 담당자와 협의하여 파악한 후 작성함
  - 붕괴가 발생한 사례가 있는 경우, 발생년도를 기입함
- 조사종류 : 신규조사, 재조사를 구분하여 기입



〈그림 4-15〉 도로비탈면의 주요 지점별 용어



〈그림 4-16〉 급경사지의 구분 및 종단길이

붕괴위험요인

②붕괴위험요인	결함인자	토사	①원호파괴(붕괴) ②표층유실 ③인장균열 ④단차 ⑤배부름 ⑥세굴 ⑦기타( )
		암반	①낙석 ②뜬돌 ③단층 ④절리방향(매우유리/유리/양호/불리/매우불리) ⑤풍화도(신선/약간풍화/보통풍화/심한풍화/완전풍화/풍화잔류토) ⑥기타( )
		콘크리트옹벽	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥박리·박락·층분리 ⑦기타( )
		석축	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥탈석 ⑦기타( )
		비탈 형상	①오목형 ②직선형 ③볼록형 ④돌출형
		식생밀도	수목 : ①상 ②중 ③하 / 초본식물 : ①상 ②중 ③하
		용출수 발생부위	①상단부 ②중단부 ③하단부 ④없음
		상부외력	①건물/②철탑/③농경지/④철도/⑤묘지/⑥참호/⑦배수 불량/⑧기타
	시설물 현황	종 류	( ) ***시설물이 복수인 경우, 모두 기입**
		상 태	①불량 ②보통 ③양호 ***시설물이 복수인 경우, 대표 1개 상태만 기입**
	피해인자	이격거리	- 보호 대상시설과의 이격거리 : ( ) m
		피해예상 규모	건물 동, 세대, 명/ 농경지 ha/ 도로 m/ 하천 m 기타 시설명 :
	토석류 발생 영향성 검토	주변지형	①산악지 ②구릉지 ③평야지 ④기타
		토석류 가능성	상부 산지 및 좌·우 계곡부에서 토석류 발생 가능성 : ①있음 ②없음
		상부 집수지형	급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해 우려가능성 : ①있음 ②없음

〈그림 4-17〉 실태조사서 붕괴위험요인

- 결함인자
  - 비탈면 구조에 따라 구분해서 기재하되, 토사·암반·콘크리트옹벽·석축의 결함인자가 둘 이상 중복되는 경우에는 중복 기재
  - 토사비탈면 : 각각의 결함인자를 기입

인장균열

침하

단차

슬라이딩(원호파괴)

배수불량

배수불량에 의한 붕괴

〈그림 4-18〉 토사비탈면의 주요 결함인자

  - 암반비탈면 : 각각의 결함인자를 기입
    - 단층 : 지반 내 불연속면을 따라 양측 지괴가 서로 변이가 발생된 지질구조로서 주변 지반에 비하여 균열이 집중 발달하거나 단층점토층 등을 포함하는 약대로서 붕괴에 취약함

〈그림 4-19〉 단층 및 단층에 의한 붕괴 형태

내측 방향(암석의 결 일치) 외측 방향(암석의 결 반대) 수평

〈그림 4-20〉 단층 및 단층에 의한 붕괴 형태

〈그림 4-21〉 지질구조에 의한 내측방향 발달 절리 형태

▸ 뜬돌 : 뜬돌 또는 이완암괴라고 하며, 이완되어 탈락 가능성이 높은 암괴를 의미하고, 해빙기 및 우기 집중호우 기간 중 잦은 탈락 있음

〈그림 4-22〉 들뜬 돌

▸ 풍화도 : 암반이 물리적·화학적 풍화의 영향을 받아 변질된 정도를 표현하는 지수로서 공학적 분류에 따르면, 풍화잔류토, 완전풍화 지반이 “상”에 해당되며, 심한풍화, 보통풍화 지반은 “중”으로, 약간풍화, 신선 지반은 “하”로 분류 가능

풍화도 “상”

풍화도 “중”

풍화도 “하”

〈그림 4-23〉 풍화도의 구분

- 콘크리트옹벽 및 석축 : 콘크리트옹벽, 석축으로 구분하여 결함인자를 기입

콘크리트옹벽 전도

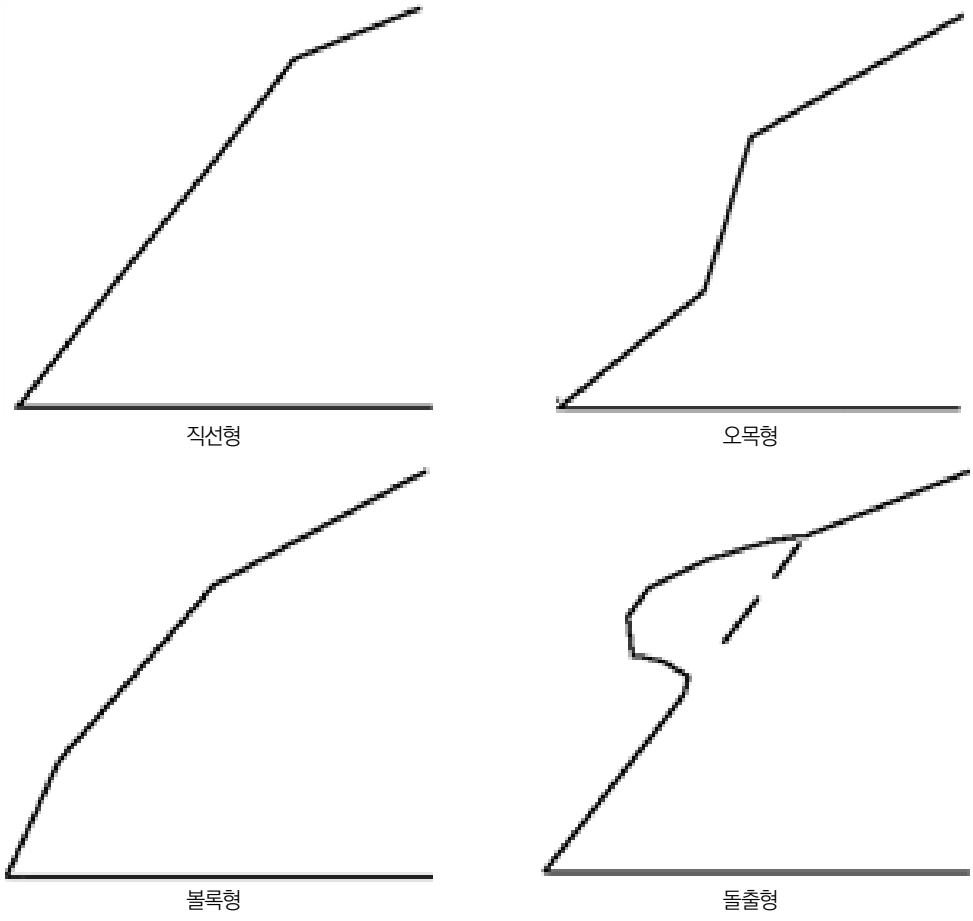
콘크리트옹벽 배수

석축 활동 붕괴사례

〈그림 4-24〉 콘크리트옹벽 및 석축의 대표적 결함인자

- 비탈 형상(횡단) : 급경사지를 측면에서 바라보았을 때의 형상을 말함

  ▸ 횡단형상은 최대한 급경사지 측면에서 위치하여 확인하는 것이 효과적임



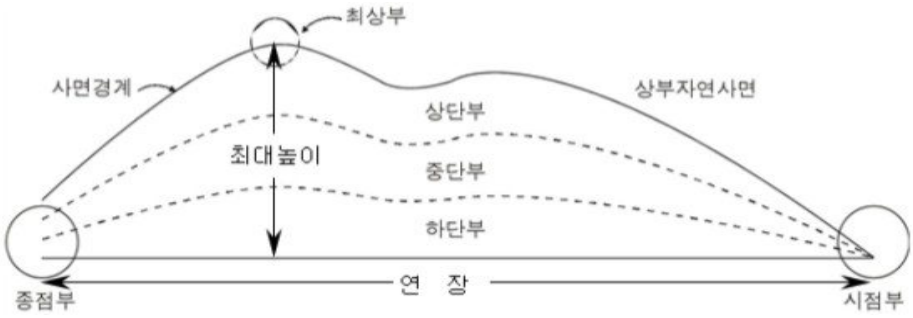
〈그림 4-25〉 비탈면 횡단형상의 구분

- 식생 밀도
  - 수목밀도 : 수목의 밀도를 상, 중, 하로 기입
  - 초본식물 밀도 : 초본식물의 밀도를 상, 중, 하로 기입

상		
	초본	수목
중		
	초본	수목
하		
	초본	수목

〈그림 4-26〉 식생 밀도

- 용출수 발생 부위
  - 용출수 발생 : 용출수 발생 위치를 기입
  - 실태조사 시기가 건기시 임을 고려하여 용출수 흐름 흔적의 위치를 기입함



〈그림 4-27〉 급경사지의 구분

- 상부 외력 : 급경사지 비탈면 상부의 인위적인 개발의 영향을 고려하여 선택항목 기입

〈그림 4-28〉 상부 외력의 사례

- 시설물 현황 : 비탈면 내, 상·하부에 존재하는 시설물 현황을 기입
  - 종류 : 비탈면 내, 상·하부에 존재하는 시설물의 종류를 기입하며 시설물이 복수인 경우 모두 기입함
  - 상태 : 시설물의 상태를 기입하며 시설물이 복수인 경우, 대표 1개 상태만 기입함

소단배수로 시공 양호

프리캐스트 사용 불량 사례

배수로 애프론 미설치 불량 사례

소단배수로 없음

배수로 확대 시공 필요

재시공 필요 파손 배수로

〈그림 4-29〉 배수로 상태

- 피해인자 : 급경사지 붕괴 시 피해를 직접 유발하거나 이에 관련된 요인들을 기재하는 항목
  - 이격거리 : 급경사지의 붕괴로 직접 피해를 입을 수 있는 영향권역내 건물까지의 거리 및 위험지역 여부 검토
    - ▸ 주택, 학교 등 택지시설물에 부속된 급경사지(옹벽 및 축대)의 경우 이격거리 측정은 옹벽 및 축대 끝단으로부터 보호대상시설과의 거리를 산정함
  - 피해예상 규모 : 급경사지의 붕괴로 직접적인 피해를 받는 영향권역 내에 위치한 주택·건물의 인명, 농경지, 도로 등 피해가 우려되는 위험환경 기입(피해예상범위 : 급경사지 높이 2배이내)
    - ▸ 건물의 경우 동, 세대, 피해 인명수를 기재
    - ▸ 농경지는 피해 면적을 ha 단위로 기재(참고 : 1ha=10,000 ㎡).
    - ▸ 도로와 하천은 붕괴산물이 이동되어 영향을 미친 구간을 m 단위로 표기

〈그림 4-30〉 도로비탈면의 좁은 이격거리 사례

〈그림 4-31〉 농경지 유실 피해

- 토석류 발생 영향성 검토 : 급경사지 내 토석류가 발생 될 가능성이 있는 지역에 대한 주변지형, 토석류 가능성, 상부 집수지형 등을 기재하는 항목
  - 주변지형 : 급경사지가 위치한 주변 일대 지형을 전반적으로 검토하여 체크함
    - ▸ 산악지 : 급경사지가 평지보다 높은 고도의 산지에 위치하거나, 주변지형이 “산맥” 등에 위치한 경우 (~령, ~고개 지역 등)
    - ▸ 구릉지 : 급경사지가 “언덕”에 위치하거나, “언덕”에 연접한 경우

    ※ 산악지와 구릉지의 구분이 어려운 경우는 토석류 발생 가능성으로 판단

    - ▸ 평야지 : 급경사지가 주거나 공단의 밀집도가 높은 도심지 및 시내 지역 또는 농어촌에 있는 평지에 위치한 경우
  - 토석류 가능성
    - ▸ 상부 산지 및 좌·우 계곡부에서 토석류 발생 가능성 유무 작성
  - 상부 집수지형
    - ▸ 급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해 우려가능성 유무 작성

관리방안 및 조사자 의견

관리방안	3 계측관리 필요성	①계측필요(사유), ②계측불필요		
	조사자 판단 위험도	①A등급(매우 낮음) ②B등급(낮음) ③C등급(보통) ④D등급(높음) ⑤E등급(매우 높음)		
	위험해소 방안	①보수 ②보호공법 ③보강공법 ④정밀조사 ⑤이주대책 ⑥기타( )		
	붕괴위험지구 지정	①지정일자(. .) ②미지정	지구지정 후 정비사업추진	①기완료 ②추진중 ③미추진
4 조사자 의견				

〈그림 4-32〉 실태조사서 관리방안 및 조사자 의견

- 계측관리 필요성 : 계측필요성은 계측의 사유에 해당하는 항목을 선택하고, 그 외 사유는 기타항목에 기술함
  - 계측관리 필요 대상지 선정 예시
    ① 상부자연비탈면 경사(30°이상)가 급하고 높이가 50m 이상인 대규모 급경사지
    ② 대책공법 적용에 한계성을 가지며 우회도로 개설이 불가한 위험한 급경사지
    ③ 문화재 보호구역, 국립공원 등 인공공법 적용이 어려운 급경사지
    ④ 지형, 지질특성상 특별히 필요하다고 판단되는 급경사지 등

〈그림 4-33〉 급경사지 계측기 적용 운영 사례

- 문화재 등 중요시설물로 인해 정비계획 수립이 곤란한 경우 등 계측관리를 추진할 필요성이 있는 급경사지 또는 정비 완료 후 진행성 변위가 의심되는 급경사지
- 조사대상지는 최근 급경사지 정비사업 중장기계획 리스트에 포함되지 않은 구간을 대상으로 하고 있어, 붕괴위험성이 높은 대상지 중 주변에 건물 등이 위치하여 인명피해 가능성이 높은 구간은 계측필요구간으로 판단

- 조사자 판단 재해위험도 : 가급적 재해위험도 평가등급과 일치되도록 기술하는 것을 원칙으로 하되, 실태조사결과, 붕괴위험성에 대해 다음과 같이 조사자의 정성적인 판단기준에 따라 결정할 수 있으며, 관리방안 및 조사자 의견과 연계하여 내용이 일치되어야함

〈표 4-5〉 조사자 정성적 판단기준

위험도	비탈면의 상태	해소방안(예)
매우낮음	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 수준	이상없음
낮음	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 수준	현장조치
보통	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 비탈면의 전체 안정성에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 수준	부분보수(경미한 경우) 정비사업(규모가 큰 경우)
높음	비탈면 전체 안정성을 저해하는 위험요인이 확인되어 보수 · 보강이 필요한 수준	정비사업
매우높음	비탈면 전체 안정성을 저해하는 위험요인이 확인되어 보수 · 보강이 시급하고, 출입통제 등의 응급조치가 필요한 수준	정비사업 계측관리

- 위험해소 방안
  - 위험해소방안은 급경사지 관리방안을 위한 큰 범주에서 판단하여 체크함
  - 위험해소방안은 중복체크가 가능함

〈그림 4-34〉 위험 해소방안으로서 적용가능 한 각종 대책공법 사례

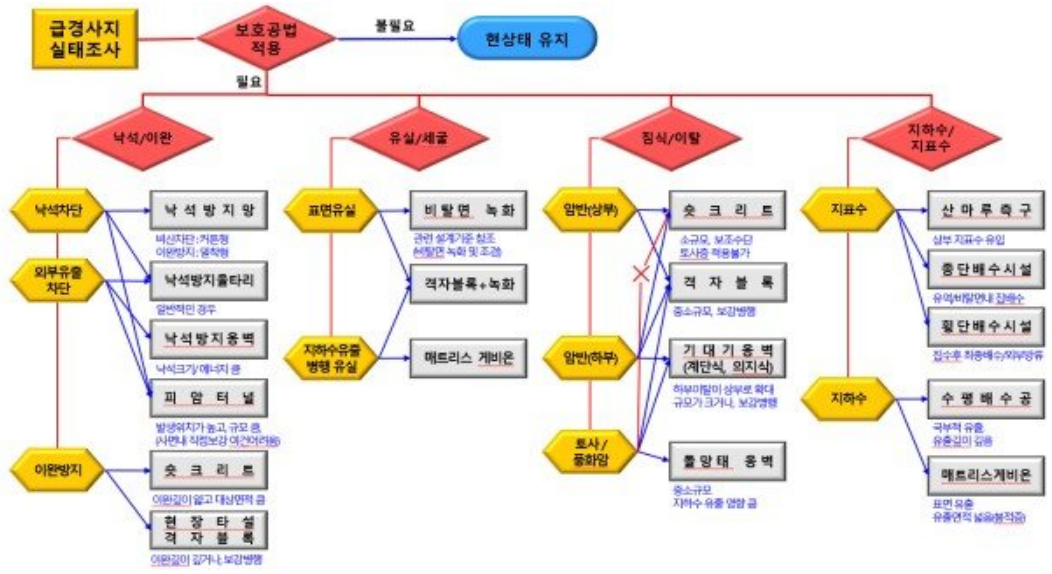
- 대책공법
  - 대책공법은 위험해소 방안에서 ① 보수, ② 보호공법, ③ 보강공법을 선택 시 구체적으로 적용 가능한 공법을 판단하여 체크함

    ※ 특히, 대책공법의 ③낙석방지공법은 위험해소방안 중 ②보호공법을 선택한 경우에 해당함

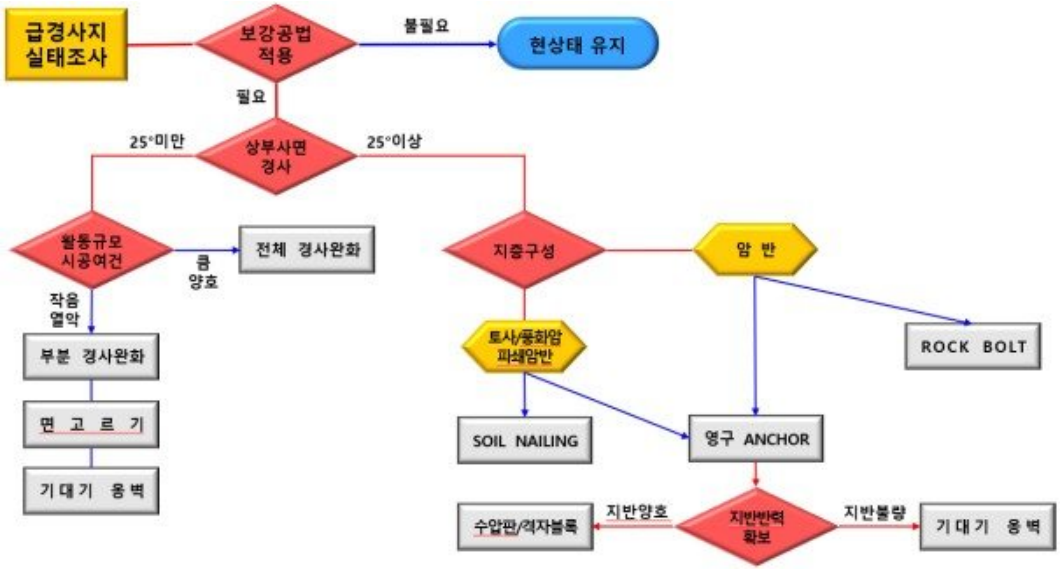
  - 대책공법은 급경사지 예상 붕괴규모, 예상 피해정도, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 가장 적합한 공법을 선정하며, 보호/보강공법으로 구분
    - ▸ 보호공법 : 급경사지 비탈면이 현재 허용 안전율을 확보하고 있으나 향후 강우나 풍화 진행 등으로 안전율이 감소되는 것을 방지하기 위한 공법

    ※ (예) 낙석방지시설, 비탈면 녹화, 배수시설 등

급경사지 보호공법



급경사지 보강공법



〈그림 4-35〉 급경사지 대책공법 제안 체계도

- ▸ 보강공법 : 급경사지 비탈면 활동에 대한 저항력을 증가시키거나 비탈면의 활동력을 감소시켜 허용 안전율을 확보하기 위한 공법

※ (예) 깎기, 앵커, 기대기 옹벽 등

- 붕괴위험지구 지정 : 재조사 대상일 경우 해당하며, 지자체 담당자와 협의하여 파악한 후 작성

- 조사자 의견
  - 급경사지 종류, 주변현황, 특이사항 기입
  - 급경사지 특징 및 위험요소 기입
  - 조사자가 생각하는 재해위험도 기입
  - 붕괴위험지역 지정 필요성 기입
  - 정비사업 또는 계측 필요성 및 대책공법 제안
  - 조사자가 조사자 판단으로 등급을 상향하거나 하향하였을 경우, 반드시 등급 변경 사유를 기재하여야 함

4.2.3 조사결과 협의 및 보고서 작성

급경사지 실태조사가 완료되면 조사자는 조사결과를 해당 관리기관(지방자치단체 등)과 협의를 통해 조사내용, 재해위험도 평가 등급, 급경사지 등록, 붕괴위험지역 지정 필요성, 대책방안 등을 협의하여 조사결과를 수정 및 보완을 통해 최종 조사지역에 대한 등급을 결정한다. 급경사지 실태조사 보고서(관리대장) 사례는 아래와 같으며 「급경사지 재해예방에 관한 법률 시행령」에 따라 급경사지 재해위험도 평가 시 '급경사지 재해위험도 평가기준(행정안전부 고시)' 적용한다.

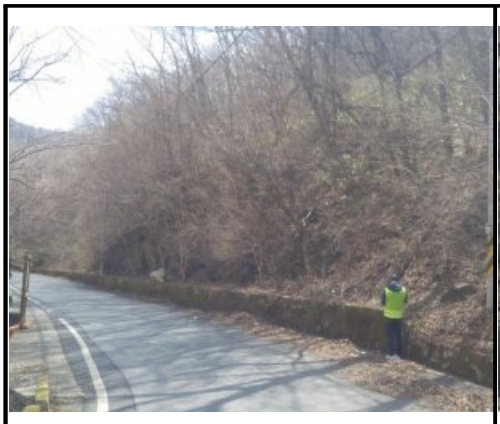
급경사지 실태조사서

[1] 일반정보	명칭		OO OO OO OO N4지구			
	조 사 자		소속	OOO	성명	OOO
			소속	OOO	성명	OOO
	조사일자		2OOO년 OO월 OO일			
	위치	행정구역	OO시·도 OO시·군·구 OO읍·면·동 OO리·동 OO번지선			
		GPS좌표	시점 : 위도(OO° OO′ OO″), 경도(OO° OO′ OO″)			
			종점 : 위도(OO° OO′ OO″), 경도(OO° OO′ OO″)			
	관리주체		지자체		용도 (보호 목적)	①도로 ②아파트 ③주택 ④공단 ⑤공원 ⑥철도 ⑥기타( )
	유형		토지	①인공비탈면 ②자연비탈면	구조	①토사 ②암반 ③옹벽 및 축대 *구조가 복합인 경우, 중복 표기
			임야 (산지)	①인공비탈면 ②자연비탈면		
	규모	최고수직고	8 m		산마루 측구 유무	①있음(구조:) ②없음
		평균경사	76 °			
		종단길이	51 m			
	붕괴이력		①발생연도 : 년 ②발생이력 없음		조사종류	①신규조사 ②재조사
[2] 붕괴위험요인	결함인자	토사	①원호파괴(붕괴) ②표층유실 ③인장균열 ④단차 ⑤배부름 ⑥세굴 ⑦기타( )			
		암반	①낙석 ②뜬돌 ③단층 ④절리방향(매우유리/유리/양호/불리/매우불리) ⑤풍화도(신선/약간풍화/보통풍화/심한풍화/완전풍화/풍화잔류토) ⑥기타( )			
		콘크리트옹벽	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥박리·박락·층분리 ⑦기타( )			
		석축	①균열 ②전도 ③침하 ④활동 ⑤배부름 ⑥탈석 ⑦기타( )			
		비탈 형상	①오목형 ②직선형 ③볼록형 ④돌출형			
		식생밀도	수목 : ①상 ②중 ③하 / 초본식물 : ①상 ②중 ③하			
		용출수 발생부위	①상단부 ②중단부 ③하단부 ④없음			
		상부외력	①건물/②철탑/③농경지/④철도/⑤묘지/⑥참호/⑦배수 불량/⑧기타			
	시설물 현황	종 류	(하부 도로) *시설물이 복수인 경우, 모두 기입			
		상 태	①불량 ②보통 ③양호 *시설물이 복수인 경우, 대표 1개 상태만 기입			
	피해인자	이격거리	- 보호 대상시설과의 이격거리 : (0) m			
		피해예상 규모	건물 동, 세대, 명/ 농경지 ha/ 도로 51m/ 하천 km 기타 시설명 :			
	토석류 발생 영향 검토	주변지형	①산악지 ②구릉지 ③평야지 ④기타			
		토석류 가능성	상부 산지 및 좌·우 계곡부에서 토석류 발생 가능성 : ①있음 ②없음			
		상부 집수지형	급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해 우려가능성 : ①있음 ②없음			
[3] 관리방안	계측관리 필요성		①계측필요(사유), ②계측불필요			
	조사자 판단 위험도		①A등급(매우 낮음) ②B등급(낮음) ③C등급(보통) ④D등급(높음) ⑤E등급(매우 높음)			
	위험해소 방안		①보수 ②보호공법 ③보강공법 ④정밀조사 ⑤이주대책 ⑥기타( )			
	붕괴위험지구 지정		①지정일자(. .) ②미지정		지구지정 후 정비사업추진	①기완료 ②추진중 ③미추진
[4] 조사자 의견			- 암반 인공비탈면(∠76°, H=8m, L=51m)으로 L형측구 설치됨. - 시점계곡(붕적토), 낙석(d=1m), 불리한 절리방향(전도파괴 가능절리), 뜬돌, 돌출형암반등이 관찰되므로 지속적으로 도로상에 낙석 발생 가능함. - 재해위험도 평가결과 C등급으로 정기점검 필요하며 낙석 및 전도파괴 가능하므로 낙석방지 대책 요구됨.			

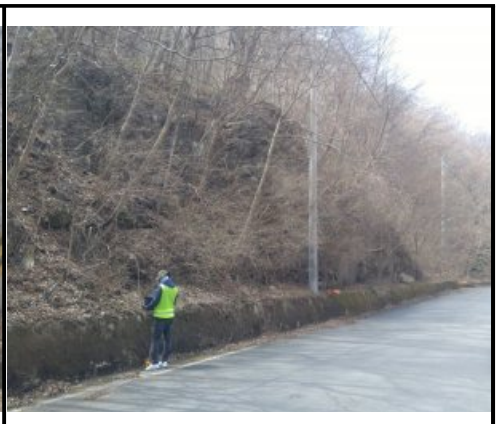
5 위치도 및 현황사진

위치도

전경



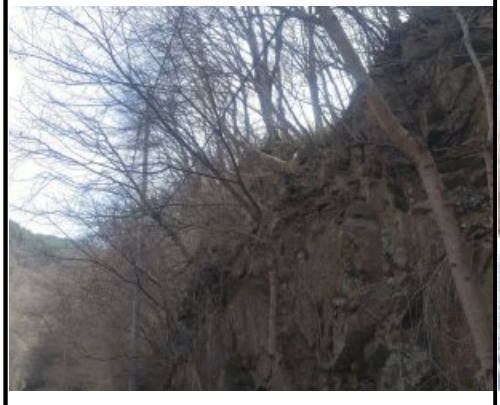
시점



종점

비탈면 상부 돌출암괴

비탈면 상부 뜬돌



비탈면 상부 전도가능수목

비탈면 하부 낙석

〈그림 4-36〉 급경사지 실태조사 보고서 사례

4.2.4 급경사지 관리기관 협조 사항

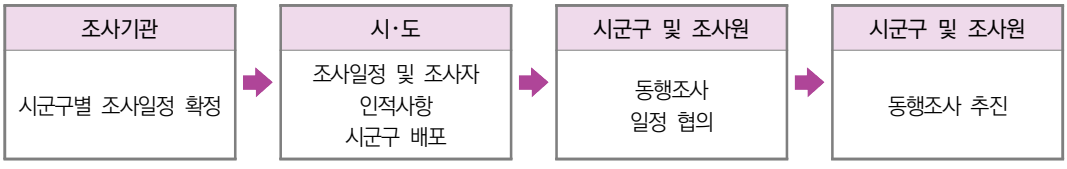
(1) 지자체 담당자 '동행조사' 협조

주요 내용

급경사지 실태조사 결과의 실효성을 증대하기 위해 관리기관의 담당자와 조사기관 전문가가 동행조사(합동조사)를 추진하였다. 이러한 동행조사(합동조사)는 관리 사각지대의 급경사지를 즉시 현장에서 파악 가능하며, 조사기관 전문가를 통해 위험 급경사지에 대한 현실적인 유지관리 방안 등 마련이 가능하다.

역할

- (조사기관) 시군구별 조사일정 및 조사자 인적사항 정리
  * 조사 일정 및 담당 지역은 별도 안내
- (시·도) 관내 시군구에 조사일정 및 조사자 인적사항 등 배포
- (시·군·구) 시군구별 조사일정 확인 후 조사자와 일정조율
  * 관리기관의 급경사지 담당자의 동행조사를 원칙으로 하되, 업무과중시 해당 시군구 인력으로 대체 참석가능(사전에 조사자와 협의 필요)



〈그림 4-37〉 동행조사 절차도

(2) 토지출입증 직인 협조

목적

급경사지 실태조사 수행시 원활한 현장조사 및 현장진입을 위해 사유지 또는 주거지 출입이 필요하다. 특히, 사유지의 출입은 소유자 또는 거주자와 민감한 문제로 오해의 소지가 발생할 가능성이 있다. 따라서 이러한 오해소지를 줄이고 원활한 현장조사를 위해 급경사지법 시행규칙 제4조(토지출입 등의 증표) 법 제7조제2항과 영 제9조제3항에 따라 다른 사람의 토지에 출입하거나 토지·건축물·공작물, 그 밖의 소유물을 일시 사용하거나 장애물을 변경·제거하는 공무원의 권한을 표시하는 증표인 토지출입증을 발급, 활용하였다.

역할

- (시·도) 관내 시군구에 조사원 토지출입증 자료 배포
  * 토지출입증 양식은 〈그림4-43〉 참조
- (시·군·구) 시군구별로 토지출입증을 인쇄(A4) 후 번호 부여 및 직인 날인 후 동행 조사시 조사원에 배포

■ 급경사지 재해예방에 관한 법률 시행규칙 [별지 제1호서식]

(앞쪽)

토지출입(일시사용)증

소 속 한국급경사지안전협회
직 급 조사반장
성 명 홍길동 (54 세)
생년월일 1969.09.13

60mm×90mm[백상지(150g/㎡)]

(뒤쪽)

번 호	0000
출입지역	경기도 광주시
유효기간	2022년 03월 24일 부터 2022년 12월 09일 까지

위 사람은 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제7조제2항 및 제19조제1항에 따라 다른 사람의 토지에 출입하거나 토지·건축물·공작물, 그 밖의 소유물을 일시 사용하거나 장애물을 변경·제거하는 행위를 할 수 있는 자임을 증명합니다.

년 월 일

특별자치시장
시장·군수·구청장 직인

60mm×90mm[백상지(150g/㎡)]

〈그림 4-38〉 출입증 양식 사례

(3) 급경사지 실태조사 대상지 추천

목적

급경사지 실태조사는 도면조사를 통해 추출된 대상지를 중심으로 조사가 이루어진다. 그러나 추출된 대상지 이외에도 인위적인 개발, 훼손지, 산불피해지 등에서 피해가 발생할 가능성이 높으므로 이러한 지역에 대한 추가 조사가 필요하다. 따라서 관리기관에서 조사가 필요하다고 생각되는 지역은 신청이 가능하며, 신청된 지역을 우선 조사하는 것으로 실태조사를 추진하고 있다.

추천 대상

- 현재 관리 중인 급경사지
- 과거 또는 현재 피해지역
- 지역 여건 등에 따라 붕괴 시 인명피해 우려지역 등
  ➜ 인명·재산 피해 우려가 높은 대상지 선정

역할

- (지자체) 조사가 필요한 지역은 연중 상시 추천
  * 급경사지 실태조사 대상지 추천 양식은 '〈그림 4-47〉' 참조
  * 추천방법 : 양식 작성 후 행정안전부 또는 조사기관에 신청
- (조사기관) 추천 지역은 조사대상에 즉각 반영하여 실태조사 실시

급경사지 실태조사 추천

관리기관	*000시 서구*			
추천자	성명	*홍길동*	연락처	*000-0000-0000*
추천지역(주소)	*000시 서구 00동 000번지*			
추천사유	*2010년 낙석 등 붕괴 발생*			
위치도(항공사진)				
특이사항				

〈그림 4-39〉 급경사지 실태조사 추천양식

4.3 신규 급경사지 등록

4.3.1 급경사지 명칭 기준

신규 급경사지 명칭 작성

- 급경사지의 가장 큰 영역을 차지하는 '지번 주소'를 기반으로 신규 급경사지 명칭 부여함
- '시·도', '시·군·구', '읍·면·동', '리' 순으로 '시·도·군·구·읍·면·동·리'를 제외한 명칭을 활용함

※ (예시1) 대전광역시 서구 월평동 312번지 → 대전 서 월평 N00지구

※ (예시2) 세종특별자치시 고운동 1675번지 → 세종 고운 N00지구

※ (예시3) 충청북도 보은군 장안면 황곡리 300-1번지 → 충북 보은 장안 황곡 N00지구

※ (예시4) 서울특별시 관악구 봉천동 산3-1번지 → 서울 관악 봉천 N00지구

※ (예시5) 강원특별자치도 화천군 화천읍 동촌리 산304번지 → 강원 화천 화천 동촌 N00지구

- 일련번호는 'N00지구'형태로 부여하며, 동·리 주소가 동일한 경우 전년도 기존 번호 이후부터 순차적으로 일련번호를 부여함

※ (예시) 대전 서 월평 N1지구, 대전 서 월평 N2지구, ...대전 서 월평 N28지구

① 시·도 명칭	+	② 시·군·구 명칭	+	③ 읍·면·동 명칭	+	④ 리 명칭	+	④ 일련번호 (N00지구)

- 도로명 주소일 경우 지번 주소로 전환하여 명칭 작성

※ (예시) 대전광역시 유성구 계룡로123번길 52 → 대전광역시 유성구 봉명동 574번지
→ 대전 유성 봉명 N00지구

4.3.2 급경사지 등록 절차 및 방법

초기화면

- 급경사지의 현황 정보를 표시하며 급경사지 관련 모든 정보를 볼 수 있는 화면

〈그림 4-40〉 침수가뭄 급경사지정보시스템 초기화면

① 급경사지 리스트: 사용자의 검색조건이 반영된 급경사지의 현황이 표시된다.

② 급경사지 상세정보사용자가 선택한 급경사지의 실태조사, 준공도서, 안전점검, 재해위험도 평가, 붕괴위험지역, 붕괴위험지역 정비사업 현황이 탭 형태로 표시되며 해당 탭 클릭시 각 항목의 현황이 표시된다.

③ 검색 검색 조건에 해당하는 급경사지 리스트를 검색한다.

④ 신규 새로운 급경사지 정보를 등록할 수 있는 팝업화면을 보여준다.

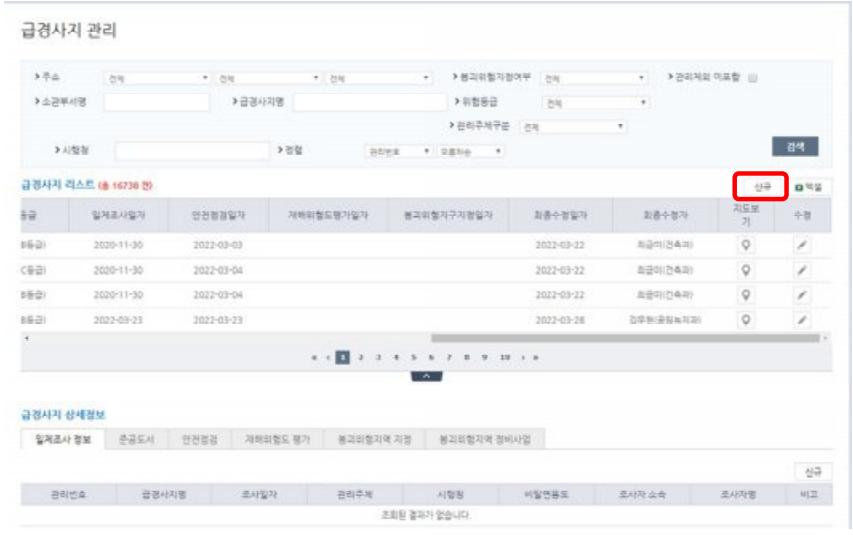
⑤ 엑셀 ①, ②의 정보를 엑셀파일로 다운로드 한다. 주소의 시도, 시군구는 필수로 선택하여야 엑셀 다운로드가 가능하다.

⑥ 선택한 급경사지의 위치를 볼 수 있는 GIS 팝업화면을 보여준다. 단 급경사지 등록시 위치정보를 저장 한 경우만 볼 수 있다.

⑦ 선택한 급경사지의 상세정보를 볼 수 있으며 수정 할 수 있는 팝업 화면을 보여준다.

1단계 : 급경사지 신규 등록

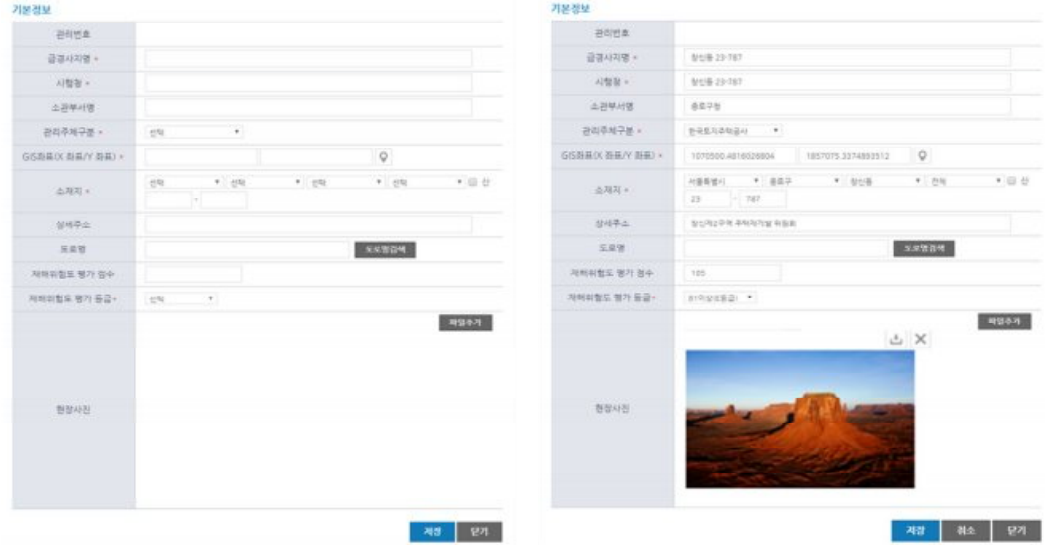
- 신규 버튼을 클릭하여 급경사지를 등록한다.



〈그림 4-41〉 신규 급경사지 등록화면

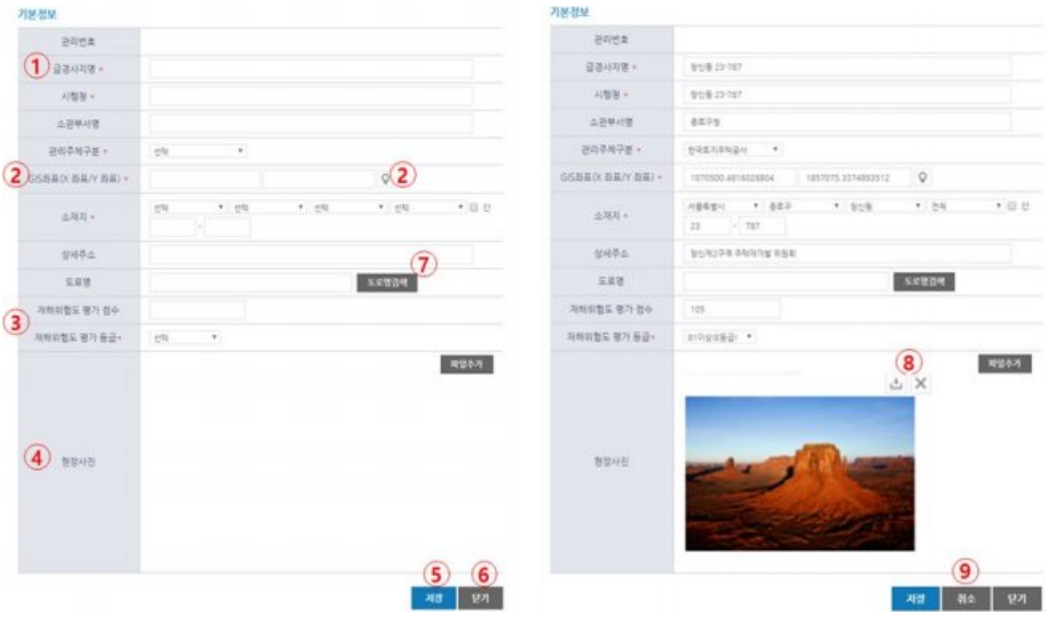
2단계 : 기본정보 입력

- '급경사지 정보 등록 팝업화면'이 뜨면 아래와 같이 기본정보를 입력한다.



〈급경사지 정보 등록화면(입력 전)〉 〈급경사지 정보 등록화면(입력 후)〉

〈그림 4-42〉 기본정보 입력화면



〈그림 4-43〉 기본정보 입력화면

① 입력항목 급경사지 정보의 입력 항목이다. * 표시가 되어 있는 항목은 필수 입력 항목으로 반드시 입력하여야 한다.

② 버튼 클릭시 위치등록을 할 수 있는 GIS 팝업화면을 보여준다. GIS 팝업 화면에서 사용자의 위치를 선택하면 좌표, 소재지, 도로명 주소가 자동으로 입력된다. 단 도로명 주소는 건물을 선택하여야만 가능하다.

③ 재해위험도 평가 : 재해위험도 평가 점수와 등급을 입력 할 수 있다. A~C등급은 저장은 되지만 D등급 이상은 재해위험도 평가 점수와 등급은 등록되지 않는다. (재해위험도 평가 화면에서 등록을 진행해야 됨)

④ 현장사진: 등록할 급경사지의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일선택 버튼을 클릭하여 급경사지 현장 사진을 선택 하면 된다.

⑤ 저장 버튼을 클릭하면 급경사지의 등록, 수정이 진행되며 성공 일 경우는 “정상적으로 저장되었습니다.” 라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.

⑥ 닫기 입력하던 것을 취소하고 등록 화면을 닫는다.

⑦ 도로명검색 도로명 주소를 검색할 수 있는 팝업창을 보여준다.

〈그림 4-44〉 도로명검색 팝업화면

⑧ 은 급경사지 현장 사진을 다운로드하고, 은 급경사지 현장 사진을 삭제한다.

⑨ 취소 : 수정하던 것을 취소하고 상세보기 상태로 돌아간다.

3단계 : 실태조사서 정보 입력

- 경로 : 급경사지 정보관리 〉 실태조사서 정보 현황
- 신규 버튼을 클릭하여 실태조사서 정보 입력

〈그림 4-45〉 실태조사서 정보 현황 화면

① 선택한 급경사지의 상세정보를 표시하는 탭으로 각 탭을 클릭하면 해당 상세정보가 표시된다.

② 선택한 급경사지의 실태조사 현황을 표시한다. 관리번호를 클릭하면 실태조사서의 상세정보를 실태조사 현황 하단에 표시하며 상세정보 화면에서 수정버튼을 클릭하면 실태조사서를 수정할 수 있다.

〈실태조사서 정보 등록화면(입력 전)〉

〈실태조사서 정보 등록화면(입력 후)〉

〈그림 4-46〉 실태조사서 정보 입력화면

- 실태조사서 정보 입력 상세설명

〈그림 4-47〉 실태조사서 정보 입력화면

① 실태조사서 등록, 수정할 경우 입력하는 항목들이 있으며 *표시된 항목은 필수 입력 항목이다.

② 재해위험도 평가 선택/입력 재해위험도 평가 선택/입력 버튼을 클릭하면 작성된 재해위험도 평가가 있는 경우엔 작성된 재해위험도 평가 현황을 표시하는 팝업화면을 보여준다. 작성된 재해위험도 평가가 없는 경우에는 재해위험도 평가 화면이로 이동 하겠냐는 메시지가 표시되며 확인 버튼을 클릭하면 재해위험도 평가 등록 화면으로 이동 한다.

③ 현장사진: 등록할 실태조사서의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일 선택 버튼을 클릭하여 실태조사서 현장 사진을 선택하면 된다.

④ 점검자/확인자 입력 : 점검자/확인자를 입력하는 항목이다. ⑤ 버튼으로 입력 항목을 추가하거나 삭제할 수 있다. 조사자 구분을 통해 점검자와 확인자를 구분한다.

⑤ 조사자 추가 조사자 삭제 ④의 점검자와 확인자 입력 항목을 추가한다. ④의 점검자와 확인자 입력 항목을 삭제한다. 체크박스를 이용하여 한 번에 여러 입력 항목을 삭제할 수 있다.

⑥ 저장 저장 버튼을 클릭하면 실태조사서의 동록, 수정이 진행되며 성공 일 경우는 “정상적으로 저장되었습니다.”라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.

⑦ 취소 수정 중이던 것을 취소하고 상세보기로 돌아간다.

⑧ 리포트 리포트 버튼을 클릭하면 해당 실태조사서의 보고서를 볼 수 있는 팝업 화면이 호출되며 팝업화면에서 프린트 및 다양한 형태의 파일로 변환하여 다운로드 받을 수 있다.(등록 및 수정 상태일 경우는 리포트 기능 안 됨)

4단계 : 급경사지 실태조사서 인쇄하기

〈그림 4-48〉 급경사지 실태조사서 인쇄화면

① 페이지이동 : 해당 보고서가 여러 장인 경우 페이지 이동을 한다.

② 확대 축소 : 해당 보고서를 확대 및 축소한다.

③ 인쇄 및 파일 다운로드 : 해당 보고서를 인쇄한다. PDF 저장, EXCEL저장, 한글 저장 버튼을 클릭하면 각각의 문서파일로 다운로드 한다.

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 5 장 급경사지 안전점검

5.1 개요

5.2 안전점검표

5.3 점검의 주기 및 방법

5.4 점검결과의 기록

5.5 점검결과의 공개

제 5 장 급경사지 안전점검

5.1 개요

5.1.1 급경사지법의 안전점검

급경사지법 제5조(급경사지에 대한 안전점검)에 따라 관리기관은 소관 급경사지에 대하여 연 2회 이상 안전점검을 시행하고, 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장에게 그 결과를 통보하여야 하며, 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장은 관할 구역 안에 있는 급경사지에 대하여 연 1회 이상 안전점검을 실시하되 관리기관에서 통보받은 결과에 근거하여 붕괴 위험성이 없는 급경사지에 대하여는 안전점검을 생략할 수 있다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 안전점검 관련

제5조(급경사지에 대한 안전점검) ① 관리기관은 소관 급경사지에 대하여 연 2회 이상 안전점검을 실시하고, 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장에게 그 결과를 통보하여야 한다.
② 관리기관은 제1항에 따른 안전점검 결과를 해당 관리기관의 인터넷 홈페이지를 통하여 공개하여야 한다.
③ 제2항에 따라 공개하는 안전점검 결과의 범위, 공개 기간, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
④ 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장(이하 "시장·군수·구청장"이라 한다)은 관할 구역 안에 있는 급경사지에 대하여 연 1회 이상 안전점검을 실시하되, 제1항에 따른 결과통보를 받아 붕괴 위험성이 없다고 판단하는 급경사지에 대하여는 안전점검을 생략할 수 있다.

다만, 관리기관이 지방자치단체인 경우 급경사지법 제5조1항에 따라 연 2회 점검을 실시하므로 제4항을 생략할 수 있다.

연 2회 이상 급경사지 점검을 수행하는 경우에는 해빙기 및 우기점검을 포함하도록 하며, 이 때 육안검사와 측정 기구를 통해 비탈면의 불연속면, 암종, 상부자연비탈면 등의 비탈면 상태와 붕괴이력, 비탈면시설 현황 등을 정확히 조사한다.

5.1.2 점검장비

급경사지의 점검을 위하여 필요한 휴대도구 및 점검 장비를 정리하면 다음과 같다.

① **측정도구**

- 줄자(5m, 100m)
- 워킹미터 : 비탈면의 연장 측정 시 사용
- 클리노컴파스 : 비탈면의 방향성 및 불연속(절리)면의 방향성 측정 시 사용
- GPS(지도로 대체 가능) : 비탈면의 위치 측정 시 사용
- 프로파일게이지 : 불연속면의 거칠기를 측정할 때 사용

〈그림 5-1〉 급경사지 점검을 위한 측정도구

② **측정기기**

- 측량기 : 비탈면의 정확한 규모나 시설물 또는 손상부위의 정확한 위치를 측정할 때 사용
- 레이저 거리측정기 : 비탈면의 규모나 점검 대상 부위의 위치 측정 시 사용

〈그림 5-2〉 급경사지 점검을 위한 측정기기

〈그림 5-3〉 급경사지 점검을 위한 비파괴검사 장비

③ 접근장비

- 사다리 : 사다리로 접근할 수 있는 부위에 근접하여 점검할 때 사용
- 고소작업차 : 높이가 높아 사다리로 접근할 수 없는 부위를 점검할 때 사용

〈그림 5-4〉 급경사지 점검을 위한 접근장비

④ 기타장비

- 필기도구 : 조사 기록용
- 카메라 : 비탈면의 전경, 측면, 세부구간 촬영
- 교통통제 기구(신호봉 또는 수기, 라바콘, 안내표지판) : 차량유도 및 안전신호용
- 안전장구(안전모, 안전화, 조끼, 장갑, 보안경 등) : 신체 보호용

〈그림 5-5〉 급경사지 점검을 위한 기타 장비

5.2 안전점검표

급경사지 안전점검표는 자연비탈면 점검표, 인공비탈면 점검표, 옹벽 및 축대 점검표로 구성되어 있으므로 해당 비탈면 유형에 따라 1개의 점검표를 선택하여야 하며, 급경사지와 옹벽이 동시에 존재하는 등의 복합 구조물의 경우 해당 점검표를 각각 활용하여야 한다.

점검의 내용 및 항목은 〈표 5-1〉과 같다. 연 2회 이상 수행하는 점검은 비탈면의 파괴요인과 비탈면의 손상 및 결함을 조기에 발견하고 기능적 상태를 판단하여 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 실시하는 점검이다.

〈표 5-1〉 안전점검의 종류 및 내용

1. 급경사지 안전점검표(자연비탈면)

점검일시	2024. . .	급경사지명	
분 류	자연비탈면	제 원	높이 m, 길이 m, 경사 °
점검장소	시·도 시·군·구		주소
점검자	(소속) (직위) (성명) (소속) (직위) (성명)		

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
자연 비탈면				
1. 지하수 용출 여부	□	□	□	
2. 인장균열 발생 여부	□	□	□	
3. 지반 침하 및 융기(배부름) 발생 여부	□	□	□	
4. 표층유실 및 세굴 발생 여부	□	□	□	
5. 뜬돌, 전도가능 수목, 암반 사면 내 식생으로 절리부를 확장시키는 수목 존재 여부	□	□	□	

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
6. 낙석, 붕괴, 토석류 발생 여부	□	□	□	
7. 인위적 훼손 및 개발(태양광 설치, 임도 설치, 밭 경작 등) 여부	□	□	□	
비탈면 시설물(낙석방지책 등)				
1. 시설물 변형 여부 - 시설물 미관리(낙석 방치 등)에 따른 기능 저하	□	□	□	
2. 시설물 파손 여부	□	□	□	
3. 배수시설(배수공 등)의 배수기능 저하 여부	□	□	□	
기 타				
○ 붕괴위험지역 표지판				
1. 붕괴위험지역 안내 표지판 설치 여부	□	□	□	
2. 표지판 내 글씨 등 훼손 여부	□	□	□	
○ 조기경보시스템				
1. 계측기기 파손 및 유실 여부	□	□	□	
2. 계측기기 정상 작동 여부 - 계측, 모니터링 시스템, CCTV, 전광판 등	□	□	□	
【기타 의견】				

※주요 구조부의 균열 등 중대 결함이 발견된 경우 민간전문가 및 점검장비를 활용하여 확인점검 실시

2. 급경사지 안전점검표(인공비탈면)

점검일시	2024. . .	급경사지명	
분 류	인공비탈면	제 원	높이 m, 길이 m, 경사 °
점검장소	시·도 시·군·구		주소
점검자	(소속) (직위) (성명) (소속) (직위) (성명)		

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
인공 비탈면				
○ 인공비탈면의 상·하부 및 주변				
1. 인위적 훼손 및 개발(태양광 설치, 임도 설치, 밭 경작 등) 여부	□	□	□	
2. 토석류, 인장균열, 붕괴, 침하, 낙석 등의 지반변형으로 인공비탈면의 위험성 증가	□	□	□	
3. 하부 시설(주택, 도로 등)의 변형 및 파손	□	□	□	
○ 인공비탈면				
1. 지하수 용출 여부	□	□	□	
2. 인장균열 발생 여부	□	□	□	
3. 지반 침하 및 융기(배부름) 발생 여부	□	□	□	
4. 붕괴 발생 여부	□	□	□	
5. 표층유실 및 세굴 발생 여부	□	□	□	

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
6. 낙석, 뜬돌 및 전도가능 수목 존재	□	□	□	
비탈면 시설물(옹벽, 낙석방지책 등)				
1. 시설물 변형 여부 - 시설물 미관리(낙석 방치 등)에 따른 기능 저하	□	□	□	
2. 시설물 파손 여부	□	□	□	
3. 배수시설(배수공 등)의 배수기능 저하 여부	□	□	□	
기 타				
○ 붕괴위험지역 표지판				
1. 붕괴위험지역 안내 표지판 설치 여부	□	□	□	
2. 표지판 내 글씨 등 훼손 여부	□	□	□	
○ 조기경보시스템				
1. 계측기기 파손 및 유실 여부	□	□	□	
2. 계측기기 정상 작동 여부 - 계측, 모니터링 시스템, CCTV, 전광판 등	□	□	□	
【기타 의견】				

※주요 구조부의 균열 등 중대 결함이 발견된 경우 민간전문가 및 점검장비를 활용하여 확인점검 실시

3. 급경사지 안전점검표(옹벽 및 축대)

점검일시	2024. . .	급경사지명	
분 류	옹벽 및 축대	제 원	높이 m, 길이 m, 경사 °
점검장소	시·도 시·군·구		주소
점검자	(소속) (직위) (성명) (소속) (직위) (성명)		

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
전면부(옹벽 및 축대 자체면)				
1. 균열이 발생하지 않아야 함	□	□	□	
2. 이음부 이격 및 단차가 없어야 함	□	□	□	
3. 전면부 배부름(돌출) 없어야 함	□	□	□	
4. 주변부 용수 유출이 없어야 함	□	□	□	
5. 전도 및 활동 발생 없어야 함	□	□	□	
6. 배수구 막힘이 없어야 함	□	□	□	
배면부(옹벽 및 축대 상부)				
1. 인위적 훼손 및 개발(주택, 도로 등) 여부	□	□	□	
2. 토석류, 인장균열, 붕괴, 침하, 낙석 등의 지반 변형으로 옹벽 및 축대의 위험성 증가	□	□	□	
3. 배수로의 기능 저하가 없어야 함	□	□	□	

세 부 점 검 사 항	점 검 결 과(해당란에 ✔체크)			
	있음	없음	해당 없음	세부내용(위치, 상태 등) 및 조치계획
기초부(옹벽 및 축대 하부)				
1. 지반의 융기 및 침하가 없어야 함	□	□	□	
2. 기초부 파손 및 들뜸이 없어야 함	□	□	□	
3. 주변부 용수 유출이 없어야 함	□	□	□	
4. 세굴의 발생이 없어야 함	□	□	□	
기 타				
○ 붕괴위험지역 표지판				
1. 붕괴위험지역 안내 표지판 설치 여부	□	□	□	
2. 표지판 내 글씨 등 훼손 여부	□	□	□	
○ 조기경보시스템				
1. 계측기기 파손 및 유실 여부	□	□	□	
2. 계측기기 정상 작동 여부 - 계측, 모니터링 시스템, CCTV, 전광판 등	□	□	□	
【기타 의견】				

※주요 구조부의 균열 등 중대 결함이 발견된 경우 민간전문가 및 점검장비를 활용하여 확인점검 실시

안전점검 주요 항목 해설

• 인장균열

인장균열은 붕괴활동면이 발생된 비탈면이 연성적으로 거동할 때 관찰된다. 인장균열은 일반적으로 상부자연비탈면에서 관찰되고 붕괴부 이동방향에 수직으로 발달하는 것이 특징이며, 비탈면 내에서도 나타나기도 한다.

인장균열은 붕괴 원인의 단서를 제공하므로 균열이 발생한 부위는 상세한 조사를 실시해야 한다. 즉, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부 등을 조사해야 하며, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료를 토대로 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측한다.

상부자연비탈면 내 인장균열

비탈면내 인장균열

풍화에 의한 붕괴

• 지반변형

깎기부나 상부자연비탈면에서 활동면 상단의 균열부에 나타나는 지반의 고저차를 단차라 하며. 깎기부에서 활동면 하단의 변형으로 지반이 전방으로 밀리는 현상을 배부름이라 하고 비탈면 선단부위나 도로에서 발견되는 활동면 하단의 변형으로 부풀은 현상을 융기라 한다. 지속적인 지반변위나 변형으로 낙석형 전도나 낙석이 특정부위에서 계속 발생되는 경우는 붕괴의 전조현상으로 의심할 수 있다.

비탈면내 침하

비탈면내 배부름

융기

- **구조물변형**

일반적으로 자연지반은 큰 변형이나 변위가 발생하기 전까지 인지하기가 어려우나 인공구조물의 경우 시공 당시의 모양이나 위치가 변형됨에 따라 비탈면의 변동에 대한 인지가 가능한 편이다. 따라서, 옹벽, 배수구, 점검로 등 비탈면 시설과 비탈면 내에 위치한 전신주 등을 관찰하여 붕괴 징후를 예측할 수 있다. 비탈면에 시공한 콘크리트 뿜어붙이기나 식생녹화, 계단식(화단)옹벽, 돌망태 옹벽, 철재 점검로가 설치되어 있는 경우 이들의 변상이나 변형이 비탈면의 거동을 개략적으로 지시하는 간이계측기 역할을 하므로 점검시 이들에 대한 주의 깊은 관찰이 요망된다.

전신주의 변형

옹벽구조물의 파괴

게비온 옹벽의 전도

5.3 점검의 주기 및 방법

급경사지에 대하여 정기적으로 수행하는 점검은 해빙기점검, 우기대비점검 등이 있다. 이때 수행하는 점검은 경험과 기술을 갖춘 자에 의한 세심한 육안검사 수준의 점검으로써 간단한 점검기구를 사용하여 자연비탈면과 인공비탈면의 상태를 파악한다. 또한 옹벽 및 축대 등에서 발생한 결함과 기능적 상태를 판단하고 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지를 확인한다.

자연비탈면과 인공비탈면에 대한 점검 수행 시에는 〈표 5-1〉의 안전점검표를 활용하고 해빙기점검 및 우기대비점검 시에는 점검특성에 맞는 해빙기점검표와 우기대비점검표를 추가적으로 작성할 수 있다. 인공비탈면 중에서 옹벽 및 축대가 설치된 곳은 구조물에 대한 조사를 함께 수행한다.

5.3.1 해빙기 점검

해빙기 점검은 간략한 육안조사를 통하여 비탈면상태, 붕괴이력, 비탈면시설 상태 등을 점검하며, 점검 시기는 보통 3월에 이루어진다.

점검 시에는 평상시 지하수 용출이 관찰되었거나 결빙되었던 곳에서 해빙에 따른 낙석 발생 여부와 중소규모의 붕괴 가능성 여부에 주안점을 둔다.

점검결과에 따라 경미한 사안은 관리주체가 자체적으로 대책을 수립·시행하고 중대한 사안에 대해서는 추가적인 현장조사를 수행하고 붕괴위험지역으로 고시하는 등 적절한 조치를 취해야 한다.

점검 시 조사자는 다음에 제시된 해빙기 점검표를 이용하여 누락된 부분이 없도록 기입 항목을 정확히 조사한다.

〈표 5-2〉는 해빙기점검항목에 따른 내용을 요약한 것이며, 해빙기 점검 시 실무자들이 활용하는 점검표는 〈표 5-1〉과 같다.

〈표 5-2〉 해빙기 대비 주요 점검항목 및 내용

분류	점검항목	점검내용	점검장비
중점점검	• 결빙된 곳 • 지속적인 낙석발생장소 • 지하수 용출	- 해빙기 낙석이나 붕괴위험 여부 - 지하수 용출량, 위치	- 카메라 - 필기도구 - 지도 - 줄자
붕괴	• 인장균열 • 배부름	- 위치, 규모, 방향, 진행속도	
	• 이완암괴	- 위치, 규모, 낙석발생시 피해도	
	• 이력	- 유형, 위치, 규모, 발생시기	
비탈면 상태	• 불연속면	- 미끄러움 정도, 빈도, 방향	
	• 풍화도	- 풍화도 vs 단면경사에 따른 안정성	
	• 집수지형	- 계곡부 유무	
비탈면시설	• 배수시설 • 낙석방호시설 • 보강시설 • 표면보호시설	- 노후, 변상, 파손여부 - 기능상실 여부	

5.3.2 우기 점검

우기 전 취약지역에 대해 집중강우 시 취약부(계곡부, 혼합비탈면, 토사비탈면)와 배수시설의 배수기능 등에 대해 주안점을 두고 점검표에 따라 정기점검을 시행하여야 하며, 점검수준은 해빙기점검에 준한다. 〈표 5-3〉는 우기대비 점검항목이며, 현장점검 시 활용하는 점검표는 〈표 5-1〉과 같다.

〈표 5-3〉 우기 대비 주요 점검항목 및 내용

분류	점검항목	점검내용	점검장비
중점점검	• 비탈면 누수	- 비탈면 내 특정 부위의 습윤, 지하수 용출	- 카메라 - 필기도구 - 지도 - 줄자
	• 계곡부	- 계곡부에서 종배수구, 집수시설로 이어지는 연결 부위와 관거의 통수기능	
	• 공사 중인 현장 • 수해취약지구	- 수방자재 비축현황 - 토사유실 및 붕괴 여부	
	• 배수시설 - 산마루배수구 - 소단배수구 - 종배수구 - 수평배수공 - 수발공 등	- 배수공의 막힘 - 이물질의 퇴적이나 적치로 배수기능 상실 - 시설물의 연결부위 파손, 변형 - 통수단면 부족으로 월류 여부 - 배수시설 기능상실로 세굴, 침식, 붕괴여부	
붕괴	• 인장균열 • 배부름	- 위치, 규모, 방향, 진행속도	
	• 이완암괴	- 위치, 규모, 낙석발생시 피해도	
	• 이력	- 유형, 위치, 규모, 발생 시기	
비탈면 상태	• 불연속면	- 미끄러움 정도, 빈도, 방향	
	• 풍화도	- 풍화도 vs 단면경사에 따른 안정성	
	• 집수지형	- 계곡부 유무	
비탈면시설	• 낙석방호시설 • 보강시설 • 표면보호시설	- 노후, 변상, 파손여부 - 기능상실 여부	

5.3.3 옹벽 및 축대 점검시 유의사항

인공비탈면 중에서 옹벽 및 축대와 같은 구조물이 존재하는 경우에 점검자는 구조물의 전반적인 외관 상태를 관찰하여 심각한 손상·결함의 가능성을 확인한다. 이때 점검은 육안조사 및 간단한 점검기구를 활용하는 수준이며, 육안검사 시의 유의점은 다음과 같다.

① 이전 점검 시점까지 보이지 않았던 균열이나 다량의 누수가 생기지는 않았는가?
② 표면의 열화정도는 어떠한가?(콘크리트 옹벽의 경우 : 가는 균열이 망상으로 펼쳐져 있다. 혹은 다른 부분과 비교하여 변색하고 있다. 또는 다공질 형태로 표면이 부슬부슬하게 보인다. 백색의 생성물이 표면에 나타나 있다 등의 경우는 콘크리트 표면이 상당히 열화하고 있다고 판단해도 좋다.)
③ 우각부의 균열 혹은 균열을 따라 단차가 발생하지 않았는가? (대규모의 균열이나 단차가 발생 시 위급한 상태이므로 토압작용 양상 및 대비책 수립이 필요하다.)
④ 지하수 배수를 위해 설치한 배수공이 막히거나 이물질이 삽입되어 있지는 않은가? (해빙기 및 우기를 대비한 점검 시 특히 중요)
⑤ 보수·보강된 부위의 재료는 안정한가?

옹벽 및 축대의 점검 시에 콘크리트 옹벽을 제외하고는 주로 육안에 의한 조사를 실시한다. 콘크리트 옹벽에서 점검기구를 사용하는 경우에는 점검망치로 타격을 가했을 때의 반발정도나 소리, 반응형태 등으로 시설물의 안정 상태를 평가하게 되며 그때의 유의점은 다음과 같다.

① 점검망치에 의한 타격 시 청음을 내면 콘크리트 재료는 건전하다고 판단할 수 있고, 탁한 음이나 공명이 나타나는 경우는 재료가 열화하고 있거나 배면에 공극이 있을 가능성이 있다.
② 점검망치 타격에 의한 반발이 좋을 경우 콘크리트 재료는 건전하다고 판단할 수 있다.
③ 점검망치 타격 시 망치가 콘크리트 표면에 박히거나 표면에 균열이 발생하는 경우는 콘크리트 재료가 상당히 열화되었다고 판단할 수 있다.
④ 콘크리트의 박락 및 낙하 가능성이 있는 곳은 두드려서 떨어뜨려야 한다.(사고예방)

정기점검을 실시하는 경우의 구체적인 점검항목과 활용장비는 〈표 5-4〉와 같은데 특히, 육안조사 시 점검자는 시설물의 양호 및 불량한 상태를 쉽게 판정할 수 있는 기준을 숙지하고 있어야 하고 이러한 판정기준을 기호나 적정한 용어를 사용한 문장으로 표기, 서술할 수 있어야 한다.

〈표 5-4〉 옹벽 및 축대 점검시의 점검항목 및 장비

점검부위		점검사항	점검장비
콘크리트 옹벽	간단한 외관조사	• 파손 및 손상, 균열 • 누수, 층분리 및 박락, 백태 • 철근노출 • 배수공상태 • 기초부의 세굴 • 주변영향인자(배수시설 및 옹벽주변상태)	- 망원경 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 손전등 - 균열경 및 균열측정기 - 측량기 또는 진행성결함 항목 측정 및 계측에 필요한 장비
보강토 옹벽	간단한 외관조사	• 파손 및 손상, 균열 • 유실 • 이격 • 기초부의 세굴 • 주변영향인자(배수시설 및 옹벽주변상태)	
돌쌓기 옹벽 (석축)	간단한 외관조사	• 파손 및 손상, 균열 • 유실 • 이격 • 배수공의 상태 • 기초부의 세굴 • 주변영향인자(배수시설 및 옹벽주변상태)	
돌망태 옹벽	간단한 외관조사	• 기초부의 세굴 • 채움재 유실 • 와이어 메쉬의 파손 • 주변영향인자(배수시설 및 옹벽주변상태)	
공 통	진행성 결함조사 (필요시)	• 침하 • 활동 • 계획선형오차(전도/경사) • 균열	

※ 옹벽 및 축대 점검은 간단한 기구 등을 지참하여 점검한다.
※ 주변영향인자 조사 중 비탈면상태에 대한 평가는 깍기 및 쌓기 비탈면을 보호하는 시설물을 대상으로 실시한다.

일반적으로 정기점검의 육안조사는 가장 손쉽게 수행하는 조사방법으로서, 시설물의 결함을 찾아낼 수 있는 일차적인 조사에 해당한다. 그러나 다른 조사방법에 비해 정밀도가 낮으므로 정밀진단에서 측정 장비로 수행되는 정밀한 측정과는 달리 균열, 백태, 변형 등을 포함한 단순항목에 대한 조사 위주로 진행된다. 이 밖에도 사용성에 간접적인 영향을 미치는 영향인자(주변영향) 및 기존 보수부위에 대해 세밀한 조사를 실시하여야 한다.

안전점검은 주관적인 경향이 강한 조사이므로 반드시 반복조사를 원칙으로 하되 의심나는 곳은 표기해 두었다가 추후 세밀하게 다시 조사하는 것이 좋다.

특히 육안조사 시에는 앞에서 열거한 바와 같이 사전에 지반조사, 설계 및 시공 관련 자료들과 전술한 주된 조사항목들을 숙지하고 이들 항목을 중심으로 조사가 이루어지도록 해야 한다.

이들 각각에 대한 조사방법을 간략하게 나타내면 〈표 5-5〉와 같다.

〈표 5-5〉 조사항목별 조사방법

조사항목	조 사 방 법
균 열	육안으로 균열의 위치, 방향, 패턴 등을 관찰하고 증가한 균열의 길이를 파악한다. 또한 내부 철근의 녹슬음에 의한 오염의 유무도 관찰한다.
들 뜸	육안으로 콘크리트의 들뜸 유무를 관찰한다. 또한 들뜬 부분의 철근부식 유무를 관찰한다(망치사용).
박 락	육안으로 콘크리트가 박락되어 있는 부분의 유무를 관찰한다.
누 수	육안이나 문진 등으로 누수의 범위나 누수량을 확인한다.
백 태	콘크리트 면을 손으로 세게 눌러서 분상물의 부착으로 판단한다.
사 면	비탈면의 변형유무

일반적으로 토목구조물은 계측조사의 결과에 대해 양호, 불량을 단독으로 판정하는 값은 정해져 있어도 전체적인 판정을 위한 절대적 기준치는 없으며, 결과에 대한 어떠한 경향이나 원인을 추정하는 대표적인 사례들이 존재한다.

옹벽이라고 하는 구조물의 기능을 양호, 불량한 상태라 판정하는 것은 한 가지 요소로 판정되는 것이 아니라 재질, 구조, 환경이란 측면에서의 종합적인 판단과 분석이 필요하고, 각기 개별성이 강하여 일률적인 기준치를 적용하기 어렵다. 따라서 계측조사는 육안으로 하되 기존의 계측장치가 설치되어 있을 때는 그 계측장치를 활용하며, 계측된 측정치가 표준치를 상회함에도 불구하고 결함이 있다고 인정되는 경우가 있으므로 잠재적 결함을 파악할 수 있도록 지속적인 관찰을 필요로 한다.

5.3.4 안전점검의 예산

급경사지법 제5조(급경사지에 대한 안전점검)에 따라 관리기관은 소관 급경사지에 대하여 연 2회 이상 안전점검을 시행하기 위해 예산을 사전에 확보하여야 한다.

급경사지 안전점검의 비용 산정은 인건비, 경비 등이 포함되어 있으며 상세 비용 산정표는 부록5(급경사지 조사 비용 산정표)을 참조한다.

5.4 점검결과의 기록

5.4.1 기록항목

점검자료는 유지관리에 있어 가장 기본적인 자료인 동시에 가장 중요한 자료가 되므로 일관된 기록양식에 의거해 작성되어야 하며, 이들을 체계적으로 보관해야 한다. 일반적으로 점검결과는 다음 항목에 따라 점검양식에 기록하여 보존, 각별한 주의를 기울여야 한다.

점검 결과의 기록 항목은 다음과 같다.

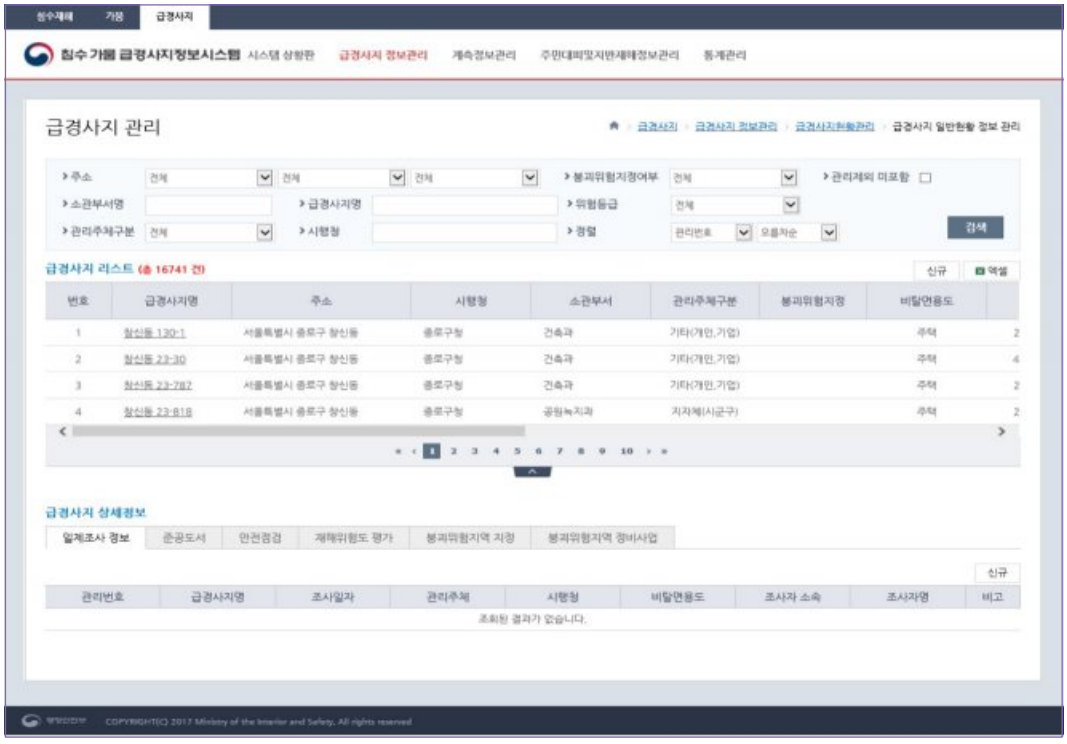
① 안전점검을 실시한 급경사지의 명칭 및 위치
② 안전점검 실시기간
③ 안전점검 결과의 내용 및 조치계획

5.4.2 안전점검 결과의 급경사지통합시스템 등록

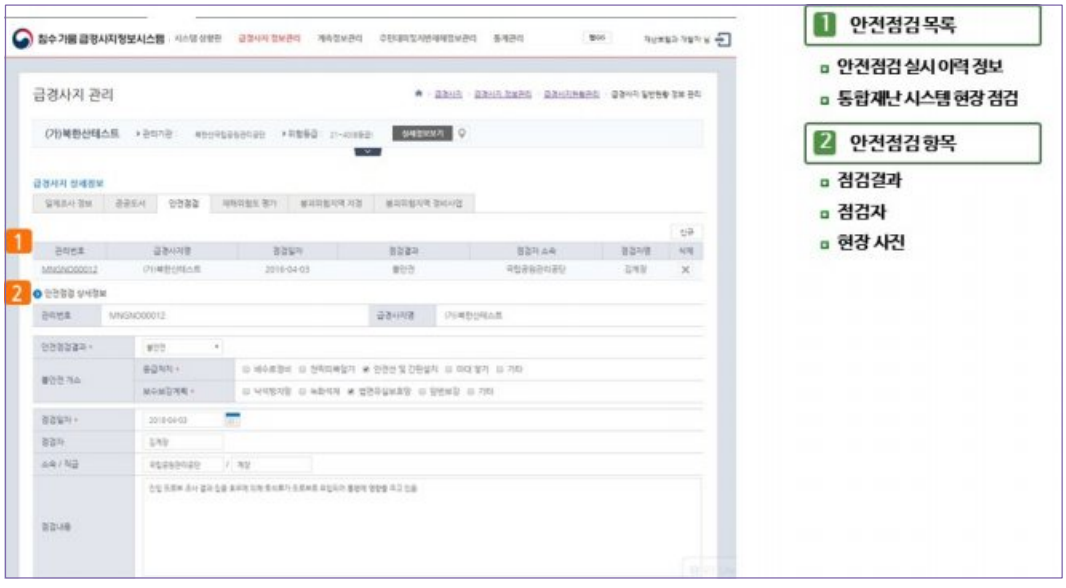
안전점검 및 후속조치 방안 등의 자료는 위험요인의 효율적이고 체계적인 관리를 위해 급경사지통합시스템(NDMS)에 기록한다.

(1) 급경사지통합시스템에 접속 후 급경사지 정보관리 선택

(2) 급경사지 관리에서 급경사지명을 선택



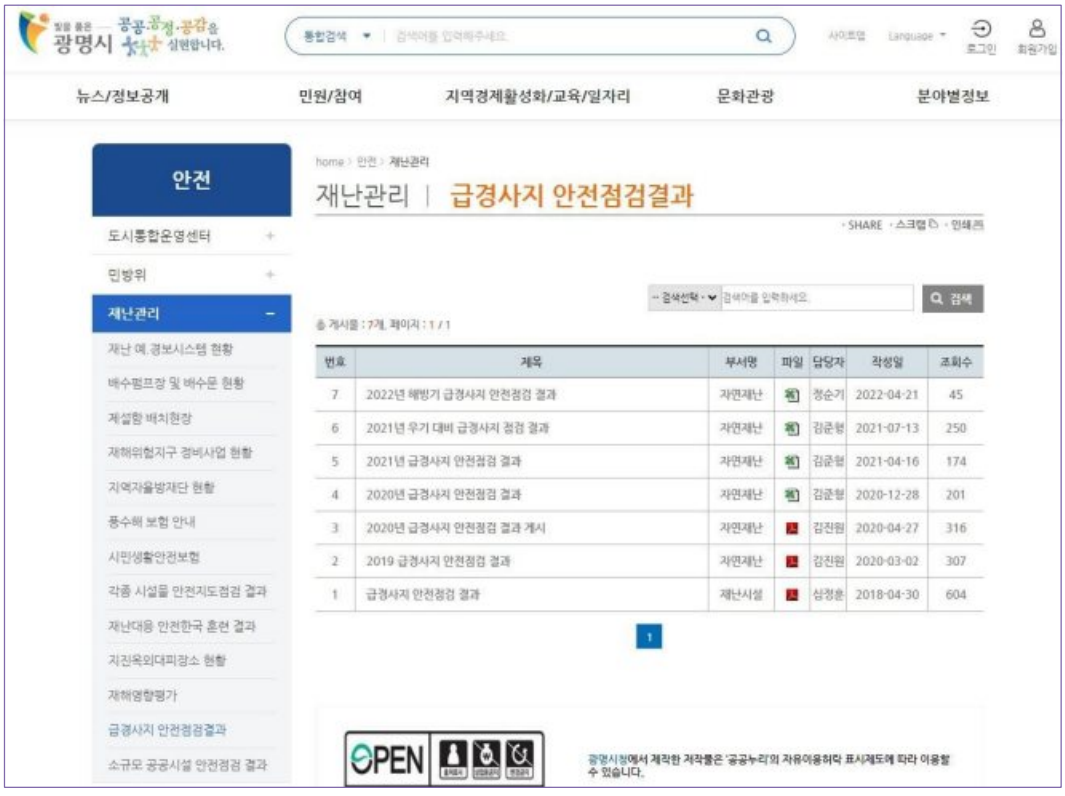
(3) 안전점검 결과의 작성



5.5 점검결과의 공개

급경사지법에 따르면 관리기관은 다음의 사항을 포함한 안전점검 결과를 해당 관리기관의 인터넷 홈페이지에 12개월 이상 공개해야 한다(「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제5조 제2항 안전점검 결과 공개, '21. 4. 21 시행).

① 안전점검을 실시한 급경사지의 명칭 및 위치
② 안전점검 실시기간
③ 안전점검 결과의 내용 및 조치계획
④ 그 밖에 안전점검 결과와 관련하여 행정안전부장관이 공개할 필요가 있다고 인정하는 사항



〈그림 5-6〉 안전점검 결과 공개 예시(광명시)

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 6 장

붕괴위험지역의 지정·관리

6.1 개요

6.2 붕괴위험지역 지정·고시 절차

6.3 재해위험도평가 기준 및 업무해설

6.4 붕괴위험지역에서의 행위협의

6.5 위험표지의 설치

제6장 붕괴위험지역의 지정·관리

6.1 개요

급경사지로부터 발생하는 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해서는 '급경사지 붕괴위험지역'을 '재해위험도 평가기준'에 따라 명확히 등급화하고, 이를 급경사지법에서 정한 절차에 따라 '급경사지 붕괴위험지역'으로 지정·관리하는 것이 가장 효과적이다.

특히, 급경사지법 제6조(붕괴위험지역의 지정 등)에 의하면 관리기관은 소관 급경사지에 대하여 붕괴위험지역으로 지정할 필요가 있는 때(안전점검 결과 또는 관리기관의 판단에 따라)에는 재해위험도평가와 주민 의견수렴 절차를 거쳐 '급경사지 붕괴위험지역'으로 지정·고시하도록 명시하고 있다.

따라서 '재해위험도평가'는 '지정·고시' 여부의 주요 기준이므로 수행 방법 및 절차를 관련 법 및 기준에 따라 철저히 수행함은 물론이며, 전문가를 통한 정확한 판단하에 평가를 실시하여야 한다.

또한, 급경사지법 시행규칙 제2조(붕괴위험지역 지정·고시 등)에 의하면, 관리기관은 붕괴위험지역의 위치 및 현황, 붕괴위험지역 관리기관, 붕괴위험지역 지정 사유, 붕괴위험지역 지정 또는 변경 일자, 붕괴위험지역의 지형도면(축척 5,000분의 1이상의 지형도면)을 관보나 관할 구역의 공보에 고시하여야 한다.

마지막으로 붕괴위험지역으로 지정·고시된 급경사지는 관련 정비계획에 따라 보수·보강 등의 구조적인 대책뿐만 아니라, 주민대피·행위협의·위험표지의 설치 등의 비구조적 대책도 고려하여 관할구역 '급경사지 붕괴위험지역'에 대한 체계적 관리계획을 수립할 필요가 있다.

지정·고시 및 재해위험도 평가 관련 법적근거

- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제6조(붕괴위험지역의 지정 등)
- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제6조의2(붕괴위험지역의 지정 권고)
- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 시행규칙 제2조(붕괴위험지역 지정·고시 등)
- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제7조(현지조사의 실시 등)
- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 시행령 제3조(재해위험도평가 등)

6.2 붕괴위험지역 지정·고시 절차

관리기관은 소관 급경사지에 대하여 붕괴위험지역으로 지정할 필요가 있을 때에는 관련 법률 및 절차에 따라 현장조사를 실시하고, 그 결과를 바탕으로 '급경사지 붕괴위험지역'으로 지정·고시하여야 하며, 변경 시에도 같은 절차를 통해 실시한다.

구 분 (주체)	추 진 절 차	비 고
급경사지 선정 (관리기관)	• 급경사지 대상지 선정 – 급경사지 실태조사서에 따라 현장조사 실시	안전점검, 재해발생, 민원 또는 관리기관의 필요 등에 의해 선정
재해위험도 평가 (관리기관)	• 재해위험도 평가기준에 따라 현장평가 실시 – 급경사지의 높이, 경사도, 붕괴이력 등 붕괴위험성 – 주변 환경, 공공시설 등과의 거리 등 사회적 영향 – 재해위험도 등급(A, B, C, D, E) 설정	관할공무원 및 전문가 평가 실시
주민의견수렴 (관리기관)	• 주민의 의견을 수렴, 관계인에게 통보 – 붕괴위험지역으로 지정될 범위 – 붕괴위험지역에서 제한되는 행위 또는 금지사항 – 붕괴위험지역에 대한 정비계획	관계인(해당 토지의 소유자·점유자 또는 관리인)에게 관할 구역의 공보 등을 통해 공고
붕괴위험지역 지정·고시요청 (관리기관)	• 지정 요청시 구비서류 – 붕괴위험지역의 위치 및 현황 – 붕괴위험지역으로 지정 요청하는 사유 – 재해위험도평가 결과보고서(전문가 의견 포함) – 붕괴위험지역 주민의견 수렴 결과보고서	관리기관이 지자체인 경우 내부결재로 갈음
붕괴위험지역 지정 (시·군·구청장)	• 급경사지 붕괴위험지역 지정 – 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장은 관리기관의 지정 요청시 구비서류를 검토 후 지정	시장·군수·구청장은 특별한 사유가 없는 한 즉시 이를 지정·고시, 필요시 지정 과정 중 전문가 검토 포함
붕괴위험지역 고시 (시·군·구청장)	• 급경사지 붕괴위험지역 고시사항 – 붕괴위험지역의 위치, 관리기관 – 붕괴위험지역 급경사지의 현황 – 붕괴위험지역 지정 사유 – 붕괴위험지역 지정 또는 변경일자 – 붕괴위험지역의 지형도면(축척 5,000분의 1 이상)	
관리 (관리기관)	• 체계적 관리방안 마련 – 정비계획 수립, 주민대피, 행위협의, 위험표지 등	

〈그림 6-1〉 급경사지 붕괴위험지역 지정·고시 절차

6.2.1 급경사지 재해위험도 평가 및 주민의견수렴

관리기관은 소관 급경사지가 위험하여 붕괴위험지역으로 지정할 필요가 있는 때에는 급경사지법 제6조제1항 및 제2항에 따라 재해위험도평가를 실시하고, 그 결과 붕괴위험지역으로 지정할 필요가 있다고 판단되면, 다음의 사항을 관보나 관할 구역의 공보 등에 공고하여 주민의 의견을 수렴하고, 관계인(해당 토지의 소유자·점유자 또는 관리인)에게 통보하여야 한다.

주민 의견수렴 필요사항

1. 붕괴위험지역으로 지정될 범위
2. 붕괴위험지역에서 제한되는 행위 또는 금지사항
3. 붕괴위험지역에 대한 정비계획

6.2.2 급경사지 붕괴위험지역 지정 요청

급경사지법 제6조제1항에 따라 특별자치도지사·시장·군수·구청장(구청장은 자치구의 구청장을 말함하며, 이하 "시장·군수·구청장"이라 한다)에게 붕괴위험지역의 지정 또는 변경을 요청하는 관리기관은 다음의 서류를 시장·군수·구청장에게 제출하여야 하며, 관리기관이 해당 지자체인 경우 내부결재 등으로 갈음한다.

지정 시 구비서류

1. 붕괴위험지역의 위치 및 현황
2. 붕괴위험지역으로 지정 요청하는 사유
3. 재해위험도평가 결과보고서
4. 붕괴위험지역 지정에 대한 주민의견 수렴 결과보고서

6.2.3 급경사지 붕괴위험지역 지정·고시

지정 요청을 받은 시장·군수·구청장은 특별한 사유가 없는 한 즉시 전문가 검토를 통해 이를 지정·고시하여야 하며, 「자연재해대책법」 제12조에 따라 자연재해위험지구로 지정·고시된 경우는 붕괴위험지역으로 지정·고시된 것으로 본다.

붕괴위험지역을 지정한 시장·군수·구청장은 다음의 사항을 고시하여야 한다.

고시 사항

1. 붕괴위험지역의 위치
2. 붕괴위험지역 급경사지의 현황
3. 붕괴위험지역 관리기관
4. 붕괴위험지역 지정 사유
5. 붕괴위험지역 지정 일자
6. 붕괴위험지역의 지형도면(축척 5,000분의 1 이상)

6.2.4 붕괴위험지역 지형도면의 작성

붕괴위험지역의 지정 또는 변경을 요청하는 관리기관은 붕괴위험지역의 위치 및 현황 등의 내용을 포함하는 지형도면을 측량을 통하여 축척 5,000분의 1 이상의 지형도에 작성하여야 한다.

급경사지법 시행규칙의 지형도면 작성 관련

제2조(붕괴위험지역 지정 · 고시 등)

② 법 제6조제1항 또는 제2항에 따라 붕괴위험지역을 지정한 시장 · 군수 · 구청장은 다음 각 호의 사항을 고시해야 한다.

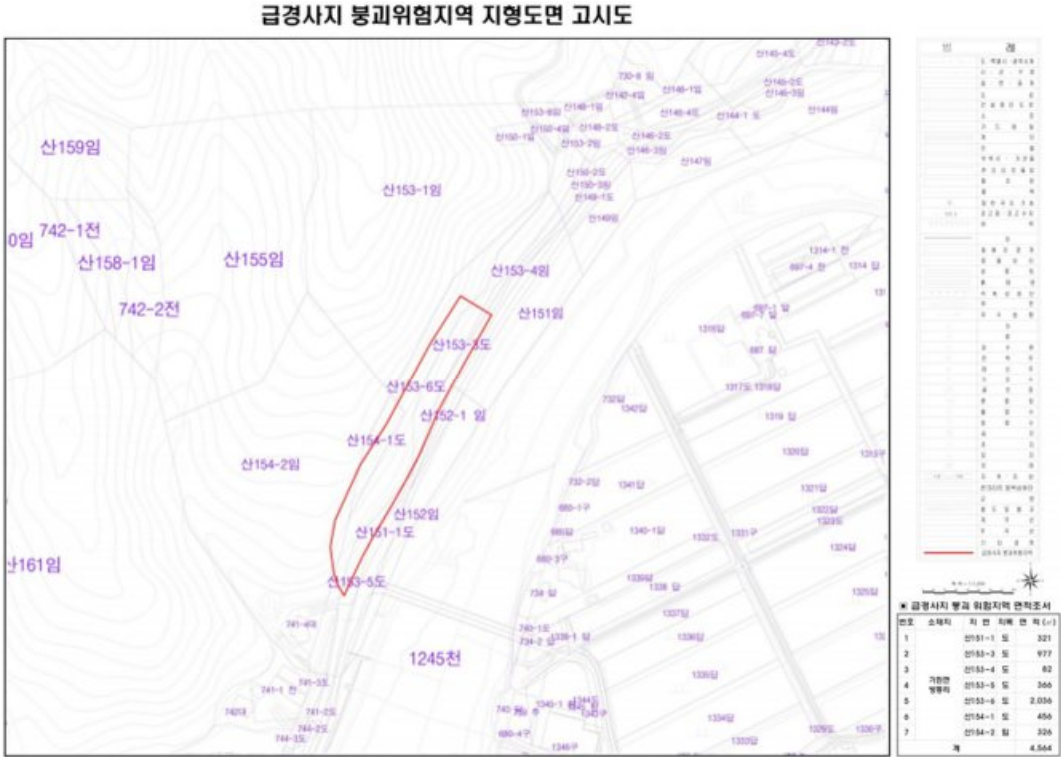
6. 붕괴위험지역의 지형도면(축척 5,000분의 1 이상의 지형도면을 말한다)

- 지형도면
  - '지적'이 표시된 지형도에 지역·지구 등을 명시한 도면
- 급경사지 붕괴위험지역 지형도면
  - 급경사지의 시·종점, 길이, 높이 등 제원 확인
  - 측량을 통한 시점, 종점, 영역, 면적의 확정
  - 붕괴위험지역 지형도면 작성

명시 사항

1. 붕괴위험지역의 지구명
2. 붕괴위험지역의 위치
3. 붕괴위험지역의 면적
4. 지번 경계에 따른 포함 면적
5. 범례, 축적, 방위 등 정보

- 작성 성과물의 파일 형식
  - PDF, DWG 등 평면도면 확인 가능한 형식으로 작성



〈그림 6-2〉 급경사지 붕괴위험지역 지형도면 예시

6.2.5 급경사지 붕괴위험지역 해제 및 변경

시장·군수·구청장은 붕괴위험지역 정비사업 시행 등으로 재해위험이 해소된 경우에는 지정 절차와 같은 단계를 거쳐 붕괴위험지역 지정을 해제하고 그 결과를 고시하여야 하며, 등급을 변경하는 경우에도 같은 절차에 따라 추진하여야 한다.

구 분 (주체)	추 진 절 차	비 고
변경 상황 발생	▪ 변경 대상지 선정	보수, 보강 등에 의해 지정 결과를 변경해야 하는 경우
재해위험도 평가 (관리기관)	▪ 재해위험도 평가기준에 따라 현장평가 재실시 - 급경사지의 높이, 경사도, 붕괴이력 등 붕괴위험성 - 주변 환경, 공공시설 등과의 거리 등 사회적 영향 - 재해위험도 등급(A, B, C, D, E) 변경 - 해제 또는 등급 변경사유 검토	변경 요건에 따라 관할 공무원 및 전문가 평가 실시
주민의견수렴 (관리기관)	▪ 주민의 의견을 수렴, 관계인에게 통보 - 재해위험도 재평가 결과 - 해제 또는 등급 변경 사유 통보	관계인(해당 토지의 소유자· 점유자 또는 관리인)에게 관할 구역의 공보 등을 통해 공고
붕괴위험지역 지정사항 변경요청 (관리기관)	▪ 지정사항 변경 요청시 구비서류 - 붕괴위험지역의 위치 및 현황 - 붕괴위험지역으로 지정사항을 변경 요청하는 사유 - 재해위험도평가 결과보고서(전문가 의견 포함) - 붕괴위험지역 변경 주민의견 수렴 결과보고서	관리기관이 지자체인 경우 내부결재로 갈음
붕괴위험지역 변경 (시·군·구청장)	▪ 급경사지 붕괴위험지역 지정사항 변경 - 특별자치시장·시장·군수·구청장은 관리기관의 변경 요청시 구비서류를 검토 후 변경	시장·군수·구청장은 특별한 사유가 없는 한 즉시 이를 지정·고시, 필요시 지정 과정 중 전무가 검토 포함
붕괴위험지역 변경고시 (시·군·구청장)	▪ 급경사지 붕괴위험지역 변경 고시사항 - 붕괴위험지역의 위치, 관리기관 - 붕괴위험지역 급경사지의 현황 - 붕괴위험지역 변경 사유 - 붕괴위험지역 변경 일자	붕괴위험지역의 변경사항 비치(축척 5,000분의 1 이상)
관리 (관리기관)	▪ 체체계적 관리방안 마련 - 정비계획 수립, 주민대피, 행위협의, 위험표지 등	

〈그림 6-3〉 급경사지 붕괴위험지역 변경 절차

특히, 붕괴위험지역 해제의 경우 급경사지법 제6조에 따라 실시하되, 개발 등으로 인해 급경사지 존재 자체가 사라지는 경우는 즉시 해제할 수 있으나, 그 이외의 경우는 다음의 고려사항을 모두 만족하는 경우 해제 여부를 판단하는 것이 바람직하다.

붕괴위험지역 해제 시 고려사항

1. 정비사업 시행(지반의 안정화를 고려하기 위해 정비사업 후 1년 이상 경과하여 해빙기 및 우기시 안정성을 확인한 후에 해제하는 것이 바람직함)
2. 급경사지 재해위험도 평가 결과 등급이 상향 조정(상대적으로 안전해지는 경우)
3. 전문가 현장검토 결과, 붕괴 및 피해가능성이 현저히 감소한 것으로 판단

급경사지법의 붕괴위험지역 해제 관련

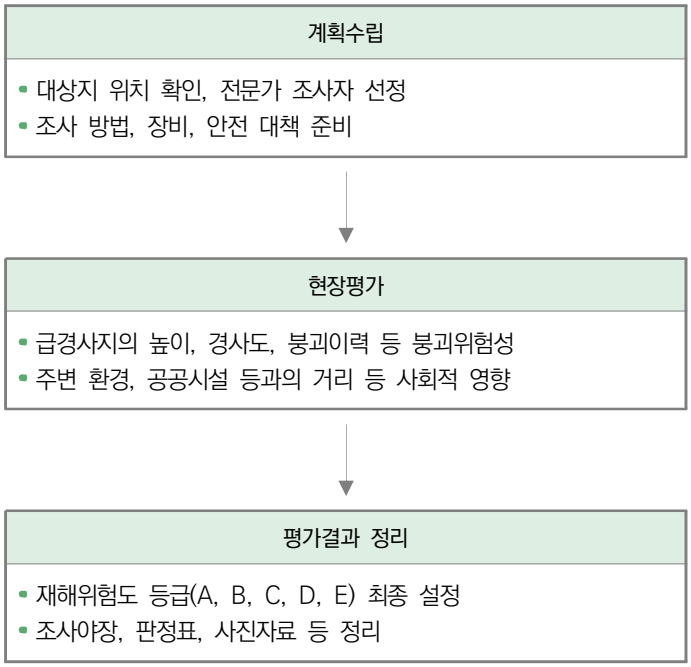
제6조(붕괴위험지역의 지정 등)

⑦ 시장·군수·구청장은 붕괴위험지역 정비사업 시행 등으로 재해위험이 해소된 경우에는 관계 전문가의 의견을 수렴하여 붕괴위험지역 지정을 해제하고 그 결과를 고시하여야 한다.

6.3 재해위험도평가 기준 및 업무해설

'급경사지 재해위험도 평가'는 관련법에 따라 '붕괴위험지역'으로 지정·고시가 필요한 대상지에 대하여 담당공무원과 관계전문가가 자연비탈면(또는 산지), 인공비탈면, 옹벽 및 축대 등에 대하여 「급경사지 재해위험도 평가기준」을 활용하여 전문적인 조사 및 평가 후 '재해위험도 등급'을 판단하는 과정으로서 지정 절차의 절대적 기준으로 활용되므로 신뢰도 높은 정확한 조사 및 판단이 필요하다.

그러나 「급경사지 재해위험도 평가기준」만으로 명확한 판단이 어려울 경우 관련 전문가가 직접 안정성 검토 및 시뮬레이션 등 기술적인 분석을 활용한 구체적인 재해위험도 평가 결과를 추가할 수도 있다.



〈그림 6-4〉 급경사지 재해위험도 평가 절차

- 「급경사지 재해위험도 평가기준」은 '자연비탈면(또는 산지)', '인공비탈면', '옹벽 및 축대'로 크게 3가지로 분류되어 각각 다른 형태의 평가기준이 평가표 형태로 고시되어 있으므로 '재해위험도 평가'가 필요한 급경사지를 명확히 분류한 뒤 3가지 평가기준 적용표 중 하나만 택하여 평가를 실시하여야 한다.

- 급경사지 재해위험도 평가를 위한 현장조사는 급경사지법 시행령 제3조(재해위험도평가 등)에 따라 급경사지의 높이, 경사도, 붕괴이력 등의 붕괴위험성과 주변 환경, 공공시설 등과의 거리 등 사회적 영향이 포함되어야 한다.
- '재해위험도 평가'를 실시한 결과, 재해위험도 등급은 A, B, C, D, E 등급으로 구분하고 D, E등급에 대해서는 붕괴위험지역으로 지정 관리한다. 다만, C등급 중 재해위험도 평가점수가 51점 이상이고, 붕괴 시 인명피해 우려가 있어 지속적인 점검 등이 필요한 지역은 붕괴위험지역으로 지정·관리하는 것이 바람직하다.

〈표 6-1〉 급경사지 재해위험도 등급

등급	재해위험도 평가점수			재해위험도	관리방안
	자연비탈면 및 산지	인공 비탈면	옹벽 및 축대		
A	0 ~ 20	0 ~ 20	0 ~ 20	• 재해위험 매우 낮음	• 정기적 안전점검
B	21 ~ 40	21 ~ 40	21 ~ 40	• 재해위험 낮음	• 정기적 안전점검
C	41 ~ 60	41 ~ 60	41 ~ 60	• 재해위험 보통	• 정기적 안전점검 • 필요시 붕괴위험지역 지정·관리
D	61 ~ 80	61 ~ 80	61 ~ 80	• 재해위험 높음	• 정기적 안전점검 • 붕괴위험지역 지정·관리
E	81 이상	81 이상	81 이상	• 재해위험 매우 높음	• 정기적 안전점검 • 붕괴위험지역 지정·관리 • 필요시 응급조치

* 붕괴위험지역 중 주변에 사람이 거주하여 붕괴 시 인명피해가 우려되는 급경사지는 등급에 별도 표기를 하여야 한다. "예시 : (D)"
** 정기적 안전점검은 육안검사 수준의 점검으로서 간단한 점검 장비(카메라, 줄자, 망치 등)를 활용하여 급경사지가 현재의 사용 요건을 만족시키는지 확인하기 위하여 실시하는 점검이다.

- 자연비탈면 또는 산지, 인공비탈면, 옹벽 및 축대 등이 함께 존재하는 급경사지는 각각의 유형별로 재해위험도 평가를 실시하고, 평가 결과 중 위험성이 높은 등급으로 관리하며, 비탈면의 횡단면 평가 시 재해위험도는 위험한 단면으로 평가한다.

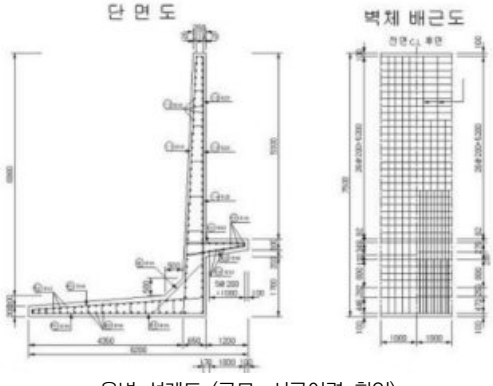
6.3.1 급경사지 재해위험도 평가 계획

급경사지 재해위험도 평가는 전문적인 사항으로서 철저한 준비가 필요하므로 다음과 같은 사항을 검토하여 사전에 계획을 수립 후 실시하는 것이 바람직하다.

급경사지 재해위험도 평가 사전 준비사항

- 재해위험도 평가기준 등 관련 매뉴얼 숙지
- 대상지의 규모 및 위치 확인
- 대상지 관련 설계, 시공, 보강 등의 자료 확보
- 투입 인력(전문가 추천 및 선임) 계획 수립
- 대상지 접근로 및 점검 이동 경로, 차량 및 협력기관 지원 계획
- 과거 재해위험도 평가 점검 대상지의 경우 기존 점검표 및 안전진단 결과 확인

점검 대상지 위치 확인



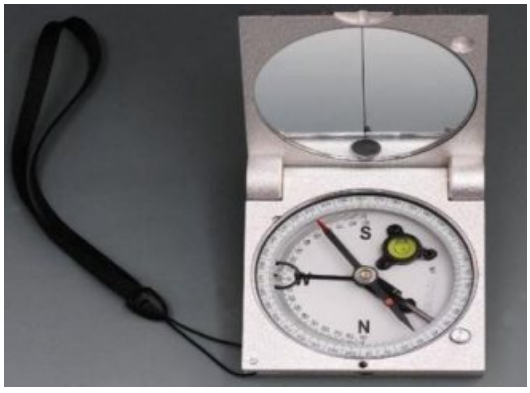
옹벽 설계도 (규모, 시공이력 확인)

〈그림 6-5〉 사전 준비사항 사례

급경사지 재해위험도 평가 현장 준비사항

- 개인 안전장비 점검(안전모, 장갑, 안전화, 안전띠 등)
- 재해위험도 평가 체크리스트, 필기도구
- 조사장비 준비
  - ※ 사진/캠코더 (촬영 장비), 무전기(통신장비)
  - ※ 줄자/거리측정기(거리측정장비)
  - ※ 클리노콤파스(경사측정 장비)
  - ※ 락커/테이프 (표시장비)
  - ※ 삽(흙의 강도 현장 간이 파악)

- 노트북, 휴대용기록장비(필요 시)
- 기타사항(지도, 대상지 도면, 점검표 매뉴얼)



클리노콤파스(경사, 방향 측정)

거리측정기(높이, 연장 측정)

〈그림 6-6〉 대표적인 조사장비

급경사지 재해위험도 평가 조사 계획 및 준비 시 고려사항

- 인력접근 불가 지역에 대한 조사 방안 수립 필요(급경사, 추락위험구간, 구조물 상부구간)에 대한 조사 방안 수립 필요
  ※ 드론, 헬리캠 등 비접근식 방안
  ※ 사다리, 고소작업차 운영 등의 접근식 방안
- 식생밀집으로 인한 접근 불가 상황 발생 시 식생 제거 방안 수립 필요
- 조사 수행 시 차량 및 통행인 보호 방안 수립
  ※ 차량 통행 차단, 안내 입간판 설치 등

드론(상부구간 확인 가능)

균열 측정 로봇(비접근식 조사 가능)

〈그림 6-7〉 비접근식 조사 지원 장비

고소작업차 운영 예시

〈그림 6-8〉 접근식 조사 지원 장비

- 조사자 안전교육 방안 마련(※ 조사 전 안전교육 시행)
- 비상 발생 시 병원, 경찰 등 적극대응을 위한 비상연락망 구축
- 조사 시 2인 1조를 기본으로 하며, 단독 조사 수행 지양
- 강우, 강설 시 조사 수행 금지
- 도로부 주변 대상지 조사 시 반드시 안전지역에 주차 후 작업 수행
- 도로부 주변 대상지 조사 시 차량 통제 인원 확보(갓길 주차 금지)

도로통제(안내입간판 및 신호수)　　안전교육 예시

개인 안전장비착용 예시　　위험구간 점검 상황 예시

〈그림 6-9〉 안전교육 및 안전모 착용

6.3.2 "자연비탈면(또는 산지)" 재해위험도 평가기준

"자연비탈면 또는 산지"의 재해위험도 평가표 및 배점기준은 다음과 같다.

구 분				평 가 기 준 및 배 점					점수
붕괴위험성(70)	지형(23)	경사각(°)		20 미만	20~33	34~43	44~53	54 이상	
				2	4	6	8	10	
		높 이(m)		25 미만	25~49	50~59	60~69	70 이상	
				1	2	3	4	5	
		급경사지 종단형상		철형	직선형	요형	복합형		
				1	2	3	4		
		자연비탈면 횡단형상		하강형	평행형	상승형	복합형		
				1	2	3	4		
	지반·지질(28)	지반 변형·균열		없음		있음			
				0		5			
		토층심도(㎝)		0~20	21~50	51~70	71~90	91 이상	
				1	2	3	4	5	
		상부외력		없음	전, 답, 묘지	송전탑, 주택	철도	도로	임도, 인위적 개발훼손(태양광, 벌채 등)
				0	2	4	6	8	10
		붕괴·유실이력		없음	낙석	10% 미만	10%~20%미만	20% 이상	
				0	2	4	6	8	
	시설(5)	보호시설상태		양호	불량	매우 불량	없음		
				0	2	4	5		
	강우(14)	비탈면 계곡	계곡 연장(m)	0~10	11~30	31~50	51 이상		
				1	2	3	4		
			계곡 폭(m)	3 이상	2~3	1~2	1 미만		
				1	2	3	4		
		지하수 상태		건조 (흐름흔적 없음)	습윤 (흐름흔적 하)	표면수 (흐름흔적 중)	용수 (흐름흔적 상)		
				0	2	4	6		
	소 계								
사회적영향도(30)	주요 보호대상 시설 중 택 1	공원시설(18)	용도	기타	조경, 유희. 편익시설	탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설			
				1	2	3			
			피해예상 이용객수	0명	1~10명 미만	10~20명 미만	20명 이상		
				0	5	10	15		
		도로·철도(20)	입지	산지	농어촌	시가지			
				1	3	5			
			도로차로수 (편도)	1차로 이하	2차로	3차로 이상			
				1	4	7			
			교통량 (대/일)	500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상	
				1	2	4	6	8	
		택지 등(20)	용도	상업용·공업용 시설	단독주택	공동주택·다중이용시설 등			
				1	3	5			
			피해예상 인구수	0	1~4명	5명 이상			
				0	10	15			
	급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리(10)			시설물 없음	비탈면높이 2배 초과	비탈면높이 2배 이내	비탈면높이 이내	비탈면높이 1/2배 이내	
				0	1	4	7	10	
	소 계								
조사자 보정점수	강우 영향 인자	상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)							
		급경사지의 우수배수시설 여부 및 상태 : 우수배수시설 없음(+2), 우수배수시설 있으나 시설상태 불량(+1)							
		급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5), 방재성능목표강우량 가점* 부여 * ① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)							
	사회적 영향 인자	노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역: 노약자 1~4명 (+1), 노약자 5명 이상(+2)							
		관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역: 1~4명(+3), 5명 이상(+5) * ① 토지와 주택 등의 소유자와 사용자가 달라 관리주체를 정하기 어려운 경우, ② 급경사지 소유자의 행방을 알 수 없는 경우, ③ 직접 거주를 하지 않아 방치되어 타인의 피해가 우려되는 경우, ④ 소유자·점유자가 다수인으로 관리주체를 정하기 어려운 경우 등 ** 「국민기초생활 보장법」제2조제10호에 따른 차상위계층							
	소 계								
재해위험도 평가 결과				합 계					
				등급 A(0~20점), B(21~40점), C(41~60점), D(61~80점), E(81점 이상)					

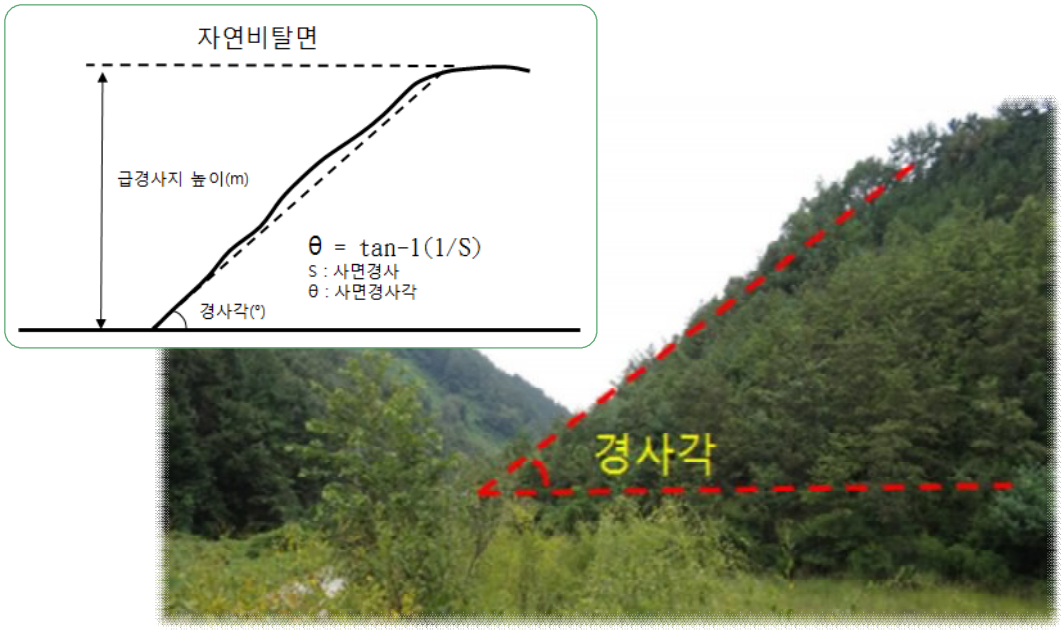
〈그림 6-10〉 "자연비탈면 또는 산지" 재해위험도 평가표

1) 경사각

개 요

- 경사각이란 종단면에서 최하부 정점과 최상부 정점을 연결한 선과 수평면 사이의 각을 측정하여 도(°) 단위와 경사도 표시방식으로 나타낸다.
- 현장에서 경사계(클리노미터 등)를 이용하여 실측하며, 경사를 1도 단위로 기재한다.

구 분	평가기준 및 배점				
경사각(°)	20 미만	20~33	34~43	44~53	54 이상
	2	4	6	8	10



〈그림 6-11〉 경사각 모식도

Tip!

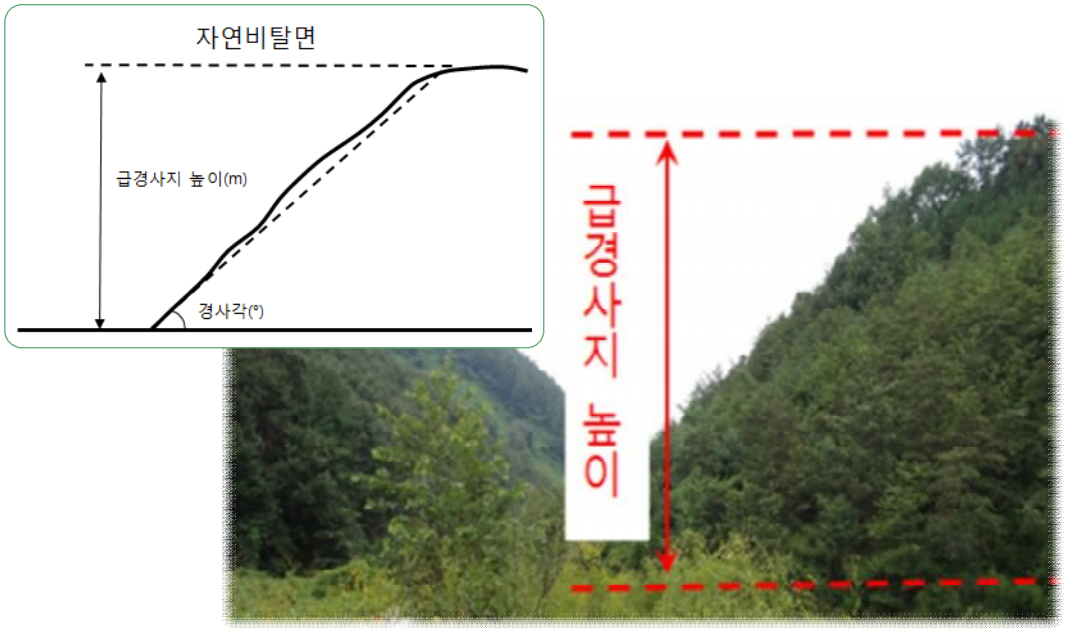
- 급경사지 측면에서 클리노콤파스를 경사면에 맞추어 경사각을 측정한다.
- 급경사지 면이 고르지 못하여 경사각 측정이 모호한 경우 전체적인 기울기 경향을 고려하여 평균 경사각을 측정한다.

2) 높이

개 요

◆ 급경사지 높이란 수평면(지반)에서 급경사지 최정점부까지의 수직고를 말한다.

구 분	평가기준 및 배점				
높 이(m)	25 미만	25~49	50~59	60~69	70 이상
	1	2	3	4	5



〈그림 6-12〉 급경사지 높이 개념 모식도

Tip!

- 급경사지의 측면 및 정면에서 최고 높이 지점을 확인 후 측정한다.
- 현장에서 레이저 거리측정기를 사용하여 급경사지의 최상부까지의 높이를 측정한다.

3) 급경사지 종단형상

개 요

- 급경사지 종단형상은 비탈면방향으로 자른 단면의 형상을 의미한다.
- 자연급경사지의 종단형상은 지형에 따라 구분되며, 현장관측이 어려운 경우 지형도의 등고선을 이용하여 파악하기도 한다.

구 분	배점	모식도	현장판단 기준
철형	1		상공에서 바라보았을 시 볼록한 종단 형상 발산 형태의 지표수의 배수
직선형	2		상공에서 바라보았을 시 직선의 종단 형상 지표수의 수렴 및 발산이 발생하지 않음
요형	3		상공에서 바라보았을 시 오목한 형태의 종단 형상 급경사지 내부로 수렴되는 형태의 지표수 배수
복합형	4		상공에서 바라보았을 시 볼록과 오목 형태가 연속적으로 나타나는 종단 형상 지표수의 수렴과 발산이 복합적으로 발생

철형

직선형

요형

복합형

〈그림 6-13〉 급경사지 종단형상에 대한 현장 예시

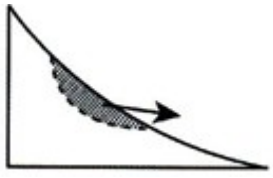
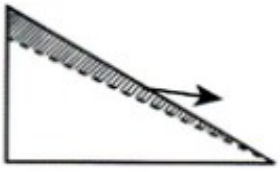
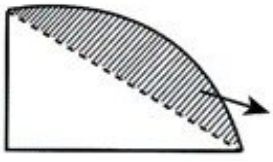
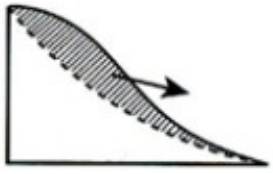
Tip!

- 수치 지형도의 등고선 형상으로 종단형상의 추정이 가능하다.
- 현장에서 종단형상 구분 시 도로형상을 참고할 수 있다.

4) 자연비탈면 횡단형상

개 요

- 급경사지 측면에서 바라본 급경사지 형태를 의미한다.
- 급경사지 횡단형상에 따라 붕괴메커니즘이 달라진다.

구 분	배점	모식도	설명
하강형	1		凹형 비탈면으로 올라갈수록 경사가 급해지는 비탈면
평행형	2		경사가 일정한 비탈면
상승형	3		凸형 비탈면으로 올라갈수록 경사가 완만해지는 비탈면
복합형	4		상기 비탈면형 중 2종 이상이 존재하는 비탈면

횡단형상		설명
	하강형	강우의 집수가 용이한 하강형 에서 붕괴위험이 상대적으로 높다.
	평행형	계류경사가 상부에서 하부까지 일정하게 유지된다.
	상승형	상승형은 상부로 올라갈수록 경사가 낮아지며 대부분 능선부위에 분포하고 있다.
	복합형	복합형은 강수가 집수, 용출될 수 있는 변각점이 단일 비탈면형보다 많다.

5) 지반 변형·균열

개 요

- 자연급경사지에서의 지반변형은 균열, 함몰, 땅밀림, 포행, 압출 현상 등이 있다.
- 자연급경사지에서 발생하는 인장균열은 비탈면 내부에 인장응력이 발생하여 갈라지는 균열 현상을 말한다.

구 분	평가기준 및 배점	
지반변형·균열	없음	있음
	0	5

인장균열

함몰

땅밀림

포행

〈그림 6-14〉 지반변형 현장 예시

Tip!

- 인장균열은 땅밀림, 포행, 낙석과 붕괴 등을 유발할 수 있다.
- 석회암 탄광, 터널 상부 자연급경사지의 경우 응력해방에 의한 함몰 현상이 발생될 수 있다.

6) 토층심도

개 요

- 토층심도는 토양층의 두께를 말한다.
- 토사급경사지의 경우 토층심도가 깊을수록 지반이 포화현상에 의해서 불리한 조건으로 작용한다.

구 분	평가기준 및 배점				
토층심도(cm)	0-20	21-50	51-70	71-90	91이상
	1	2	3	4	5

〈그림 6-15〉 토층심도 측정 방법

Tip!

- 현장에서 토층심도 측정이 불가능 할 때는 계곡부나 암반노출 구간에서 측정할 수 있다.

7) 상부외력

개 요

- 급경사지 상부에 주택, 철탑, 농경지, 철도, 봉분 등이 상부외력으로 작용한다.
- 특히 급경사지 상부에 철도, 도로가 위치할 경우 지속적인 영향으로 안정에 불리하다.

구 분	평가기준 및 배점					
상부외력	없음	전,답,묘지	송전탑, 주택	철도	도로	임도, 인위적 개발훼손(태양광, 벌채 등)
	1	2	4	6	8	10

묘지

송전탑

주택

임도

〈그림 6-16〉 상부외력에 대한 현장 예시

Tip!

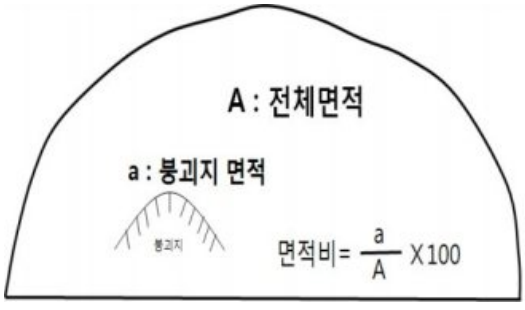
- 비탈면 상부에 철도나 도로가 위치하고 있는 경우는 열차나 자동차 진동이 상재하중으로 작용하여 비탈면안정 측면에서 불리하게 작용한다.

8) 붕괴·유실이력

개 요

- 붕괴유실이력이란 급경사지 내 붕괴, 낙석, 표층유실 등의 과거에 발생한 흔적을 말한다.
- 급경사지 전체 면적대비 붕괴·유실이 발생한 면적의 규모에 대한 비(%)로 점검한다.

구 분	배점	현장판단 기준
없음	0	붕괴, 낙석, 표층유실 등의 흔적이 전혀 없는 경우
낙석	2	주요 붕괴흔적은 없으나 급경사지 하단부 곳곳에 낙석이 관찰되는 경우
10% 미만	4	붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 10% 미만인 경우
10% 이상~20% 미만	6	붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 10%이상~20%미만인 경우
20% 이상	8	붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 20% 이상인 경우



붕괴면적 환산 개요도

낙석

〈그림 6-17〉 붕괴면적 환산 방법 및 낙석 현장 예시

Tip!

- 토사급경사지의 경우 지표수로 인해 침식되거나 풍화, 표면유실 형태의 파괴가 발생한다.
- 암반급경사지의 경우 불연속면에 의한 평면, 전도, 쐐기, 낙석 등의 파괴가 발생한다.

9) 보호시설상태

개 요

◆ 급경사지로부터 탈락, 붕괴된 유실물을 차단하기 위한 시설물의 상태를 의미한다.

구 분	배 점	현장판단 기준
양호	0	시설물 기능에 이상이 없는 상태
불량	2	시설물의 일부가 변형 및 훼손된 상태
매우불량	4	시설물 파손 상태가 심각하여 기능 발휘가 불가능한 상태
없음	5	보호시설 없음

양호

불량

매우불량

무

〈그림 6-18〉 보호시설상태 현장 예시

Tip!

- 5점을 부여하는 경우는 붕괴로 인한 피해를 차단하는 시설이 없는 경우 선택한다.

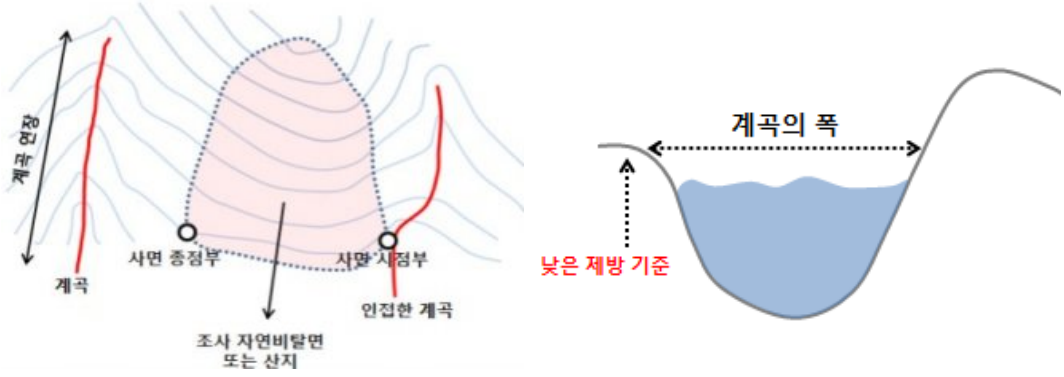
10) 비탈면 좌우접합부 계곡상태

개 요

- 급경사지 시작점과 종점에 인접한 계곡의 연장과 폭을 말한다.
- 급경사지 접합부에 계곡이 형성되어 흐르는 경우 계류수에 의한 침식이 발생될 수 있다.

구 분	평가기준 및 배점			
계곡연장(m)	0 ~ 10	11 ~ 30	31 ~ 50	51 이상
	1	2	3	4

구 분	평가기준 및 배점			
계곡 폭(m)	3 이상	2 ~ 3	1 ~ 2	1 미만
	1	2	3	4



접합부 계곡연장 모식도　　계곡 폭 측정 모식도

〈그림 6-19〉 급경사지 좌우접합부의 연장, 폭 정의

Tip!

- 계곡의 연장이 길수록 토석량과 유동력이 증가하여 침식 및 붕괴에 취약할 수 있다.
- 계곡의 폭이 좁을수록 유속이 빠르며 침식에 불리하다.

11) 지하수 상태

개 요

- 지하수란 땅 위에 내린 빗물 또는 눈의 일부가 땅속으로 침투되어 지층이나 암석의 간극을 메우고 있는 물을 말한다.
- 물은 급경사지 안정성에 큰 영향을 미치므로 주의 깊은 관찰 및 확인이 필요하다.

구 분	배점	현장관찰	비고(대표사진)
건조	0	- 마른 상태	
습윤	2	- 물기 흔적(검은색 표면, 이끼류 등)이 관찰되는 경우	
표면수	4	- 물기가 표면에 관찰되는 경우(젖음 현상) - 물줄기는 보이지 않으나 물이 떨어지는 경우	
용수	6	- 물줄기가 눈에 보이는 정도의 흐름	

Tip!

- 지하수 상태는 급경사지 중·하단부를 중심으로 면밀한 관찰 필요하다.
- 급경사지가 계곡부와 인접해 있는지의 여부를 확인한다.
- 급경사지 인근에 저수지, 댐 등의 수리관련 시설물의 존재 여부를 확인한다.
- 비가 내린 직후는 지하수위가 평소보다 높으므로 비가 내린 후 2~3일 뒤 점검하는 것이 효과적이다.

12) 주요 보호대상시설

개 요

- 보호대상시설이란 비탈면의 붕괴로 인해 인명 및 재산 피해가 예상되는 택지, 도로, 철도 및 공원 등과 같은 시설물을 말함
- 사회적 영향도 평가는 경제적 피해보다 인명피해를 우선적으로 고려하여야 함

① 공원과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점			
용도	기타	조경, 유희, 편익시설	탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설	
	1	2	3	
피해예상 이용객수	0명 미만	1~10명 미만	10~20명 미만	20명 이상
	0	5	10	15

② 도로·철도와 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점				
입지	산지	농어촌	시가지		
	1	3	5		
도로 차로수 (편도)	1차로 이하	2차로	3차로 이상		
	1	4	7		
교통량 (대/일)	500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상
	1	2	4	6	8

② 택지 등과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점		
용도	상업용·공업용 시설	단독주택	공동주택·다중이용시설
	1	3	5
피해예상 인구수	0	1~4명	5명 이상
	0	10	15

공원 시설

택지 시설

도로 시설

철도 시설

공공시설

다중이용시설(도서관, 경로당 등)

〈그림 6-20〉 주요 보호대상시설 예시

Tip!

- 공원과 접한 급경사지의 경우, 공원 시설의 용도 및 피해예상 이용객수를 추정하여 피해 정도를 파악
- 도로와 접한 급경사지의 경우, 입지, 도로차로수 및 일 교통량을 통해 피해 정도를 파악
- 택지 등과 접한 급경사지의 경우, 각 시설의 용도 및 피해예상 인구수를 추정하여 피해정도를 파악
- 일 교통량은 해당 도로의 구간별 통계자료(교통량정보제공 시스템, www.road.re.kr)을 활용하되, 불가한 경우 조사기간 중 이동차량수를 고려하여 개략추정
- 예상되는 피해 인구수는 비탈면 높이 2배 이내에 위치하는 시설물(건축물)안에 존재하는 인구수를 말하며, 유동인구수는 제외함

13) 급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리

개 요

◆ 급경사지 붕괴 시 피해 영향권에 있는 시설물 유무를 확인하고, 시설물이 존재할 시 급경사지와의 거리에 따른 피해예상도 파악 및 표준 배점 부여

구 분	평가기준 및 배점				
급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리	시설물 없음	비탈면 높이 2배 초과	비탈면 높이 2배 이내	비탈면 높이 이내	비탈면 높이 1/2배 이내
	0	1	4	7	10

〈그림 6-21〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도

14) 조사자 보정점수

강우영향인자

- 강우영향인자는 붕괴위험성 인자에 고려되지 못하는 토석류나 배수시설 및 집수지형에 대한 위험성을 보정하기 위한 항목임
- “상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)”은 대상 급경사지상부에 계곡부가 존재하거나 비탈면 붕괴가 예상되는 경우 전체배점을 부여(현장조사를 통해 기 발생여부를 확인하거나 위성사진 등을 활용할 수 있음).
- “급경사지의 우수배수시설 여부 및 상태 : 우수배수시설 없음(+2), 우수배수시설 있으나 시설상태 불량(+1)”은 자연비탈면에서 급경사지의 재해위험도에 배수시설이 영향을 미치는 경우 제시된 전체배점을 부여
- “급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5)”은 급경사지 상부에 묘지나 밭, 송전탑과 임도 등 집수가 가능한 지형이 존재하여 하부 급경사지의 위험도에 영향을 주는 경우 제시된 전체배점을 부여
- “방재성능목표강우량 가점* 부여” 항은 집수지형의 존재여부와 별도로 재해위험은 강우량의 강도에 따라 달라질 수 있으므로 “*① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)”과 같이 제시된 배점을 부여하며, 기준 강우량은 행정안전부에서 제시되는 전국시군구단위 방재성능목표와 최근의 기상청 AWS 수집데이터를 참고하여 해당 배점을 부여

사회적영향인자

- 사회적영향인자는 사회적 영향도에 고려되지 못하는 노약자나 재해취약계층의 존재 여부에 대해 보정하기 위한 항목임
- “노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역”은 대상 급경사지 주변에 노약자가 거주하는 경우 또는 노약자 대상 집합시설이 있을 때 노약자의 예상 숫자에 따라 노약자 1~4명 인 경우 (+1), 노약자 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여.
- “관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역”은 대상 지구의 관리주체가 명확하지 않거나 비거주 또는 구성원들이 노약자 등 재해취약계층에 속하여 자력에 의해 정비나 관리가 어려울 경우 1~4명 인 경우 (+1), 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여. 상세한 해당사항은 보정점수표 사회적영향인자의 ①~④항과 같음.

6.3.3 "인공비탈면" 재해위험도 평가기준

"인공비탈면"의 재해위험도 평가표 및 배점기준은 다음과 같다.

구 분				평 가 기 준 및 배 점							점수
붕괴위험성 (70)	지형 (19)	비탈면 경사각(°) (6)	토사	34 미만	34~38	39~43	44~53	54~63	64~73	74 이상	
				0	1	2	3	4	5	6	
			암반	54 미만	55~58	59~62	63~67	68~72	73~76	77 이상	
				0	1	2	3	4	5	6	
		비탈면 높이(m)		5 미만	5~14	15~24	25~34	35 이상			
				0	1	2	3	4			
		급경사지 종단형상		철형	직선형	요형	복합형				
				1	2	3	4				
		절토부 횡단형상		직선형	오목형	볼록형	요철형	하부이탈형	돌출형		
				0	1	2	3	4	5		
	지반·지질 (35)	지반 변형·균열		없음			있음				
				0			5				
		절리 방향/흙의 강도		매우 유리/매우 견고	유리/조밀 또는 견고	양호/중간	불리/느슨 또는 연약	매우 불리/매우 느슨			
				0	3	5	7	10			
		비탈면 풍화도		신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화 및 풍화잔류토			
				0	3	5	7	10			
		붕괴·유실이력		없음	낙석	10% 미만	10%~20% 미만	20% 이상			
				0	3	5	8	10			
	시설 (5)	표면보호공 시공상태		매우양호	양호	불량	매우불량	표면시공 없음			
				0	2	3	4	5			
	강우 (11)	지하수 상태		건조 (흐름흔적 없음)	습윤 (흐름흔적 하)	표면수 (흐름흔적 중)	용수 (흐름흔적 상)				
				0	2	4	6				
		배수시설 상태		완전배수	양호	보통	불량	매우불량			
				0	2	3	4	5			
	소 계										
사회적 영향도 (30)	주요 보호대상 시설 중 택 1	공원시설 (18)	용도	기타	조경, 유희, 편익시설		탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설				
				1	2		3				
			피해예상 이용객수	0명	1~10명 미만		10~20명 미만	20명 이상			
				0	5		10	15			
		도로·철도 (20)	입지	산지		농어촌		시가지			
				1		3		5			
			도로차로수 (편도)	1차로 이하		2차로		3차로 이상			
				1		4		7			
			교통량 (대/일)	500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상			
				1	2	4	6	8			
		택지 등 (20)	용도	상업용·공업용 시설		단독주택		공동주택·다중이용시설 등			
				1		3		5			
			피해예상 인구수	0		1~4명		5명 이상			
				0		10		15			
		급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리 (10)		시설물 없음	비탈면높이 2배 초과	비탈면높이 2배 이내	비탈면높이 이내	비탈면높이 1/2배 이내			
				0	1	4	7	10			
	소 계										
조사자 보정점수	강우 영향인자	상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)									
		급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5), 방재성능목표강우량 가점* 부여 * ① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)									
	사회적 영향인자	노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역: 노약자 1~4명(+1), 노약자 5명 이상(+2)									
		관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역: 1~4명(+3), 5명 이상(+5) * ① 토지와 주택 등의 소유자와 사용자가 달라 관리주체를 정하기 어려운 경우, ② 급경사지 소유자의 행방을 알 수 없는 경우, ③ 직접 거주를 하지 않아 방치되어 타인의 피해가 우려되는 경우, ④ 소유자·점유자가 다수인으로 관리주체를 정하기 어려운 경우 등 ** 「국민기초생활 보장법」제2조제10호에 따른 차상위계층									
		비탈면의 안정에 영향을 주는 급경사지 주변의 인위적 훼손행위와 급경사지에 영향을 미치는 상·하부의 작용하중이 존재하는 경우(+3)									
	소 계										
재해위험도 평가 결과				합 계							
				등급 A(0~20점), B(21~40점), C(41~60점), D(61~80점), E(81점 이상)							

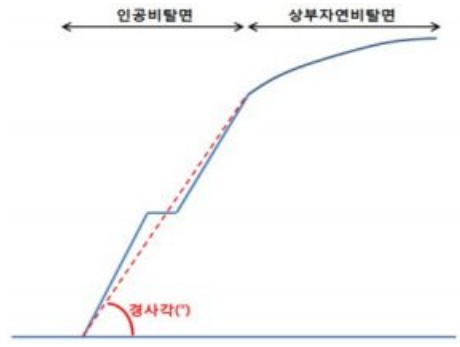
〈그림 6-22〉 "인공비탈면" 재해위험도 평가표

1) 비탈면 경사각

개 요

- (사전적 의미) 경사각이란 어떤 직선이나 평면이 수평면과 이루는 각도를 말한다.
- 비탈면 경사각은 인공으로 만들어진 경사면과 수평면(기존의 지반)이 이루는 각도이다.
- 비탈면 종류에서, 토사비탈면은 구성재료의 70% 이상이 토사로 구성된 비탈면임.
- 비탈면 종류에서, 혼합비탈면은 토사와 암반이 혼재되어 있는 경우임.
- 비탈면 종류에서, 암반비탈면은 구성재료의 70 % 이상이 암반으로 구성된 비탈면임

구 분		평가기준 및 배점						
경사각(°)	토사	34 미만	34~38	39~43	44~53	54~63	64~73	74 이상
		0	1	2	3	4	5	6
	암반	54 미만	55~58	59~62	63~67	68~72	73~76	77 이상
		0	1	2	3	4	5	6



비탈면 경사각 개념 모식도

현장에서의 비탈면 경사각 개념

〈그림 6-23〉 비탈면 경사각의 이해

① 급경사지 측면에서 경사면에 맞추어 클리노콤파스를 위치 시킴

② 경사계 눈금을 읽어서 숫자 확인

〈그림 6-24〉 측정방법 1 : 클리노콤파스 경사계 이용 방법

① 급경사지 측면에서 경사면에 맞추어 클리노콤파스 각도계 조절

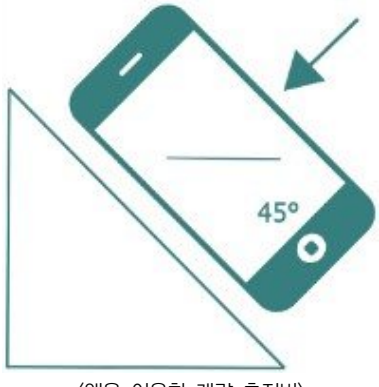
② 각도계 눈금을 읽어서 숫자 확인

〈그림 6-25〉 측정방법 2 : 클리노콤파스 각도계 이용 방법

Tip!

- 최대한 급경사지 측면에서 경사각 측정한다.
- 급경사지 면이 고르지 못하여 경사각 측정이 모호한 경우 전체적인 기울기 경향을 고려하여 평균 경사각을 측정한다.
- 클리노콤파스 장비가 없는 경우 손가락을 이용한 개략적인 측정 방법이나 앱을 이용할 수도 있으나 가급적 조사장비를 활용하는 것이 바람직하다.

〈손가락 이용 개략 측정법〉



〈앱을 이용한 개략 측정법〉

※ 업무 활용을 위한 경사도(구배) 표

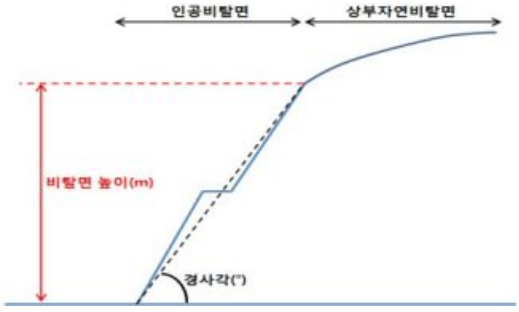
경사도(구배)	경사각(°)	경사도(구배)	경사각(°)
1 : 0.1	84°	1 : 1.2	40°
1 : 0.3	73°	1 : 1.5	34°
1 : 0.5	63°	1 : 1.8	29°
1 : 0.7	55°	1 : 2.0	26°
1 : 1.0	45°		

2) 비탈면 높이

개 요

◆ 비탈면 높이란 수평면(지반)에서 비탈면 최정점부까지의 수직고를 말한다.

구 분	평가기준 및 배점				
비탈면 높이(m)	5 미만	5~14	15~24	25~34	35 이상
	0	1	2	3	4



비탈면 높이 개념 모식도

현장에서의 비탈면 높이 개념

〈그림 6-26〉 비탈면 높이의 이해

① 레이저 거리측정기를 이용하여 급경사지 최고높이 지점 측정 (높이 = a + b)

② 장비 측면의 높이 확인 후 측정자 키를 더함 (높이 = 32.8m + 1.8m = 34.6m)

〈그림 6-27〉 레이저 거리측정기를 이용한 높이 측정

Tip!

- 급경사지 측면 및 정면에서 최고 높이 지점을 확인 후 측정한다.
- 레이저 거리측정기 장비 미보유 시 목측 방법
  - 소단 높이 활용 : 암반비탈면 소단 높이(약 7m), 토사비탈면 소단 높이(약 5m)
  - 낙석방지울타리 높이(2.5m), L형측구 높이(1m), 계단식옹벽 1단 높이(1m) 활용

3) 급경사지 종단형상

개 요

- 급경사지 종단형상이란 급경사지의 가로방향(종방향) 형태를 말한다.
- 급경사지 종단형상은 급경사지를 상공에서 평면으로 바라 보았을 때의 종방향 형상이다.

구 분	배점	모식도	현장판단 기준
철형	1		• 상공에서 바라 보았을 시 볼록한 종단 형상 • 발산 형태의 지표수의 배수
직선형	2		• 상공에서 바라 보았을 시 직선의 종단 형상 • 지표수의 수렴 및 발산이 발생하지 않음
요형	3		• 상공에서 바라 보았을 시 오목한 형태의 종단 형상 • 급경사지 내부로 수렴되는 형태의 지표수 배수
복합형	4		• 상공에서 바라 보았을 시 볼록과 오목 형태가 연속적으로 나타나는 종단 형상 • 지표수의 수렴과 발산이 복합적으로 발생

철형

직선형

요형

복합형

〈그림 6-28〉 급경사지 종단형상에 대한 현장 예시

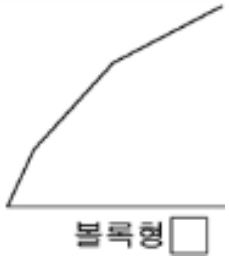
Tip!

- 기존의 위성지도 등을 이용하여 종단형상을 파악할 수 있다.
- 현장에서 종단형상 구분 시 도로형상을 참고할 수 있다.

4) 절토부 횡단형상

개 요

- 횡단형상이란 급경사지를 측면에서 바라보았을 때의 형상을 말한다.
- 횡단형상이란 급경사지를 세로 방향으로 절단하였다고 가정할 시 나타나는 형상이다.

구 분	배점	모식도	설명
직선형	0		• 깎기(절취) 상태가 양호하여 측면 형상이 직선에 가까움 • 깎기 후 식생공(비탈면녹화)을 시공한 급경사지
오목형	1		• 급경사지 하단부보다 중·상단부 경사각이 큰 경우 • 상단부 뜬돌의 낙석 위험성 존재
볼록형	2		• 급경사지 하단부에서 상단부로 갈수록 경사각 크기 작아짐 • 하단부 뜬돌의 낙석 위험성 존재
요철형	3		• 깎기(절취) 상태가 불량하여 비탈면이 고르지 못함 • 비탈면 전체에 걸쳐 뜬돌의 낙석 위험성 존재

구 분	배점	모식도	설명
하부 이탈형	4		• 급경사지 하단부 끝단 부분의 암탈락 • 급경사지 하부지지력 약화로 붕괴 위험성 높음
돌출형	5		• 급경사지 중·상단부 돌출 • 하부지지력 상실 상태로 돌출암반의 낙하 가능성 높음

Tip!

- 횡단형상은 최대한 급경사지 측면에 위치하여 확인하는 것이 효과적이다.

5) 지반변형·균열

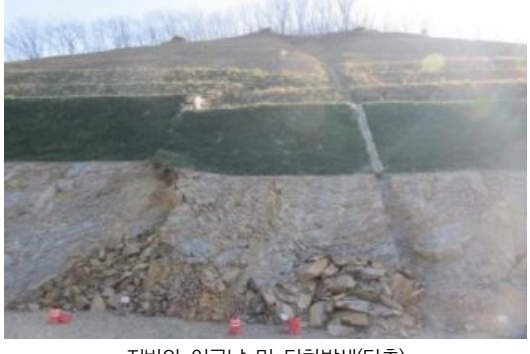
개 요

◆ 지반변형 및 균열은 비탈면을 구성하는 지반 자체의 침하, 균열, 어긋남, 벌어짐 현상 등의 변형 유무를 확인하는 것이다.

구 분	평가기준 및 배점	
지반변형·균열	없음	있음
	0	5

비탈면 상부 인장균열

지반침하 및 단차발생



지반의 어긋남 및 단차발생(단층)

지반균열 및 벌어짐 현상

〈그림 6-29〉 지반변형 및 균열 현장 예시

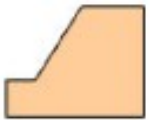
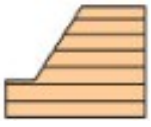
Tip!

- 인장균열, 지반침하 등의 변형 상태는 대체로 상부자연비탈면에서 관찰이 용이하다.
- 인공비탈면 내에서는 주로 단층, 습곡 등에 의한 지반변형 현상을 중점적으로 관찰한다.

6) 절리 방향(암반비탈면일 경우)

개 요

- 절리(joint)란 마그마의 수축, 지각 내 응력 작용 및 해소 등에 의해 생성된 암석 내 갈라진 틈을 말한다.
- 절리 방향은 틈을 이루고 있는 절리면이 놓인 방향, 즉 암석의 결 방향을 말한다.
- 비탈면의 붕괴 및 낙석은 암석의 조깨진 틈을 따라 발생하므로 절리의 빈도 및 방향은 비탈면 안정성에 중요한 영향을 미친다.

구 분	배점	모식도	설명
매우 유리	0		• 절리가 거의 없는 경우
유리	3		• 절리가 역방향인 경우(내측방향) • 절리면이 비탈면과 반대 방향으로 기울어진 경우
양호	5		• 절리가 지표면과 거의 수평으로 발달된 경우
불리	7		• 절리가 지표면과 거의 수직으로 발달된 경우 • 전도파괴에 의한 낙석 가능성
매우 불리	10		• 절리가 비탈면 방향과 거의 유사하게 발달된 경우(외측방향) • 암반 슬라이딩에 의한 평면파괴 발생 가능성 높음

Tip!

- 암석의 결은 측면 관찰을 통하여 확인해야 함으로 현장 확인이 어려운 경우가 많다. 따라서 비탈면 내 기존 암탈락 구간이 존재할 시 이를 통해 측면 관찰을 시도할 수 있다.
- 깎기(절취) 공정 후 식생공을 시공하지 않은 비탈면일 경우, 비탈면 내 2개 방향 이상의 절리면이 노출될 가능성이 높으므로 이를 통해 암석의 결 확인이 가능하다.

7) 흙의 강도(토사비탈면일 경우)

개 요

◆ 흙의 강도란 흙의 단단하고 무른 정도를 말하며, 흙에 발생하는 전단력에 대항하는 최대의 저항력을 말함

흙의 상태	배점	현 장 관 찰	참조사항	
			N치	내부 마찰각(°)
매우 견고 (very dense)	0	• 발파 또는 중장비에 의해서만 자국을 낼 수 있음.	〉 50	〉 41
조밀 또는 견고 (dense)	3	• 손의 힘으로 삽을 이용하여 자국을 낼 수 있음.	30~50	36~41
중간 (medium)	5	• 힘을 주어서 삽질을 할 수 있음.	10~30	30~36
느슨 또는 연약 (loose)	7	• 쉽게 삽질을 할 수 있음.	4~10	28.5~30
매우 느슨 (very loose)	10	• 엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있음.	0~4	〈 28.5

Tip!

- 흙의 강도는 "삽"을 이용하여 현장에서 직접 판단하는 방법을 원칙으로 하되 정확히 분석을 원할 경우에는 N치 또는 내부마찰각을 활용할 수도 있다
- N치는 표준관입시험을 통해 구하는 지반물성 값으로 표준샘플러를 일정높이에서 N회 자유낙하 하여 지반에 30cm 까지 관입시킬 수 있을 때까지의 N값을 말하며, 숫자가 높을수록 지반이 견고함을 의미한다.
- 내부마찰각은 흙의 직접전단실험을 통해 구할 수 있으며, 그 값이 클수록 지반이 견고함을 의미한다.

8) 비탈면 풍화도

개 요

- 풍화란 지표의 암석이 부서지고 변질되어 흙으로 변하는 현상을 말한다.
- 풍화는 암석이 부서지는 기계적 풍화와 변질되는 화학적 풍화로 구분된다.
- 비탈면 풍화도란 비탈면을 구성하는 암석의 풍화된 정도를 말한다.
- 암석의 풍화도는 신선(Fresh), 약간풍화(Slightly Weathered), 보통풍화(Moderately Weathered), 심한풍화(Highly Weathered), 완전풍화(Completely Weathered), 풍화잔류토(Residual Soil) 총 6개의 등급으로 구분한다.

구분	배점	현장관찰	비고(대표사진)
신선 (F.)	0	• 암석 구성물질이 풍화된 흔적이 없음	
약간풍화 (S.W.)	3	• 암석이 전체적으로 신선한 편이나 절리를 따라 착색, 변색	
보통풍화 (M.W.)	5	• 암석의 일부분이 변색되고 풍화흔적이 있음	
심한풍화 (H.W.)	7	• 대부분의 구성광물들이 변색, 착색	
완전풍화(C.W.) 및 풍화잔류토(R.S.)	10	• 암석이 흙으로 변해 있으나, 잔류구조가 관찰됨	
		• 암석이 흙으로 변해 있으며, 잔류구조가 관찰되지 않음	

Tip!

- 풍화도 측정은 근접 육안 관찰을 기본으로 하며, 지질해머 타격을 통해 깨진면의 암석 상태를 관찰한다.
- 지질해머 타격 시 반발 정도가 크고, 경쾌한 소리가 나는 경우 약간풍화~신선 등급의 암반일 가능성이 높다.
- 노출된 비탈면은 암석 표면이 대부분 변색되어 있으므로 원거리 육안 관찰 시 정확한 풍화도를 판단할 수 없다. 따라서 반드시 근접 관찰이 필요하며, 암석을 타격하여 깨진면의 광물상태 및 변색 상태를 관찰하는 것이 필요하다.

9) 붕괴·유실이력

개 요

◆ 붕괴·유실이력이란 급경사지 내 붕괴, 낙석, 표층유실 등의 발생 흔적을 말한다.

구분	배점	현장판단 기준
없음	0	• 붕괴, 낙석, 표층유실 등의 흔적이 전혀 없는 경우
낙석	3	• 주요 붕괴 흔적은 없으나 급경사지 하단부 곳곳에 낙석이 관찰되는 경우
10% 미만	5	• 붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 10% 미만인 경우
10% 이상~20% 미만	8	• 붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 10% 이상~20% 미만인 경우
20% 이상	10	• 붕괴부 크기가 급경사지 전체 면적의 20% 이상인 경우

급경사지 표층붕괴

급경사지 표층유실

〈그림 6-30〉 급경사지 붕괴 형태 예시

Tip!

- 붕괴부의 전체 면적 대비 비율을 결정하기 모호한 상황에서는 급경사지 전체 연장 대비 붕괴발생 구간 연장을 고려하여 비율을 결정한다.
- 급경사지 구성 암석과 확연히 다른 모양과 색깔을 가지는 낙석은 실제 낙석이 아닌 경우가 있으므로 낙석 확인 시 급경사지 내 낙석 발생 지점을 동시에 확인해야 한다.
- 면적율(%) = 붕괴면적 / 전체 비탈면 면적
- 정비사업 완료지구는 정비사업 이후부터 산정

10) 표면보호공 시공상태

개 요

- 표면보호공이란 급경사지 표면의 풍화 및 침식을 방지하기 위해 시공되는 공법을 말한다.
- 표면보호공으로는 콘크리트 뿜어붙이기(숏크리트), 비탈면녹화(식생공), 격자블록 등이 있다.

구분	배점	현장판단 기준	비고(대표사진)
매우 양호	0	• 급경사지에 피복된 숏크리트의 균열, 누수자국 등이 전혀 관찰되지 않으며 매우 양호한 시공상태를 보임 • 급경사지 내 식생공이 매우 촘촘히 시공되어 있으며 유실 현상이 관찰되지 않음 • 격자블록이 급경사지에 밀착 시공되어 있으며 기타 변형 등이 전혀 관찰되지 않음	
양호	2	• 숏크리트 피복 상태가 대체로 양호하나 일부 미세한 균열 및 누수자국 등이 관찰됨 • 식생공이 대부분 촘촘히 시공되어 있으나 소규모 유실 및 일부 자생상태 불량 구간이 관찰됨 • 격자블록 시공상태가 대체로 양호하나 일부 균열 및 미세한 변형이 관찰됨	
불량	3	• 숏크리트의 균열 구간이 다수 관찰되며 누수현상에 의한 변색 구간이 곳곳에 관찰됨 • 급경사지 내 식생이 보통 간격으로 분포하며 표층유실 구간이 곳곳에 관찰됨 • 격자블록의 뒤틀어짐 현상 및 파손 등의 변형이 관찰됨	
매우 불량	4	• 숏크리트가 일부 구간 파손되었으며 누수에 의한 변색 구간이 다수 관찰됨 • 급경사지 내 식생의 밀도가 드문드문하며 대부분 구간에서 표층유실이 관찰됨	
표면시공 없음	5	• 보호시설 없이 원지반(토사 및 암반)이 그대로 드러나 있는 경우	

11) 지하수 상태

개 요

- 지하수란 땅 위에 내린 빗물 또는 눈의 일부가 땅속으로 침투되어 지층이나 암석의 간극을 메우고 있는 물을 말한다.
- 물은 급경사지 안정성에 큰 영향을 미치므로 주의 깊은 관찰 및 확인이 필요하다.

구 분	배점	현장관찰	비고(대표사진)
건조	0	• 마른 상태	
습윤	2	• 물기 흔적(검은색 표면, 이끼류 등)이 관찰되는 경우	
표면수	4	• 물기가 표면에 관찰되는 경우(젖음 현상) • 물줄기는 보이지 않으나 물이 떨어지는 경우	
용수	6	• 물줄기가 눈에 보이는 정도의 흐름	

Tip!

- 지하수 상태는 급경사지 중·하단부를 중심으로 면밀한 관찰 필요하다.
- 급경사지가 계곡부와 인접해 있는지의 여부를 확인한다.
- 급경사지 인근에 저수지, 댐 등의 수리관련 시설물의 존재 여부를 확인한다.
- 비가 내린 직후는 지하수위가 평소보다 높으므로 비가 내린 후 2~3일 뒤 점검하는 것이 효과적이다.

12) 배수시설 상태

개 요

◆ 배수시설 상태란 급경사지 내 지표수 처리시설이 제 기능을 하고 있는지의 여부를 말한다.

구분	배점	현장판단 기준	비고(대표사진)
완전배수	0	• 배수가 양호하여 건조 상태와 같이 간극수압이 발생하지 않는 경우	
양호	2	• 배수로 상태가 양호한 경우 • 배수공에서 유출되는 물이 맑고 깨끗한 상태 • 배수로 규격이 유역량에 맞게 설치	
보통	3	• 배수로 일부분에 토사 및 이물질이 적치된 경우 • 배수공 내 조립토가 섞여 배수된 흔적이 있는 상태	
불량	4	• 배수로에 이물질이 적치되어 원활한 배수 경로를 확보하지 못한 경우 • 배수공 내부에 배수 흔적이 전혀 없고 거미줄이나 기타 이물질이 있는 상태 • 배수공을 전혀 설치하지 않은 경우	
매우불량	5	• 급경사지 또는 상부자연비탈면이 포화상태이거나 물이 상당히 고여 있는 경우	

Tip!

- 배수시설 상태 점검 시, 배수시설의 균열 등 훼손 상태를 동시에 점검한다.
- 배수시설 시공 불량에 따른 급경사지 붕괴 위험 가능성을 점검한다.
- 배수시설의 정비 및 보수보강의 필요 여부를 점검한다.

13) 주요 보호대상시설

개 요

- 보호대상시설이란 비탈면의 붕괴로 인해 인명 및 재산 피해가 예상되는 택지, 도로, 철도 및 공원 등과 같은 시설물을 말함
- 사회적 영향도 평가는 경제적 피해보다 인명피해를 우선적으로 고려하여야 함

① 공원과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점			
용도	기타	조경, 유희, 편익시설	탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설	
	1	2	3	
피해예상 이용객수	0명 미만	1~10명 미만	10~20명 미만	20명 이상
	0	5	10	15

② 도로·철도와 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점				
입지	산지	농어촌	시가지		
	1	3	5		
도로 차로수 (편도)	1차로 이하	2차로	3차로 이상		
	1	4	7		
교통량 (대/일)	500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상
	1	2	4	6	8

② 택지 등과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점		
용도	상업용·공업용 시설	단독주택	공동주택·다중이용시설
	1	3	5
피해예상 인구수	0	1~4명	5명 이상
	0	10	15

공원 시설

택지 시설

도로 시설

철도 시설

공공시설

다중이용시설(도서관, 경로당 등)

〈그림 6-31〉 주요 보호대상시설 예시

Tip!

- 공원과 접한 급경사지의 경우, 공원 시설의 용도 및 피해예상 이용객수를 추정하여 피해 정도를 파악
- 도로와 접한 급경사지의 경우, 입지, 도로차로수 및 일 교통량을 통해 피해 정도를 파악
- 택지 등과 접한 급경사지의 경우, 각 시설의 용도 및 피해예상 인구수를 추정하여 피해정도를 파악
- 일 교통량은 해당 도로의 구간별 통계자료(교통량정보제공 시스템, www.road.re.kr)을 활용하되, 불가한 경우 조사기간 중 이동차량수를 고려하여 개략추정
- 예상되는 피해 인구수는 비탈면 높이 2배 이내에 위치하는 시설물(건축물)안에 존재하는 인구수를 말하며, 유동인구수는 제외함

14) 급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리

개 요

◆ 급경사지 붕괴 시 피해 영향권에 있는 시설물 유무를 확인하고, 시설물이 존재할 시 급경사지와의 거리에 따른 피해예상도 파악 및 표준 배점 부여

구 분	평가기준 및 배점				
급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리	시설물 없음	비탈면 높이 2배 초과	비탈면 높이 2배 이내	비탈면 높이 이내	비탈면 높이 1/2배 이내
	0	1	4	7	10

〈그림 6-32〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도

15) 조사자 보정점수

강우영향인자

- 강우영향인자는 붕괴위험성 인자에 고려되지 못하는 토석류나 집수지형에 대한 위험성을 보정하기 위한 항목임
- “상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)”은 대상 급경사지상부에 계곡부가 존재하거나 비탈면 붕괴가 예상되는 경우 전체배점을 부여(현장조사를 통해 기 발생여부를 확인하거나 위성사진 등을 활용할 수 있음).
- “급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5)”은 급경사지 상부에 묘지나 밭, 송전탑과 임도 등 집수가 가능한 지형이 존재하여 하부 급경사지의 위험도에 영향을 주는 경우 제시된 전체배점을 부여
- “방재성능목표강우량 가점* 부여” 항은 집수지형의 존재여부와 별도로 재해위험은 강우량의 강도에 따라 달라질 수 있으므로 “*① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)”과 같이 제시된 배점을 부여하며, 기준 강우량은 행정안전부에서 제시되는 전국시군구단위 방재성능목표와 최근의 기상청 AWS 수집데이터를 참고하여 해당 배점을 부여

사회적영향인자

- 사회적영향인자는 사회적 영향도에 고려되지 못하는 노약자나 재해취약계층의 존재 여부에 대해 보정하기 위한 항목임
- “노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역”은 대상 급경사지 주변에 노약자가 거주하는 경우 또는 노약자 대상 집합시설이 있을 때 노약자의 예상 숫자에 따라 노약자 1~4명 인 경우 (+1), 노약자 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여.
- “관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역”은 대상지구의 관리주체가 명확하지 않거나 비거주 또는 구성원들이 노약자 등 재해취약계층에 속하여 자력에 의해 정비나 관리가 어려울 경우 1~4명 인 경우 (+1), 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여. 상세한 해당사항은 보정점수표 사회적영향인자의 ①~④항과 같음.
- 비탈면의 안정에 영향을 주는 급경사지 주변의 인위적 훼손행위와 급경사지에 영향을 미치는 상·하부의 작용하중이 존재하는 경우(+3)의 배점을 부여.

6.3.4 "옹벽 및 축대" 재해위험도 평가기준

"옹벽 및 축대"의 재해위험도 평가표 및 배점기준은 다음과 같다.

구 분					평 가 기 준 및 배 점					점수
붕괴위험성(70)	시설	기초부(15)	침하(cm)		0~2	3~5	6~8	9~12	13 이상	
					1	2	3	4	5	
			수평변위(cm)		0~2	3~5	6~8	9~12	13 이상	
					1	2	3	4	5	
			세굴(5)	콘크리트 옹벽	미발생	헌치하부/2	헌치하부	저판최대두께/2	기초저면	
					0	2	3	4	5	
				보강토 옹벽	미발생	근입깊이/4	기초저면			
					0	3	5			
				석 축	미발생	상단깊이/3	상단	기초저면		
					0	2	4	5		
		전면부(45)	파손 및 손상(mm)		없음	0 초과~5 미만	5 이상~10 미만	10 이상~20 미만	20 이상	
					0	2	3	4	5	
			균열(10)	콘크리트 옹벽(mm)	0~0.1 미만	0.1 이상~0.2 미만	0.2 이상~0.3 미만	0.3 이상~0.5 미만	0.5 이상	
					0	3	5	7	10	
				보강토 옹벽, 석축	거의 없음	경미한 상태	경미한 상태, 균열 추가 예상	심각한 상태, 균열 확대 예상	기능 상실, 파괴 예상	
					0	3	5	7	10	
			마모/침식		없음	경미함	약간 심함	심함	매우 심함	
					0	2	3	4	5	
			박리·박락 및 층분리(mm)		0~10	11~15	16~20	21~25	26 이상	
					1	2	3	4	5	
			철근노출(%)		0	0.1~1	1.1~3	3.1~5	5.1 이상	
					0	3	5	7	10	
			전도·배부름(5)	콘크리트 옹벽 (%)	1 미만	1~2 미만	2~3 미만	3~4 미만	4 이상	
					0	2	3	4	5	
				보강토옹벽, 석축 (%)	2 미만	2~3 미만	3~4 미만	4~5 미만	5 이상	
					0	2	3	4	5	
			백태		거의 없음	경미한 상태(국부적)	심각한 상태(국부적)	심각한 상태(광범위)		
					0	1	3	5		
	강우	배출구(10)			배출구 내부가 물이 흘러 깨끗한 상태	배출구 내부에 세립토가 섞여 배수된 흔적상태	배출구 내부에 조립토가 섞여 배수된 흔적상태	배출구 내부에 배수된 흔적이 없는 상태	배출구가 설치되지 않은 상태	
					0	3	5	7	10	
	소 계									
사회적영향도(30)	주요보호대상시설 중 택 1	공원시설(18)	용도		기타	조경, 유희, 편익시설	탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설			
					1	2	3			
			피해예상 이용객수		0명	1~10명 미만	10~20명 미만	20명 이상		
					0	5	10	15		
		도로·철도(20)	입지		산지	농어촌	시가지			
					1	3	5			
			도로차로수 (편도)		1차로 이하	2차로	3차로 이상			
					1	4	7			
			교통량 (대/일)		500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상	
					1	2	4	6	8	
		택지 등(20)	용도		상업용·공업용 시설	단독주택	공동주택·다중이용시설 등			
					1	3	5			
			피해예상 인구수		0	1~4명	5명 이상			
					0	10	15			
	급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리(10)				시설물 없음	비탈면높이 2배 초과	비탈면높이 2배 이내	비탈면높이 이내	비탈면높이 1/2배 이내	
					0	1	4	7	10	
	소 계									
조사자 보정점수	강우 영향인자	상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)								
		급경사지의 우수배수시설 여부 및 상태: 우수배수시설 없음(+2), 우수배수시설 있으나 시설상태 불량(+1)								
		급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5), 방재성능목표강우량 가점* 부여 * ① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)								
	사회적 영향인자	노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역: 노약자 1~4명(+1), 노약자 5명 이상(+2)								
		관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역: 1~4명(+3), 5명 이상(+5) * ① 토지와 주택 등의 소유자와 사용자가 달라 관리주체를 정하기 어려운 경우, ② 급경사지 소유자의 행방을 알 수 없는 경우, ③ 직접 거주를 하지 않아 방치되어 타인의 피해가 우려되는 경우, ④ 소유자·점유자가 다수인으로 관리주체를 정하기 어려운 경우 등 ** 「국민기초생활 보장법」 제2조제10호에 따른 차상위계층								
		비탈면의 안정에 영향을 주는 급경사지 주변의 인위적 훼손행위와 급경사지에 영향을 미치는 상·하부의 작용하중이 존재하는 경우(+3)								
	소 계									
재해위험도 평가 결과					합 계 등급 A(0~20점), B(21~40점), C(41~60점), D(61~80점), E(81점 이상)					

〈그림 6-33〉 "옹벽 및 축대" 재해위험도 평가표

1) 침하

개 요

◆ 침하는 옹벽구조물이 시공위치에서 수직방향으로 가라앉는 현상을 말한다. 침하가 부분적으로 발생할 경우에는 인접한 블록간의 단차를 육안 또는 측정장비를 활용하여 확인 할 수 있다.

침하량	배점	조사된 상태
0~2cm	1	• 침하가 발생되지 않거나 극히 미소한 경우
3~5cm	2	• 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 보수는 필요하지 않은 상태
6~8cm	3	• 침하의 정도가 보통정도이나 진행성 여부에 대한 지속적인 관찰이 요구될 경우
9~12cm	4	• 침하가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
13cm 이상	5	• 침하정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

옹벽 하단부 침하

옹벽 침하에 의한 단차발생

〈그림 6-34〉 옹벽 침하 현상 예시

Tip!

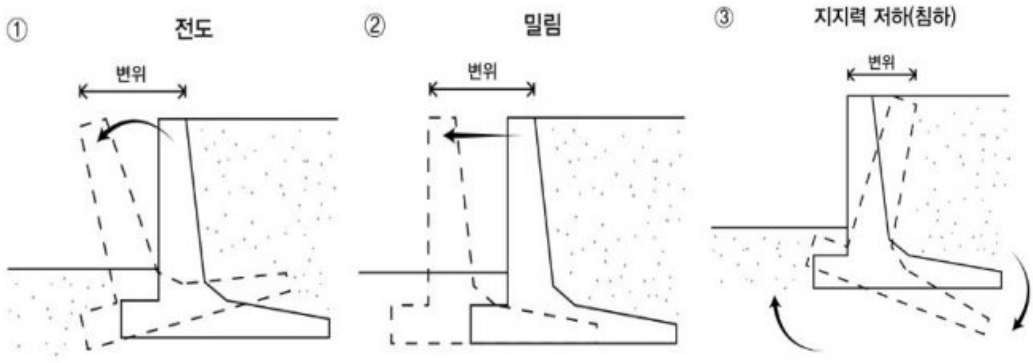
- 침하 발생 시, 구조물과 지반의 단차, 구조물 균열, 구조물 수평변이, 전도 등이 동반되어 발생된다.
- 연장이 짧은 독립 구조물은 구조물 전체가 침하할 경우, 1회 점검으로 침하진행을 판단하기 한계가 있으므로 줄자, 레벨측량 등을 이용한 구조물 노출부의 높이를 지속적으로 측정하여 변화를 확인할 필요가 있다.

2) 수평변위

개 요

◆ 기초부의 수평변위를 측정하는 것으로 부등침하, 토압, 수압 등 수평력 증가에 의한 저항력 감소에 의해 구조체의 수평변위가 발생하는 것을 의미한다.

수평변위	배점	조사된 상태
0~2cm	1	• 활동이 발생되지 않은 상태
3~5cm	2	• 부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 보수는 필요하지 않은 상태
6~8cm	3	• 활동이 보통정도이나 진행성 여부에 대한 지속적인 관찰이 요구될 경우
9~12cm	4	• 활동이 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
13cm 이상	5	• 활동이 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태



〈그림 6-35〉 변위 발생 개념도

Tip!

- 기초부의 수평변위는 옹벽측면에서 관찰이 용이하나, 연장이 긴 구조체의 경우 전 구간에서 수평변위가 발생하는 것이 아니라 구간별로 발생될 가능성이 높으므로, 전 구간을대상으로 수평변위를 점검해야 한다.
- 기초부의 수평변위 발생 시 옹벽 전면부가 아스콘, 콘크리트 포장일 경우 도로부 융기,침하, 균열 등이 함께 발생할 가능성이 높다.

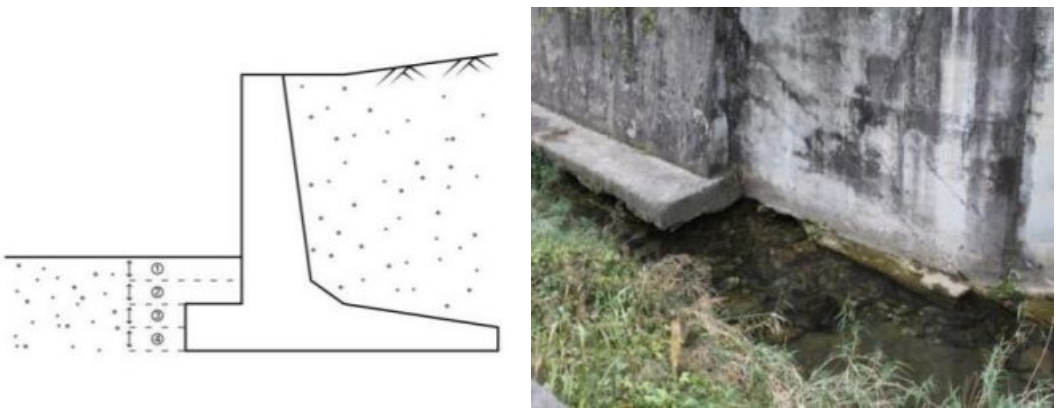
3) 세굴

개 요

◆ 옹벽 기초부 세굴현상이란 유수작용 등에 의해서 쓸려 패여나가는 현상을 말한다. 즉 기초지반이 유실되어 기초지반의 지지력 저하와 수동토압의 감소로 침하, 전도, 활동 등의 외적 안정성에 크게 영향을 미치는 결함 항목이다.

① 콘크리트 옹벽

세굴	배점	조사된 상태
미발생	0	• 세굴이 전혀 발생하지 않은 상태
헌치하부/2	2	• 세굴이 (지표면에서 헌치하부/2) 부분까지 발생한 상태 (그림 6-36 ①)
헌치하부	3	• 세굴이 저판의 헌치하부까지 발생한 상태 (그림 6-36 ①+②)
저판최대두께/2	4	• 세굴이 (저판의 최대두께/2) 부분까지 발생한 상태 (그림 6-36 ①+②+③)
기초저면	5	• 세굴이 기초저면까지 발생한 상태 (그림 6-36 ①+②+③+④)



〈그림 6-36〉 세굴 발생 깊이 모식도 및 세굴 현상 예시

② 보강토 옹벽

세굴	배점	조사된 상태
미발생	0	• 세굴이 전혀 발생하지 않은 상태
근입깊이/4	3	• 근입깊이/4의 각각의 위치까지 세굴이 발생한 상태
기초저면	5	• 세굴이 기초저면까지 발생한 상태

③ 석축

세굴	배점	조사된 상태
미발생	0	• 세굴이 전혀 발생하지 않은 상태
상단깊이/3	2	• 기초콘크리트 상단까지의 깊이/3의 위치까지 발생한 상태
상단	4	• 기초콘크리트 상단까지 세굴이 발생한 상태
기초저면	5	• 세굴이 기초저면까지 발생한 상태

Tip!

- 세굴현상이 다수구간에서 관찰될 경우, 가장 세굴현상이 심한 구간을 기준으로 하여 점검표를 작성한다.
- 세굴현상 발생 구간의 지속적인 관리를 위해서 줄자 등의 깊이 측정뿐만 아니라 발생부의 확대진행을 고려하여 발생 구간의 면적도 함께 기록하여 두는 것이 좋다.
- 사진촬영 자료를 지속적으로 수집하여 시계열 분석(시간의 경과에 따라 연속적으로 관측된 관측값을 비교분석)에 사용할 수 있다.

4) 파손 및 손상

개 요

◆ 파손 및 손상 발생원인은 외적 충격 및 과도한 하중 집중, 낙석 및 차량충돌, 재료의 결함, 보강재 국부적 절단에 의해 발생한다.

조사된 파손 및 손상 상태	배점
• 파손 및 손상 없음	0
• 파손 및 손상 깊이가 0mm 이상 ~ 5mm 미만인 상태	2
• 파손 및 손상 깊이가 5mm 이상 ~ 10mm 미만인 상태	3
• 파손 및 손상 깊이가 10mm 이상 ~ 20mm 미만인 상태	4
• 파손 및 손상 깊이가 20mm 이상인 경우	5

충격에 의한 옹벽 손상

상부 낙석 발생에 의한 옹벽 파손

〈그림 6-37〉 옹벽 파손 및 손상 현상 예시

Tip!

- 파손 및 손상은 육안으로 쉽게 관찰되며, 육안조사 시 파손 및 손상에 의한 배수흔적의 관찰이 필요하다.
- 줄자 및 자를 이용하여 파손 및 손상 깊이를 측정한다.

5) 균열

개 요

◆ 열적 또는 기계적 응력 때문에 일어나는 국부적인 파단에 의해 생기는 틈 또는 불연속부를 의미한다. 옹벽 및 축대에서의 균열은 작용하중의 변화로 인한 과응력균열, 건조수축 등에 의한 응력생성, 온도변화에 의한 신축기능 손상 등의 일반균열, 철근부식에 의한 팽창으로 인한 부식균열로 분류된다.

① 콘크리트 옹벽

조사된 균열 상태	배점
▪ 균열발생부의 균열 폭이 0~0.1mm 미만인 상태	0
▪ 균열발생부의 균열 폭이 0.1mm 이상 ~ 0.2mm 미만인 상태	3
▪ 균열발생부의 균열 폭이 0.2mm 이상 ~ 0.3mm 미만인 상태	5
▪ 균열발생부의 균열 폭이 0.3mm 이상 ~ 0.5mm 미만인 상태	7
▪ 균열발생부의 균열 폭이 0.5mm 이상인 상태	10

균열 발생

종방향 균열 발생

〈그림 6-38〉 균열발생 현상 예시

② 보강토 옹벽, 석축

조사된 균열 상태	배점
• 균열이 거의없음	0
• 균열이 경미한 상태	3
• 균열이 경미, 균열 추가 예상	5
• 균열이 심각한 상태, 균열 확대 예상	7
• 기능 상실, 파괴예상	10

Tip!

- 균열부는 종방향, 횡방향 균열의 양상을 판단하기 위해 우선 전체를 대상으로 균열 발생부를 확인하고, 세부 구간으로 좁혀서 점검하는 것이 균열 파악에 유리하다.
- 균열폭과 더불어, 균열부 연장이 길게 발생된 경우 구조물 안정에 불리하다.
- 종 방향 균열은 구조물 층 분리현상, 횡방향 균열은 구조물 전도 현상 등으로 발전될 가능성이 있다.

6) 마모/침식

개 요

◆ 마모/침식 현상이란 빗물, 강물, 바닷물, 바람 등의 운동에 따라 콘크리트 구조물의 표면부를 깎거나 화학적으로 콘크리트를 융해하는 작용 현상을 말한다.

기 준	배점	조사된 균열 상태
없음	0	• 침식/마모된 부위가 없는 양호한 상태
경미함	2	• 침식/마모에 의해 골재가 노출된 상태
약간 심함	3	• 상, 하부와 비교해서 단면(철근덮개)이 감소되기 시작한 상태(다소 심한상태)
심함	4	• 철근덮개가 탈락되고 철근이 부분적으로 노출되어 부식이 발생한 상태(심한상태)
매우 심함	5	• 침식부위의 철근이 완전히 노출되어 구조적인 기능을 상실한 상태(매우 심한상태)

옹벽 마모 현상

하천지 옹벽 침식 현상

〈그림 6-39〉 콘크리트 구조물의 마모/침식 현상 예시

Tip!

- 하천지역의 옹벽 등 콘크리트 구조물 하상부에서 주로 발생하는 현상으로, 도로부에서는 내리막 구간(지표수 배수 구간)에서 침식/마모 현상이 관찰된다.
- 동절기 제설제 영향으로 인해 침식/마모 현상이 발생되기도 한다.
- 철근이 노출되는 경우에는 기능저하 및 상실로 인해 붕괴의 원인이 되므로 이에 대한 대책마련이 시급하다.

7) 박리/박락 및 층분리

개 요

- 박리박락 현상은 콘크리트 표면에 연한 골재가 분포되어 있어 피복두께가 얇은 면에서 재료가 떨어져 나가는 현상을 발한다. 발생원인은 피복두께 부족, 알칼리 골재 반응, 중성화, 다짐불량, 재료선정 불량, 양생 불량에 의해서 발생된다.
- 층분리 현상은 철근의 상부 또는 하부에서 콘크리트가 층을 이루며 분리되는 현상으로 철근의 부식에 의한 팽창이 주요 원인이다.

조사된 상태	배 점
• 0~10 mm (콘크리트 벽체의 표면결함(박리/박락/층분리)의 깊이 측정	1
• 11~15 mm (콘크리트 벽체의 표면결함(박리/박락/층분리)의 깊이 측정	2
• 16~20 mm (콘크리트 벽체의 표면결함(박리/박락/층분리)의 깊이 측정	3
• 21~25 mm (콘크리트 벽체의 표면결함(박리/박락/층분리)의 깊이 측정	4
• 26 mm 이상 (콘크리트 벽체의 표면결함(박리/박락/층분리)의 깊이 측정	5

박리, 박락 현상

층분리 현상

〈그림 6-40〉 콘크리트 구조물의 박리/박락 현상 예시

Tip!

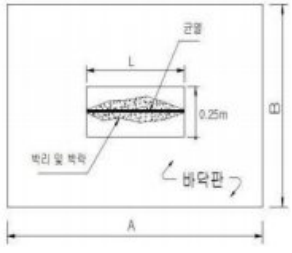
- 박리/박락 및 층분리 현상이 다수구간에서 관찰될 경우, 현상이 심한 구간을 기준으로 하여 점검표를 작성한다.
- 층분리 발생의 경우 구조체의 지지력 저하로 인해, 강우 발생 시 붕괴 가능성이 매우 높다.

8) 철근노출

개 요

◆ 철근노출이란 콘크리트 구조체 자체의 결함, 표면결함(박리/박리, 균열, 층분리 등) 및 파손/손상에 의해 콘크리트 철근부가 노출된 현상을 말한다. 철근이 노출될 경우 부식현상이 발생되어 구조적 안정성 저해 요인이 될 수 있으므로 이에 대한 점검 및 유지관리가 요구된다.

철근노출 면적율	배 점
• 철근노출 면적율 0%	0
• 철근노출 면적율 0.1 ~ 1.0%	3
• 철근노출 면적율 1.1 ~ 3.0%	5
• 철근노출 면적율 3.1 ~ 5.0%	7
• 철근노출 면적율 5.1% 이상	10



$$\frac{\text{철근노출면적}}{\text{점검단위면적}(span)} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A \times B} \times 100 =$$

※ 철근이 완전히 노출된 경우는 노출면적으로 산정하게 되며, 내부에서 철근 부식 시 철근노출 길이 당 0.25m 의 폭을 차지하는 것으로 하여 철근노출길이 × 0.25를 적용 한다.

철근노출(국부적 노출현상)

철근노출(벽면부 철근노출)

〈그림 6-41〉 콘크리트 구조물의 철근노출 현상 예시

Tip!

• 국부적인 철근노출의 경우 보수가 비교적 간단하므로, 결함 발생 시 즉각적인 조치가 요구된다.

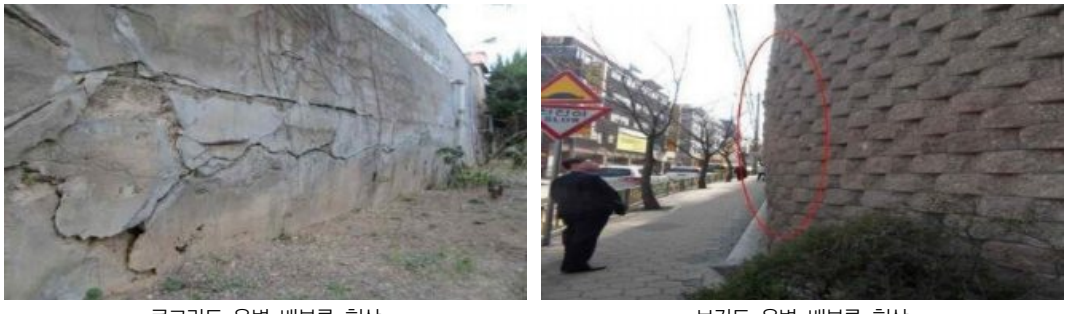
9) 전도/배부름

개 요

- 전도란 수평력의 증가 및 저항력 감소, 침하, 추가적인 상재하중의 작용, 세굴, 우수침투 및 지하수위 상승에 따른 토압 증강에 의해 옹벽구조물이 전면으로 기우는 현상을 말한다.
- 배부름 현상이랑 과도한 집중하중, 지반의 유동 또는 보강재의 국부적인 파단 및 마찰력 저하 등의 복합적인 요인으로 인해 옹벽 전면으로 부풀어 오르는 현상을 말한다.

구 분	평가기준 및 배점				
콘크리트 옹벽 (%)	1 미만	1~2 미만	2~3 미만	3~4 미만	4 이상
	0	2	3	4	5
보강토옹벽, 석축 (%)	2 미만	2~3 미만	3~4 미만	4~5 미만	5 이상
	0	2	3	4	5

콘크리트 옹벽 전도 현상



콘크리트 옹벽 배부름 현상 보강토 옹벽 배부름 현상

〈그림 6-42〉 전도 및 배부름 현상 예시

Tip!

- 전도 현상 및 배부름 현상은 측면에서 관찰이 용이하다.
- 콘크리트 옹벽의 경우 배부름 현상은 심각한 결함으로 균열 등의 손상을 동반한다.
- 배부름 현상은 주로 보강토 옹벽에서 발생된다.

10) 백태

개 요

- 백태현상이란 콘크리트 내부에 존재하는 석회화합물이 융해되어 콘크리트 표면에 퇴적되는 현상을 말한다.
- 백태는 경화시멘트풀의 수화조직 약화 및 중성화 현상을 동반하므로 수밀성과 내구성 저하 및 철근부식의 원인이 된다.

구 분	평가기준 및 배점			
백태	거의 없음	경미한 상태 (국부적)	심각한 상태 (국부적)	심각한 상태 (광범위)
	0	1	3	5

백태(콘크리트 옹벽)

〈그림 6-43〉 옹벽 백태 발생 현상 예시

Tip!

- 백태현상은 관찰이 용이하나, 강우 발생 후 건조 전 점검 시 관찰이 용이하지 않다.
- 백태현상의 평가기준은 백태의 유무로 하나, 장기적 관리를 위해서는 백태발생부의 위치 및 발생부의 면적을 함께 표기하여 두는 것이 좋다.
- 백태현상 발생부는 전경 – 구간 – 세부 순으로 사진 촬영을 하는 것이 향후 백태의 진행 여부 파악에 유리하다.
- 백태현상은 당장의 구조적인 안전성을 해치지는 않으나, 철근 부식의 촉진, 콘크리트의 균열 및 누수발생, 구조내력의 저하 등의 요인이 되므로 지속적인 점검 및 유지관리가 요구된다.

11) 배출구

개 요

- 배출구는 옹벽 배면지하수가 원활하게 배수되도록 하여 옹벽에 수압이 부하되지 않도록 하는 배수시설를 말한다.
- 배출구 불량으로 설계시 적용토압이상의 하중작용 시 옹벽에서 발생할 수 있는 대부분의 결함이 유발될 수 있다.

구 분	배점	조사된 균열 상태
배출구	0	- 배출구 내부가 물이 흘러 깨끗한 상태
	3	- 배출구 내부에 세립토가 섞여 배수된 흔적상태
	5	- 배출구 내부에 조립토가 섞여 배수된 흔적상태
	7	- 배출구 내부에 배수된 흔적이 없는 상태
	10	- 배출구가 설치되지 않은 상태

식생에 의한 배수공 막힘

인위적 배수공 막힘

배수구 추가 설치 중

배수구 추가 설치 후

〈그림 6-44〉 배출구 막힘 현상 및 배수구 추가 설치 사진

Tip!

- 배출구 점검 시 배출구 내부 독충 및 뱀이 서식하는 경우 있으니 안전에 유의해야 한다.
- 지하수가 많이 유출되는 경우에는 원활한 배수유도를 위한 추가 설치가 요구된다.
- 인위적인 이물질 등 제거가 가능한 경우 점검과 동시에 제거하도록 한다.

12) 주요 보호대상시설

개 요

- 보호대상시설이란 비탈면의 붕괴로 인해 인명 및 재산 피해가 예상되는 택지, 도로, 철도 및 공원 등과 같은 시설물을 말함
- 사회적 영향도 평가는 경제적 피해보다 인명피해를 우선적으로 고려하여야 함

① 공원과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점			
용도	기타	조경, 유희, 편익시설	탐방로, 도로, 광장, 휴양, 운동, 교양시설	
	1	2	3	
피해예상 이용객수	0명 미만	1~10명 미만	10~20명 미만	20명 이상
	0	5	10	15

② 도로·철도와 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점				
입지	산지	농어촌	시가지		
	1	3	5		
도로 차로수 (편도)	1차로 이하	2차로	3차로 이상		
	1	4	7		
교통량 (대/일)	500 미만	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 이상
	1	2	4	6	8

② 택지 등과 접한 급경사지

구 분	평가기준 및 배점		
용도	상업용·공업용 시설	단독주택	공동주택·다중이용시설
	1	3	5
피해예상 인구수	0	1~4명	5명 이상
	0	10	15

공원 시설

택지 시설

도로 시설

철도 시설

공공시설

다중이용시설(도서관, 경로당 등)

〈그림 6-45〉 주요 보호대상시설 예시

Tip!

- 공원과 접한 급경사지의 경우, 공원 시설의 용도 및 피해예상 이용객수를 추정하여 피해 정도를 파악
- 도로와 접한 급경사지의 경우, 입지, 도로차로수 및 일 교통량을 통해 피해 정도를 파악
- 택지 등과 접한 급경사지의 경우, 각 시설의 용도 및 피해예상 인구수를 추정하여 피해정도를 파악
- 일 교통량은 해당 도로의 구간별 통계자료(교통량정보제공 시스템, www.road.re.kr)을 활용하되, 불가한 경우 조사기간 중 이동차량수를 고려하여 개략추정
- 예상되는 피해 인구수는 비탈면 높이 2배 이내에 위치하는 시설물(건축물)안에 존재하는 인구수를 말하며, 유동인구수는 제외함

13) 급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리

개 요

◆ 급경사지 붕괴 시 피해 영향권에 있는 시설물 유무를 확인하고, 시설물이 존재할 시 급경사지와의 거리에 따른 피해예상도 파악 및 표준 배점 부여

구 분	평가기준 및 배점				
급경사지와 인접 보호대상시설과의 거리	시설물 없음	비탈면 높이 2배 초과	비탈면 높이 2배 이내	비탈면 높이 이내	비탈면 높이 1/2배 이내
	0	1	4	7	10

〈그림 6-46〉 시설물과의 거리 배점 부여 모식도

14) 조사자 보정점수

강우영향인자

- 강우영향인자는 붕괴위험성 인자에 고려되지 못하는 토석류나 배수시설 및 집수지형에 대한 위험성을 보정하기 위한 항목임
- “상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)”은 대상 급경사지상부에 계곡부가 존재하거나 비탈면 붕괴가 예상되는 경우 전체배점을 부여(현장조사를 통해 기 발생여부를 확인하거나 위성사진 등을 활용할 수 있음).
- “급경사지의 우수배수시설 여부 및 상태 : 우수배수시설 없음(+2), 우수배수시설 있으나 시설상태 불량(+1)”은 자연비탈면에서 급경사지의 재해위험도에 배수시설이 영향을 미치는 경우 제시된 전체배점을 부여
- “급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5)”은 급경사지 상부에 묘지나 밭, 송전탑과 임도 등 집수가 가능한 지형이 존재하여 하부 급경사지의 위험도에 영향을 주는 경우 제시된 전체배점을 부여
- “방재성능목표강우량 가점* 부여” 항은 집수지형의 존재여부와 별도로 재해위험은 강우량의 강도에 따라 달라질 수 있으므로 “*① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)”과 같이 제시된 배점을 부여하며, 기준 강우량은 행정안전부에서 제시되는 전국시군구단위 방재성능목표와 최근의 기상청 AWS 수집데이터를 참고하여 해당 배점을 부여

사회적영향인자

- 사회적영향인자는 사회적 영향도에 고려되지 못하는 노약자나 재해취약계층의 존재 여부에 대해 보정하기 위한 항목임
- “노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역”은 대상 급경사지 주변에 노약자가 거주하는 경우 또는 노약자 대상 집합시설이 있을 때 노약자의 예상 숫자에 따라 노약자 1~4명 인 경우 (+1), 노약자 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여.
- “관리주체가 불분명*한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역”은 대상지구의 관리주체가 명확하지 않거나 비거주 또는 구성원들이 노약자 등 재해취약계층에 속하여 자력에 의해 정비나 관리가 어려울 경우 1~4명 인 경우 (+1), 5명 이상인 경우 (+2)의 배점을 부여. 상세한 해당사항은 보정점수표 사회적영향인자의 ①~④항과 같음.
- 비탈면의 안정에 영향을 주는 급경사지 주변의 인위적 훼손행위와 급경사지에 영향을 미치는 상·하부의 작용하중이 존재하는 경우(+3)의 배점을 부여.

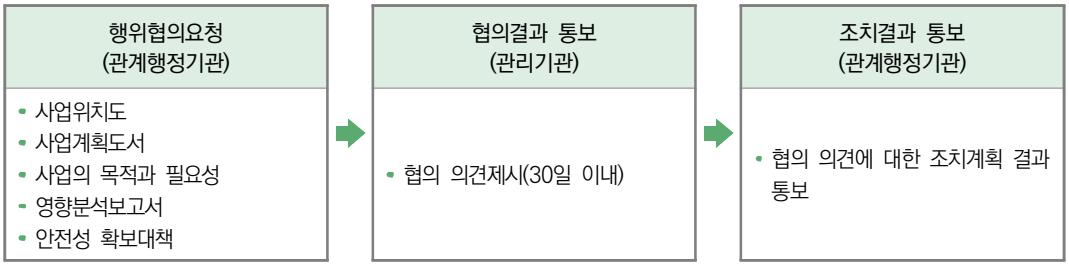
6.3.5 재해위험도 평가 및 붕괴위험지역 해제 평가의 예산

관리기관은 소관 급경사지에 대하여 급경사지 재해위험도 평가를 시행하기 위해 예산을 사전에 확보하여야 한다.

급경사지 재해위험도 평가 및 붕괴위험지역 해제 평가의 비용 산정은 인건비, 경비 등이 포함되어 있으며 상세 비용 산정표는 부록5(급경사지 조사 비용 산정표)을 참조한다.

6.4 붕괴위험지역에서의 행위협의

급경사지 붕괴위험지역으로 지정된 대상지에 대하여 관계 행정기관과 행위에 대한 협의가 필요한 경우 행위협의를 요청하고, 협의 결과에 따라 조치할 사항에 대하여 조치한 결과 또는 이후의 조치계획을 관리기관에 통보하여야 한다.



〈그림 6-47〉 행위협의 요청절차 흐름도

- 협의시기

관계 행정기관이 붕괴위험지역에서 허가·인가, 면허·승인·해제·결정·동의·협의 등을 하고자 하는 때에는 행위협의를 신청하여야 한다. 다만, 재해영향평가에 관하여 사전협의를 한 경우는 제외한다.

- 행위협의 대상

  - 토석의 굴착을 수반하는 관로(管路)의 설치, 철탑의 설치, 도로·교량 등 구조물의 설치 행위
  - 토석의 굴착을 수반하는 건축물을 신축하거나 증축·개축하는 행위
  - 옹벽·축대 및 측구(側溝) 등을 변경하는 행위
  - 수목을 벌채하거나 잔디 등을 제거하는 행위
  - 그 밖에 급경사지의 안정을 저해하는 행위로써 대통령령으로 정하는 사항

- 협의기간
  - 소관 관리기관은 협의요청기관으로부터 협의신청을 받은 날로부터 30일 이내에 검토결과를 협의요청기관의 장에게 통보하여야 한다.
  - 다만, 부득이한 사유가 있을 경우에는 협의기간을 10일의 범위 안에서 연장할 수 있다.
- 협의절차
  - 협의요청
    - ▸ 붕괴위험지역에서 행위협의를 하고자 하는 행정기관 또는 사업자는 영 제5조에서 정하는 서류를 관리기관에 제출하여야 한다.
    - ▸ 관계 행정기관으로부터 붕괴위험지역에서의 행위협의를 요청받은 관리기관의 장은 관계 행정기관에 협의결과를 통보하여야 한다.
    - ▸ 협의 결과를 통보받은 관계 행정기관은 특별한 사유가 없는 한 이를 반영하기 위하여 필요한 조치를 하여야 하며, 조치한 결과 또는 이후의 조치계획을 관리기관에 통보하여야 한다.
    - ▸ 다만, 자연재해대책법에 의한 재해영향평가 협의 절차를 이행하였을 경우 행위협의를 한 것으로 본다.
  - 협의기관 검토
    - ▸ 관계 행정기관으로부터 행위협의 요청을 받은 관리기관은 행위협의 결과를 관계 행정기관에 통보하여야 한다.
- 협의결과의 이행 관리감독
  - 관리기관으로부터 협의결과를 통보받은 관계 행정기관의 장은 특별한 사유가 없는 한 통보를 받은 날로부터 30일 이내 해당 지역에서의 행위협의에 대한 조치결과 또는 조치계획을 관리기관에게 통보하여야 한다.
  - 관계행정기관의 장은 통보받은 붕괴위험지역 행위협의 결과를 반영하기 곤란한 특별한 사유가 있을 때에는 지체없이 그 내용 및 사유를 관리기관에게 통보하여야 한다.
  - 관리기관은 필요하다고 인정하는 경우에는 협의결과의 이행을 위하여 관계 행정기관 및 사업자에게 공사중지 등의 필요한 조치를 요청할 수 있다. 이 경우 관계 행정기관 및 관련 사업자는 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.
  - 관계 행정기관은 제1항의 협의 절차가 완료되기 전에는 인·허가 등을 하여서는 아니 된다.

- 붕괴위험지역에서의 행위 협의 시 제출할 자료는 다음과 같다.
  - 사업위치도
  - 사업계획도서
  - 사업의 목적과 필요성
  - 협의 대상 행위가 붕괴위험지역에 미치는 영향
  - 붕괴위험지역의 안정성 확보대책을 작성한 서류

6.5 위험표지의 설치

급경사지 붕괴위험지역에 대한 표지판은 급경사지 시행규칙 제5조에 따라 설치하며, 설치 요령은 다음과 같다.

- 규격
  - 표지판 : 1.2m(가로) × 1m(세로)
  - 기둥 : 현장 여건을 고려하여 기둥 없이 설치 가능. 다만, 기둥을 설치하려는 경우에는 기둥의 지름을 10cm 이상
- 재질 : 표지판과 기둥 모두 철이나 알루미늄 또는 이와 유사한 재질
- 색상
  - 바탕(표지판·기둥) : 노랑색
  - 글씨 : 검정으로 하되, "붕괴위험지역"은 빨강으로 함
  - 야간에도 잘 보일 수 있도록 제작할 것
- 주의사항
  - 관리기관은 붕괴위험지역에 위험을 알리는 표지를 설치하여야 하며, 위험표지를 설치한 자의 허락 없이 이를 이전하거나 훼손하여서는 아니 된다.
  - 위험표지에는 급경사지 관리기관, 급경사지 안전점검 책임자 및 연락 전화번호 내용을 포함하여야 한다.
  - 위험표지는 주민통행량이 많으며, 급경사지 전면부이고, 주민이 위험표지를 잘 볼 수 있는 장소에 설치하여야 한다.
  - 위험표지는 급경사지 별로 1개 이상 설치
  - 위험표지는 표지판 설치요령의 규격에 맞게 또한, 야간에도 잘 보일 수 있도록 제작

〈그림 6-48〉 급경사지 붕괴위험지역 표지판 양식

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 7 장

급경사지 정비계획 수립

7.1 개요

7.2 재해예방을 위한 긴급 안전조치

7.3 정비 중기계획 수립

7.4 정비 실시계획 수립

7.5 사유지 급경사지 붕괴위험지역 정비

제 7 장 급경사지 정비계획 수립

7.1 개요

급경사지는 안전점검 및 재해위험도 평가를 수행하게 되며 평가 결과 재해위험도가 높은 D, E등급은 주민의견 수렴을 통해 붕괴위험지역으로 지정하여 집중관리한다.

붕괴위험지역으로 지정된 급경사지의 관리기관은 급경사지의 안전 및 유지관리를 위한 예산을 확보하는 등 재해예방을 위해 노력하여야 한다.

급경사지 붕괴위험지역으로 지정을 통보받은 급경사지 관리기관은 붕괴위험 해소를 위하여 자체 안전점검을 정기적으로 실시하고, 급경사지 도수로, 측구 등 배수로 정비를 수행하며 특히, 토사 비탈면에는 방수포 등 침식방지 덮개 설치 등 재해예방을 위한 응급조치 및 보수·보강 조치를 하여야 한다.

또한, 시장·군수·구청장은 태풍 및 집중호우 등으로 급경사지 붕괴위험지역에서 재해 발생이 예상되는 경우에는 인명 및 재산피해를 막기 위하여 기상특보, 강수량 및 상시계측관리의 결과와 비탈면의 붕괴징후 성상 등을 고려하여 급경사지 주민대피 관리기준을 설정하여 운영하여야 한다.

본 장에서는 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 급경사지 붕괴위험지역의 안전을 확보하기 위한 구조 및 비구조 대책을 수립하는 정비 중기계획과 실시계획에 대한 사항을 설명하고자 한다.

7.2 재해예방을 위한 긴급 안전조치

시장·군수·구청장은 붕괴위험이 있는 급경사지에서 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 때에는 다음 각 호의 내용을 포함한 안전조치 명령서를 관계인에게 교부하여, 관련 시설의 사용을 제한 금지하거나 보수·보강 또는 제거하는 등의 안전조치를 명령할 수 있다.

1) 안전점검의 결과
2) 안전조치를 명하는 사유
3) 안전조치를 하여야 하는 사항
4) 안전조치의 방법
5) 안전조치의 실시기한

〈표 7-1〉 안전조치 명령서

안전조치명령서

명령받을 사 람	성 명		생 년 월 일	
	주 소	(전화 :)		
안전점검 개 요	시설·지역명			
	점 검 개 요			
	안전점검 결과			
안전조치 명령 사유				
안전조치 개 요	안전조치 사항			
	안전조치 방법			
	안전조치 기한			

안전조치명령을 받은 관계인이 안전조치를 이행한 때에는 그 결과를 시·군·구청장에게 통보하여야 하며, 시·군·구청장은 안전조치명령을 받은 자가 그 명령을 이행하지 않는 경우는 대신하여 안전조치를 취할 수 있다. 이 경우 「행정대집행」을 준용한다.

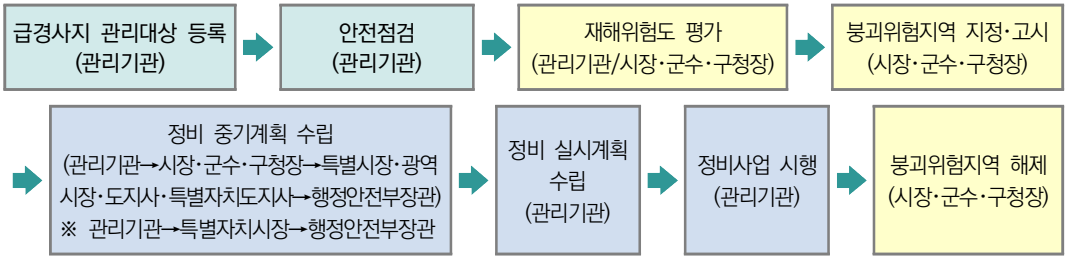
7.3 정비 중기계획 수립

7.3.1 중기계획 수립 절차

관리기관은 붕괴위험지역에 대하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 매 5년 단위의 붕괴위험지역 정비 중기계획을 수립하여 시장·군수·구청장에게 통보하여야 하며, 시장·군수·구청장은 이를 특별시장·광역시장·도지사 또는 특별자치도지사를 거쳐 행정안전부장관에게 제출하여야 한다. 다만, 특별자치시장은 관리기관으로부터 통보받은 중기계획을 직접 행정안전부장관에게 제출하여야 한다.

행정안전부장관은 제출받은 중기계획에 대하여 필요하다고 인정되는 때에는 중기계획의 수정 또는 보완을 요구할 수 있고 이를 요구받은 관리기관은 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다(「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제12조, 제13조).

정비중기계획은 급경사지 붕괴위험지역의 안전을 확보하기 위한 적극적인 방안으로 체계적인 정비사업을 통하여 위험요인을 근본적으로 해소하기 위한 목적이며, 급경사지 실태조사를 통해 파악된 급경사지의 기초자료를 활용하여 수행하고 정비계획의 수립단계에서 정비사업이 타당성, 구체적인 추진방안, 투자계획, 정비사업의 경제성, 수혜도 및 타사업과의 중복·연계성 여부 등을 평가하여 필요한 경우 주민이주 대책 등 근본적인 대책을 수립할 수 있도록 규정하고 있다.



〈그림 7-1〉 중기계획 수립 절차

7.3.2 정밀조사

(1) 개요

급경사지에 대하여는 급경사지법에 따른 전문기관 등 공신력 있는 기관을 활용하여 전문가가 현장에서 정밀조사를 수행하여 대책공법 및 예산 등의 계획을 수립하는 것이 바람직하다.

급경사지 정밀조사는 해당 급경사지 관리현황, 일반현황, 위험성 및 피해도에 대한 조사 및 분석을 실시하여 해당 급경사지의 안정을 위한 대책공법과 예산의 효율성을 확보할 수 있는 사업비를 제시할 수 있으며, 조사 결과를 통하여 중기계획 또는 실시계획(실시설계) 수립 시 활용할 수 있다.

정밀조사 대상 급경사지는 해빙기나 우기 점검자료를 토대로 위험 급경사지를 선정하거나 붕괴가 발생하거나 수해 등으로 피해가 발생한 급경사지 및 위험등급대상 급경사지 등을 선정하며, 관리기관에서 한국급경사지안전협회 등 전문가를 통해 정밀조사를 시행한다.

정밀조사 대상지 선정	- 안전점검을 통한 위험 급경사지나 피해가 발생한 급경사지 및 위험등급 급경사지 등 재해위험성이 확인되는 급경사지
↓	
현장 조사	- 급경사지 관리현황(붕괴 이력, 시계열 분석) 평가 - 급경사지 일반현황(위치, 제원, 붕괴현황 등) 평가 - 붕괴위험인자(지반및지질특성, 지형특성, 절리현황, 배수현황, 식생현황, 방호 및 보강현황 등) - 재해위험도 평가
↓	
안정해석 및 정비대책 수립	- 비탈면 안정해석(정성적 · 정량적 해석) - 낙석 및 토석류 시뮬레이션(필요시) - 보호 및 보강대책 수립(구조적 · 비구조적 대책)
↓	
예산 수립	- 수립된 기본계획에 따른 개략공사비 산정
↓	
정밀조사 보고서 작성	- 현장조사, 안정성검토 및 정비대책 수립 결과 및 예산 등 기본계획 수립에 요구되는 사항을 제시
↓	
정비계획 수립	- 정밀조사 결과를 통한 중기계획 및 실시계획 수립

〈그림 7-2〉 급경사지 정밀조사 절차도

(2) 주요내용

정밀조사 자료는 안정성 해석을 위한 기본자료나 대책공법 수립 등에 사용할 수 있으며, 투자우선순위를 수행하거나 상시계측시스템 설치 시 등에 현장자료로 활용할 수 있다.

정밀조사는 정밀조사용 체크리스트를 작성하여 수행하고 현황도 작성과 간략한 현장시험, 경험식, 역해석, 기존자료값 등을 통한 지반 물성값의 취득 후 암반비탈면의 경우 불연속면의 방향성을 측정하여 안정성 해석을 수행한다. 정밀조사를 통한 주요 조사항목은 다음과 같다.

〈표 7-2〉 정밀조사 주요 조사 항목

항목	내용
일반현황	a. 위치 및 작성자 : 행정소재지, 작성자, 조사일, 날씨, 기초조사 고유코드, 위경도, 거리표 b. 도로 : 노선, 방향, 차선 수, 도로폭, 이격거리, 낙석포획거리
인공비탈면 및 상부자연비탈면	a. 주변지형 특성 : ex) 산악, 준산악, 구릉, 평지 등 b. 비탈면 특성 : 구성 재료, 연장, 높이, 경사 및 경사방향, 토층심도, 종 횡단 형상, 도로선형, 소단수, 도로비탈면 내 식생, 이완암 규모 및 분포, 인공구조물 c. 상부자연비탈면 특성 : 경사, 인장균열, 포행흔적, 수목의 기울어짐, 인공구조물, 식생양상 d. 계곡부 특성 : 계곡부길이, 계곡의 폭, 계곡 단면심도
지 질	a. 암종, b. 풍화정도, c. 주요 불연속면의 종류 및 경사/경사방향 d. 암반형태, e. 암색 및 풍화암색, f. 강도 : 슈미트해머시험 g. 토층심도
불연속면 특성	a. 불연속면의 종류 및 분포양상, b. 기하학적 특성 : 방향, 경사, 연장, 간격, 틈, 충전물, 거칠기 등
수리특성	a. 비탈면의 누수 상태 - 누수 정도, 누수 위치, 도로비탈면 내 계곡부 유무, 지하수 배수능력, 지표수 배수능력, 지표수에 의한 표층침식 정도 b. 집수 지형 존재 여부
시공현황	a. 시공된 공법의 종류, b. 시공 위치, c. 상태 : 노후, 파손 여부
붕괴이력	a. 붕괴 유형, b. 붕괴 위치, c. 붕괴 규모, d. 낙석
대책공법	보수 및 보강, 방호에 필요한 공법 등
예산	보수 및 보강, 방호에 필요한 공사비 산출

정밀조사에서는 현장조사 내용을 토대로 정성적 · 정량적인 안정성을 평가하고 비탈면의 현장상황에 부합하는 정비대책을 수립하여 기본설계에 해당하는 사항을 제시할 수 있다. 급경사지의 안정과 재해방지를 위해 다음과 같은 구조적 또는 비구조적대책을 제시할 수 있다.

〈표 7-3〉 급경사지 대책공법

항 목	내용
구조적대책	a. 보호공법 : 녹화공, 돌붙임, 블록붙임, 콘크리트격자, 숏크리트, 기타 b. 보강공법 : 락볼트, 앵커, 쏘일네일링, 억지말뚝, 기대기옹벽, 계단식옹벽, 보강토 옹벽, 돌망태옹벽, 석축, 기타 c. 낙석방지공법 : 뜬돌제거, 낙석방지망, 낙석방지울타리, 피암터널, 낙석방지옹벽, 기타 d. 배수공법 : 산마루배수로, 소단배수로, 종배수로, 수평배수공, 집수정, 기타 e. 토석류 대책 : 계곡막이, 사방댐, 포획망, 유로보강시설, 퇴적및유로시설 f. 기타 : 경사완화공법, 기타
비구조적대책	a. 상시계측관리 b. 위험 표지의 설치(낙석위험, 붕괴위험, 진입금지 등) c. 예경보(주민대피 등) d. 행위협의 e. 기타 : 이주, 부지매입 등

구조적대책 공법 선정시, 급경사지 붕괴를 가정하여 직접적인(급경사지 높이 이내) 인명피해가 우려되는 보호대상시설(주거지 등 사람이 상시 존재하는 시설)이 존재하는 경우 '보강공법'을 우선 적용할 수 있으며 비구조적대책의 병행을 검토할 수 있다.

(3) 정밀조사 보고서 작성

정밀조사 보고서는 위험 비탈면의 현황과 지표지질조사 결과를 제시하고 안정성검토결과와 해석결과를 통한 구조적대책과 필요시 비구조적대책공법 및 개략공사비를 포함한 대상지구의 기본계획을 기술함으로써 대상 급경사지의 정비에 활용할 수 있도록 한다.

비탈면 정비를 위한 기본계획의 공사비는 개략적인 측정을 통해 산정된 직접공사비로 산출하며, 실시설계 시 측량을 통한 상세 설계가 필요하다.

관리기관은 정밀조사보고서의 내용을 검토하고 협의를 통해 현장적용성을 확인하여 붕괴위험지구지정이나 위험비탈면 정비를 위한 실시계획에 활용할 수 있다.

(4) 정밀조사의 예산

관리기관은 소관 급경사지에 대하여 급경사지 정밀조사를 시행하기 위해 예산을 사전에 확보하여야 한다.

급경사지 정밀조사의 비용 산정은 인건비, 경비 등이 포함되어 있으며 상세 비용 산정표는 부록5(급경사지 조사 비용 산정표)을 참조한다.

7.3.3 정비사업 우선순위 선정 방법

급경사지 붕괴위험지역과 같은 재해위험지역의 체계적이고 효율적인 정비를 위한 중기계획의 수립이 필요하며, 한정된 재해 관련 예산의 적절한 분배를 목적으로 급경사지의 붕괴가능성과 붕괴 발생시 예상되는 피해도를 고려하여 우선순위를 선정해야 한다.

투자우선순위 선정은 급경사지의 붕괴 발생 확률과 관련된 지수인 "위험도"와 붕괴시 예상되는 피해정도와 관련된 "피해도"의 합산 점수로 구성된다.

두 점수의 합산으로 급경사지에 대한 최종 점수가 결정되며, 예산의 효율적인 활용을 위해 점수가 높은 급경사지부터 순차적인 정비가 이루어지는 것이 원칙이다.

정밀조사 수행 현장 및 과거 미보강 현장에 대한 투자우선순위를 산출하고 투자우선순위 결과에 대한 관리기관의 지속적인 피드백 작업을 수행하여 최종 결과를 결정한 후 투자 결정 현장에 대해 관리기관에서 실시설계를 시행한다.

(1) 평가항목의 선정

1) 기본적 평가항목

재해위험도, 시민불편도 등을 평가 인자로 하는 효율성, 긴급성을 기본 평가 항목으로 정하여 1차 평가를 실시한다.

2) 부가적 평가방법

1차 평가결과를 토대로 민원 및 주민호응도, 예산확보 가능성, 붕괴위험지역 지정·고시 여부를 추가 항목으로 지속성, 정책성, 계획성에 대한 2차 평가를 실시하여 최종 우선순위를 결정한다.

〈표 7-4〉 우선순위 결정을 위한 평가 항목

구 분		평가 항목
기본 평가항목 (1차)	재해위험도	해당 붕괴위험지역의 재해위험도(해당 붕괴위험지역의 지정 등급을 기준함)
	시민불편도	해당 붕괴위험지역의 사업지역 현황
부가적 평가항목 (2차)	지속성	해당 사업에 대한 민원발생여부
	정책성	해당 사업에 대한 예산확보 가능성 및 자치단체의 의지
	계획성	실시설계, 보상협의 등의 행정사항 추진 여부

(2) 평가항목의 등급분류 및 배점

1) 기본 평가

기본 평가항목의 평가기준에 따라 각 항목에 대한 평가를 실시하여 등급화하고 등급별 점수를 부여한다. 기본평가 항목 2개 중 재해위험도의 경우 3개 등급으로 구분하고, 시민불편도 항목은 5개 등급으로 구분한다.

〈표 7-5〉 기본평가항목 배점

평 가 항 목	점 수	각 등급점수	비 고
재해위험도	50.0	E : 50, D : 40, C이하 : 30	
시민불편도	50.0	가 : 50, 나 : 40, 다 : 30, 라 : 20, 마 : 10	
계	100.0	-	

2) 부가적(정책적) 평가

부가적 평가는 사업추진에 따른 민원발생 여부 등에 대한 지속성, 예산확보 및 추진의지 등 정책성, 붕괴위험지역 지정·고시 여부 등 계획성을 평가대상으로 정하여 평가점수를 부여한다.

〈표 7-6〉 부가적 평가항목 배점

평 가 항 목	점 수	평가 방법	비 고
지속성	1	사업추진에 따른 민원발생이 없고 주민호응(선호)도가 좋은 경우	
	0	사업추진에 따른 민원발생이 있(많)고, 주민호응(선호)도가 떨어지는 경우	
정책성	1	예산확보 가능성이 높고, 지자체의 사업추진 의지가 높은 지역	
	0	예산확보 가능성이 낮고, 지자체의 사업추진 의지가 상대적으로 낮은 지역	
계획성	1	붕괴위험지역으로 지정·고시되어 있고 정비사업이 신속하게 추진될 수 있는 지역	
	0	붕괴위험지역으로 지정·고시되어 있지 않은 지역	

(3) 항목별 세부 평가 방법

1) 재해위험성

재해위험도 평가기준에 따른 재해위험도 평가를 실시, 지정등급을 다음과 같이 구분한다.

〈표 7-7〉 급경사지 재해위험도

등급	재해위험도 평가점수			내 용	
	자연비탈면 또는 산지	인공비탈면	옹벽 및 석축	재해위험도	관리방안
A	0 ~ 20	0 ~ 20	0 ~ 20	• 재해위험 매우 낮음	• 정기적 안전점검
B	21 ~ 40	21 ~ 40	21 ~ 40	• 재해위험 낮음	• 정기적 안전점검
C	41 ~ 60	41 ~ 60	41 ~ 60	• 재해위험 보통	• 정기적 안전점검 • 필요시 붕괴위험지역 지정·관리
D	61 ~ 80	61 ~ 80	61 ~ 80	• 재해위험 높음	• 정기적 안전점검 • 붕괴위험지역 지정·관리
E	81 이상	81 이상	81 이상	• 재해위험 매우 높음	• 정기적 안전점검 • 붕괴위험지역 지정·관리 • 필요시 응급조치

2) 시민불편도

재해발생지역의 재해가 시민생활에 불편을 미치는 정도를 기준으로 다음과 같이 등급화 한다.

〈표 7-8〉 시민불편도 등급

유 형	내용
가	주거밀집지역(피해면적 또는 피해예상 면적중 건축물면적이 차지하는 비율이 30% 이상, 또는 가구수(건축물 수) 30가구 이상인 지구)
나	취락지역(피해면적 또는 피해예상 면적중 건축물면적이 차지하는 비율이 20~30%미만 또는 가구수(건축물 수) 20가구 이상인 지역)
다	취락지역(피해면적 또는 피해예상 면적중 상업건물면적이 차지하는 비율이 10~20%미만 또는 가구수(건축물 수) 10가구 이상인 지역)
라	국가 기간시설지역(공업단지, 철도, 간선도로, 통신시설 등이 있는 지역)
마	농경지지역(피해면적 또는 피해예상 면적중 건축물면적이 차지하는 비율이 5% 미만 또는 가구수(건축물 수) 10가구 미만인 지역)

(4) 붕괴위험지역 우선순위 평가

1) 지구별 평가표 작성

타당성 평가 방법의 평가항목별 평가기준 및 배점기준에 따라 지구별 평가점수를 산정한 후 평가표를 시·군·구에서 작성하여 보관한다.

지구별 평가표를 활용하여 시·군·구별 전체 붕괴위험지역에 대한 우선순위 평가표를 시·군·구 및 시·도에서 각각 작성한다(작성예시2).

2) 동일점수시 우선순위 결정

"재해위험도 평가결과 〉 시민불편도"의 순으로 우선순위를 조정하며, 기본평가 순위를 활용하여 부가적 평가를 실시한 결과 동일한 순위가 나오는 경우 기본평가 점수가 높은 순위를 선순위로 조정한다.

3) 우선순위 결정 방법

① 기본평가 항목의 배점 기준에 따라 평가점수를 각각 부여한 후, 기본 평가 항목의 점수를 합산하여 평가점수가 높은 순으로 기본평가 우선순위를 결정한다.

〈표 7-9〉 기본평가 우선순위 결정 (예)

일련번호	지구명	기본항목 평가(50%)						부가적 항목 평가(50%)		
		재해위험도 (50점)		시민불편도 (50점)		종합 평점	기본평가 우선순위	정책성	지속성	계획성
		등급	득점	유형	득점					
	〈예시〉									
2	○○지구	D	40	가	50	90	1	0	0	0

② 부가적 평가항목인 정책성·지속성에 대한 평가 실시

- 부가적 평가를 하는 이유 : 기본평가 결과만을 가지고 투자 우선순위를 결정할 경우 발생할 수 있는 경직성을 보완하기 위하여 정책성, 지속성, 계획성의 부가적 평가를 실시하여 투자우선 순위를 합리적으로 조정할 수 있도록 함
- 지속성에 대한 점수부여 : 사업추진에 따른 민원발생이 없고 사업추진에 따른 지역주민의 호응도(선호도)가 좋은 경우 1점, 상대적으로 그렇지 않다고 판단되는 경우 0점을 부여
- 정책성에 대한 점수부여 : 예산확보 가능성이 높고 자치단체의 입장에서 사업추진이 시급히 필요한 지역은 1점, 상대적으로 그렇지 않다면 0점을 부여
- 추진가능성 계산 = 정책성 × 지속성 = 0 또는 1로 표시

③ 추진 가능성에 의한 우선순위 조정

- 추진가능성의 평가 점수가 1이면 기본평가 순위보다 1단계 순위를 앞당기고, 0이면 기본평가 순위보다 1단계 후 순위로 조정

〈표 7-10〉 추진가능성에 의한 우선순위 조정

지구명	기본항목평가(100점)		부가적(정책적) 평가에 의한 순위조정						최종 투자 우선 순위	비고
	종합평점	기본평가 우선순위	정책성	지속성	추진가능성 (정책성×지속성)	계획성	추진 가능성에 의한 조정	계획성에 의한 조정		
○○ 지구	90	3	1	1	1	0	2	3	3	
○○ 지구	90	2	0	1	0	1	3	2	2	
○○ 지구	70	5	1	1	1	0	4	5	5	
○○ 지구	70	4	1	1	1	1	3	2	4	
○○ 지구	50	6	1	1	1	1	5	4	6	
○○ 지구	100	1	0	0	0	1	2	1	1	

④ 계획성에 대한 점수 부여

- 붕괴위험지역 정비 중기계획, 사업실시계획 수립 및 실시설계 완료 등 선행계획이 수립되어 정비사업을 신속하게 추진할 수 있거나, 별도의 관련 계획수립이 필요하지 않은 경우 1점, 그렇지 못할 경우 0점을 부여

⑤ 계획성에 의한 우선순위 조정

- 추진 가능성에 의한 조정결과를 갖고 계획성의 평가 점수가 1이면 추진 가능성의 조정결과 순위에서 1단계 순위를 앞당기고, 0이면 1단계 후 순위로 조정

〈표 7-11〉 계획성에 의한 우선순위 조정

지구명	기본항목평가(100점)		부가적(정책적) 평가에 의한 순위조정						최종 투자 우선 순위	비고
	종합평점	기본평가 우선순위	정책성	지속성	추진가능성 (정책성×지속성)	계획성	추진 가능성에 의한 조정	계획성에 의한 조정		
○○ 지구	90	3	1	1	1	0	2	3	3	
○○ 지구	90	2	0	1	0	1	3	2	2	
○○ 지구	70	5	1	1	1	0	4	5	5	
○○ 지구	70	4	1	1	1	1	3	2	4	
○○ 지구	50	6	1	1	1	1	5	4	6	
○○ 지구	100	1	0	0	0	1	2	1	1	

⑥ 최종 우선순위 확정

- 계획성에 의한 조정 결과 동일 순위가 나오는 경우 기본평가 점수가 높은 지구를 선순위로 조정하여 최종 우선순위를 확정
- 시·군·구 자치단체별 확정한 최종 우선 순위는 광역 시·도에서 우선순위를 선정할 때 시·군·구에서 최종 확정한 우선순위를 반영하여 우선순위를 선정

〈표 7-12〉 우선순위 작성 예

지구명	기본항목평가(100점)						부가적(정책적) 평가에 의한 순위조정						최종 투자 우선 순위	비고
	재해위험도		시민불편도		종합 평점	기본 평가 우선 순위	정책성	지속성	추진 가능성 (정책성×지속성)	계획성	추진 가능성에 의한 조정	계획성에 의한 조정		
	등급	득점 50점	등급	득점 50점										
○○ 지구	D	40	가	50	90	3	1	1	1	0	2	3	3	
○○ 지구	E	50	나	40	90	2	0	1	0	1	3	2	2	
○○ 지구	D	40	다	30	70	5	1	1	1	0	4	5	5	
○○ 지구	E	50	라	20	70	4	1	1	1	1	3	2	4	
○○ 지구	D	40	마	10	50	6	1	1	1	1	5	4	6	
○○ 지구	E	50	가	50	100	1	0	0	0	1	2	1	1	
						①		②	③	④	⑤	⑥	⑦	

①	기본평가 항목의 종합점수 순으로 우선순위를 정한다
②	정책성과 지속성에 대한 점수를 부여한다. - 정책성 : 예산확보 가능성 높고 추진의지 높은지구(1점) - 지속성 : 민원발생 없고 주민호응도가 좋은지구(1점)
③	추진 가능성 계산 추진가능성 = 정책성×지속성
④	계획성에 대한 점수를 부여한다. - 계획성 : 관련계획이 선행적으로 수립되어 있으면(1점)
⑤	추진 가능성에 의한 우선순위 조정 - 기본평가 우선순위에서 추진가능성이 1이면 우선순위를 한단계 앞당기고, 0이면 한단계 후순위로 밀린다.
⑥	계획성에 우선순위를 상기와 같은 방법으로 조정한다
⑦	최종 투자우선순위 정한다. - 계획성에 의한 조정결과 동일 순위인 경우 기본평가 점수가 높은 지구를 선순위로 정한다.

7.3.4 정비 중기계획 사례

정비 중기계획은 계략적인 공법, 예산 및 우선순위를 포함한 5개년 계획 자료로서 그 사례는 다음과 같다.

시·도	시·군·구	읍면동	지번	지구명	공공/사유	관리주체		재해위험도 평가등급	재해위험도 평가점수	용도	구조	유형	가구	거주인구
										(주택, 아파트, 공장, 기타)	(암반, 토사, 옹벽, 석축, 복합)	(자연, 인공)	(세대수)	(명)
관리기관	소유자, 점유자													
총계	5													
00도	00시	00면	00번지	00 (0000)	공공	00시		D	66	도로	토사	인공	0	0
00도	00시	00면	00번지	00 (0000)	사유	00시		D	63	주택, 기타	암반+토사	자연	1	1
00도	00시	00면	00번지	00 (0000)	공공	00시		C	59	도로	암반	인공	0	0
00도	00시	00면	00번지	00 (0000)	공공	00시		C	57	기타	암반	자연	8	15
00도	00시	00면	00번지	00 (0000)	공공	00시		D	63	도로	암반	인공	0	0

붕괴위험지역 지정일	붕괴위험지역 해제일	구분1 (완료/예정)	구분2 (기존/신규)	구분3 (신규/계속/마무리)	지정면적 (㎡)	사업량			
						보수보강 방법 (주요공종)	연장 (m)	높이 (m)	
20151231	미해제	예정	기존		1,600	보강공법 (식재공)	80	8	•••
20151231	미해제	예정	기존		1,300	가옥1동 이주	70	20	
20151231	미해제	예정	기존		3,900	보강공법(옹벽)	70	10	
20151231	미해제	예정	기존		2,300	보강공법(식재공)	120	8	
20151231	미해제	완료	기존		2000	보강공법(옹벽)	200	40	

연차별 사업비 투자 실적 및 계획(백만원)												
합계=총사업비(백만원)					2025년(백만원)				2026년 이후(백만원)			
총계	계	국 비	지방비	기타	소계	국 비	지방비	기타	소계	국 비	지방비	기타
2,730.0	765.0	382.5	382.5	1,965.0	100.0	50.0	50.0		204.0	102.0	102.0	
98.0	98.0	49.0	49.0									
362.0	297.0	148.5	148.5	65.0								
66.0	66.0	33.0	33.0									
100.0	100.0	50.0	50.0		100.0	50.0	50.0					
2,104.0	204.0	102.0	102.0	1,900.0					204.0	102.0	102.0	

※ 작성요령

1. 시·도~높이 열 : 빈칸 없이 모두 채워서 작성. 단, Q열은 해당하는 지구만 작성
2. 구분1(완료/예정)열 : '21년까지 예산 투입이 완료된 지구는 "완료", 그외 지구는 "예정" 입력
3. 구분2(기존/신규)열 : 당초 중기계획('21~'25년)에 포함된 지구 "기존", 추가 지정(예정)된 지구는 "신규" 입력
4. 구분3(신규/계속/마무리)열 : '22년 사업 예산(안) 통보된 지구에 한해서 "신규", "계속", "마무리"로 구분하여 입력
5. 2022년~2026년 열 : 국비는 행정안전부에서 교부한 국비만 입력(타부처 국비 입력 금지), 지방비는 국비 매칭 지방비만 입력, 타부처 국비 또는 자체예산을 투입한 추가 지방비는 기타에 입력

7.4 정비 실시계획 수립

관리기관은 수립된 중기계획을 기초로 대통령령으로 정하는 바에 따라 매년 정비사업 실시계획을 관계행정기관의 장과 협의를 거쳐 수립하고 이를 고시하여야 한다. 이를 변경하는 때에도 또한 같다.

관리기관이 정비사업 실시계획을 수립함에 있어서 붕괴위험지역에 인접한 지역으로부터 흙과 돌 등의 유출 및 산사태 등으로 붕괴위험지역에 피해가 우려되는 때에는 그 인접한 지역에 대한 피해방지 사업을 포함하여 수립할 수 있다.

7.4.1 실시계획 절차

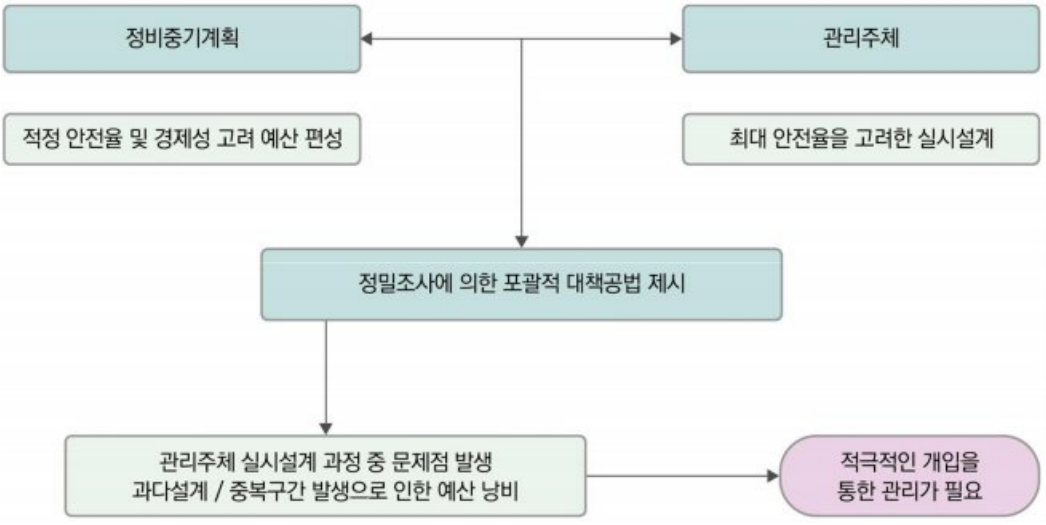
(1) 실시설계서 검토의 필요성

실시계획 시에는 정비중기계획을 통해 수립된 대책안과 실시설계안이 일치하고 있는지를 검토하고, 정비중기계획 대책안의 현장 적용성 여부를 판단하여 효율적인 시공이 이루어질 수 있도록 한다.

실시계획은 현장의 여건을 충분히 고려하고 비탈면 전문가의 의견을 반영하여 최적의 대책공법을 적용하여야 한다.

대책공법을 적용함에 있어 다음의 경우에는 예산의 절감을 위해 충분한 검토가 요구된다.

- 대책공법 적용구간의 임의 확장으로 인한 물량의 과도한 증가
- 정밀측량에 따른 예상물량의 차이
- 원자재가격상승에 따른 공사비 증가
- 실시설계 과정 중 임의적인 물성치 변경으로 과대 설계 시행
- 다양한 기타 사업 등으로 인한 중복관리
- 사유지 보상문제 및 시공성(도로통제, 공사차량의 진입 등)의 문제로 인한 공사비 증가

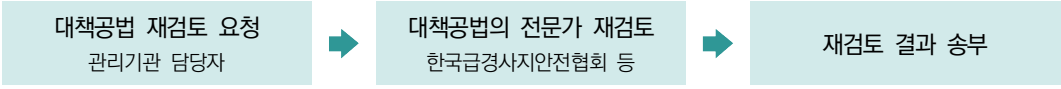


〈그림 7-3〉 급경사지 실시설계 시 검토의 필요성

(2) 실시설계서 검토의 진행과정

각 급경사지의 실시설계서에 대하여 관리주체(지자체 등) 담당자, 실시설계업체와의 직접적 면담으로 도서 및 설계도에 대한 내용을 다음과 같이 내용에 대해 검토한다.

- 현장 여건을 고려하지 못한 설계안에 대한 검토
- 상이한 설계 내용에 대한 검토
- 사업비의 증·감이 20% 이상 발생한 현장에 대한 검토
- 정비중기계획 시 대책안이 실시설계 과정 중에 변경된 현장 검토
- 현장여건을 고려하지 못한 설계, 상이한 설계 내용에 대한 지적 및 수정사항을 직접 지시하고, 이를 문서로 기록



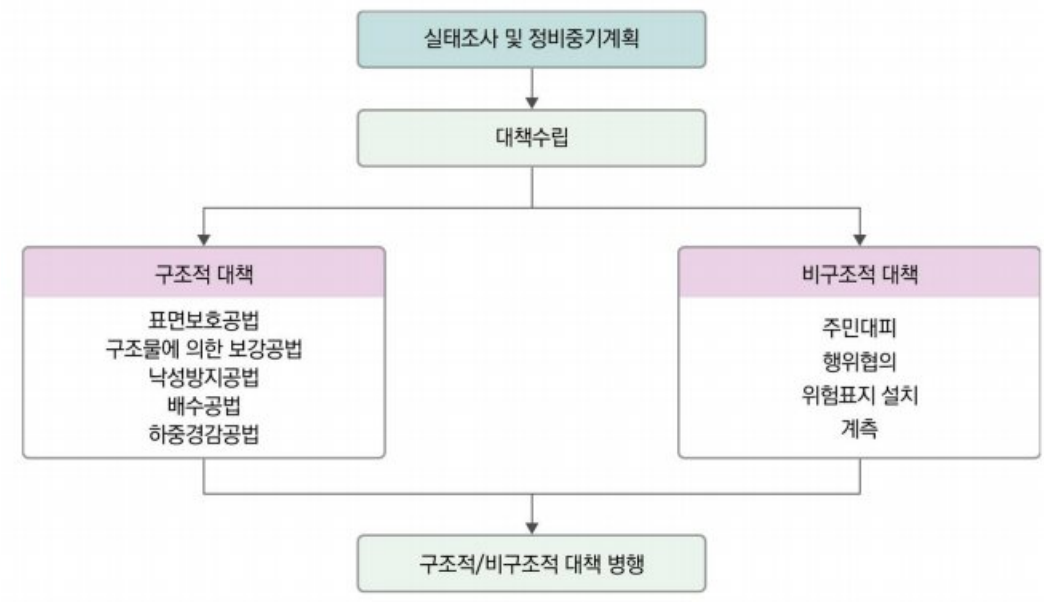
〈그림 7-4〉 실시설계서 검토 프로세스

7.4.2 구조 및 비구조 세부계획 수립

(1) 구조적 대책의 수립

관련 정비계획에 따라 표면보호공법이나 구조물에 의한 보강공법, 배수공법 등 구조적인

안정성을 확보할 수 있는 보수·보강 등의 구조적인 대책을 수립하여야 한다. 구조적인 급경사지 대책공법은 현재 허용안전율을 확보하고 있으나 향후 안전율의 감소를 방지하기 위한 보호공법과 활동에 대한 저항력을 증가시키거나 활동력을 감소시켜 허용안전율을 확보하는 보강공법으로 나눌 수 있다.



〈그림 7-5〉 대책 수립을 위한 대안

(2) 비구조적 대책의 수립

비구조적 대책은 관계 행정기관이 붕괴위험지역에서 면허·승인·해제·결정·동의·협의 등을 하고자 하는 때에는 행위협의를 신청하고 협의 의견 제시와 조치결과의 통보 절차를 통한 행위협의와 위험지역을 알리는 위험표지의 설치 그리고 급경사지 상시계측을 통해 지반변위 등을 원격으로 측정하고 측정결과를 실시간으로 관리자에게 통보하여 붕괴위험징후를 사전에 감지하여 응급조치를 도모함으로써 피해를 예방 또는 최소화하는 계측과 지역특성을 반영하여 적정한 주민대피 관리기준을 설정·운영하는 방안 등을 포함한다.

7.4.3 정비 실시계획 사례

정비 실시계획은 실시설계도서를 포함한 사업계획 자료로서 그 사례는 다음과 같다.

『00지구 급경사지 정비사업』

실 시 계 획

2000. 00.

0 0 시

1. 위 치 도

※ 위치도 첨부

2. 사 업 계 획 서

1. 사 업 명

○ 00지구 급경사지붕괴위험지역 정비사업

2. 사업목적

○ 본 사업은 00시 00지구 급경사지 붕괴위험지역 사면에 대해 향후 발생 가능한 붕괴 등에 따른 피해를 사전에 예방하며 효율적인 보수, 보강 대책 및 유지관리 방안을 제안하여 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다.

3. 사업시행자

○ 00시

4. 사업위치

○ 000도 00시 00면 00리 지내

5. 사업기간

○ 2000년 0월 0일 ~ 2000년 0월 0일

6. 사업개요

○ 급경사지붕괴위험지구(00지구) : L = 42.4m
○ 주요 공사량.
1) 비탈면보호공 - 영구앵커 : N = 150공
- 네 일 : N = 175공
- 수평배수공 : N=9공
- 절토사면녹화 : A = 369㎡
2) 구조물공 - 계단식옹벽공(10단) : L=31m
- 기대기옹벽공 : L = 35m
3) 부 대 공 - 기 타 1 식

7. 자금계획서

(단위 : 천원)

구 분	금 액	구 성 비	비 고
도급예정액	577,880	82.9%	
관급자재대	119,120	17.1%	
계	697,000	100.0%	

8. 편입토지현황

○ 필지별 편입토지 현황 (단위 : 필지수,㎡)

구 분	계		국유지		공유지		사유지		비 고
	필지	면적	필지	면적	필지	면적	필지	면적	
임	2	2,195	1	1,124	-	-	1	1,071	
합 계	2	2,195	1	1,124	-	-	1	1,071	

9. 피해방지 계획서

1. 공사중 피해예방 대책
- 본 공사 시 사업 구간 내 피해가 예상되는 지점에는 비산먼지가 날리지 않도록하고 공사안내 표지판, 안전관리 표시 등을 설치하겠음
- 본 토지의 토석유출시 인근 주택가 전·답·도로 등으로 토선이 유입되지 않도록 하며, 유입시에는 즉시 회수 하겠음
- 다량의 토사운반은 우기를 피해 시행하겠음
- 계획지내 임시배수로를 설치하여 주변으로의 토사유입을 방지하도록 하겠음

- 현장에서 유출되는 토석의 이동시 발생되는 비산먼지의 발생을 극소화하는 방안으로 수시로 살수 등을 하겠음
- 본 공사와 관련 공공도로 통행차량은 필히 방지덮개를 부착하고 운행토록 하게음

2. 기타 시공 중 예측치 못한 피해에 대비하여 현장대리인을 현장에 상주시켜 안전관리에 만전을 기하겠음

3. 상기사항 이외에도 피해방지 등이 필요하다고 인정될 경우 적절한 조치를 취하겠음

4. 토공사중 토사유출 및 붕괴 등의 예상시 방지계획
   - 토공사는 예정공정표 작성시 장마기간을 피하도록하고 가급적 우기를 피하여 공사시행을 하겠으며, 호우 또는 장마기간을 대비하여 가배수로설치, 비탈면 비닐덮기, 배수구역별 침사지 설치 등으로 토사가 유출되지 않도록 하겠음
   - 주요 배수시설 및 본 공사준공이 되기전까지는 가배수로 및 침사지 등을 항시 점검하고 효율적인 배수를 위하여 주기적으로 준설을 하겠음
   - 주요 배수시설물은 우기를 대비하여 선시행이 될 수 있도록 하며, 절토사면은 사면처리계획에 의거하여 사면을 안정화하고, 사면 시작과 끝에는 측구를 설치하여 우수 유입으로 인한 침식을 방지하겠음

5. 사토처리계획
   - 금회 공사로 발생된 토사 19㎥는 본 공사장에서 현장깔고 고르기로 사용할 예정이며, 토공사는 계획도면과 공사시방서에 따라 시행함으로써 환경적 영향을 최소화시킴과 동시에 구조적인 안정화를 도모토록 함

6. 기타 관계기관의 요구사항이 발생 시 대책
   - 당 현장의 공사 시행시 기타 관계기관 등을 통해 발생한 민원건에 대해서는 충분한 협의를 거친 후 의견을 최대한 수렴하여 조치하겠음

3. 실시계획인가신청서

실 시 계 획 인 가 신 청 서

접수번호	접수일	처리기간 2개월

신청인	성명 00 시 장	생년월일
	주소 00도 00시 00로 00(00동 000-3) (전화번호:000-000-0000)	
	법인명 00시	법인등록번호
	소재지 00도 00시 00로 00(00동 000-3) (전화번호:000-000-0000)	

신청내용								
사업명칭	0 0 0 지구 급경사지붕괴위험지역 정비사업							
사업목적	본 사업은 00시 00지구 사면에 대해 현 상태 및 지층특성 파악을 위한 현장조사와 수집자료 분석, 안정해석 등을 통해 안정성을 평가하고, 현재 도로에 향후 발생 가능한 붕괴 등에 따른 피해를 사전에 예방하며 효율적인 보수, 보강 대책 및 유지관리 방안을 제안하여 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다.							
사업위치	00도 00시 00로 00			사업면적		2,195㎡		
시행방법	도급 + 관급			시행기간		2016. 6. ~ 2018. 3		
토지이용현황(㎡)	지목별	계	임					
	면적	2,195	2,195					
토지이용계획(㎡)	용도별	계	임업용산지					
	면적	7,462	7,462					
기반시설계획	시설별							
	개요							

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제13조 제1항 및 같은 법 시행령 제7조의 규정에 따라 위와 같이 인가를 신청합니다.

2000년 0 월 일

신청인 0 0 시 (서명 또는 인)

0 0 시 장 귀하

4. 설계 내역서

※ 실시설계내역서 첨부

5. 수용 또는 사용할토지 조서

수용 또는 사용할 토지집계표

○ 00 00시 00면 00리

단위 : 필지/면적(㎡)

구 분	계			국 유 지			공 유 지			사 유 지			비 고
	필지	/	면적(㎡)	필지	/	면적(㎡)	필지	/	면적(㎡)	필지	/	면적(㎡)	
계	**2**	**/**	**2,195**	**1**	**/**	**1,124**	**-**	**/**	**-**	**1**	**/**	**1,071**	
임	2	/	2,195	1	/	1,124	-	/	-	1	/	1,071	

수용 또는 사용할 토지조서

○ 경북 상주시 화북면 상오리

일련번호	소재지			지 번	지목	지적(㎡)	편입면적(㎡)	소유자		소유권 이외의 권리	비고
	시군	읍면	리동					성명	주소		
1	00	00	00	산10	임	53,026	1,071	000 외 5인	서울시 강남구 00로 000번지 301호		
2	00	00	00	산10-1	임	21,878	1,124		국(00시)		
계						74,904	2,195				

6. 설계도

※ 실시설계도면 첨부

7. 편 입 용 지 도

※ 편입용지도 첨부

7.5 사유지 급경사지 붕괴위험지역 정비

인명·재산 피해 우려가 높은 급경사지는 해당 토지의 소유자·점유자 또는 관리인(이하 "관계인"이라 한다) 정비하는 것을 원칙으로 하되, 자력으로 정비가 불가능하거나 관리주체를 특정하기 어려운 경우 시장·군수·구청장이 정비사업을 추진할 수 있다.

관계인이 정비사업을 추진하기 어려운 경우, 시장·군수·구청장은 '재해위험도 평가', '안전점검', '정밀조사' 결과 등을 통해 관계인에게 위험성을 안내하고, 비구조대책(계측, 주민대피, 이주 등) 등의 안전조치를 검토하여야 한다.

- 사업추진 절차

급경사지 실태조사 (전문가 참여)	급경사지 붕괴위험지역 지정고시	정비계획(5년마다) 및 연도별 사업계획 수립	예산확보 및 보조 (국비·지방비)	설계검토 (전문가 검토)	사업시행
(시장·군수·구청장, 시·도, 행정안전부)	(시장·군수·구청장)	(시장·군수·구청장)	(행정안전부, 자치단체)	(행정안전부, 시·도)	(자치단체)

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 8 장

급경사지 구조적 대책

8.1 개요

8.2 공법 선정

8.3 급경사지 안정해석 방법

8.4 보수·보강공법

8.5 공법적용시 유의사항

8.6 방재신기술

제8장 급경사지 구조적 대책

8.1 개요

급경사지가 구조적인 안전성과 기능을 유지하기 위해서는 불안정요소가 발생하는 경우 적절한 조치와 대책을 취하여야 한다. 본 실무편람에서는 급경사지 구조적 대책을 보수와 보강으로 구분하며, 정의는 다음과 같다.

- 보수 : 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책으로, 일상적인 손실 즉 유지로는 감당치 못할 정도로 크게 변상된 비탈면과 그 시설을 수리를 통해 기능 또는 내구성을 설계시의 목적대로 회복시키기 위한 작업
- 보강 : 부재나 구조물의 내하력과 강성 등의 역학적인 성능을 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책으로, 비탈면과 그 시설을 보수하는데 있어서 원래 기능 이상으로 기능향상을 꾀하거나, 적극적으로 기능향상을 목적으로 행하는 작업

대책공법 보호공법과 보강공법으로 구분하며, 정의는 다음과 같다.

- 보호공법 : 대표적인 비탈면 보호공법으로는 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 비탈면 녹화, 배수시설 등이 있음
- 보강공법 : 대표적인 보강공법으로는 앵커, 옹벽, 축대 등이 있음

8.2 공법 선정

급경사지에 대한 보수와 보강공법은 정밀조사, 안정성 해석평가에 따른 붕괴 가능성, 붕괴 규모 등에 따라 선정하여야 하며, 예상 피해 정도, 시공성, 경제성 등 모든 상황을 고려하여 최종적으로 가장 적합한 대책공법을 선정하여야 한다.

보수공법을 적용하기 위하여는 급경사지에 대한 상태평가를 실시하고 결과에 따라서 적절한 공법을 설정한다. 보강을 위해서는 상태평가 이외에도 안정성을 평가하고 안전율을 확보하는 것을 목표로 하여 급경사지를 상세히 조사하고 최적의 공법을 결정한다. 발생된 결함의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수 · 보강 방법 및 수준을 정한다.

공법 선정시에는 급경사지의 상태에 따라 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등 다각도로 검토가 되어야 한다. 특히, 붕괴된 급경사지에 대한 대책 마련시에는 붕괴 원인에 대한 충분한 검토와 대책방안이 제시되어야 한다.

대부분의 급경사지는 산지와 비탈지에서 발생되므로 시공성에 대한 검토가 이루어져야 한다. 장소가 협소하여 큰 규모의 장비 및 자재의 접근이 제한적이므로 장비 및 자재 진입조건 등 현장 여건을 고려하여 적정한 보수보강공법을 선정하여야 하며 다음과 같은 여건을 충분히 검토하여야 한다.

- 급경사지의 예상붕괴형태, 규모 등 검토
- 급경사지 지반 및 주변 조건 검토
- 주변 교통상황 및 생활환경민원 검토
- 장비 진입 등 시공상의 제약을 고려한 검토
- 경제성 및 내구성 검토
- 주변환경과의 조화 및 영향검토
- 사후 유지관리영향 검토

8.2.1 보수·보강의 필요성 판단

급경사지 붕괴사고를 예방하기 위해서는 적절한 점검과 점검 결과에 따른 조치가 이루어져야 한다. 평상시에 육안검사를 통하여 급경사지의 이완규모, 배수시설, 급경사지 및 시설물의 변형유무를 확인하고 이상이 있는 경우 다음과 같이 적절한 조치를 취하여야 한다.

(1) 일상조치 : 붕괴사고를 예방하기 위해 실시하는 간단한 조치
(2) 응급조치 : 안정에 중대한 위험이 발생할 가능성이 있을 경우로서, 임시적으로 긴급하게 보수나 보강을 실시하여야 하는 조치
(3) 보수·보강 조치 : 안정성을 확보하기 위해 일부 또는 전체를 보수·보강하여 안정성을 확보하는 조치

보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 지침, 세부지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다. 보강의 경우는 부재안전율을 만족하는 상태에 달하기까지 부재단면 및 보강물량 등을 증가하여 판단한다.

8.2.2 보수·보강 수준의 결정

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

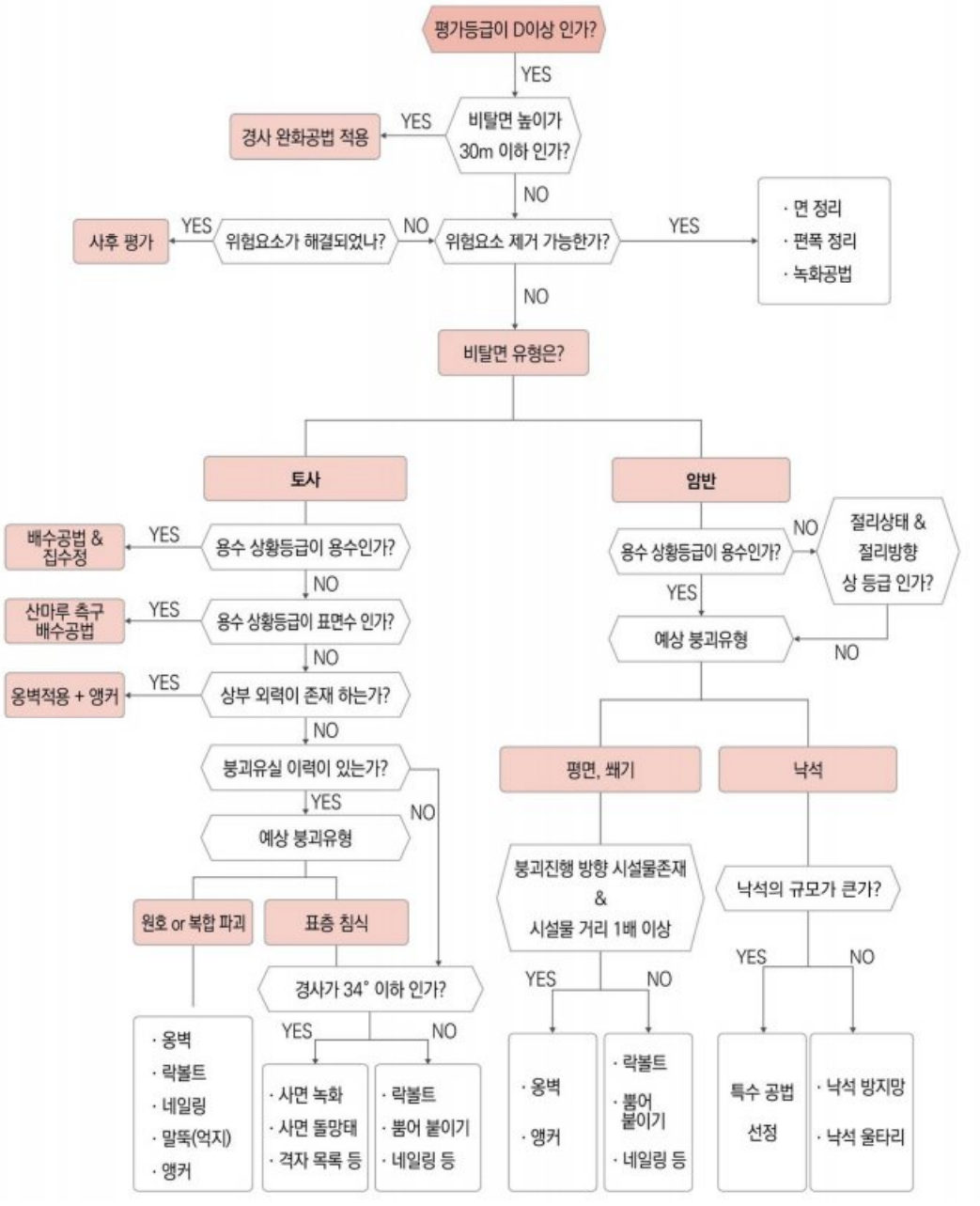
- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준 이상으로 개선
- 재시공

8.2.3 유형별 대책공법의 분류

급경사지에 관한 전문지식의 이해와 토목공학적, 지질학적, 암반공학적 경험지식이 부족한 실무진들의 이해향상을 위해 재해위험도 평가표 내 평가항목과 지표를 기준으로 급경사지 유형을 토사와 암반으로 구분하여 대책공법을 개략적으로 분류하였다.

대책공법의 개략적인 분류는 재해위험도 평가등급, 비탈면의 유형(토사, 암반), 비탈면 높이, 경사, 용수 상황, 절리 상태와 방향, 붕괴·유실 이력, 붕괴 진행 방향 시설물 존재 유무,

시설물과의 거리 등을 기준으로 작성되었다. 대책공법 분류는 실무진의 대책공법 적용에 대한 이해를 향상시키는 목적으로 분류하였으며 실시설계를 통한 공학적이고 구체적인 대책공법 적용의 대안으로 사용할 수는 없다.



〈그림 8-1〉 재해위험도평가 항목을 적용한 대책공법 분류

8.3 급경사지 안정해석 방법

8.3.1 개요

급경사지는 콘크리트나 인공적인 부재 등 건설재료와는 달리 오랜 세월 동안 지각활동, 풍화와 퇴적, 고결작용을 거쳐 형성된 산물이므로 지역별, 지점별, 위치별로 매우 다양한 지반공학적 특성을 가진다. 그 변화는 무척 심하기도 하여 하나의 급경사지 내에서 짧은 구간 사이에서 그 특성이 급격하게 바뀌는 경우도 있다. 그럼에도 불구하고 급경사지의 평가를 위하여 정량적인 수치 결과가 필요한 경우가 발생하게 되는데 이를 위해 급경사지에 대한 안정해석이 요구된다. 실제 급경사지에 대한 안정해석에서는 복잡한 지반에 대한 제한된 조사 결과만을 가지고 지반을 단순화시키고 이론식을 활용하여 안정성을 검토하게 되므로 이러한 안정해석 결과가 정확하다고 말할 수는 없다. 따라서 안정해석 결과만으로 급경사지의 안정성을 판단하는 것은 현실적으로 맞지 않고, 현장의 상태를 최대한 고려한 대책방안이 강구되어야 한다. 여기서는 급경사지 안정해석 방법에 대한 기술을 위하여 지반강도정수를 산정하는 방법에 대하여 안내하고, 비탈면에서 주로 사용되는 안정해석법과 암반분류에 의한 평가 방법 등을 소개하고자 한다.

8.3.2 지반강도정수 산정 방법

급경사지를 구성하는 지층의 전단강도는 반드시 전단응력보다 커야 안정성을 유지한다. 전단강도 감소의 이유로는 간극수압의 증가 즉 유효응력의 감소이며, 이것이 전단응력보다 작아지면 불안정을 초래할 수 있다. 비탈면의 구성하는 재료는 풍화가 진행됨에 따라 강도가 작아진다. 이때 풍화과정에서 물리적·화학적·생물학적 등 과정에 의해 진행된다. 그 밖에 비탈면의 균열 등은 비탈면의 인장강도보다 크게 인장력을 받기 때문에 균열면에서의 강도는 낮으므로 비탈면의 불안정을 유발시킬 수 있다.

지반의 응력조건을 변화시키는 요인은 자연 상태의 비교적 안정된 산지를 대상으로 깎기를 통한 지반응력의 변화, 외적요인으로는 집중강우나 유수의 침투 등에 의한 원지반강도의 저하, 간극수압의 증대, 인근지역 깎기·쌓기 등에 의한 응력 조건의 변화, 지진 등을 들 수 있다. 급경사지에 대한 정밀조사를 통하여 주변지형과의 연관성, 지질상태, 풍화정도, 불연속면의 방향 및 특성, 지하수 및 지표수의 거동 등 안정성 평가를 위한 모든 자료를 수집하게 된다.

특히, 자연비탈면의 절취를 통해 형성된 깎기비탈면은 자연을 기반으로 하는 대상물이므로 구간에 따라 불균질한 특성을 가지고 있다. 이러한 지반정보의 불확실성을 정량적으로 표현하기 위하여 관련 문헌의 제시 값들을 참조하거나 시료 채취에 의한 실내시험, 경험적 상관 관계식, 현장시험 등의 다양한 강도정수 결정 기법들이 적용되고 있다.

안정성해석은 파괴를 일으키려는 힘과 저지하려는 저항력의 상관관계에서 이루어진다. 즉, 깎기비탈면 전체의 안전율은 파괴면에 걸쳐 발생되는 전단강도와 전단응력의 비로 구할 수 있다. 깎기비탈면 안정성과 가장 관련있는 역학적 특성은 암반 및 토체의 내부마찰각, 점착강도(점착력) 및 단위중량이다. 특히, 점착력(c, cohesion) 및 내부마찰각(ø, friction angle)을 강도정수(strength parameter)라 하며, 전단응력과 수직응력의 관계에서 다음 식 (8.1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \tag{8.1}$$

과대한 지반강도정수를 적용한 안정성 해석결과로 조성되는 지반구조물은 실질적인 안정성 확보가 미미하여 향후 재해를 일으킬 가능성이 높으며, 과소한 지반강도정수값을 적용할 경우는 비경제적인 설계를 유발할 수 있다. 따라서 적절한 강도정수의 산정은 설계의 신뢰성을 좌우하는 매우 중요한 항목이다. 일반적으로 암석의 강도는 삼축압축실험, 전단강도실험에 의해서 결정되지만 대부분의 실험은 비교적 상태가 양호한 암석을 대상으로 실시하게 됨으로서 깎기비탈면의 전체적인 지반상태에 비해 보다 양호한 강도정수 값이 도출되게 된다. 이는 강도정수 도출을 위한 실험의 한계성을 지적하는 것으로 이러한 문제점을 해소하기 위한 많은 이론들이 제시되고 있다. 급경사지 안정성 해석을 위한 지반강도정수의 결정은 매우 어려운 과정 중에 하나로서 관련 연구문헌을 충분히 고찰할 필요성이 있다. 점착력 및 내부마찰각을 도출하기 위하여는 주변 지역의 기 발간된 문헌자료, 실내시험(전단시험 및 삼축압축시험), 현장시험(현장 원위치시험, 슈미트해머 테스트 등), RMR(Rock Mass Rating, Bieniawski, 1976)과 같은 기존의 경험식을 이용하여 지반분류를 실시하고, 지반등급별로 물성값을 산출하는 방법 등을 주로 사용하고 있다.

1) 문헌 및 경험식

(가) 문헌

암반은 일반적으로 심도에 따른 공학적인 분류상 풍화기준면을 중심으로 리핑암(풍화암)과 발파암으로 나누고, 발파암은 연암, 보통연암, 경암으로 세분한다. 토사의 경우는 통일분류법에 의해 분류된 지반상태에 따라 그 토질정수를 확인할 수 있다. 기존문헌 등에 보고된 지반 특성별 강도정수 값과 범위는 매우 다양하며 이들에 대한 주요 문헌 제안값은 〈표 8-1〉~〈표 8-10〉과 같다.

〈표 8-1〉 통일분류법에 의한 사질토 특성표 (Hunt, 1984)

흙의 종류	다짐도	Dr, %	N*	γdry (gf/cm^3)	간극비 e	내부 마찰각 ϕ
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	〈28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	〈20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	〈15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	〈10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	〈8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우 세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	〈4	1.35	1.00	27

〈표 8-2〉 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질 정수

종 류		상 태		단위중량 (tf/m^2)	내부마찰각 (deg)	점 착 력 (kgf/cm^3)	분류 기호
성토	자갈 및 자갈섞인 모래	다 진 것		2.0	40	0	GW. GP
	모 래	다진것	입도가 좋은것	2.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜것	1.9	30	0	
	사 질 토	다 진 것		1.8	25	0.3 이하	SM, SC
	점 성 토	다 진 것		1.8	15	0.5 이하	ML, CL
자연지반	자 갈	밀실한 것 또는 입도가 좋은것		2.0	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것		1.8	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		2.1	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은 것		1.9	35	0	
	모 래	밀실한 것 또는 입도가 좋은 것		2.0	35	0	SW, SP
		밀실하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것		1.8	30	0	
	사 질 토	밀실한 것		1.9	30	30이하	SM, SC
		밀실하지 않은 것		1.7	25	0	
	점 성 토	단단한 것(손가락으로 세게 눌러 약간 들어감, N = 8~15) 약간 연한것(손가락으로 보통힘으로 어감, N = 4~8) 연한것(손가락으로 쉽게 들어감N=2-4)			25 20 15	50이하 30이하 1.50이하	ML, CL
	점토 및 실트	단단한 것 (손가락으로 세게 눌러 약간 들어감, N = 8~15) 약간 연한것(손가락으로 보통힘으로 들어감, N = 4~8) 연한 것(손가락으로 쉽게 들어감 N=2-4)			20 15 10	50이하 30이하 1.50이하	ML, CH, MH

참고 : 실무자를 위한 토류구조물 설계 실무편람 (과학기술, 1998)

〈표 8-3〉 모래 및 자갈 지반의 내부마찰각(ø) 값 (토질역학, 김상규 등, 2020)

입자의 크기		다져진 상태	내부마찰각(°)	
			둥근입자, 입도 분포 균등	모난 입자, 입도 분포 양호
중간 모래		대단히 느슨 중간정도조밀 대단히 조밀	28 ~ 30 32 ~ 34 35 ~ 38	32 ~ 34 36 ~40 44 ~ 46
모래(S) 및 자갈(G)	65%G-35%S	느 슨 중간정도조밀	- 37	39 41
	80%G-20%S	조 밀 느 슨	- 34	45 -
암 편			40 ~ 55	

〈표 8-4〉 토공 재료의 개략적인 단위중량 (표준품셈)

종 별	형 상	중 량(kgf/m^3)	비 고
암 석	화강암 안산암 사 암 현무암	2,600~2,700 2,300~2,710 2,400~2,790 2,700~3,200	자연상태 “ “ “
자 갈	건 조 습 기 포 화	1,600~1,800 1,700~1,800 1,800~1,900	“ “ “
모 래	건 조 습 기 포 화	1,500~1,700 1,700~1,800 1,800~2,000	“ “ “
점 토	건 조 습 기 포 화	1,200~1,700 1,700~1,800 1,800~1,900	“ “ “
점질토	보 통 역이 섞인 것 역이 섞이고 습한 것	1,500~1,700 1,600~1,800 1,900~2,100	“ “ “
모래질 흙 자갈 섞인 토사 자갈 섞인 모래 호박돌	-	1,700~1,900 1,700~2,000 1,900~2,100 1,800~2,000	“ “ “ “
사 석 조약돌	-	2,000 1,700	“ “

참고 : 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수 (한국도로공사, 2020)

〈표 8-5〉 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위 (지반조사 편람, 서울시, 1996)

지반명	단위중량 (tf/m^3)	점착력 c (t/fm^2)	내부마찰각 (o)	변형계수 D(×103 tf/m^2)	포아송비
풍화토	1.7~2.0	0.0~10.0	25~30	2.0~4.0	0.5
풍화암	2.0~2.20	10.0~30.0	30~35	10.0~20.0	0.3~0.4
연 암	2.3~2.50	30.0~60.0	30~40	20.0~40.0	0.25~0.30
보통암	2.4~2.60	60.0~150.0	35~40	40.0~100.0	0.25
경 암	2.5~2.70	150~200.0	35~45	100.0~400.0	0.2
극경암	2.6~2.70	200~500.0	45~45	400~800.0	0.2

주) : 이 표는 그동안의 지하철 설계적용사례를 기준으로 정리된 것이므로 참고로 사용할 수 있으나, 설계 시는 개별 현장에서 수행된 시험결과를 적용하여야 한다.

〈표 8-6〉 토공 재료의 개략적인 강도정수 (일본 사례)

종 류		재료의 상태		단위체적중량 (t/㎥)	내부마찰각 (°)	점착력 (t/㎡)
흙쌓기	자갈 및 자갈 섞인 모 래	다진 것		2.0	40	0.0
	모 래	다진 것	입도가 좋은 것	2.0	35	0.0
			입도가 나쁜 것	1.9	30	0.0
	사질토	다진 것		1.9	25	3.0 이하
	점성토	다진 것		1.8	15	5.0 이하
자연지반	자 갈	조밀하거나 입도가 좋은 것		2.0	40	0.0
		조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것		1.8	35	0.0
	자갈섞인 모 래	조밀한 것		2.1	40	0.0
		조밀하지 않은 것		1.9	35	0.0
	모 래	조밀하거나 입도가 좋은 것		2.0	35	0.0
		조밀하거나 입도가 나쁜 것		1.8	30	0.0
	사질토	조밀한 것		1.9	30	3.0 이하
		조밀하지 않은 것		1.7	25	0.0
	점성토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		1.8	25	5.0 이하
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		1.7	20	3.0 이하
		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)		1.7	20	1.5 이하
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 세게 눌러 조금 들어감)		1.7	20	5.0 이하
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		1.6	15	3.0 이하
		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)		1.4	10	1.5 이하

참고 : 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수 (한국도로공사, 2020)

〈표 8-7〉 암석에 따른 기본 마찰각의 개략적인 값 (Barton, 1970)

암 석 명	ϕ (o)	암 석 명	ϕ (o)
각 섬 암	32	화강암(조립질)	29~35
현 무 암	31~38	석 회 암	31~35
역 암	35	반 암	33~40
백 악	30	사 암	31
백 운 암	27~31	셰 일	25~35
편마암(편암질)	23~29	미 사 암	27
화강암(세립질)	29~35	점 판 암	27~31

〈표 8-8〉 암반의 강도정수 (한국도로공사, 1996)

암석종류 (강 도)	암반파쇄상태 NX 시추시(BX 시추시)		암반의 전단강도 정수	
	TCR	RQD	ϕ (o)	c (kgf/cm^2)
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	30	1.0
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분 연·경암	20~30% (10~20%)	10~25% (0~5%)	33	1.3
	40~50% (20% 이상)	25~35% (10~25%)	35	1.5
	70% 이상 (50% 이상)	40~50% (30% 이상)	40	2.0

〈표 8-9〉 도로설계편람(Ⅰ)에 제시하는 암반의 주요 물성치(국토교통부)

구 분		육십령	수리, 수암	둔내	용평	대관령	죽령	구리, 현풍 (퇴적암)	평균
경암	γ(tf/m^3)	2.7	2.6	2.62	2.7	2.7	2.68	2.7	2.66
	E(tf/m^3)	1,500,000	2,000,000	2,000,000	800,000	1,450,000	2,000,000	2,000,000	1,800,000
	ν	0.2	0.25	0.17	0.2	0.13	0.2	0.2	0.2
	ϕ	50	50	47	50	50	45	45	50
	c(tf/m^2)	500	500	180	200	290	200	45	300
	KO	0.8	1.0	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.58-0.67 (0.62)	1.0	0.5-1.5	1.0
보통암	γ(tf/m^3)	2.7	-	2.62	2.7	2.7	2.68	2.6	2.65
	E(tf/m^3)	1,000,000	-	300,000	300,000	858,000	1,000,000	750,000	750,000
	ν	0.2	-	0.17	0.2	0.22	0.2	0.2	0.22
	ϕ	45	-	40	50	50	45	40	45
	c(tf/m^2)	300	-	136	200	180	100	35	150
	KO	0.8	-	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.75-0.88 (0.82)	1.0	0.5-1.5	1.0
연암	γ(tf/m^3)	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	2.68	2.5	2.5
	E(tf/m^3)	500,000	80,000	79,000	100,000	300,000	500,000	200,000	300,000
	ν	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	ϕ	40	40	40	45	40	40	35	40
	c(tf/m^2)	100	100	50	100	50	50	25	70
	KO	0.5	0.333	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.77	1.0	0.5-2.5	0.86
풍화암	γ(t/㎥)	2.5	2.5	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.26
	E(t/㎡)	40,000	4,000	35,000	30,000	36,500	100,000	100,000	50,000
	ν	0.3	0.3	0.34	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	ϕ	35	35	36	40	36	35	30	35
	c(t/㎡)	50	30	10	30	10	30	15	25
	KO	0.5	0.43	0.52	0.5	0.43	0.5	0.4-1.5	0.5
풍화토	γ(tf/m^3)	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.89
	E(tf/m^3)	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	2,000
	ν	0.35	0.3	0.35	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35
	ϕ	30	30	30	35	30	30	30	30
	c(tf/m^2)	3	1	-	5	-	5	5	3
	KO	0.43	0.43	0.54	0.5	0.54	0.5	0.5-1.5	0.5
S/C	Soft	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
	Hard	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
R/B	E	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000

참고 : 국토교통부 도로설계편람(Ⅰ)

〈표 8-10〉 충전물을 포함하는 불연속면의 전단강도

암석명	설명	최대강도		잔류강도		시험자
		c' kgf/cm^2	ϕ (o)	c kgf/cm^2	ϕ (o)	
현무암	점토화된 현무암질 각력암, 점도에서 현무암까지의 함유량 변화가 큼	2.4	42			Ruiz, Camargo Midea&Nieble
벤토나이트	백악내의 벤토나이트층 얇은 층상 삼축시험	0.15 0.9~1.2 0.6~1.0	7.2 12~17 9~13			Link Sinclair&Brooker
벤토나이트질 셰일	삼축시험 직접전단시험	0~2.7	8.5~29	0.3	8.5	Sindair&Brooker
점토	과압밀, 미끄러짐면, 절리 및 소규모 전단면	0~1.8	12~18.5	0~0.03	10.5~16	Skempton&Petley
점토셰일	삼축시험	0.6	32			Sindair&Brooker
점토셰일	성층면			0	19~25	Leussink&Muller -Kirchenbauer
협탄층 암석	점토 분쇄암층, 두께 1.0~2.5cm	0.11~0.13	16	0	11~11.5	Stimpon&Walton
백운석	변질된 셰일층, 두께 약 15cm	0.41	14.5	0.22	17	Pigot&Mackenzie
섬록암, 화강섬록암 및 반암	점토충전물 (점토 2%, PI=17%)	0	26.5			Brawner
화강암	점토충전물이 있는 단층 사질토로 된 단층 충전물과 함께 약화됨 구조적 전단대, 편암질 및 파쇄된 화강암 풍화된 암석 및 충전물	0~1.0 0.5 2.42	24~45 40 42			Rocha Nose Evdokimov&Sapegin
경사암	층리면내 1~2mm의 점토			0	21	Dorzd
석회암	6mm의 점토층 1~2cm의 점토 충전물 1mm이하의 점토 충전물	 1.0 0.5~2.0	 13~14 17~21	0	13	Krsmanovic 등 Krsmanovic&Popovic
석회암, 이회암 및 갈탄	층상의 갈탄층 갈탄-이회암 접촉면	0.8 1.0	38 10			Salsa&Uriel
석회암	이회질 절리, 두께 2cm	0	25	0	15~24	Bemaix
갈탄	갈탄과 그하부에 있는 점토사이 층	0.14~0.3	15~17.5			Schultze
몬모릴로나이트 점토	백악내에 있는 8cm의 벤토나이트 (몬모릴로나이트) 점토층	3.6 0.16~0.2	14 7~11	0.8	11	Eurenirs Underwood
편암, 규암 및 규산질편암	10~15cm 두께의 점토 충전물 얇은 점토를 가진 성층구조 두꺼운 점토를 가진 성층구조	0.3~0.8 6.1~7.4 3.8	32 41 31			Serafim&Guerreiro
점판암	세밀한 판상 및 변질상태	0.5	33			Coates McRorie& Stubbins
석영/고령토/연망간석	혼합시료에 대한 삼축시험	0.42~0.9	36~38			

참고 : E. Hoek & J.W. Bray, 1974. Rock Slope Engineering

(나) 경험식

급경사지의 안정성 해석에 있어서 현장에서 암석 시료를 채취하여 실내시험을 실시하여야 하나, 현장 특성상 시료의 선택, 연약 시료 채취의 어려움 등의 한계성을 극복하기 위하여 경험식에 의한 강도정수 산정이 이루어질 수 있다. 암반의 강도정수를 경험식에 의해 도출하기 위한 하나의 방법으로 RMR을 이용한 방법이 있다. 암반깎기비탈면에 대한 조사는 국제암반공학회(ISRM, International Society for Rock Mechanics)의 기준에 의거하여 실시하며, 이를 통하여 얻어진 ① 암석의 일축압축강도 ② R.Q.D.(Rock Quality Designation) ③ 불연속면 간격 ④ 불연속면 상태 ⑤ 지하수 상태 ⑥ 불연속면 방향성에 대하여 점수를 부여하고 이를 합산하여 RMR 값을 산출한다. 산출된 RMR 값을 근거로 암반의 강도정수를 경험식을 통해 구하였으며, 이 때 사용된 경험식은 점착력의 경우 식(8.2), 내부마찰각의 경우에는 식(8.3) 등을 사용할 수 있다.

- Bieniawski & Orr(1976)

$$c = 5 \times RMR\,(kPa) = 5 \times \frac{1}{9.8} \times RMR\,(t/m^2) \fallingdotseq 0.5 \times RMR\,(t/m^2) \tag{8.2}$$

- Trueman(1988)

$$\phi = 0.5 \times RMR + 5\,(^\circ) \tag{8.3}$$

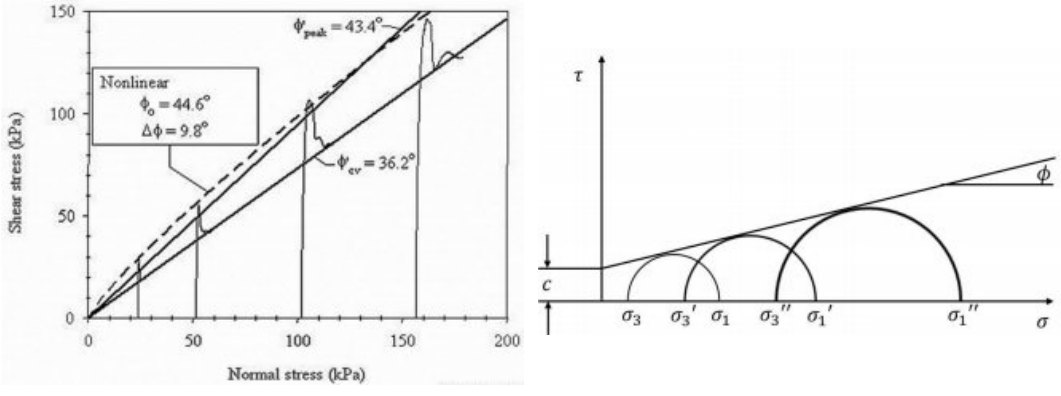
또한, 표준관입시험의 결과로 사질토의 내부마찰각을 경험적으로 산정할 수도 있다. 아래 표에서는 표준관입시험 타격 횟수 N값을 사용한 내부마찰각의 경험적인 관계식을 보여주고 있다.

〈표 8-11〉 사질토에서의 N값와 내부마찰각의 관계

제 안 자	관 계 식	비 고
Dunham	$\phi = \sqrt{12N} + 25$ $\phi = \sqrt{12N} + 20$ $\phi = \sqrt{12N} + 20$ $\phi = \sqrt{12N} + 15$	- 토립자가 모나고 입도분포가 양호 - 토립자가 모나고 입도분포가 불량 - 토립자가 둥글고 입도분포가 양호 - 토립자가 둥글고 입도분포가 불량
Meyerhof	$\phi = 1/4N + 32.5$	$10 \leq N \leq 50$
Peck	$\phi = 0.3N + 27$	
Ohsaki	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	
건설성	$\phi = \sqrt{15N} + 15$	일 본

2) 실내시험

토사깎기비탈면이나 혼합깎기비탈면에서 토사의 강도정수 도출을 위한 시료 채취는 활동면을 포함한 위치별 중요성과 현장여건 등을 고려하여 조사자의 판단에 의해 이루어진다. 안정성 해석에 사용되는 강도정수의 결정은 해석결과에 절대적인 영향을 미치고 해석대상 지반에 대한 충분한 대표성을 가져야 하므로 시료채취의 위치 및 개소수 결정에 신중을 기해야 한다. 보다 많은 지점에서의 시료채취는 강도정수의 신뢰도를 증가시키지만 실제 현장상황에서는 많은 제약이 수반된다. 따라서 시료채취의 개소수가 한정되는 경우에는 위치 선정에 주의해야만 신뢰할 수 있는 입력자료와 해석결과를 얻을 수 있다. 직접전단시험은 배수조절을 하지 않고 간극수압이나 부피변화의 측정이 없으므로 시험의 속도가 빠를 뿐 아니라, 시험절차가 간단하여 강도정수만을 목적으로 할 경우 실용적으로 많이 활용되는 시험이다. 즉, 직접전단시험을 통하여 시료가 전단파괴되는 최대수평력을 시료의 단면적으로 나눈 최대전단응력과 수직하중을 단면적으로 나눈 수직응력을 얻는데 이들을 좌표로 하는 Mohr의 파괴포락선에서 시료의 강도정수인 내부마찰각과 점착력을 구할 수 있다. 흙지반은 보통의 고체재료와 같이 인장이나 전단에 의하여 파괴된다. 그런데 지반의 인장저항력은 무시할 수 있을 만큼 작으므로, 지반은 인장저항력이 없다고 간주해도 무방하다. 따라서 지반에서는 대개 전단저항력만이 문제가 되며 흙이 최대로 발휘할 수 있는 전단저항력을 전단강도(shear strength)라고 한다. 전단파괴시 응력상태를 나타내는 3개 이상의 모어 응력원을 그리면, 그 외접선이 대개 완만한 곡선이 되는데 이를 Mohr-Coulomb 파괴포락선(Mohr-Coulomb failure envelope)이라고 한다. 그런데 흙의 응력수준이 낮고 Mohr-Coulomb 파괴포락선은 낮은 응력상태에서는 직선으로 가정할 수 있으며 그 직선의 절편을 점착력(cohesion), 경사각을 내부마찰각(internal friction angle)이라고 정의하면 임의의 응력상태에서 흙의 전단강도를 다음과 같이 직선식으로 표현할 수 있다.



〈그림 8-2〉 직접전단시험에 의한 파괴포락선

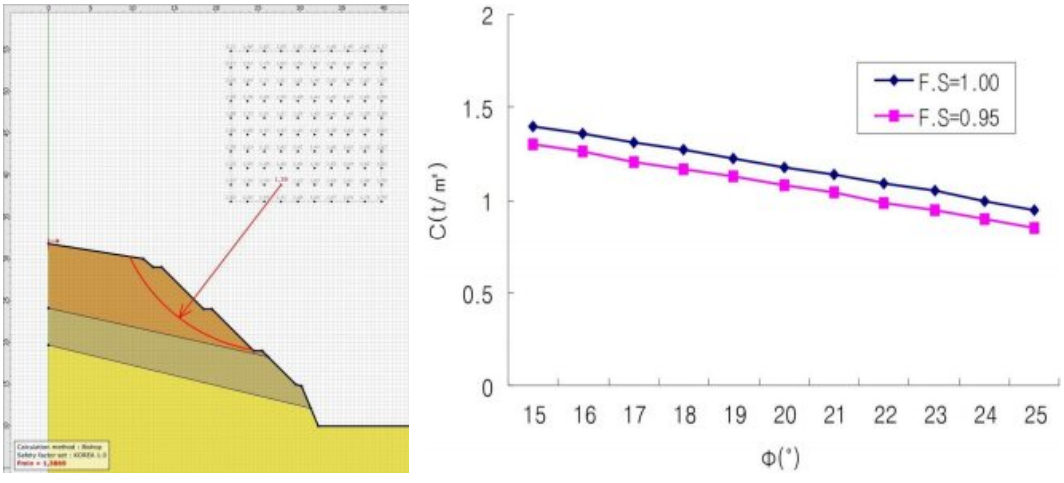
3) 역해석

비탈면의 안정성 해석은 지반강도 정수를 이용하여 안전율(F.S)이라는 정량적인 결과로 표현된다. 이론상으로 산정된 안전율이 허용기준 안전율 1.0 보다 크면 안전한 것으로 판단한다. 즉, 안전율이 1.0이라는 의미는 안정한 상태와 파괴시의 임계치에 대한 안전율이므로 설계단계에서 요구하는 안전율은 이보다 높은 허용안전율을 요구한다.

붕괴가 발생된 깎기비탈면에서 강도정수를 결정하는 가장 신뢰할 수 있는 방법으로 역해석을 이용하여 결정하는 방법이 널리 이용되고 있다. 역해석 과정은 안정성 해석을 반복적으로 실시하여 안전율이 1.0이 되는 상태에서 점착력과 내부마찰각의 추세선을 작성하여 지반강도 정수를 결정하는 것이다.

과거에 비탈면활동과 붕괴를 일으킨 이력이 있는 비탈면에서 활동면의 전단강도는 역산법으로 구하는 경우가 많다. 역산법으로 강도정수를 추정할 경우 붕괴시 안전율을 비탈면상태에 따라 1.0 전후의 적당한 값으로 하며 일반적으로 활동하고 있는 것은 0.9~1.0, 활동이 정지한 것은 1.0~1.1 정도로 하는 경우가 많다.

붕괴가 발생된 비탈면의 횡단면도에 활동면의 횡단면형상, 토괴의 단위중량 등을 취하여 활동력을 구한다. 이 경우 비탈면 파괴의 초기조건(최초 파괴형태, 지하수위 위치 등)이 정확히 파악되어야 하며, 그렇지 못한 경우 해석에 상당한 오류를 범할 수 있다. 역해석 결과로 비탈면 안전율(F.S)이 0.95~1.0을 유지하기 위한 강도정수 상관 그래프를 도시함으로서 지반강도 정수를 역으로 찾아낼 수 있다.



〈그림 8-3〉 c, ø 값을 변화시키면서 안전율(F.S) 값을 표시

8.3.3 암반분류평가 방법

암반을 분류하기 위한 대표적인 방법으로는 RMR(Rock Mass Rating)과 Q-System 방법이 있다. 최근에는 대부분 RMR에 의한 평가 방법을 가장 많이 사용하고 있으며, 비탈면의 안정성을 함께 검토하기 위한 SMR(Slope Mass Rating)도 급경사지 검토해서 함께 쓰여지고 있다. 본 절에서는 대표적인 암반분류법인 RMR과 Q-system을 소개하고자 한다.

1) RMR 및 SMR 분류법

RMR 시스템은 Bieniawski(1973)가 제안한 암반 분류법으로 Lauffer(1958)의 무지보 유지시간 분류법이나 Wickham et. al.(1972)의 RSR을 기초로 개발되었다. RMR의 항목은 ① 무결암 강도(15점), ② 코어 암질 지수, 즉 RQD(20점), ③ 평균 절리 간격(20점), ④ 절리 상태(30점), ⑤ 지하수 상태(15점) 등이며 이들 항목의 점수를 합한 것을 RMR이라 한다. RMR 장점은 석탄광, 경암에 대한 채광, 절토비탈면 안정, 기초 안정 및 터널 등 다양한 사례에 적용할 수 있다는 것과 항목의 평가가 비교적 쉽다는 점을 들 수 있다.

RMR은 다음과 같은 6개의 인자들로 구성되어 있다.

① 암석의 일축압축강도
② R.Q.D.(Rock Quality Designation)
③ 불연속면 간격(spacing)
④ 불연속면 상태
⑤ 지하수 상태(seepage)
⑥ 불연속면 방향성

RMR을 적용하기 위하여 암반은 구조적 특성이 유사한 암체 단위로 세분한다. 암반은 자연상태에서 불연속적 특성을 가지지만 한 암체 단위에서는 지질 특성이 동일한 것으로 간주한다. 예를 들면 암종이나 불연속면의 간격이 동일하다고 보는 것이다. 대부분의 경우 암체 단위의 경계는 단층, 암맥, 파쇄대 등과 같은 주요 지질 구조선과 일치한다. 암체 단위가 결정되면 각각의 단위에 대한 암반 분류 인자들을 현장에서 측정하여 기재한다. RMR 평가를 위한 암반의 평가항목과 평점, 주요 지반구조물에 따른 불연속면의 주향과 경사에 따른 보정기준, 암반등급별 제안 강도정수는 다음 〈표 8-12〉~〈표 8-14〉와 같다.

〈표 8-12〉 RMR 분류 기준 및 점수

분 류 기 준			값 의 범 위						
1	신선암 강도	점하중 강도지수	〉10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	이 범위는 아래 참조		
		일축압축 강 도	〉250MPa	100-250MPa	50-100MPa	25-50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	〈 1 MPa
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	암질지수 (RQD)		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	〈 25%		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	불연속면의 간격		〉2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	60-200 ㎜	〈 60 ㎜		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면의 상태		매우거침 불 연 속 이격없음 신 선	다소거침 이격 〈 1 ㎜ 약간풍화	다소거침 이격 〈 1 ㎜ 심한풍화	매끄럽다 gouge 〈 5㎜ 두께 이격1-5㎜	연약한 gouge 〉 5㎜ 두께 이격 〉 5 ㎜ 연속된 이격		
	점 수		30	25	20	10	0		
5	지하수	터널길이 10m당 유입량	없 음	〈 10 (l/min)	10-25 (l/min)	25-125 (l/min)	〉 125 (l/min)		
		불연속면수압/ 최대주응력의비	0	〈 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	〉 0.5		
		일 반 적 조 건	완전 건조	습기가 있음	젖어 있음	물방울이 떨 어 짐	물이 흐름		
	점 수		15	10	7	4	0		

〈표 8-13〉 RMR 평점 보정기준

불연속면의 주향과 경사		매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리
점 수	터 널	0	-2	-5	-10	-12
	기 초	0	-2	-7	-15	-25
	비 탈 면	0	-5	-25	-50	-60

〈표 8-14〉 RMR 암반등급 분류 및 강도정수

점 수	100 ~ 81	80 ~ 61	60 ~ 41	40 ~ 21	〈 20
등 급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
구 분	매우 양호	양 호	보 통	불 량	매우 불량
점착력(t/㎡)	〉40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	〈 10
내부마찰각(°)	〉45	35 ~ 45	25 ~ 35	15 ~ 25	〈 15

SMR 분류법은 Romana(1993)가 제시한 암반분류법으로서 RMR 분류법을 비탈면의 안정성 평가에 적합하도록 수정한 것이다. 평가항목 및 평점은 RMR 분류법과 동일하며, 평점의 보정기준을 불연속면과 절취비탈면 경사방향과의 차이각, 평면파괴시 불연속면의 경사각, 불연속면과 절취비탈면 경사각의 상관관계, 비탈면 굴착 방법에 따라 세분화하였다. 평점 보정기준 및 보정후 평점 합계에 의한 암반등급분류, 비탈면안정성 평가내용은 다음과 같다(〈표 8-15〉~〈표 8-17〉).

〈표 8-15〉 불연속면에 대한 보정

구 분		매우 양호	양 호	보 통	불 량	매우 불량
P	$\lvert \alpha j - \alpha s \rvert$	〉30°	30~20°	20~10°	10~5°	〈5°
T	$\lvert (\alpha j - \alpha s) - 180 \rvert$					
P/T	F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$\lvert \beta j \rvert$	〈 20°	20~30°	30~35°	35~45°	〉45°
P	F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta j - \beta s$	〉10°	10~0°	0°	0 ~ -10	〈-10°
T	$\beta j + \beta s$	〉110°	110-120°	〉120°	-	-
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60

주) P : plane failure, T : toppling failure, αj : joint dip direction αs : slope dip direction, βj : joint dip, βs : slope dip

〈표 8-16〉 비탈면 굴착방법에 대한 보정치

방 법	Natural slope	Presplitting	Smooth Blasting	Normal Blasting	Deficient Blasting
F_4	15	10	8	0	-8

〈표 8-17〉 SMR 평가 (SMR = RMR + $(F_1 \times F_2 \times F_3)$ + F_4)

Class	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
SMR	81 ~ 100	61 ~ 80	41 ~ 60	21 ~ 40	0 ~ 20
양호도	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
안정성	Completely stable	Stable	Partially stable	Unstable	Very unstable
파괴형태	None	Some blocks	Same joints or many wedges	Planar or large wedges	Large planar or soil like
지보형태	None	Occasional	Systematic	Extensive corrective	Re-excavation

2) Q-System

Barton et al.(1974)은 스칸디나비아 반도에서의 212개 터널에 대한 분석에 기초하여 Q-System이라는 정량적인 암반분류안을 제안하였다. 이 분류안은 〈표 8-18〉에 제시된 6개의 정량적인 분류기준에 의하여 다음 식으로 Q값을 산출하고 이에 따라 암반을 분류하는 것이다. Q값은 0.001 에서 1,000까지의 범위까지 9개 등급으로 분류되며, 각 변수들의 내용은 아래 설명과 같다.

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \cdot \frac{Jr}{Ja} \cdot \frac{Jw}{SRF} \tag{8.4}$$

RQD/Jn : 암괴의 크기 및 모양(block size)
Jr/Ja : 암괴간의 전단강도(inter-block shear strength)
Jw/SRF : 작용응력(active stress)

RQD (Rock Quality Designation) : 코아암질지수
Jn (the number of joint sets) : 절리군의 수
Jr (the number of joint roughness) : 절리 거칠기 계수
Ja (the number of joint alteration) : 절리 변질 계수
Jw (joint water reduction factor) : 절리간극수에 의한 저감 계수
SRF (Stress reduction factor) : 응력 저감 계수

〈표 8-18〉에서 여러 계수들을 구한 후 Q값을 결정한다. 이 Q값을 가지고 〈그림 8-4〉에 따라 암반의 등급을 결정하게 된다.

〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준

1. 암질표시율	RQD	비 고
A. 매우 불량	0~ 25	1) RQD가 10% 이하인 경우는 10으로 고려하여 Q값을 산정함. 2) RQD 간격은 5 % 간격으로 함. (예: 100, 95, 90, 85,…,15, 10)
B. 불량	25~ 50	
C. 보통	50~ 75	
D. 양호	75~ 90	
E. 매우 양호	90~100	

2. 절리군의 수	Jn	비 고
A. 괴상으로 절리가 거의 없음	0.5~1.0	1) 터널 교차부에서는 (3.0xJn)을 적용 2) 터널 갱구부에서는 (2.0xJn)을 적용
B. 1방향의 절리군	2	
C. 1방향의 절리군과 부수절리	3	
D. 2방향의 절리군	4	
E. 2방향의 절리군과 부수절리	6	
F. 3방향의 절리군	9	
G. 3방향의 절리군과 부수절리	12	
H. 4방향 이상의 절리군, 심한 절리 발달, 또는 각사탕상 절리발달	15	
J. 파쇄상태 또는 토사상태	20	

3. 절리면 거칠기 계수	Jr	비 고
a. 밀착 절리면		1) 관련 절리군의 평균 절리면 간격이 3.0m 이상인 경우는 (Jr+1.0)을 적용 2) 만일 선상구조가 유리한 방위로 발달된 경우 선구조가 발달된 매끄러운 평탄절리에 대하여 Jr=0.5를 적용
b. 절리면이 10cm 이내로 밀착		
A. 불연속성 절리	4.0	
B. 거칠거나 불규칙한 파상절리	3.0	
C. 부드러운 파상절리	2.0	
D. 매끄러운(경활면) 파상절리	1.5	
E. 거칠거나 불규칙한 평탄절리	1.5	
F. 부드러운 평탄절리	1.0	
G. 매끄러운 평탄절리	0.5	
c. 전단시 절리면 접촉이 없는 경우		
H. 점토등 절리충전물로 채워져서 절리면 접촉 불가능	1.0	
J. 사질, 역질, 파쇄대 등으로 절리면 접촉 불가능	1.0	

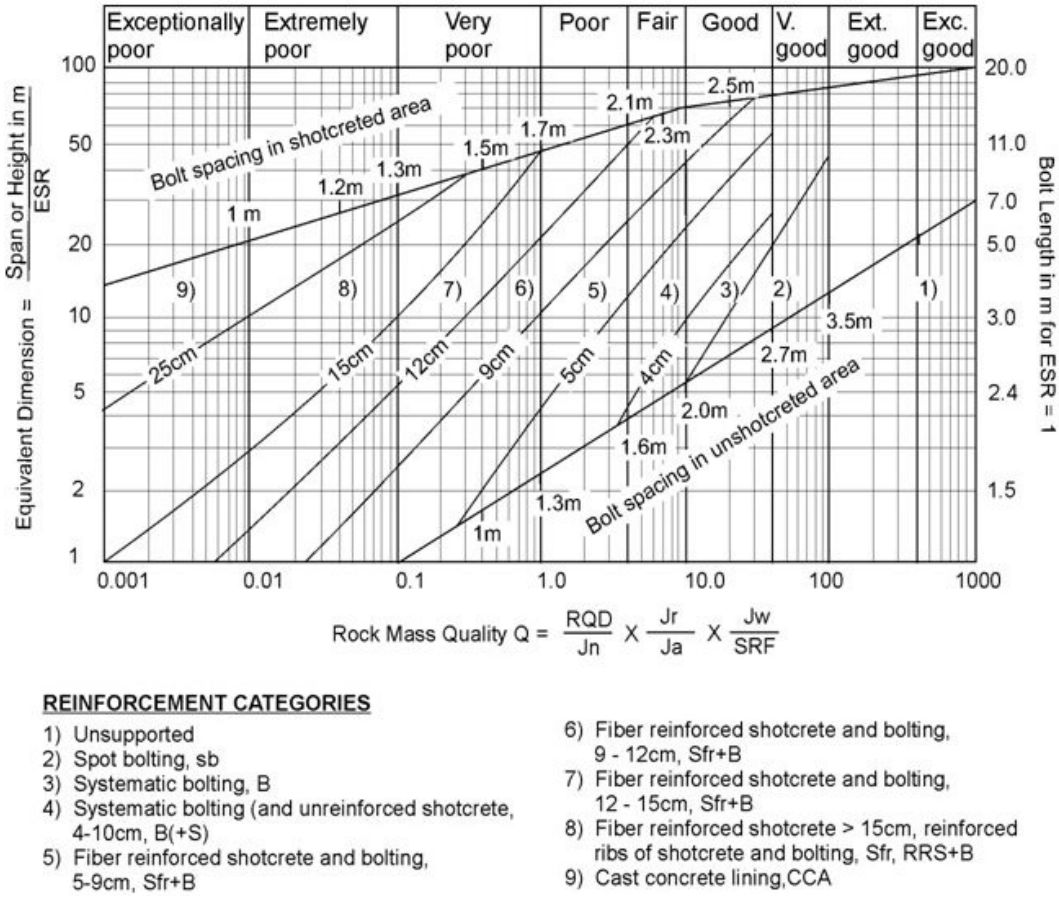
〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준

4. 절리면 변질계수	Ja	φr	비 고
a. 밀착 절리면			
A. 견고하게 밀착 또는 석영등으로 밀착되어 불투성인 절리	0.75	-	1) φr 값은 광물학적인 측면에서 추정한 절리충진물의 개략적인 내부마찰각임
B. 변질되지 않은 절리	1.0	25~35	
C. 약간 변질, 비연질선 광물피막, 사질입자, 암편협재된 절리	2.0	25~35	
D. 비연질성 실트질 또는 점토질 피막의 절리	3.0	20~25	
E. 연질 또는 저마찰력의 점토피막(카오린, 운모, 활석, 석고, 흑연 등) 절리, 또는 불연속성 소량의 팽창성 점토피막 (1-2mm)의 절리	4.0	8~16	
b. 절리면이 10cm 이내로 밀착			
F. 사질입자, 무점토의 암편협재절리	4.0	25~30	
G. 연속성의 고압밀 비연질 점토 광물 충전 절리(1-5mm)	6.0	16~24	
H. 연속성의 중저압밀 연질 점토 광물 충전 절리(1-5mm)	8.0	12~16	
J. 연속성의 팽창성 점토충전 절리(〈5mm, 팽창성 점토의 함유율, 지하수에의 노출 정도에 따라 Ja를 조정함)	8.0~12.0	6~12	
c. 전단시 절리면 접촉이 없는 경우			
K. 풍화변질 또는 파쇄된 암편 및 점토대 (G, H, J항의 점토상태 설명 참조)	6.0, 8.0, 또는 8.0~12.0	6~24	
L. 비연질성의 실트질 또는 모래질 점토대	5.0	-	
M. 두꺼운 연속 점토대(G, H, J항의 점토상태 설명 참조)	10.0, 13.0 또는 13.0~20.0	6~24	

5. 절리면 지하수 저감계수	Jw	개략수압 (kgf/cm^2)	비 고
A. 건조 또는 소량의 유출(〈5l/분)	1.0	〈 1.0	
B. 중간 정도의 유출 또는 가끔 절리충전물 유실	0.66	1.0~2.5	1) C ~ F 인자는 극히 개략적인 추정이며, 배수로가 설치되는 경우 Jw값을 증가시킴
C. 대량 유출 또는 견고한 절리면 사이로 고압유출	0.5	2.5~10.0	2) 결빙으로 야기되는 특수한 문제는 고려되지 않았음
D. 대량유출 또는 고압으로 절리충전물의 상당한 유실	0.33	2.5~10.0	
E. 극심한 유출 또는 발파시 고압유출되나 점차 수압감소	0.2~0.1	〉10.0	
F. 극심한 유출 또는 고압유출 지속	0.1~0.05	〉10.0	

〈표 8-18〉 Q-System 암반분류 기준

6. 응력저감계수			SRF	비 고
a. 굴착시 이완 가능성의 연약대 교차				1) 관계되는 전단파쇄대가 단순히 영향을 미치나 굴착지와 교차되지 않은 경우는 SRF값을 25~50% 감소시킴
A. 점토나 화학적 풍화대등 연약대 다수있고 주변암 상태가 매우느슨			10.0	
B. 점토나 화학적 풍화대등 단일 연약대 (굴착심도 ≤ 50m)			5.0	
C. 점토나 화학적 풍화대등 단일 연약대 (굴착심도 〉 50m)			2.5	
D. 견고한 암반에 전단 파쇄대 다수 또는 느슨한 주변 암반			7.5	
E. 견고한 암반에 단일 파쇄대(굴착심도 ≤ 50m)			5.0	
F. 견고한 암반에 단일 파쇄대(굴착심도 〉 50m)			2.5	
G. 느슨한 열린 절리, 심한 절리, 각 사탕상의 파쇄암반			5.0	
b. 견고한 암반의 지압문제	$\sigma c/\sigma t$	$\sigma 1/\sigma 3$		2) 초기 응력장이 강한 이방성인 경우 5 ≤$\sigma 1/\sigma 3$≤ 10 : σc와 σt를 0.8σc 및 0.8$\sigma 1$ 로 한다. $\sigma 1/\sigma 3$ 〉 10 : σc와 σt를 0.6σc 및 0.6$\sigma 1$ 로 한다.(σc= 일축압축강도, σt = 인장강도)
H. 낮은 지압, 지표근처	〉200	〉13	2.5	
J. 중간 지압	200~10	13~0.66	1.0	
K. 높은 지압, 견고한 지질 구조(안정성은 양호하나 벽면 안정성 불리)	10~5	0.66~0.33	0.5~2.0	
L. 약한 암반파단(괴상)	5~2.5	0.33~0.16	5~10	
M. 심한 암반파단(괴상)	〈2.5	〈0.16	10~20	
c. 유동성 암반, 높은 지압하에서 소성 유동되는 비견질 암반				3) 천정부의 심도가 터널 직경보다 보다 적은 경우 SRF 2.5 ~ 5 배 증가시킴(H 참조)
N. 약한 유동압			5~10	
O. 높은 유동압			10~20	
d. 팽창성 암반				
P. 낮은 팽창압			5~10	
Q. 높은 팽창압			10~15	



REINFORCEMENT CATEGORIES

1) Unsupported
2) Spot bolting, sb
3) Systematic bolting, B
4) Systematic bolting (and unreinforced shotcrete, 4-10cm, B(+S)
5) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, Sfr+B
6) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 9 - 12cm, Sfr+B
7) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 12 - 15cm, Sfr+B
8) Fiber reinforced shotcrete > 15cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr, RRS+B
9) Cast concrete lining,CCA

〈그림 8-4〉 Q-System 평가를 위한 그래프

8.3.4 급경사지 안정해석 방법

급경사지 안정해석 방법은 구성재료의 특성에 따라 다르다. 토사비탈면은 토사 재료의 특성에 따라 안전율이 달라지며, 암반비탈면의 경우 불연속면으로 규제되는 암괴의 이동 가능성 및 블록의 크기에 따라 안정성이 결정된다. 또한 자연비탈면과 같이 지속적으로 상승하는 무한비탈면의 경우에는 무한비탈면의 특성에 알맞은 안정해석 접근법이 필요하다. 본 절에서는 주요 구성재료별로 안정해석방법을 소개하고자 한다.

1) 토사비탈면 안정해석방법

(가) 무한비탈면 안정해석

〈그림 8-5〉에 보인 바와 같이 경사각 β인 무한비탈면(Infinite Slope)이 지표면과 평행한 평면활동면을 따라 활동을 일으키는 경우, 무한비탈면안정 해석방법이 편리하다(Skempton & Delory, 1957). 깊이에 비해서 비탈면의 길이가 길 때 파괴면은 비탈면에 평행하게 형성된다. 비탈면의 길이는 거의 무한대이므로 양 끝의 영향은 무시한다. 침투수압이 비탈면에 평행하게 작용한다고 가정한다. 또, 임의의 분할면 양 끝의 수직면에 작용하는 절편력의 크기가 같고 반대 방향으로 작용하며, 이러한 응력상태는 어느 분할면에서나 같다고 가정한다. 〈그림 8-5〉에서 $Q_L = Q_R$로 가정하면 파괴면에 평행하게 발생하는 전단력 T는 식(8.4)와 같다.

$$T = W \cdot \sin\beta = \tau \cdot l \tag{8.4}$$

따라서, 식(8.4)은 식(8.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{W}{b}\sin\beta\cos\beta \tag{8.5}$$

파괴면에 수직한 방향의 힘 P는 식(8.6)과 같다.

$$P = W \cdot \cos\beta = \sigma \cdot l \tag{8.6}$$

따라서 식(8.6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \frac{W}{b}\cos^2\beta \tag{8.7}$$

Mohr-Coulomb의 파괴규준에서 전단강도는 식(8.8)과 같다.

$$s = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \tag{8.8}$$

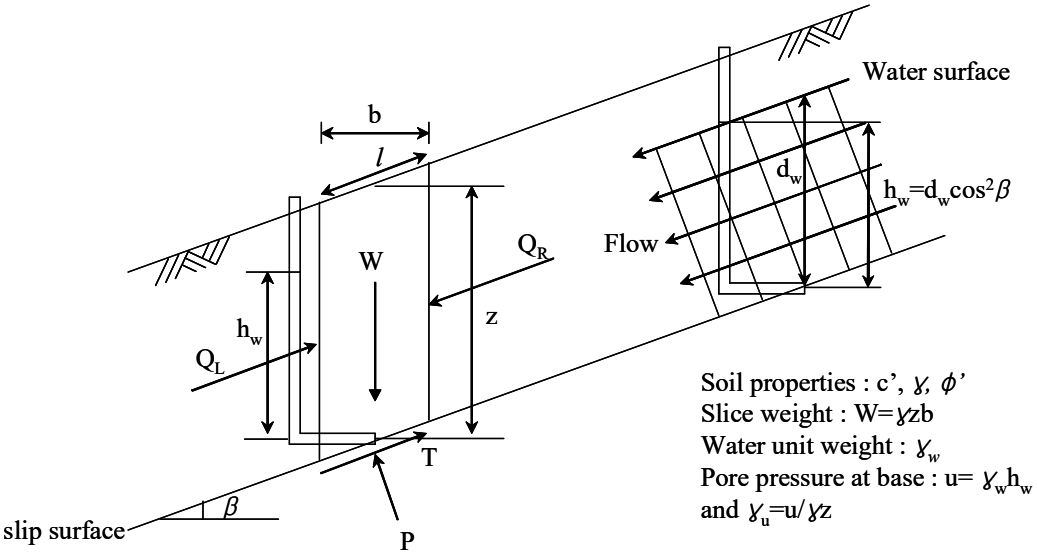
안전율을 고려한 전단강도는 식(8.9)와 같으며, 이를 다시 상기 식들과 조합하여 정리하면 식(8.10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{s}{F} \tag{8.9}$$

$$\frac{W}{b}\sin\beta\cos\beta = \frac{1}{F}\left(c' + \left[\frac{W}{b}\cos^2\beta - u\right]\tan\phi'\right) \tag{8.10}$$

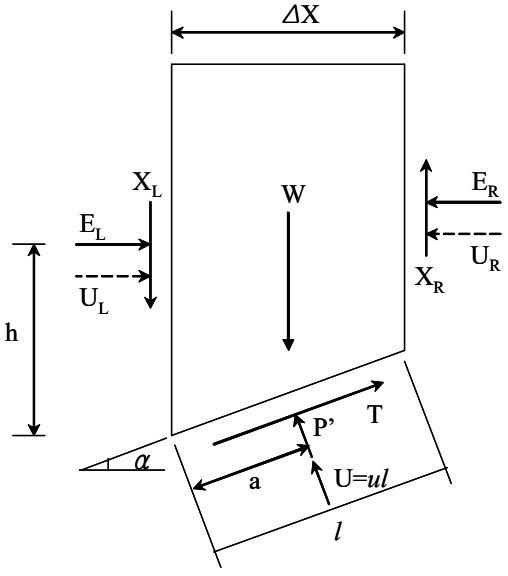
식(8.10)를 안전율 F에 대하여 정리하면 식(8.11)과 같다.

$$F = \frac{c' + [\gamma z \cos^2\beta - u]\tan\phi'}{\gamma z \sin\beta\cos\beta} \tag{8.11}$$



〈그림 8-5〉 무한비탈면 안정해석 (Skemption & Delry, 1957)

(나) 일반한계평형(GLE) 방법



〈그림 8-6〉 분할요소에 작용하는 힘

X_L, X_R: 절편측면의 전단력(미지) $T = \tau l$: 절편저면의 전단력(미지)

$P' = pl$: 절편저면의 유효수직력(미지) l: 절편저면의 길이

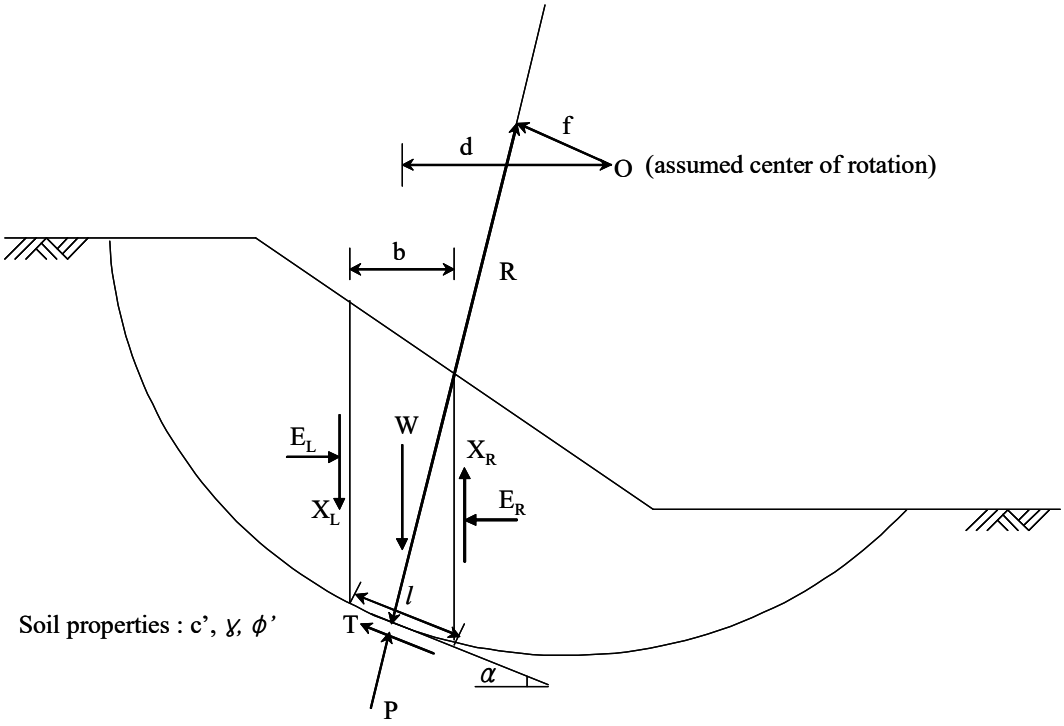
$U = ul$: 절편저면의 간극수압(기지) h: E의 작용점

E_L, E_R: 절편측면의 유효수직응력(미지) W: 절편의 무게(기지)

U_L, U_R: 절편측면의 간극수압(기지) a: P'의 작용점

α: 절편저면의 수평면과 이루는 각(기지) θ :E와 X의 합력이 수평면과 이루는 각(미지)

일반적으로 비탈면의 안정해석에는 한계평형이론을 도입한 여러 가지 방법의 비탈면안정해석법이 사용되어 오고 있다. 한계평형이론을 이용하여 안전율을 구하려면 활동면 각 점에서 전단응력과 전단강도를 구하여야 한다. 따라서 활동효과를 연직절편으로 분할하고 절편에 대한 평형을 고려하게 되는데 이러한 방법을 절편법이라 하고 이때 각 절편에서 발생하는 3n개의 미지수를 가정을 통하여 해결해 나간다.



〈그림 8-7〉 GLE법 (Fredlund & Krahn, 1977)

GLE법에 의한 비탈면안전율은 모멘트의 평형조건과 힘의 평형조건으로부터 다음과 같이 산정되어진다. 연직방향의 힘의 평형조건으로부터 수직력 P를 구할 수 있다.

$$P = [W - (X_R - X_L) - \frac{1}{F}(c'l\sin\alpha - ul\tan\phi' \times \sin\alpha)] / m_\alpha \quad (8.12)$$

여기서, $m_\alpha = \cos\left(1 + \tan\alpha \frac{\tan\phi'}{F}\right)$

O점에 대한 모멘트평형조건 $\Sigma W_d = \Sigma TR + \Sigma Pf$ 로부터 식(8.13)을 구할 수 있다.

$$F_m = \frac{\Sigma[c'l + (P - ul)\tan\phi']R}{\Sigma(W \cdot d - P \cdot f)} \quad (8.13)$$

한편, 힘의 평형조건 $\Sigma(E_R - E_L) = 0$, $\Sigma(X_R - X_L) = 0$으로부터 식(8.14)를 구할 수 있다.

$$F_f = \frac{\Sigma[c'l + (P - ul)\tan\phi']\cos\alpha}{\Sigma P\sin\alpha} \quad (8.14)$$

식(8.13)~식(8.14)는 안전율 항에 대한 비선형 형태의 식이므로 시행착오법(시산법)으로 반복계산을 실시하여야 한다.

(다) Fellenius 방법

이 방법에서는 비탈면안전율을 활동면 중심에서의 모멘트평형으로 구하고 각 분할절편간의 작용력의 합력은 평형이라는 가정이 사용된다. 분할절편 저면에서의 전수직응력 σ와 τ, 간극수압 u에 대해서는 식(8.15)과 같이 된다.

$$s = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \quad (8.15)$$

이때 수정전단강도 $\tau = s/F$, $P = \sigma l$, $T = \tau l$을 대입하면 식(4.28)와 같이 된다.

$$T = \frac{1}{F}[c'l + (P - ul)\tan\phi] \quad (8.16)$$

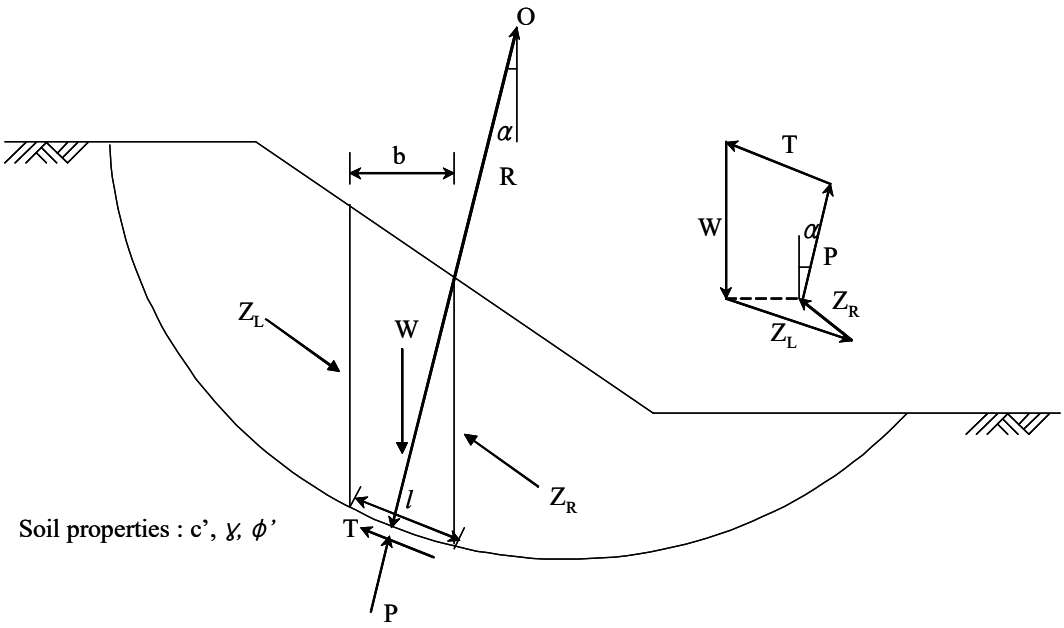
여기서, $P = W\cos\alpha$

전체 분할절편에 대하여 고려하면 식(8.16)과 같다.

$$\Sigma W\sin\alpha = \frac{1}{F}[c'l + (P - ul)\tan\phi] \quad (8.17)$$

따라서, 안전율 F는 식(8.18)과 같이 정리할 수 있다.

$$(F_s)_{slope} = \frac{[c'l + (W\cos\alpha - ul)\tan\phi]}{\sum W\sin\alpha} \tag{8.18}$$



〈그림 8-8〉 Fellenius법 (Fellenius, 1936)

(라) Bishop 간편법

이 방법은 절편법 가운데 가장 널리 사용되고 있으며 그 결과는 이론상으로 정확한 다른 방법과 별 차이가 없다. 즉 이 방법의 편리성과 신뢰성을 많은 경험으로부터 입증된 셈이다. Bishop(1955)은 〈그림 8-9〉에 보인 바와 같이 원호활동면에 대한 비탈면안정 해석법을 발표하였다. 절편의 양 수직면에 작용하는 힘의 합력은 수평방향으로 작용하다고 가정하고 해석하는 방법으로 가상회전 중심을 사용함으로서 비원호 활동면에 대해서도 적용할 수 있다. 즉, $X_R - X_L = 0$이 된다. 분할절편저면에서의 전 수직응력 σ와 τ, 간극수압 u에 대해서는 식(8.19)와 같이 된다.

$$s = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \tag{8.19}$$

이때 수정전단강도 $\tau = s/F$, $P = \sigma l$, $T = \tau l$을 대입하면 식(8.20)과 같이 된다.

$$T = \frac{1}{F}[c'l + (P - ul)\tan\phi'] \tag{8.20}$$

$$P \cdot \cos\alpha + T \cdot \sin\alpha = W - (X_R - X_L) \tag{8.21}$$

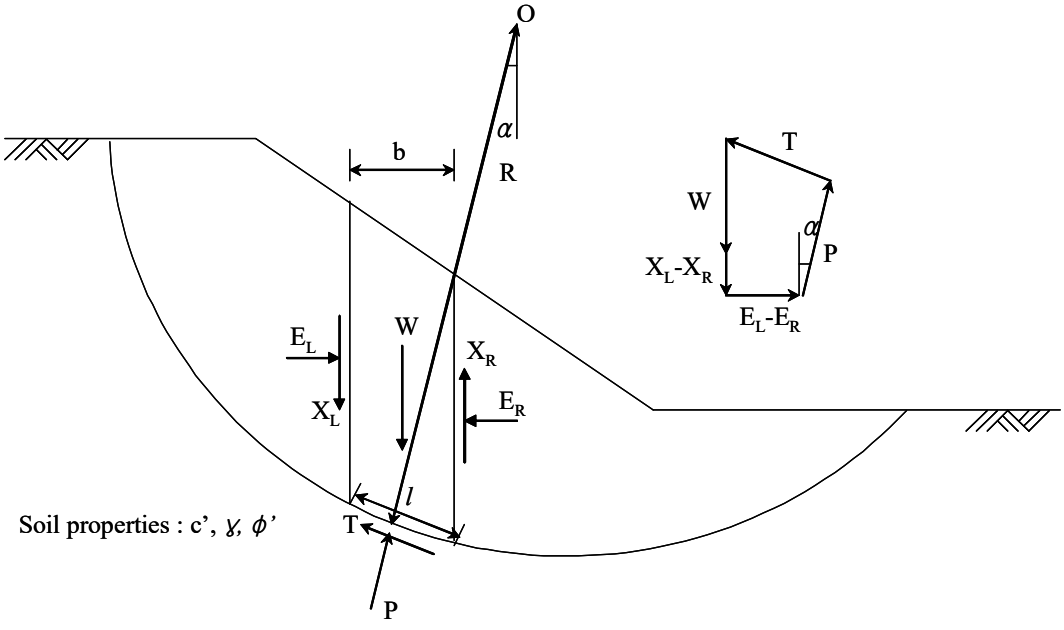
여기서, $X_R - X_L = 0$으로 가정하였으므로 P는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P = [W - \frac{1}{F}(c'l\sin\alpha - ul\tan\phi'\sin\alpha)]\frac{1}{m_\alpha} \tag{8.22}$$

여기서, $m_\alpha = \cos\alpha\left(1 + \tan\alpha\tan\frac{\phi'}{F}\right)$

〈그림 8-9〉에서 보는 바와 같이 O점에서의 모멘트 평형을 고려하면 다음과 같이 F를 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{\Sigma(c'l + (P - ul)\tan\phi')}{\Sigma W\sin\alpha} \tag{8.23}$$



〈그림 8-9〉 Bishop의 간편법 (Bishop, 1955)

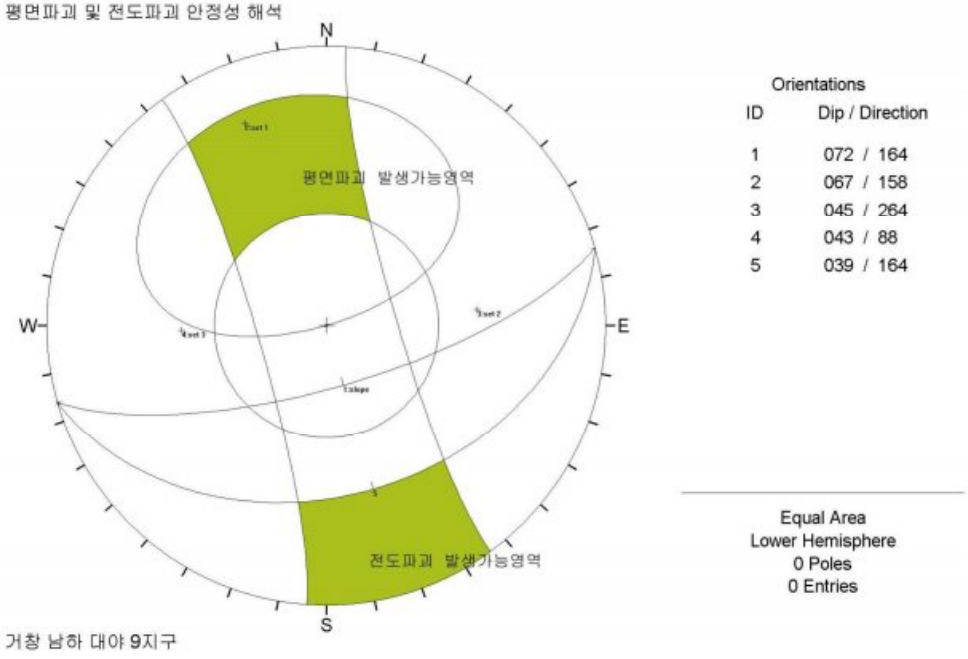
이 방정식은 양변에 F를 갖고 있으므로 시산법으로 F를 결정한다. 즉 좌변의 안전율에 초기치를 가정하고 윗식으로 새로운 안전율을 좌변에 대입하면서 계산을 반복하되 두 안전율의 차이가 허용범위 보다 작아질 때의 안전율을 비탈면의 안전율로 한다. Bishop의 간편법도 정역학적으로 풀이를 얻기 위한 가정 때문에 정확한 해석이 어려우나 전응력해석법 유효

응력해석법에 모두 적용할 수 있으며 현재 가장 널리 쓰이는 방법이다.

2) 암반비탈면 안정해석 방법

(가) 평사투영법을 이용한 평면파괴 안정해석

평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등 암반비탈면에 분포하는 3차원적 지질구조와 비탈면의 경사방향 및 경사 등을 평사투영도상에 2차원적으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 신속하고 개략적으로 비탈면의 안정성을 분석하는 방법이다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 암반 내에 분포하는 불연속면의 방향성과 비탈면과의 상대적인 위치에 많이 좌우되므로 평사투영법을 이용하며 불연속면의 경사와 경사 방향 및 내부마찰각, 비탈면의 경사와 경사방향을 이용하여 간접적으로 암반비탈면의 안정성을 평가한다. 평사투영망 위에 평면파괴의 가능성이 있는 영역을 도시할 수 있으며 불연속면을 나타내는 극점(pole)이 영역 내에 도시될 경우 평면파괴가 일어날 수 있는 것으로 판단한다. 즉 불연속면의 극점이 평면파괴 발생가능영역에 점시되면 평면파괴가 발생될 가능성이 있다고 판단하는 것이며, 만약 평면파괴가 분명히 발생되고 이러한 특징이 현장에서 뚜렷이 인지되는 경우에는 한계평형해석을 추가적으로 수행하여 안전율을 도출하여야 한다.

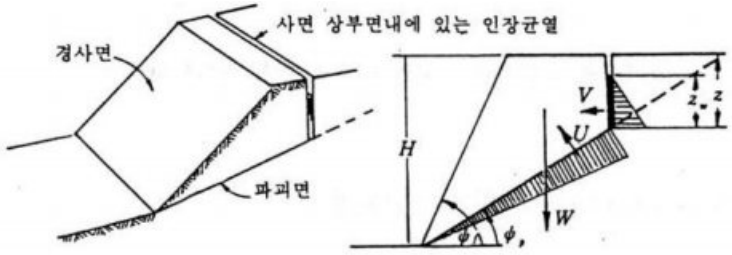


〈그림 8-10〉 평면파괴에서의 평사투영해석 예

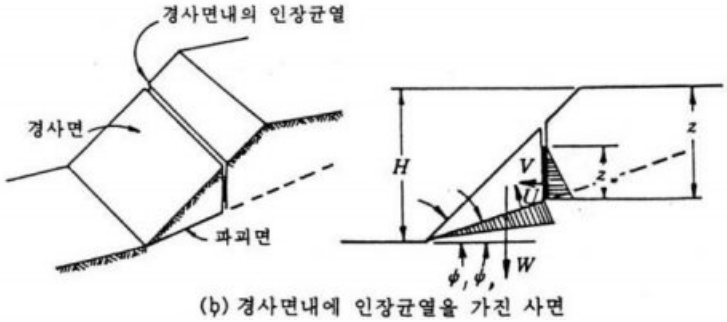
(나) 한계평형해석을 이용한 평면파괴 검토

한계평형해석법은 비탈면 아래로 미끄러지려는 힘이 미끄러짐에 저항하는 힘과 정확하게 같을 때 암블록에서 미끄러짐이 일어나려는 순간인 한계평형(limit equilibrium) 상태에 있게 된다는 가정을 기초로 한다. 따라서 아래로 미끄러지려는 힘과 저항하려는 힘의 비로서 안전율을 계산하게 된다. 평면파괴의 한계평형해석은 다음과 같은 가정을 필요로 한다.

(a) 인장균열과 슬라이딩면은 둘 다 비탈면에 평행한 주향을 갖는다.
(b) 인장균열은 연직방향으로 존재하며 Zw 깊이까지 물이 차 있다.
(c) 물은 인장균열의 바닥을 통해 슬라이딩면에 들어가서 그 면을 따라 침투하여 슬라이딩면이 비탈면에 노출되는 곳에서 대기압 상태로 유출된다.
(d) 힘 W(미끄러지는 암괴의 무게), U(슬라이딩면에 작용하는 수압에 의한 양압력), V(인장균열내에서 수압에 의한 힘)는 모두 슬라이딩 블록의 무게중심을 향하여 작용한다. 즉, 암괴에 대한 회전 모멘트는 없고 파괴는 다시 슬라이딩에 의해서만 발생한다.
(e) 슬라이딩면의 전단강도는 슬라이딩면의 점착력과 마찰각으로부터 구할 수 있다. 이 경우 마찰각의 결정에 있어서 필요한 슬라이딩면에 작용하는 수직응력은 비탈면의 높이와 암석 중량에 의하여 결정된다.
(f) 슬라이딩면 측면 경계부에 존재하는 이완면은 슬라이딩면에 대한 저항이 없다고 가정한다.



(a) 사면 상부면에 인장균열을 가진 사면



(b) 경사면내에 인장균열을 가진 사면

〈그림 8-11〉 평면파괴의 기하학적 조건(Hoek & Bray, 1981)

비탈면의 안전율은 슬라이딩을 유발시키는 힘의 총합과 슬라이딩에 저항하는 힘의 총합의 비율로 계산된다. 따라서 평면파괴에서 안전율은

$$F = \frac{cA + (W\cos\phi_p - U - V\sin\phi_p)\tan\psi}{W\sin\phi_p + V\cos\phi_p} \tag{8.24}$$

여기서, c : 절리면 점착력

A : 슬라이딩면의 면적($(H-z)\,\mathrm{cosec}\,\phi_p$)

W : 암괴의 자중

ϕ_p : 슬라이딩면의 경사각

U : 파괴면에 작용하는 수압

V : 인장균열에 작용하는 수압

ψ : 슬라이딩면의 마찰각

한편, 수압에 의한 작용력 U와 V는 다음과 같이 계산된다.

$$U = \frac{1}{2} r_w z^2{}_w (H - z)\cos\phi_p \tag{8.25}$$

$$V = \frac{1}{2} r_w z^2{}_w \tag{8.26}$$

안정성에 대한 지하수의 영향을 고려하는 상황에서는 상기의 산출식들이 달라진다. 암반의 안정성에서 물의 영향은 매우 크며 이러한 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 물은 인장균열과 슬라이딩면 내의 물이다. 즉, 암반의 나머지 부분은 불투수성이라는 가정을 기초로 한다. 건조비탈면 조건은 비탈면이 완전 배수가 된다고 가정하는 상태이다. 즉, 인장균열 안이나 슬라이딩면을 따라 수압이 없음을 의미한다. 비탈면 내에 수분이 있을 수는 있지만 수압이 작용하지 않는 한 그 수분은 비탈면의 안정성에 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 이러한 건조 비탈면에서는 힘 U, V는 모두 0이 되고, 식(8.24)는 다음과 같이 단순하게 표현될 수 있다.

$$F = \frac{cA}{W\sin\phi_p} + \cot\phi_p \tan\psi \tag{8.27}$$

만약 인장균열 안에만 물이 있을 경우를 가정하여 해석을 수행할 수 있다. 보통 오랜 건기 후에 내린 많은 양의 폭우에 의하여 지표수가 효과적으로 배수되지 않아 비탈면 내부로 스며들어 인장균열 내에 갑작스런 수압을 형성시킬 수 있다.

이 때 암반 내 다른 부분은 상대적으로 불투수성이라고 가정되었으므로, 비오는 동안과 직후에 생기는 유일한 수압은 인장균열 안에서의 수압이라고 할 수 있다. 이와 같은 경우 슬라이딩면에 작용하는 부양력 U는 0이 된다. 이 경우 비탈면의 안전율은

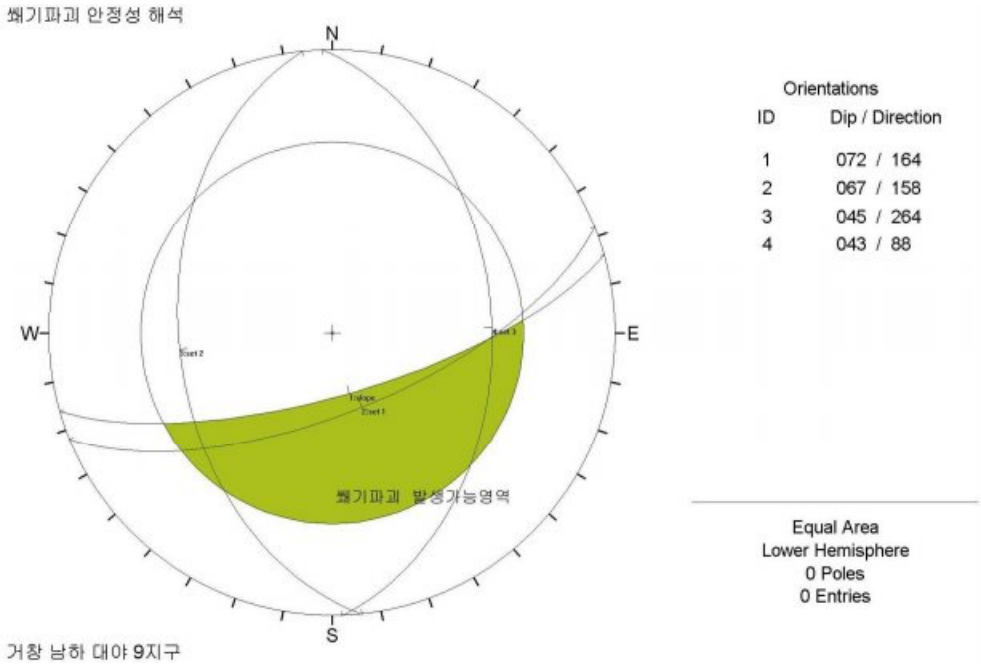
$$F = \frac{cA + (W\cos\phi_p - V\sin\phi_p)\tan\psi}{W'\sin\phi_p + V'\cos\phi_p} \tag{8.28}$$

인장균열 속과 슬라이딩면 상에 모두 물이 있을 경우의 조건은 앞부분에서 제시한 일반적인 해석에서 가정했던 것이다. 이 수압분포는 실제 비탈면에서 일어나는 것보다 훨씬 단순할 것이지만 실제 압력분포를 모르는 상태에서 이렇게 가정된 분포는 다른 경우보다 합리적이라고 할 수 있다. 또한 겨울에 표면이 얼어서 비탈면에서 가정되었던 0의 압력조건 대신에 그 비탈면에서의 수압이 비탈면에 가득 찬 수두로 인한 압력으로 된다면 더욱 더 위험한 수압분포가 생길 수도 있다.

이런 극한적인 상태도 때때로 발생하므로 설계자들은 이 가능성을 염두에 두어야 한다. 그러나 일상적인 비탈면 설계에서는 이러한 수압분포를 사용한다면 지나치게 안전 위주의 비탈면이 되므로 일반해석에서 사용된 삼각형의 압력분포가 통상 비탈면 설계의 기초로 제시된다. 암반이 심하게 파쇄되어 상대적으로 투수성이 커진다면 다공성 시스템에 나타나는 것과 유사한 유형의 지하수 흐름이 발생하게 된다. 이 경우에 발생되는 가장 위험한 상태는 오랜 기간의 장마에 의하여 야기된다. 표면으로부터 많은 물이 공급되는 포화비탈면에 대한 유선망을 만들어 이 유선망으로부터 얻은 수압분포를 사용하여 경사각의 변화에 대한 안전율을 계산한다. 많은 비에 의하여 포화되고 장마에 의해 표면으로부터 물의 공급을 받기 쉬운 투수 비탈면에 대한 안전율은 인장균열이 완전히 물로 가득찼다는 가정 하에서 즉 $Z_w = Z$로 하여 근사적으로 구할 수 있다.

(다) 평사투영법을 이용한 쐐기파괴 안정해석

쐐기파괴에서는 파괴가 발생하는 두 불연속면의 방향성보다는 두 불연속면이 만나는 교차선의 방향에 의해 그 안정성이 좌우되어진다. 따라서 두 불연속면의 교차선과 비탈면의 방향성과의 상대적인 위치가 중요한 의미를 가지며 이는 앞서 기술된 바와 같다. 이러한 조건들은 평사투영망에서 쐐기파괴의 불안정 영역으로 도시되어질 수 있으며 쐐기를 이루는 두 불연속면의 교차선이 이 영역 내에 도시될 때 불안정한 것으로 판단된다.

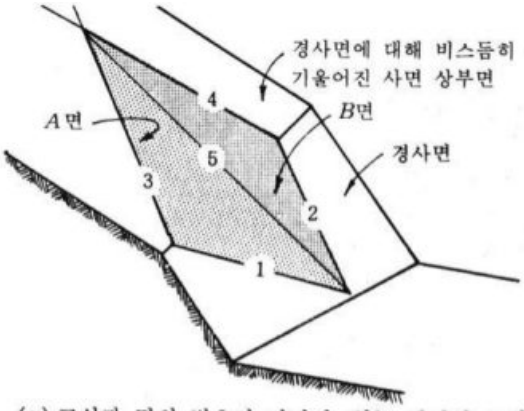


〈그림 8-12〉 쐐기파괴에서의 평사투영해석 예

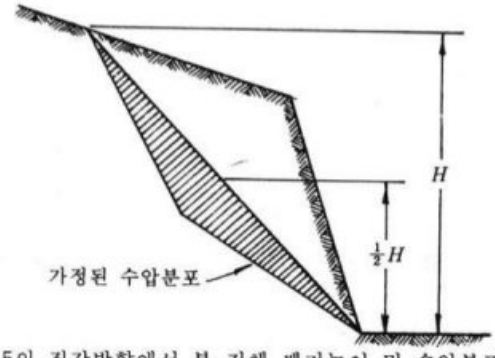
(라) 한계평형해석을 이용한 쐐기파괴 검토

〈그림 8-13(a)〉는 쐐기파괴 검토 해석에서 고려하는 쐐기의 기하학적 형상을 보여주고 있다. 해석에서 가정하는 수압분포는 암반 쐐기 자체는 불투수성이고 물은 3과 4의 교선을 따라 쐐기 상단으로 침투하여 1과 2의 교선을 따라 비탈면으로 흘러나온다는 가정에 그 기초를 두고 있다. 최종면의 수압분포는 〈그림 8-13(b)〉에 도시되어있다. 최대 수압은 교선 5를 따라 발생하고 있으며, 교선 1, 2, 3, 4에서의 수압은 0이다. 이러한 수압분포는 아주 많은 비가 내리는 동안 발생할 수 있는 한계상태에서의 수압분포로 간주할 수 있다. 여기서 사용되는 각 번호들의 의미는 다음과 같으며 쐐기의 슬라이딩은 항상 교선 5를 따라 일어난다고 가정한다.

1 - A면과 비탈면의 교선
2 - B면과 비탈면의 교선
3 - A면과 비탈면 상부면의 교선
4 - B면과 비탈면 상부면의 교선
5 - A면과 B면의 교선



(a) 교선과 면의 번호가 나타나 있는 쐐기의 모식도



(b) 교선 5의 직각방향에서 본 전체 쐐기높이 및 수압분포도

〈그림 8-13〉 쐐기파괴의 기하학적 조건

이 비탈면의 안전율은 다음의 식으로 계산될 수 있다.

$$F = \frac{3}{\gamma H}(c_A X + c_B Y) + \tan\phi_A + B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \tan\phi_B \qquad (8.29)$$

여기서,

c_A, c_B : A면과 B면의 점착강도

ϕ_A, ϕ_B : A면과 B면에서의 마찰각

γ : 암석의 단위중량

H : 쐐기의 전체높이

X, Y, A, B : 쐐기의 형상에 좌우되는 변수

$$X = \frac{\sin\theta_{24}}{\sin\theta_{45}\cos\theta_{2na}} \qquad (8.30)$$

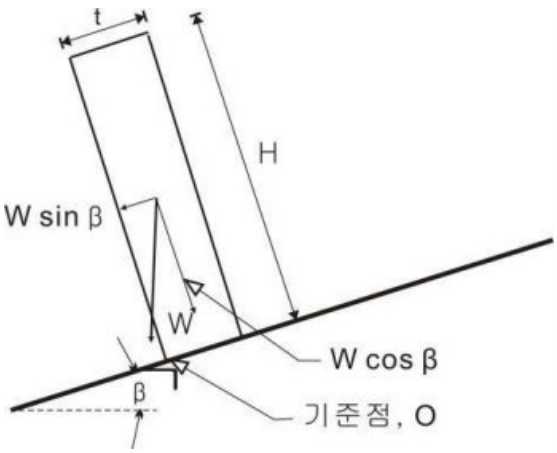
$$Y = \frac{\sin\theta_{13}}{\sin\theta_{35}\cos\theta_{1nb}} \tag{8.31}$$

$$A = \frac{\cos\phi_a - \cos\phi_b\cos\theta_{na\cdot nb}}{\sin\phi_5\sin^2\theta_{na\cdot nb}} \tag{8.32}$$

$$B = \frac{\cos\phi_b - \cos\phi_a\cos\theta_{na\cdot nb}}{\sin\phi_5\sin^2\theta_{na\cdot nb}} \tag{8.33}$$

(마) 전도파괴 검토

전도파괴는 경사면을 따라 한 방향으로 잘 발달된 불연속면들이 우세한 곳에서 발생된다. 전도파괴는 어떠한 경사진 불연속면 상단부에 길고 얇은 주상(柱狀) 형태의 암괴가 반복적으로 발달하는 곳에서 나타나는 파괴 형태로서, 기준점(pivot point)을 중심으로 암괴의 하부가 회전하는 것이다. 경사진 면에서 1개의 암괴가 미끄러지고, 전도되는 기본적인 상태의 개념도는 〈그림 8-14〉와 같이 나타낼 수 있다. 암괴의 전도파괴를 지배하는 요소는 암괴의 중량 벡터의 위치(W)이다. 만약 암석의 t/h가 tanβ보다 작다면, 암괴의 중량에 의한 저항력은 암괴의 토우(toe)의 바깥쪽에 발생하게 되므로 기준점에 대하여 회전하려는 모멘트가 발생한다.



〈그림 8-14〉 전도파괴 기본 개념도

운동역학적으로 하나의 블록의 전도파괴에 있어서 안전율을 모사할 때에는 다음과 같은 조건이 존재하여야만 한다.

(1) 경사면 상에 블록이 존재한다.

(2) 경사면 상의 블록의 절리면은 경사면에 거의 수직이다.

(3) 경사면 기울기<내부마찰각($\beta < \phi$) 이며, $\frac{t}{h} < \tan\beta$ 이다.

전도파괴에 대한 안전율은 기준점 O에 대한 모멘트를 고려한 한계평형개념을 통하여 나타낼 수 있으며 다음과 같이 묘사된다.

$$\sum M_O = W\cos\beta \cdot (t/2) - W\sin\beta \cdot (h/2) = 0 \tag{8.34}$$

따라서 암괴의 미끄러지려는 힘(driving moment)에 대한 저항력(resisting momemt)의 비율인 안전율은 다음과 같이 계산된다.

$$F.S = \frac{\sum(\text{저항력})}{\sum(\text{미끄러지려는힘})} = \frac{Wcon\beta \cdot (t/2)}{Wsin\beta \cdot (h/2)} = \frac{(t/h)}{\tan\beta} \tag{8.35}$$

3) 기타 해석 방법

수치해석을 통한 해석 프로그램은 암반의 불연속면을 거시적 관점에서 연속체로 평가하여 해석하는 유한요소법(Finite Element Method), 유한차분법(Finite Difference Method) 및 경계요소법(Boundary Element Method)과 암반내의 개개 불연속면을 암반 블록으로 된 불연속체로 간주하여 파괴 후 암반 블록의 거동, 영향 범위, 파괴메카니즘을 해석하는 개별요소법(Distinct Element Method)으로 대별된다. 따라서 해석 대상 구조물 및 지반의 특성에 따라 적절한 수치해석법을 선정하여 해석에 사용될 입력정수를 결정하고, 해석결과를 활용할 수 있어야 한다.

(가) 경계요소법(BEM)

경계요소법은 해석대상 매질의 경계만을 요소로 분할하여 해석을 수행하는 방법으로 접근방법에 따라 직접법과 간접법으로 분류된다. 경계요소법은 선형 점탄성 문제 또는 동역학적 탄성 문제 등 주로 시간 의존성을 갖는 경계치 문제의 해를 구하는데 활용된다.

타 방법에 비교할 때 해석대상 매질의 경계만을 요소로 분할하므로 지반과 같은 연속체의 해석에 있어서는 요소의 수가 작아진다는 장점이 있다. 그러나 상반원리(reciprocal theorem)와

중첩의 원리를 활용하므로 선형 탄성적인 매질에 대한 해석으로 그 적용분야가 국한된다. 또한 다층구조나 암상의 변화가 있는 지반과 같이 물성이 다른 매질들이 혼재하는 경우에는 이에 따른 추가적인 계산이 별도로 요구되며, 소성해석이 불가능하지는 않으나, 유한요소법 등 타 방법에 비하여 복잡해지는 등 여러 가지 단점을 가진다.

그러나 요소의 수가 작아진다는 장점 때문에 해석 경계의 형상이 단순한 경우에 있어서는 3차원 해석이 비교적 용이한 편이며, 2차원 해석의 경우에 있어서도 탄성해만을 구하고자 하는 경우에는 타 방법보다 계산속도가 빠른 편이다.

(나) 유한요소법(FEM)

유한요소법은 매질을 유한개의 요소로 분할하고 각 요소는 절점(nodal point)에 의하여 연결되어 있다고 가정한다. 이때 각 절점에서의 변형, 힘의 균형, 변형·응력의 조건을 만족하도록 강성 매트릭스를 만든 후 요소 전체의 균형 방정식을 푸는 방법이다.

이러한 절점의 변위는 형상함수(shape function)를 선택해서 해결할 수 있다. 이러한 해석방법은 탄성과 탄소성 해석이 모두 가능하며 각 요소들이 서로 다른 물성을 갖는 경우에도 특별한 계산과정의 추가 없이 해석이 수행되므로 가장 많이 사용되고 있다. 다만 매질이 파괴된 이후에도 연속이라는 가정 때문에 절리나 단층의 미끄러짐이나 벌어짐, 그리고 균열(crack)의 생성 및 발달과정을 고려하려면 별도의 계산과정이 추가되므로 이러한 불연속면의 수가 과다할 경우에는 적합하지 못하다는 단점을 가지고 있다.

(다) 유한차분법(FDM)

유한차분법은 유한요소법과 매우 유사한 방법으로 기초 미분방정식의 미분항을 차분항의 형식으로 나타냄으로서 수학적 근사해를 수치적으로 해석하는 방법으로, 어떤 영역내에 격자점을 정하고 그 점에 대한 미분방정식을 차분 근사하여 해석한다. 절점 변위를 요소 내 임의의 점에서의 값으로 내삽(interpolation)하는 형상함수(shape function)가 없다. 따라서 양해법을 사용할 경우에는 전체 강성 행렬을 구성하지 않으므로 각 시간 단계에서의 계산량이 작고, 구성방정식이 비선형일 경우에도 실제 물리적 현상을 잘 모사한다.

(라) 개별요소법(DEM)

개별요소법은 해석대상매질을 작은 블록들의 집합체로 표현하고, 절리들은 개별 물체 사이의 경계면으로 간주된다. 즉, 불연속면은 경계조건(boundary condition)으로 다루어진다. 응력을 받는 불록 집합체의 경계면에서 접촉점의 힘과 변위는 블록들의 이동을 추적하는 일련의 계산 과정을 통하여 찾아진다.

블록이동은 작용하중이나 물체력에 의한 블록 시스템의 교란을 통해 이루어진다. 이는 동적 과정으로, 그 전파 속도는 개별 시스템의 물리적 특성에 의해 좌우된다. 이 동적 거동은 시간증분에 근거한 알고리즘에 의해 수식적으로 표현되는데, 시간증분의 크기는 그 시간증분 내에서 속도와 가속도가 일정하다고 가정될 수 있을 만한 크기여야 한다.

개별요소법은 한 단계(single step) 동안 교란이 하나의 개별요소와 인접한 개별요소 사이에 전파될 수 없을 정도로 시간증분이 충분히 작다는 개념에 근거한다. 시간증분의 제한은 블록들과 접촉면 모두에 적용된다. 강성블록의 경우는 블록의 질량과 블록들 사이의 접촉강성이 시간증분의 한계를 규정하고, 변형 가능한 블록의 경우에는 zone의 크기가 정해지고, 시스템의 강성은 무결암의 변형계수와 접촉면의 강성 모두로부터 영향을 받는다. 개별요소법은 절리가 발달한 암반의 거동해석과 granular material의 거동해석에 가장 적합한 방법이다. 하지만 현재의 지반조사 기술 수준으로는 지반 내부의 절리발달 상태 및 이들의 연결 상태를 정확히 파악하기는 불가능하다. 따라서 지질자료의 통계적 분석에 의해 절리 재생을 통한 해석이 수행되기도 했으나 재생된 절리계가 실제 지반 내의 절리발달 상태를 대표한다고 보기에는 무리가 있으며, 블록의 숫자가 증가하면 해석시간이 지나치게 길어진다는 단점이 있다.

8.3.5 급경사지 안전율기준

비탈면에 적용하는 기준 안전율은 비탈면 안정해석을 수행함에 있어 불균질한 구성재료를 대상으로 하는 불확실성을 감안하고 경제성을 확보하면서 장기적인 비탈면의 안정성을 확보하기 위한 최소한의 허용기준이다.

깎기 비탈면은 구성 지반이 대기 중에 노출되어 시간이 지남에 따라 풍화·침식 작용 등의 열화가 진행되고, 특히 강우시에는 지표수의 깎기비탈면 내 유입으로 인하여 지반의 간극수압이 증가되어 깎기비탈면의 붕괴를 유발시키기도 한다. 깎기비탈면 설계기준 안전율은 각 나라별, 기관별 기준이 약간씩 다르며, 국내의 경우 그 동안 여러과정의 보완을 거치면서 현재 국가

건설기준으로 통합관리되어 오고 있으며, 깎기비탈면의 안정해석시 적용되는 안전율 기준은 다음과 같다. 깎기비탈면 기준 안전율은 건기시 Fs〉1.5, 우기시 Fs〉1.2~1.3, 지진시 Fs〉1.1을 적용하고 있다. 건기조건의 안정해석은 지하수위를 고려하지 않고 해석을 수행하며, 우기조건의 안정해석은 지하수위를 지표면 또는 일정 깊이에 두고 해석을 수행하거나, 강우의 침투를 고려하여 선택적으로 수행할 수 있다. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면에 대한 우기시 안정해석의 경우 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 기준 안전율 FS〉1.2를 적용하는 것으로 규정하고 있다.

토사 및 풍화암으로 구성된 비탈면에 대하여 지하수위를 결정하여 우기시 안정해석을 수행하는 경우, 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하되, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술하여야 하며, 기준 안전율은 FS〉1.2를 적용하는 것으로 규정하고 있다. 또한 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 안전율 기준은 FS〉1.3을 적용하는 것으로 규정하고 있다. 그러나 실제로 침투해석을 실시할 경우에는 강우 지속기간이 굉장히 중요한 요소임에도 불구하고 이에 대해 명확한 기준이 제시되어 있지 않은 것이 현실이다. 즉 해석하는 연구가에 따라 침윤선 설정이 달라지기 때문에 이에 따른 보강방안 제안이 다를 수 있다는 약점이 있다.

지진시 안정해석은 비탈면 내진설계기준(KDS 11 90 00 : 2016)에 규정된 내진등급, 성능목표를 확보할 수 있어야 하며, 안정해석시 지진구역계수, 재현주기별 위험도계수, 지반계수 등을 고려하여 수평방향의 지진관성력을 작용시켜 해석을 수행하여야 하며, 이때 기준안전율은 FS〉1.1을 적용한다. 비탈면의 내진성능수준은 일반적으로 붕괴방지수준으로 적용하며, 붕괴방지수준은 비탈면에 인장균열·부분적 탈락·배부름 등의 파괴징조는 나타나지만, 이로 인하여 주 구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다.

〈표 8-19〉 깎기비탈면 안정성 해석시 적용 기준 안전율(국가건설기준, 2016)

구분		기준안전율	참조
장기	건기	Fs 〉 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석
	우기	Fs 〉 1.2 또는 Fs 〉 1.3	• 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면으로 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 Fs=1.2를 적용 • 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 • 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (Fs=1.2 적용) • 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당 지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (Fs=1.3 적용)
	지진시	Fs 〉 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단기		Fs 〉 1.1	• 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

참고 : 비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토

8.4 보수·보강공법

8.4.1 보수·보강공법의 종류

급경사지의 보수·보강은 크게 다음과 같이 6종류로 구분되며 종류 및 공법개요는 다음과 같다.

1) 표면보호공법
2) 구조물에 의한 보강공법
3) 낙석방지공법
4) 배수공법
5) 하중경감공법
6) 기타공법

〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류

구분	종 류	공 법 개 요
표면보호공법	식생공	비탈면 표면에 식생을 하여 우수에 의한 침식을 방지하고 풍화작용을 억제시키는 공법
	돌쌓기, 블록쌓기	경사도 1:1.0(45°)보다 급한 비탈면에 사용하며 돌이나 블록 등으로 비탈면을 덮어 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	돌붙임, 블록붙임	경사도 1:1.0(45°)보다 완만한 비탈면에 사용하여 옹벽으로서 역할과 함께 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	콘크리트 블록, PC패널	콘크리트 격자를 비탈면에 덮어 깎기비탈면의 표면붕락을 방지하는 공법
	숏크리트 (Shotcrete)	표면 정리 후 철망을 앵커핀으로 고정시킨 후 시멘트 모르터를 뿜칠하여 표면을 보호하는 공법
	매트리스 게비온 (Mattress Gabion)	일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 매트리스 형태로 형성하는 공법
구조물에 의한 보강공법	록볼트 (Rock bolt)	강봉을 이용하여 암체를 서로 연결시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 공법
	앵커 (Anchor)	앵커의 인장력으로 암반블록이나 토체를 안정된 지반에 고정하여 안정화 시키는 공법
	쏘일네일링 (Soil nailing)	지중에 보강재를 좁은 간격으로 삽입하여 비탈면의 전단강도를 증가시키는 공법
	억지말뚝	비탈면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 저항하여 활동을 억지시키는 공법
	기대기 옹벽	깎기비탈면 하단부의 지지력이 상실된 공간이 발생하여 추가적으로 암 이탈이 발생할 위험성이 높은곳에 적용하는 공법
	콘크리트 옹벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담하도록 하여 비탈면을 안정화시키는 공법
	보강토 옹법	흙 비탈면내에 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법
	돌망태 옹벽	강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 비탈면 표층부의 침식을 방지하는 공법

〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류

구분	종 류	공 법 개 요
낙석방지공법	뜬돌제거	비탈면상의 뜬돌, 전석이 박리 또는 낙하되지 않도록 제거하는 공법
	낙석방지망	방지망의 장력 및 자중을 이용하여 이완된 암석을 포획하거나 암석의 운동에너지를 억제하는 공법
	낙석방지울타리	지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등으로 구성된 울타리로 낙석에너지를 흡수하는 공법
	피암터널	강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로위에처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법
	낙석방지 옹벽	토사나 전석이 도로에 유입되는 것을 방지하기 위해 비탈면 앞에 옹벽을 설치하는 공법
	조합 공법	록볼트(Rock bolt)와 연계하여 낙석방지망을 설치하거나 여러 가지 낙석방지공법을 조합하여 시공하는 방법
배수공법	산마루측구	비탈면상부에 U형 수로 등의 배수로를 설치하여 강우나 강설에 의해 지표수가 비탈면내로 침투하는 것을 방지하는 공법
	소단측구	비탈면내에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 소단에 콘크리트구조물의 측구를 설치하여 종단경사에 따라 배수처리를 실시하는 공법
	L, U, J형 측구	비탈면으로부터 배출되는 지하수 및 지표수와 도로상에 흐르는 용수를 집수정 등으로 유도하는 공법
	도수로	산마루측구와 소단측구 등을 따라 유입된 물을 수로 또는 도로외부로 유출시키기 위해 비탈면의 종방향으로 U형 수로 등의 배수로를 설치하는 공법
	수평배수공	지하수위 저하와 유도배수를 위해 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수하는 공법(규모가 큰 지반활동지대에서는 배수터널이나 여러 본의 배수공을 조합하여 시공)
	집수정	지하수량이 풍부하여 수평배수공으로 배수가 곤란한 경우 집중적으로 지하수를 집수하기 위해 우물형태의 구조물을 설치하여 지하수를 배제하는 공법
	맹암거	지표수가 지반내로 유입되어 수압이 작용하는 조건의 지반인 경우 지반내에 투수성재료를 매입하여 지표수를 유도하여 지하수압을 줄이는 공법
	지하배수구	비탈면을 통해 흘러 노면 속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며 측구 되메우기시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물
	비탈끝배수구	비탈면 용수가 많거나 콘크리트 뿜어붙이기를 시공한 비탈면과 소단배수시설이 없는 대규모 비탈면서 흘러내리는 물이 인근지역으로 흐르지 않도록 하는 공법

〈표 8-20〉 급경사지 보수·보강공법의 종류

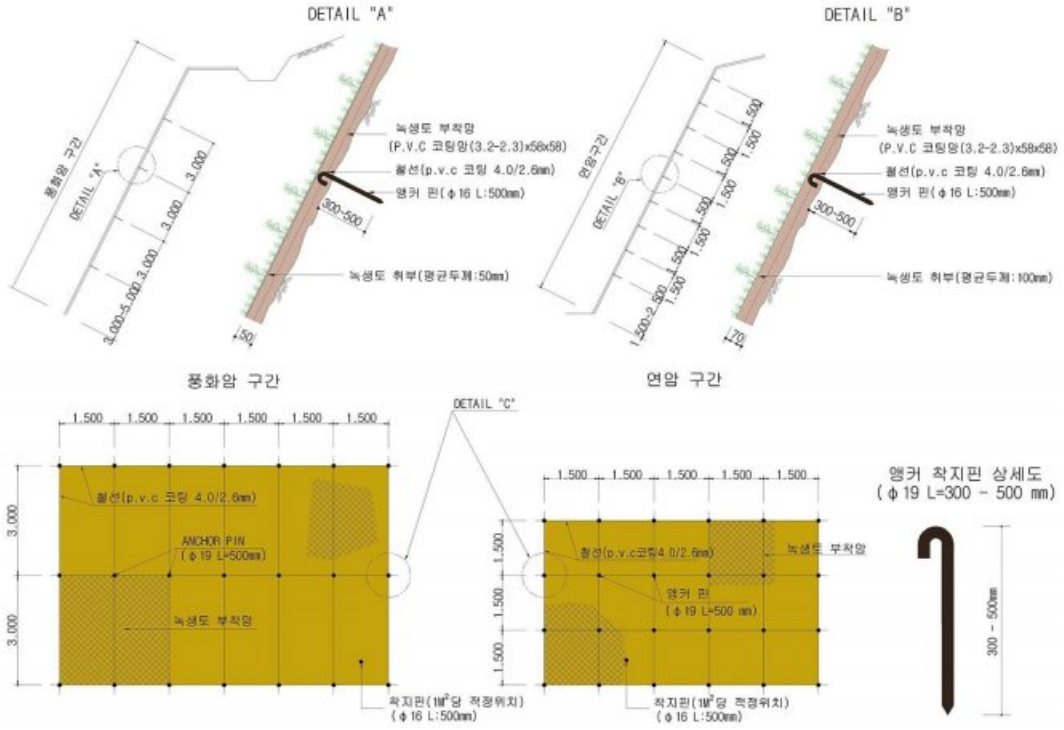
구분	종 류	공 법 개 요
하중 경감 공법	경사완화공법	비탈면의 경사를 완화시켜 안정성을 증대시키는 공법
기타 공법	그라우팅	비탈면 상부에 인장균열이 발생되었거나 암반 내 균열이 발생되어 강우 시 유수의 통로로 이용되어 암반 활동을 유발시킬 가능성이 높을 때 균열부를 채워줌으로써 암반 결합과 유수의 유입을 차단하는 공법
	모르타르	지반이나 암반에 발생한 공동의 채움이나 돌망태옹벽 등에 주입하여 고결화 시키는 등 다용도로 활용이 가능한 공법
	암파쇄방호시설	암파쇄 및 깎기 등에 의해 발생된 암괴, 토석의 도로유입을 방지하여 교통안전을 확보하고, 시공 장비의 작업공간 확보를 위해 뒤채움 토석이나 시공시 발생되는 토압에 저항하는 구조물
	사방시설	계곡부에서 토석류 이동에 따른 피해를 방지하기 위해 흙, 돌, 콘크리트 등을 이용하여 방호댐과 같은 시설을 적용하는 공법
	월류방지턱	계단식(화단)옹벽이나 소단배수구 등에 설치하는 공법으로 포획 공간을 확보하여 상부로부터의 낙석, 토사 유실 등에 대비하는 공법
	와이어로프걸기공	도로비탈면 내 대규모 이완암이 존재할 경우 와이어로프를 이용하여 이완 암블록을 원지반에 묶어주는 공법
	상시계측시스템	비탈면에 대규모 변위 및 활동 등의 징후가 관찰될 때 계측관리를 통한 사전재해방지 목적을 위한 계측시스템

8.4.2 보수·보강공법의 특징

1) 표면보호공법

(가) 식생공

식생공은 급경사지에 대하여 식생을 실시하는 공법으로 우수에 의한 침식 방지, 지표면 온도변화의 완화, 뿌리로 표토를 묶어 동상붕락의 억제 및 완화, 미적효과 등을 목적으로 한다. 그러나 식생공의 억지효과에 대한 평가가 어렵기 때문에 급경사지의 안정성 계산에는 이러한 식생공을 포함시키지 않는다. 따라서 식생공은 급경사지가 안정되어 있는 곳이나 억지효과가 있는 구조부재와 병행하여 이용한다. 국내 급경사지 보호공법으로 사용되는 식생공은 떼심기, 씨앗뿌리기공법, 씨앗 부착 거적덮기, 코이어넷(coir net), 코매트(co-mat), 식생기반재 취부공 등 여러 종류가 있다.



〈그림 8-15〉 식생공 개념도(예시)

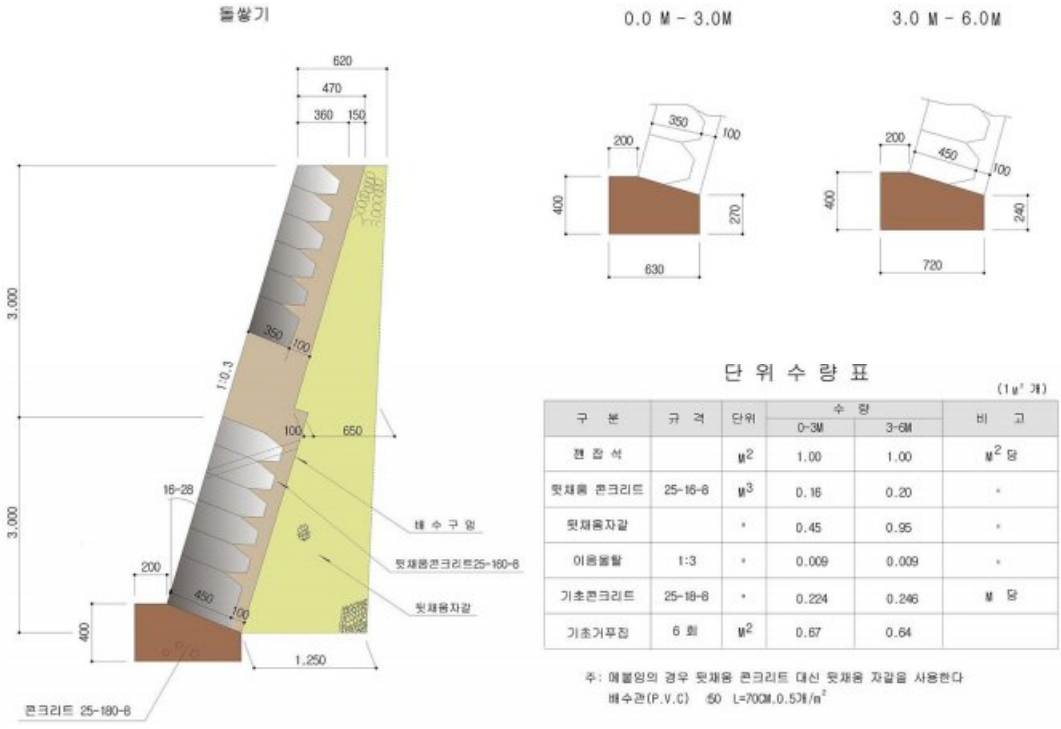
식생기반재 취부공　　선반식 식생공

(사진 8-1) 식생공

(나) 돌쌓기, 블록쌓기

돌쌓기(석축) 공법은 1:1 이상(45°이상)의 급경지면에 사용되며 급경사지의 풍화 및 침식 등을 방지하고 옹벽으로서 토압에도 충분히 견딜 수 있는 구조이어야 한다. 돌쌓기 공법은

흙막이용, 급경사지 보호용으로 옛날부터 사용되어 왔으나 최근에는 블록쌓기 공법이 많이 사용되고 있다.



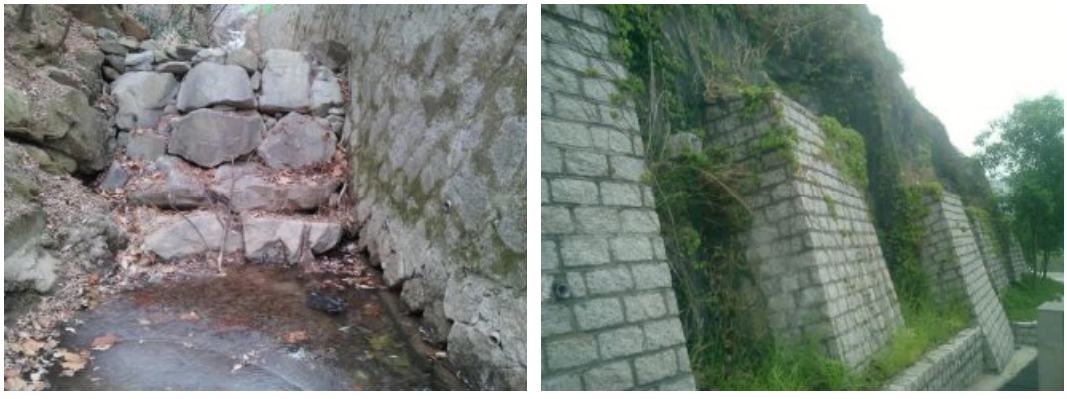
단 위 수 량 표

(1㎡ 개)

구 분	규 격	단위	수 량		비 고
			0-3M	3-6M	
면 접 석		M^2	1.00	1.00	M^2 당
뒷채움 콘크리트	25-18-8	M^3	0.16	0.20	"
뒷채움자갈		"	0.45	0.95	"
이음몰탈	1:3	"	0.009	0.009	"
기초콘크리트	25-18-8	"	0.224	0.246	M 당
기초거푸집	6 회	M^2	0.57	0.64	

주: 예불임의 경우 뒷채움 콘크리트 대신 뒷채움 자갈을 사용한다
배수관(P.V.C) ϕ50 L=700M,0.5개/m^2

〈그림 8-16〉 돌쌓기(석축) 개념도(예시)



(사진 8-2) 돌쌓기(석축)

돌쌓기(석축) 옹벽의 적용한계는 찰쌓기는 7m, 메쌓기는 5m로 하며 표준적인 적용치수는 다음 〈표 8-21〉과 같다.

쌓기 방법은 크게 찰쌓기와 메쌓기의 두 가지 방법이 있으며, 찰쌓기는 전면에 규준틀을 설치하고 돌을 한 층씩 쌓아 올린 후 배수성이 좋은 잡석으로 뒤채움을 하고, 각 층의 돌 사이에는 모르터를 채우고 위쪽면도 평편하게 채운 후 다음 돌을 쌓아올리는 방법으로서 콘크리트로 틈을 모두 메우므로 별도의 배수가 필요하다.

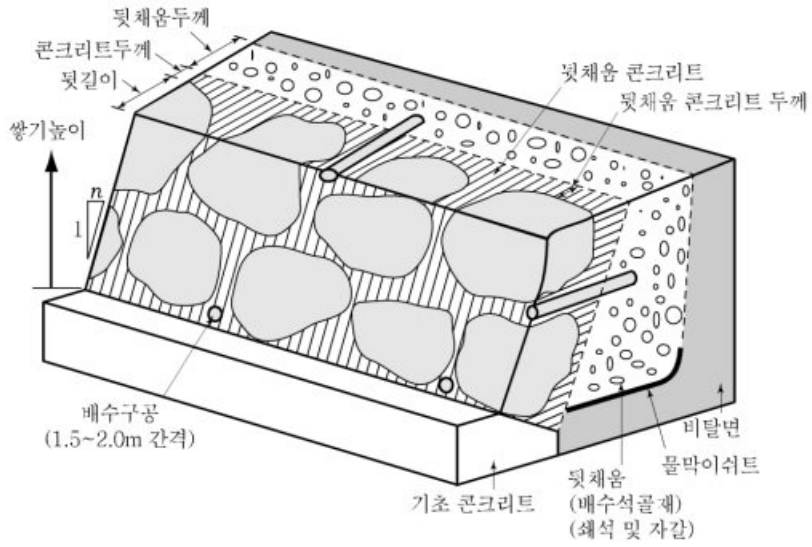
메쌓기는 돌 사이에 모르터를 채우지 않는 쌓기로서 큰 돌 사이에 작은 돌 등으로 고이거나 큰 돌의 표면을 해머로 깨어내어 접촉이 많아지도록 하면서 비교적 견고하게 쌓는 방법이다. 메쌓기는 찰쌓기보다 배수성이 좋지만 지반변형에 의해 쉽게 파손될 가능성이 있어 적용 높이에는 제한이 있다.

〈표 8-21〉 쌓기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽 표준치수

구분 / 비탈면 높이(m)	경사		쌓기 재료	쌓기 방법	뒷길이 (㎜)	뒤채움 콘크리트 두께(㎜)	뒤채움두께(㎜)	
	전면	배면					상부	하부
1.5 이하	1:0.3	1:0.2	양호	메쌓기	350	-	200	330
			보통	메쌓기			300	450
			불량	메쌓기			400	570
1.5~3.0	1:0.4	1:0.3	양호	메쌓기			200	460
			보통	찰쌓기		50	300	600
			불량	찰쌓기		100	400	740
3.0~5.0	1:0.5	1:0.4	양호	찰쌓기	350		200	630
			보통	찰쌓기	350	150	300	800
			불량	찰쌓기	450		400	990

〈표 8-22〉 깎기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽 표준치수

비탈면높이 (m)	경사	쌓기방법	뒷길이 (㎜)	뒤채움 콘크리트 두께 (㎜)	뒤채움두께 (㎜)
1.5 이하	1:0.3	메쌓기	350	100	300~400
1.5 ~ 3.0	1:0.3	찰쌓기	350	100	300~400
3.0 ~ 5.0	1:0.4	찰쌓기	350	150	300~400
5.0 ~ 7.0	1:0.5	찰쌓기	350	200	300~400

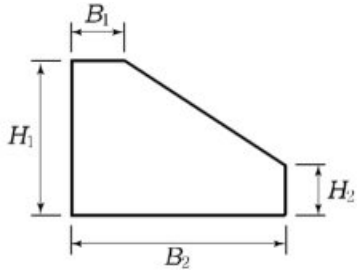


〈그림 8-17〉 돌쌓기(석축) 옹벽 공법의 형태(찰쌓기 예시)

돌쌓기(석축) 옹벽의 기초는 콘크리트 기초로 하며, 뒤채움 콘크리트의 두께에 따라 다음 〈표 8-23〉와 같은 단면형상의 콘크리트 직접기초 치수를 적용하며 옹벽높이가 높지 않으므로 직접기초 형식이 많으며, 지반이 나쁜 곳에서는 말뚝기초 혹은 일정심도까지 지반개량을 하고 직접기초를 설치할 수 있다.

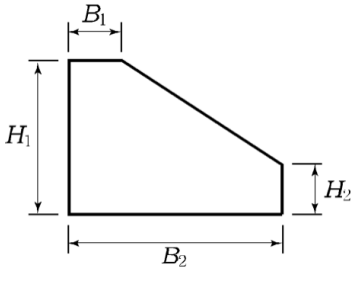
〈표 8-23〉 쌓기비탈면에서의 돌쌓기(석축) 옹벽의 기초치수(예시)

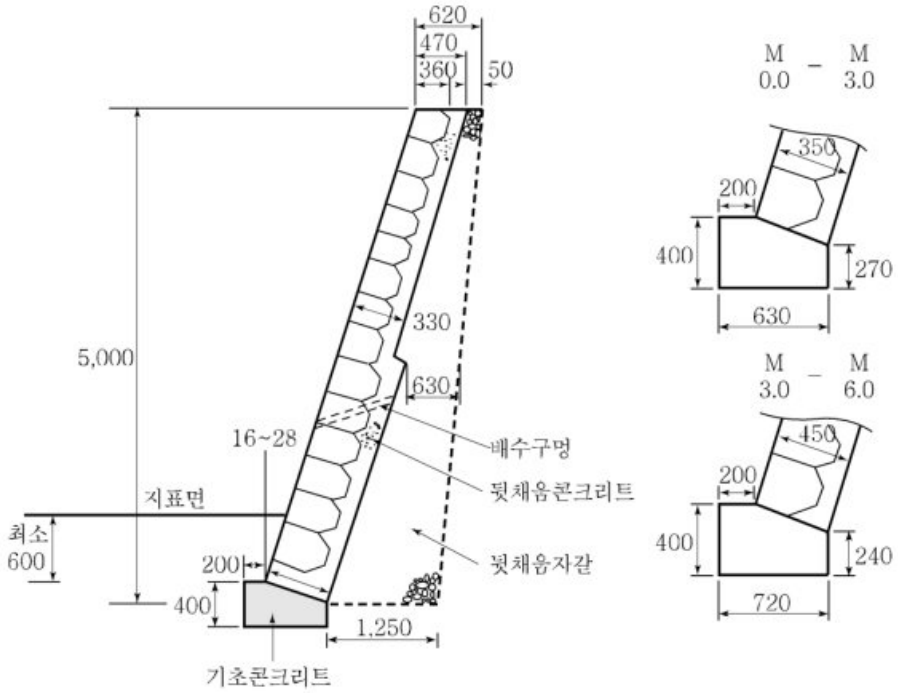
옹벽높이(m)	기초치수 (㎜)			
	B1	B2	H1	H2
3 이하	200	630	400	270
3 ~ 5	200	720	400	240



〈표 8-24〉 깎기비탈면에서 돌쌓기(석축) 옹벽의 기초치수(예시)

옹벽높이(m)	기초치수 (㎜)			
	B1	B2	H1	H2
1.5 이하	100	430	250	100
1.5 ~ 3	100	520	300	100





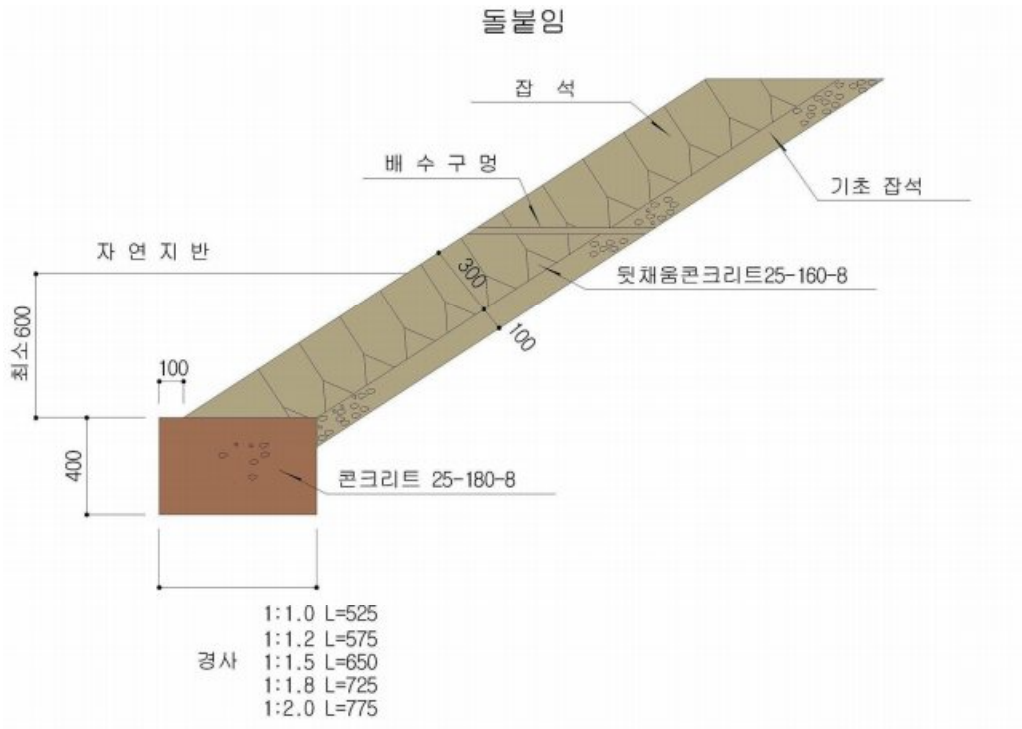
〈그림 8-18〉 돌쌓기(석축) 옹벽공의 단면 및 기초(예시), 단위: ㎜

(사진 8-3) 돌쌓기(석축) 옹벽(찰쌓기)

(사진 8-4) 돌쌓기(석축) 옹벽(메쌓기)

(다) 돌붙임, 블록붙임

돌붙임이나 블록붙임 공법은 급경사지의 풍화 및 침식 등의 방지를 주 목적으로 하여 1:1 이하(45°이하)의 완경사 급경사지에, 특히 점착력이 없는 토사 및 허물어지기 쉬운 급경사지에 사용한다. 돌붙임 및 블록붙임 공법은 표면 보호공으로서 사용되는 이외에 소규모의 급경사지 붕괴의 되메움 보호 등에서도 사용된다.



단 위 수 량 표

($1m^2$개)

구 분	규 격	단위	수 량					비 고
			경사1:1	경사1:1.2	경사1:1.5	경사1:1.8	경사1:2	
깬 잡 석		M^2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	M^2개
뒷채움 콘크리트	25-16-8	M^3	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	"
뒷채움자갈			0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	"
이음몰탈	1:3	"	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	"
기초콘크리트	25-18-8	"	0.21	0.23	0.26	0.29	0.31	M 개
기초거푸집	6 회	M^2	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	"

주:메붙임의 경우 뒷채움 콘크리트 대신 뒷채움 자갈을 사용한다
배수관(P.V.C) ⍉50 L=70CM,0.5개/m^2

〈그림 8-19〉 돌붙임, 블록붙임 개념도(예시)

(사진 8-5) 돌붙임

(라) 콘크리트 블록과 PC패널

① 콘크리트 격자 블록

용수가 있는 깎기 급경사지, 장대 급경사지이나 표준경사보다 급한 쌓기 급경사지에서 상황에 따라 식생이 적합하지 않은 곳 혹은 식생을 실시하더라도 표면이 붕락할 염려가 있는 경우에 사용된다. 경사가 1:0.8(55°)보다 완만한 급경사지에 사용하는 것이 좋다.

일반적으로 격자는 프리캐스트 제품으로 격자의 교점부분에는 활동방지 말뚝 혹은 철근 등을 설치한다. 격자 내에는 비옥토를 되메우고 식생을 해서 보호하는 것이 좋으나 급경사지 경사가 1:1.2(40°)보다 급한 경우, 많은 용수가 있는 경우 혹은 비옥토가 얻기 힘든 경우, 기타 식생만으로는 유출될 염려가 있는 경우 등에는 잡석을 넣어서 보호한다. 미관을 중요시 할 경우에는 돌붙임 사이에 씨앗 비옥토를 채우거나 씨앗뿜어붙이기공을 병용하거나 식생망태를 사용하여 녹화할 수도 있다. 용수가 특히 많은 경우에는 급경사지에 도수를 설치할 필요가 있다.

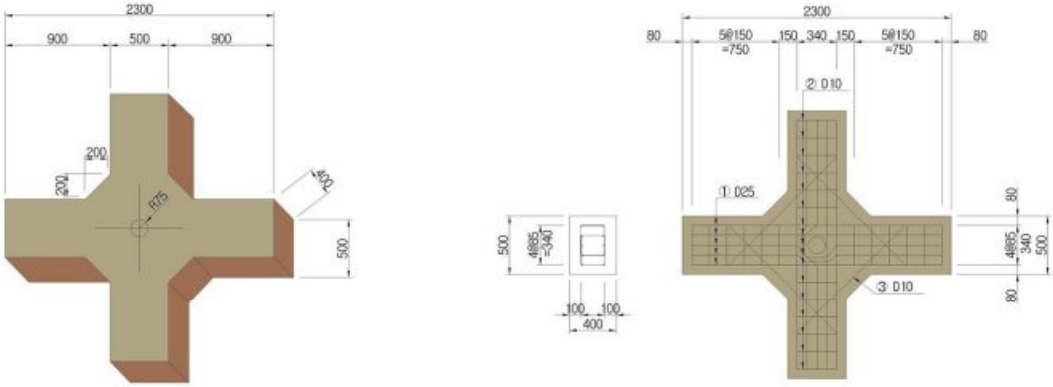
② 현장타설 콘크리트 격자

용수가 있는 풍화암이나 큰 규모의 급경사지 등에서 급경사지의 장기적인 안정이 염려되는 곳, 혹은 콘크리트 블록 격자공으로는 붕락할 염려가 있는 곳에 사용된다.

격자는 철근콘크리트의 현장타설로 용수처리를 충분히 실시하고, 격자내에는 상황에 따라 찰쌓기식 돌붙임, 블록붙임, 콘크리트 붙임, 식생 등으로 보호한다. 암반 중에 균열이 많고 물이 침투해서 풍화를 촉진하던가 붕락을 일으킬 염려가 있는 경우에는 모르터르 뿜어붙이기 혹은 시멘트 밀크의 주입 등도 병용된다. 상황에 따라 격자의 교점부분에 활동방지 말뚝이나

앵커를 설치한다. 격자는 급경사지 비탈면에 박히도록 하는 방법과 급경사지 위에 설치하는 방법이 있다. 연약한 지반에 설치할 경우에는 콘크리트 기초가 필요하다.

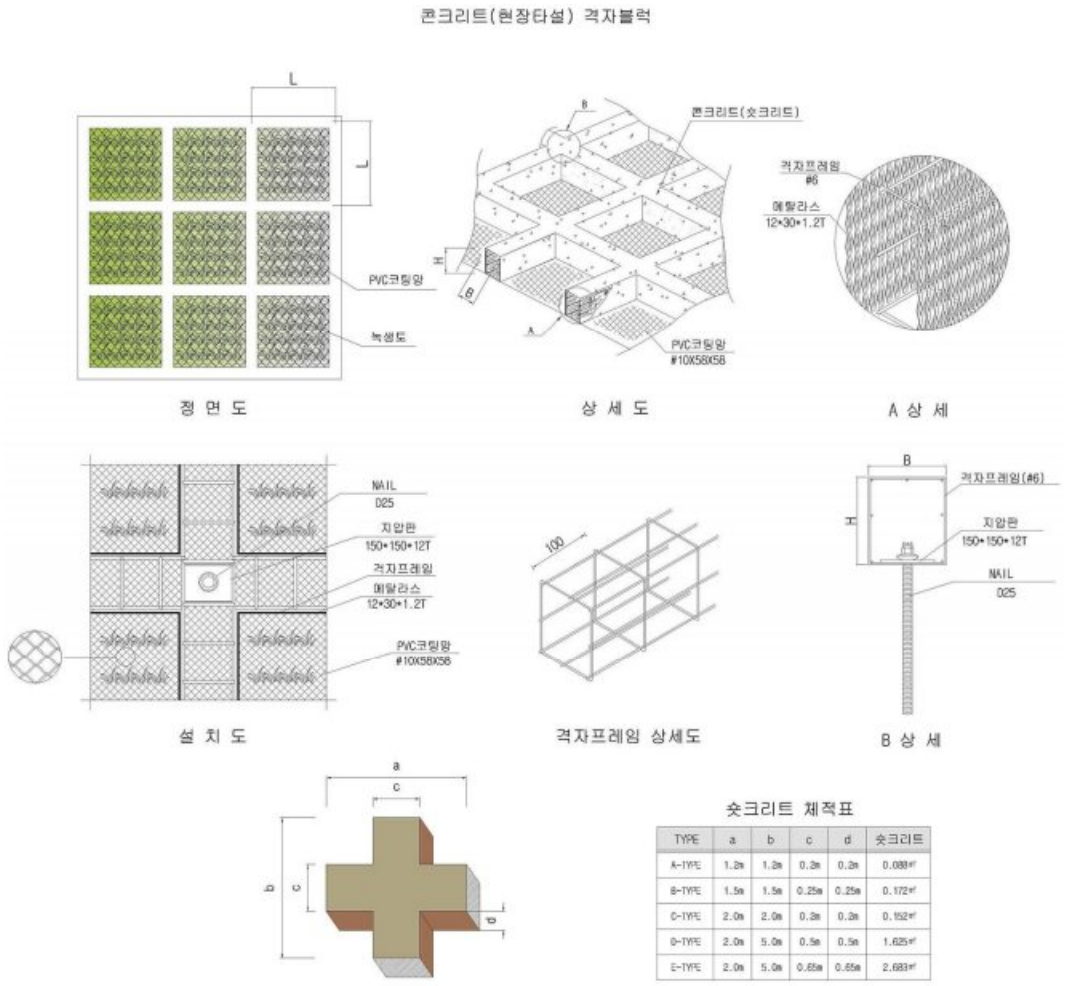
콘크리트(PC) 격자블럭



철근재료표

번호	호칭	길이	개수	총길이	단위중량	총중량 (ton)	비고
①	025	2.180	20	43.600			
소계				43.600	3.980	0.174	
②	010	1.302	68	88.536			
③	010	1.511	8	12.088			
소계				100.624	0.560	0.056	할증3%
총계						0.230	0.240

〈그림 8-20〉 콘크리트(PC) 격자블록 개념도(예시)



TYPE	a	b	c	d	숏크리트
A-TYPE	1.2m	1.2m	0.2m	0.2m	0.088㎥
B-TYPE	1.5m	1.5m	0.25m	0.25m	0.172㎥
C-TYPE	2.0m	2.0m	0.2m	0.2m	0.152㎥
D-TYPE	2.0m	5.0m	0.5m	0.5m	1.625㎥
E-TYPE	2.0m	5.0m	0.65m	0.65m	2.683㎥

〈그림 8-21〉 콘크리트(현장타설) 격자블록 개념도(예시)

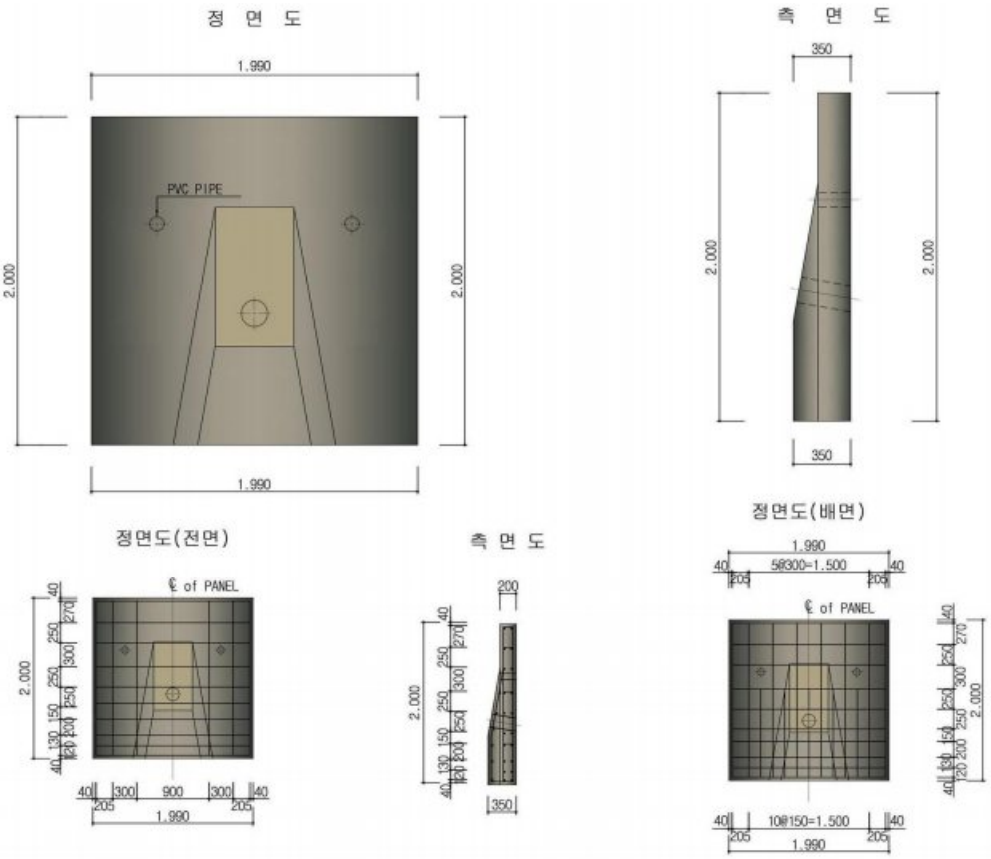
(사진 8-6) 콘크리트 격자블록

③ 콘크리트 PC패널

급경사지반에 절취가 어렵고 비탈면활동이 깊게 발생하는 비탈면이나 비탈면 완화 시 토공량 과다와 환경훼손이 심한비탈면, 암구간 절취 시 표면절리 및 활동면이 깊고 절리 및 파쇄가 심하여 토공량 최소와 표면보강이 필요한 대상지반에 콘크리트 PC패널과 영구앵커를 사용하여 활동력에 저항토록 주동보강방식으로 채택할 수 있는 공법이다.

이는 영구앵커를 사용하여 활동력에 대한 저항력을 증가시키고, 조경 및 미관을 위해 소단부에 식생이 가능토록하고, 전면부에는 긴장력을 유지하기 위해 PC(프리케스트) 패널로 전면판 역할을 하도록 하여 비탈면안정을 확보하기 위한 공법이다.

PC 패널 옹벽은 영구 옹벽 구조물로서 앵커로 인해 발생되는 집중하중을 4방향으로 하중이 분산되도록 패널자체의 구조체의 안정성을 확보하여야 한다.



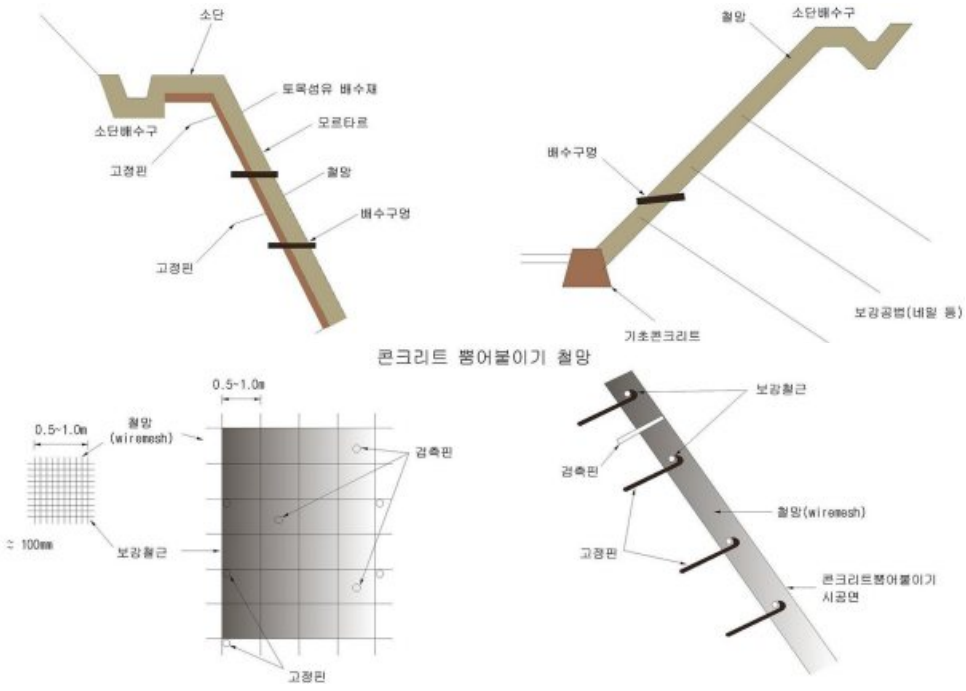
〈그림 8-22〉 콘크리트(PC) 패널 개념도(예시)

(사진 8-7) 콘크리트(PC) 패널

(마) 숏크리트(Shotcrete)

급경사지에 용수가 없고 당장 붕괴의 위험성은 없으나 풍화되기 쉬운 암석 또는 풍화로 인해 박리될 염려가 있는 암석이나 호박돌이 섞인 토사 등 식생이 적당하지 않은 곳에 사용된다.

모르타르 뿜어붙이기공은 비교적 엷게 뿜어 붙일 경우에, 콘크리트 뿜어붙이기공은 비교적 두껍게 뿜어 붙일 경우에 사용된다. 뿜어 붙일 면에 다소의 용수가 있는 경우에는 물구멍을 만들어 적절한 배수처리를 하여야 하며 또한 장래 붕괴의 원인이 될 수 있는 노출된 곳을 남기지 않아야 한다.



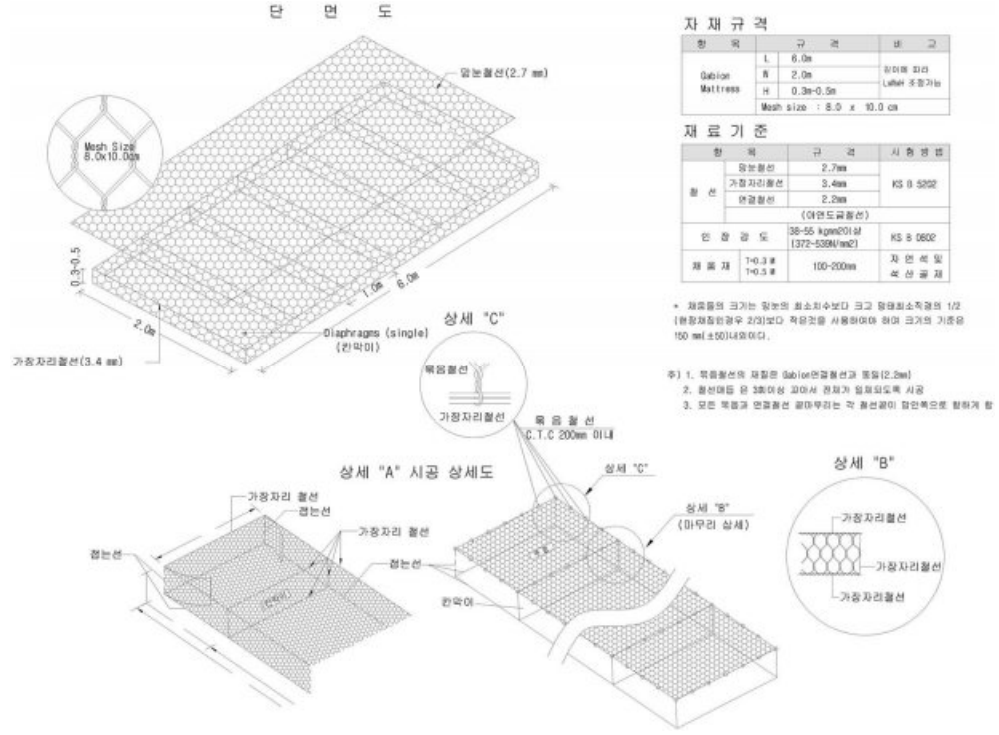
〈그림 8-23〉 콘크리트 뿜어붙이기 개념도(예시)

(사진 8-8) 콘크리트 붐어붙이기

(바) 매트리스 게비온(Mattress Gabion)

매트리스 게비온(Mattress Gabion)은 일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 매트리스 형태로 형성하는 공법으로서 용출이 심한 급경사지에 표면침식을 방지하기 위하여 사용한다.

본 공법의 특징은 배수성이 양호하기 때문에 설계시에 수압의 작용을 고려할 필요가 없다. 그러나 차도에 가깝고 경사가 급한 곳에 사용할 경우는 장기적으로 철선의 부식으로 인해 돌이 떨어져서 낙하할 수 있기 때문에 시공 시 충분한 주의가 필요하다.



〈그림 8-24〉 매트리스 게비온(Mattress Gabion) 개념도(예시)

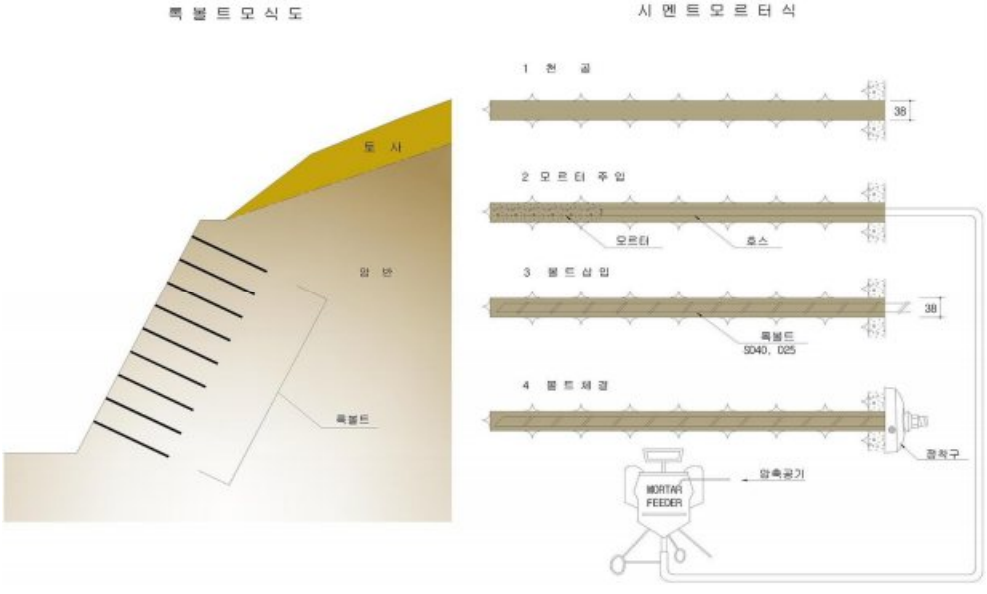
(사진 8-9) 매트리스 게비온(Mattress Gabion)

2) 구조물에 의한 보강공법

(가) 록볼트(Rock bolt)

록볼트는 이완암반과 모암의 일체화를 목적으로 혹은 불연속면을 경계로 한 여러 층을 일체화하기 위한 목적으로 사용한다. 록볼트의 작용효과는 부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 직접적인 원지반의 보강뿐만 아니라 간접적으로 원지반의 물성을 강화하는 효과가 있다.

록볼트를 사용하는 경우에는 급경사지 표면의 얕은 위치에 견고한 암반이 존재하여야 한다. 록볼트의 정착력을 정확히 추정하는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 사전에 인발시험을 실시하여 정착범위를 확인하여 두는 것이 중요하다.

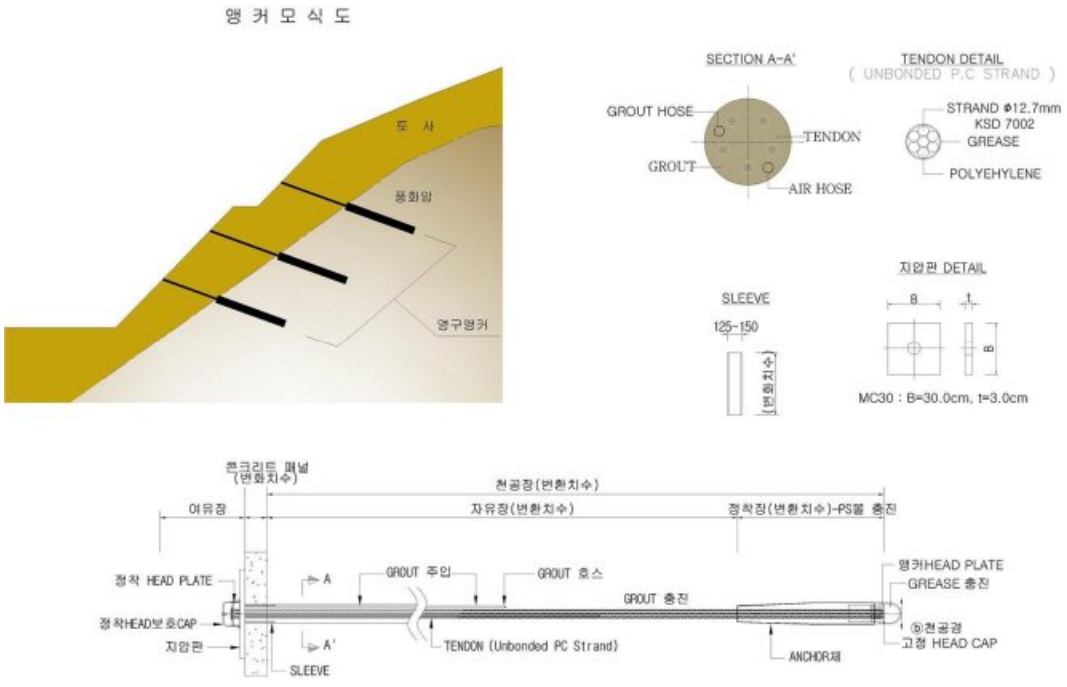


〈그림 8-25〉 록볼트(Rock bolt) 개념도(예시)

(사진 8-10) 록볼트(Rock bolt)

(나) 앵커(Anchor)

앵커는 흙 또는 암반의 급경사지 이완된 지반이나 불연속면 등이 존재하고 붕괴할염려가 있는 경우나 불안정한 급경사지의 안정을 꾀할 경우에 사용한다. 앵커는 단독으로 사용하는 경우와 현장타설 콘크리트 격자, 옹벽, 억지말뚝과 병용시키는 경우가 있으며 지지력을 구하는 방법, 안전성, 신뢰성, 내구력의 문제 등 설계 및 시공측면에서 미해결된 면이 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다. 앵커의 종류는 앵커와 지반의 정착방식에 따라 마찰형, 지압형, 복합형이 있다.



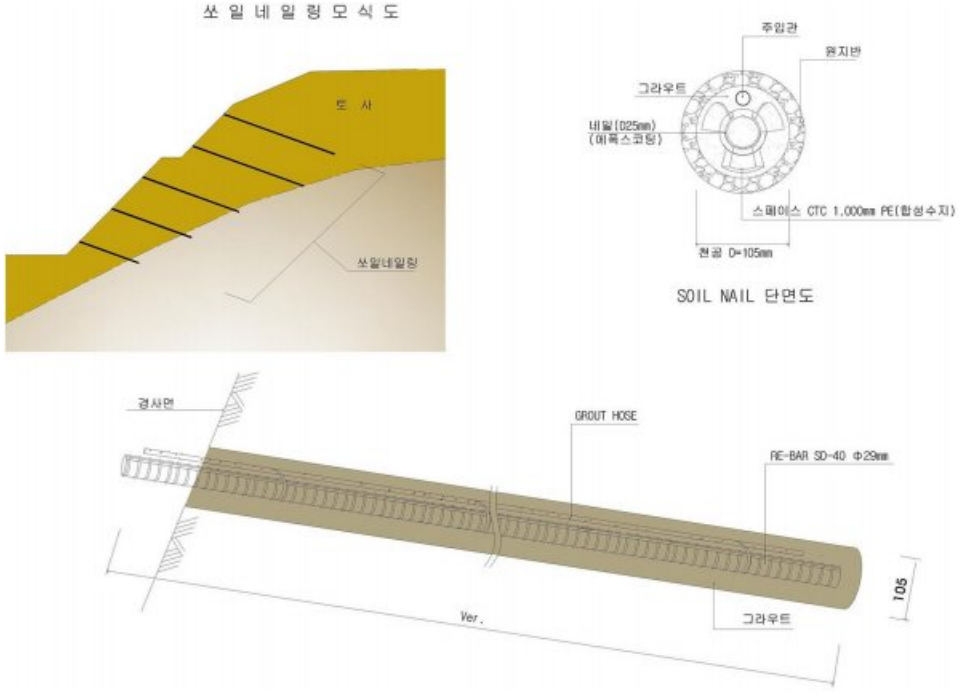
〈그림 8-26〉 앵커(Anchor) 개념도(예시)

(사진 8-11) 앵커(Anchor)

(다) 쏘일네일링(soil nailing)

쏘일네일링 공법은 네일(nail)이라고 불리우는 보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 지반에 삽입하여 급경사지의 전체적인 전단강도를 증가시킨다. 또한 숏크리트 등으로 굴착면을 보호하는 표면보호공을 조합하여 시공하는 경우가 많다.

쏘일네일링 공법의 장점은 가격이 비교적 저렴하고, 장비가 단순하며 접근이 어려운 장소와 협소한 공간에서도 작업이 용이하다는 점이며, 단점은 지하수위가 없는 지반 또는 지하수위의 저하에 의해 안정화된 지반에 제한적으로 사용된다는 점이다.



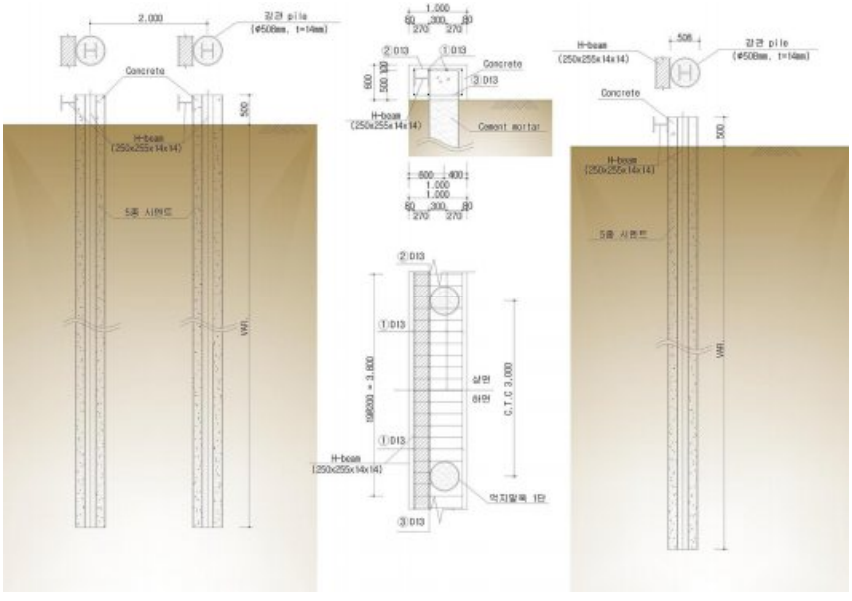
〈그림 8-27〉 쏘일네일링(soil nailing) 개념도(예시)

(사진 8-12) 쏘일네일링(soil nailing)

(라) 억지말뚝

억지말뚝 공법은 급경사지의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법이다. 억지말뚝의 설계시에는 말뚝에 발생하는 휨모멘트와 전단력을 고려하여, 말뚝의 단면, 종류, 간격 등을 결정한다. 휨모멘트가 큰 경우에는 말뚝머리에 앵커를 설치할 수도 있다.

말뚝의 타설위치는 지반활동시 압축상태에 놓이게 되는 급경사지의 말단부근처가 유리하다. 억지말뚝 공법은 기초부 암반이 토압으로 인해 활동현상이 발생한 지역, 토층 사이의 경계면에서 평면파괴가 발생하거나 풍화층의 유실과 침식으로 표면 붕괴의 우려가 있는 지역, 급경사의 토사비탈면으로 경사완화가 불가능하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용된다.



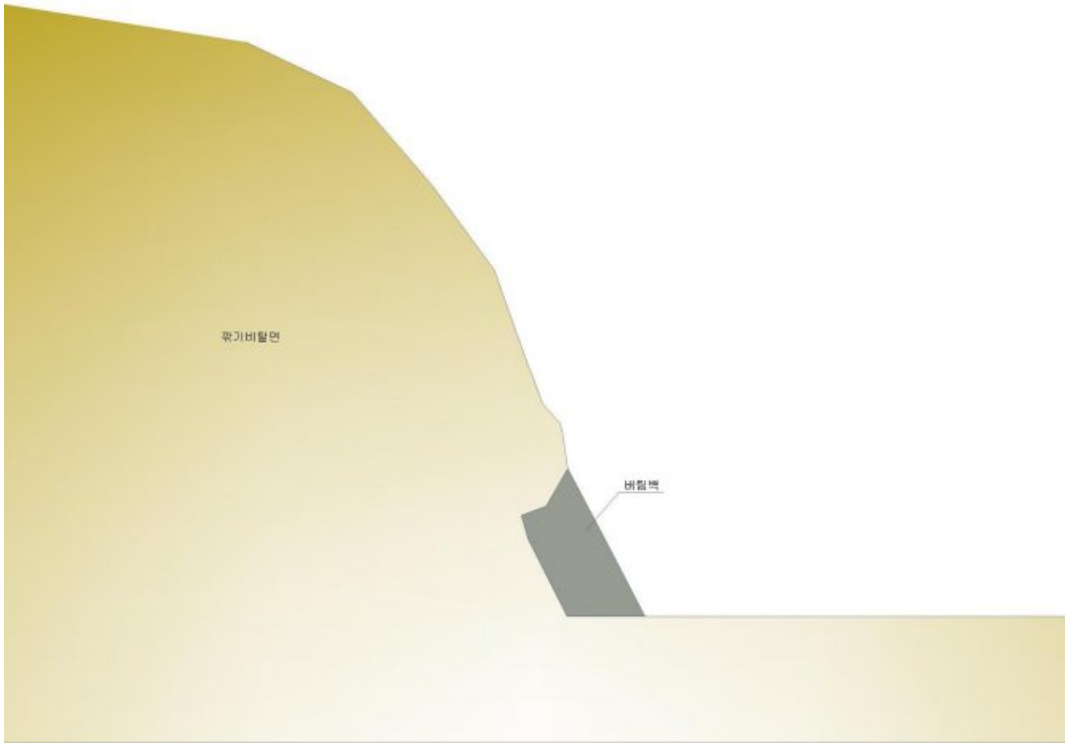
〈그림 8-28〉 억지말뚝 개념도(예시)

(사진 8-13) 억지말뚝

(마) 기대기 옹벽

① 콘크리트 버팀벽(buttress)

급경사지에서 암탈락이 발생하거나 비탈면 절취시 과다발파에 의하여 비탈면상에 빈공간이 생기게 되면 급경사지 하부의 지지력을 상실하게 되어 또 다른 암탈락이 발생할 위험이 커진다. 이러한 경우, 하부의 빈 공간에 콘크리트 버팀벽을 설치하여 경제적으로 급경사지의 안정성을 높일 수 있다.



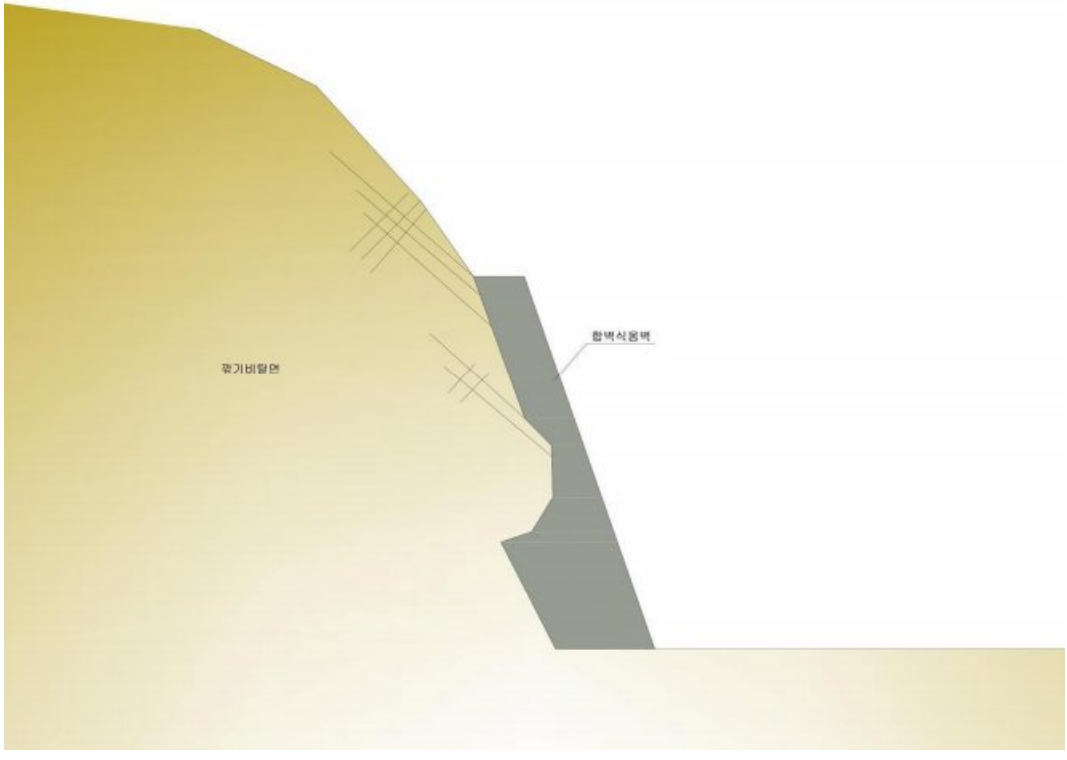
〈그림 8-29〉 콘크리트 버팀벽(buttress) 개념도(예시)

(사진 8-14) 콘크리트 버팀벽(buttress)

② 합벽식 옹벽

자립하지 않고 원지반에 기대서 자중으로 토압에 저항하는 공법으로 앵커 등과 결합하여 도로비탈면 보강 효과를 높이는 공법으로 소규모 이완 암괴 분포 구간에 콘크리트 벽체를 설치하여 이완암 고정 및 풍화 차단으로 안정성을 증가시킨다.

비탈면에 기댄 형상으로 자중에 의해비탈면의 하부 지지력를 확보하고, 앵커와 병행 시공시 높은 안정성을 가지며, 구간별 소규모 시공으로 공사비를 절감할 수 있다.

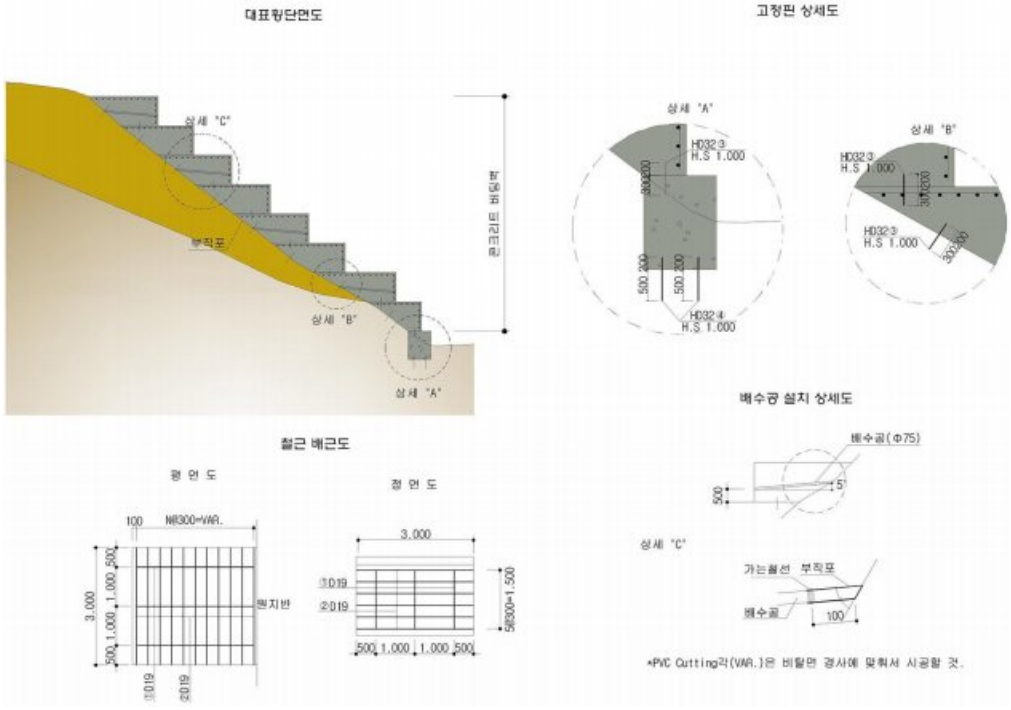


〈그림 8-30〉 합벽식 옹벽 개념도(예시)

(사진 8-15) 합벽식 옹벽

③ 계단식(화단) 옹벽

비탈면 활동 예상 구간, 파쇄대 구간, 함몰 공간 등에 계단형식의 콘크리트 벽체를 설치하여 지지력을 증대하고 안정성을 확보하는 공법으로, 활동, 전도 등의 외적안정성을 확보하기 위하여 필요시 앵커 등의 보강공법과 병행하기도 하며, 옹벽 자체의 파괴에 대한 구조적 안정성을 확보하여야 한다.



〈그림 8-31〉 계단식 옹벽 개념도(예시)

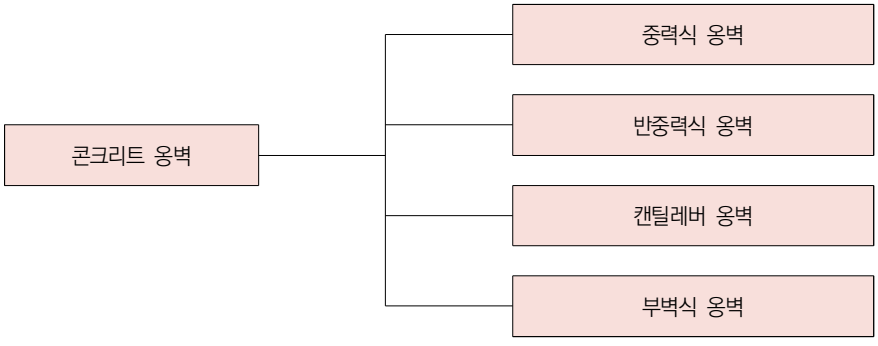
(사진 8-16) 계단식 옹벽

(바) 콘크리트 옹벽

옹벽은 흙을 지지하는 벽체로서 제한된 용지를 최대한 활용하기 위한 목적으로 비탈면 하부에 설치한다.

옹벽은 옹벽의 자중과 저판상부의 토사 중량 등으로 토압에 저항하여 급경사지를 지지하고 안정을 도모하기 위한 목적으로 설치하는 벽체 구조물이다. 옹벽의 설계시 안정성확보를 위하여 전도에 대한 안정성, 미끄러짐에 대한 안정성, 지반의 지지력 등에 대하여 검토를 수행해야 한다.

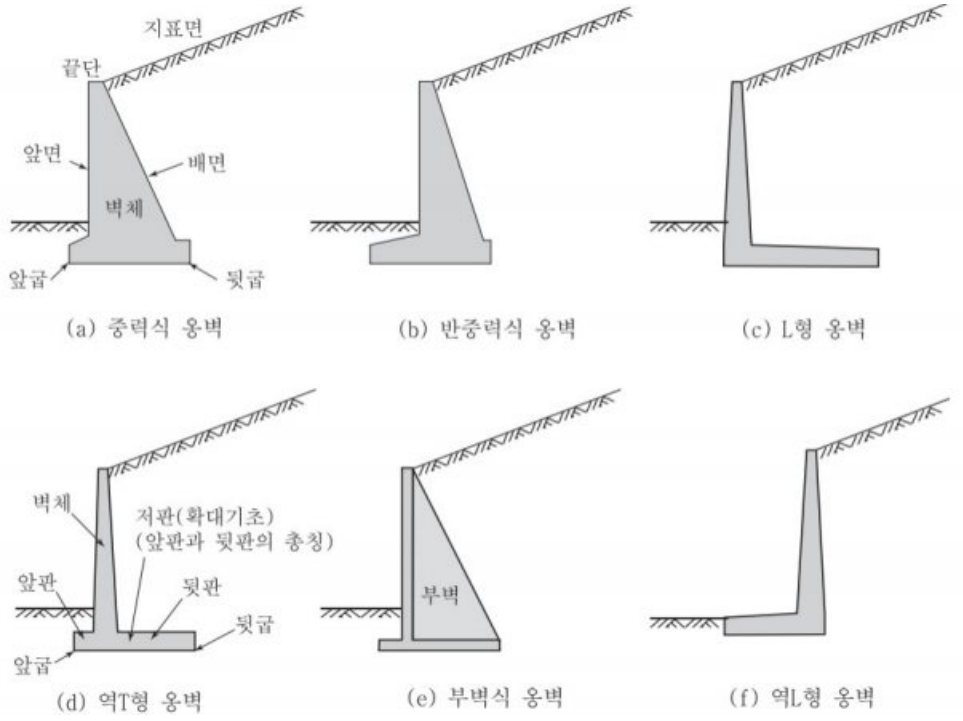
미끄러짐에 대한 안정성만이 부족한 경우에는 옹벽 바닥면에 활동방지벽(shear key)을 설치할 수도 있다. 형태에 따른 일반적인 옹벽의 분류는 다음과 같다.



〈그림 8-32〉 형태에 따른 일반적인 콘크리트옹벽의 분류

〈표 8-25〉 콘크리트 옹벽의 구조형식

형식	지 지 개 념	적 용 성
중력식	자중으로 토압을 지지하는 무근콘크리트 옹벽	• 벽체 내에 콘크리트 저항력 이상의 인장력이 생기지 않도록 해야 함 • 높이가 낮고 기초 지반이 양호한 경우
반중력식	중력식 옹벽과 동일	• 중력식 옹벽의 벽체 내에 생긴 인장력을 콘크리트 대신 소량의 철근으로 보강 • 대체로 중력식 옹벽에 준함
역T형, L형, 역L형 (캔틸레버식)	벽체의 자중과 저판 위의 흙의 중량으로 토압에 저항	• 철근콘크리트 구조이며 역T형이 일반적임. • L형은 옹벽이 용지 경계에 접하여 있는 경우와 같이 앞판 설치가 곤란할 때, • 역L형은 배면에 구조물 등이 있어 저판을 설치할 수 없을 때 적용
부벽식	캔틸레버 옹벽의 배면에 일정한 간격의 부벽을 설치하여 벽체를 보강한 옹벽	• 시공이 복잡하며 배면 다짐이 곤란함. • 앞부벽식은 옹벽 전면에 부벽을 설치하는 형식으로 역L형과 같이 안정상 불리하므로 특별한 경우에만 예외적으로 적용



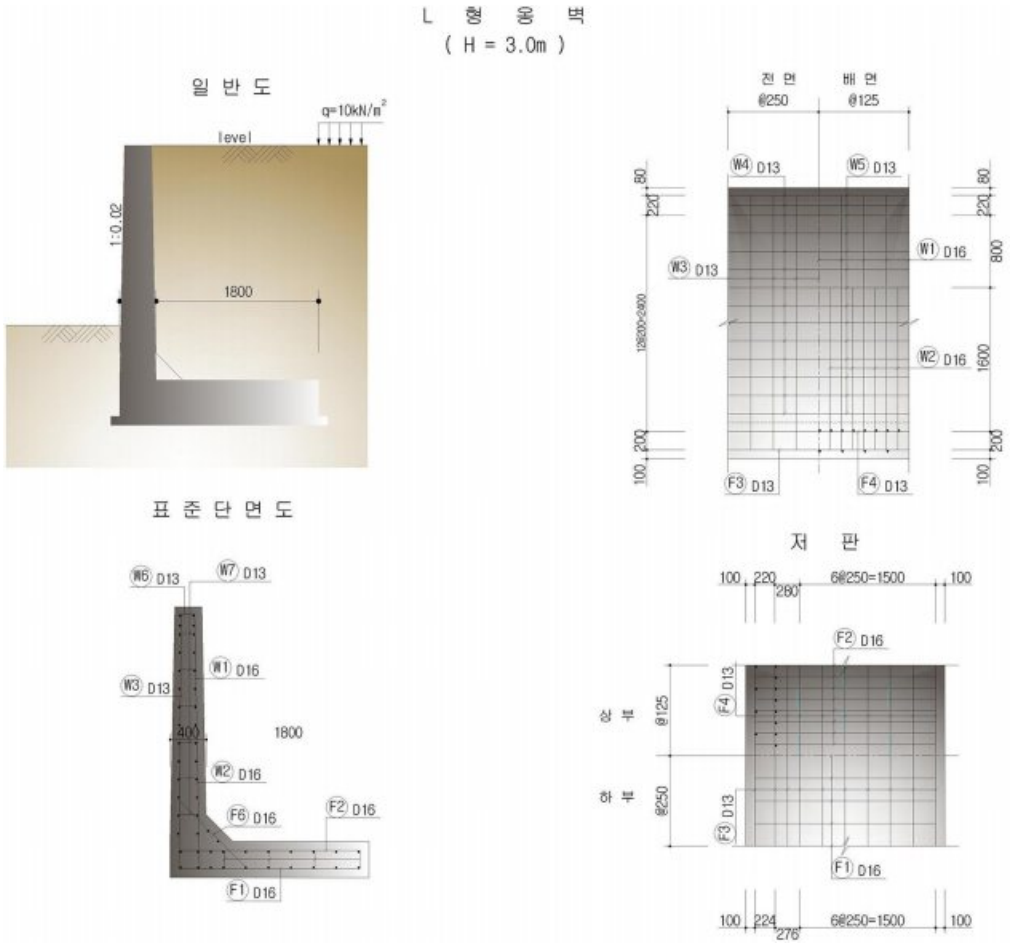
〈그림 8-33〉 콘크리트 옹벽의 종류

2종 시설옹벽(지면으로부터 노출된 높이가 5m이상인 부분의 합이 100m이상인 옹벽)의 경우 내진설계를 수행해야 하며 2종 시설옹벽 외에도 옹벽의 파괴범위내에 주구조물이 위치하고 있는 경우에는 내진설계가 필요하다.

옹벽의 내진해석은 ㉮유사정적해석(Pseudo-static analysis), ㉯ 강성블록해석(Rigid block analysis), ㉰ 수치해석 등이 있으며 옹벽구조물의 중요성에 따라 설계자의 판단에 의하여 해석방법을 선택할 수 있다.

(사진 8-17) 콘크리트 옹벽

(사진 8-18) 블럭식 옹벽

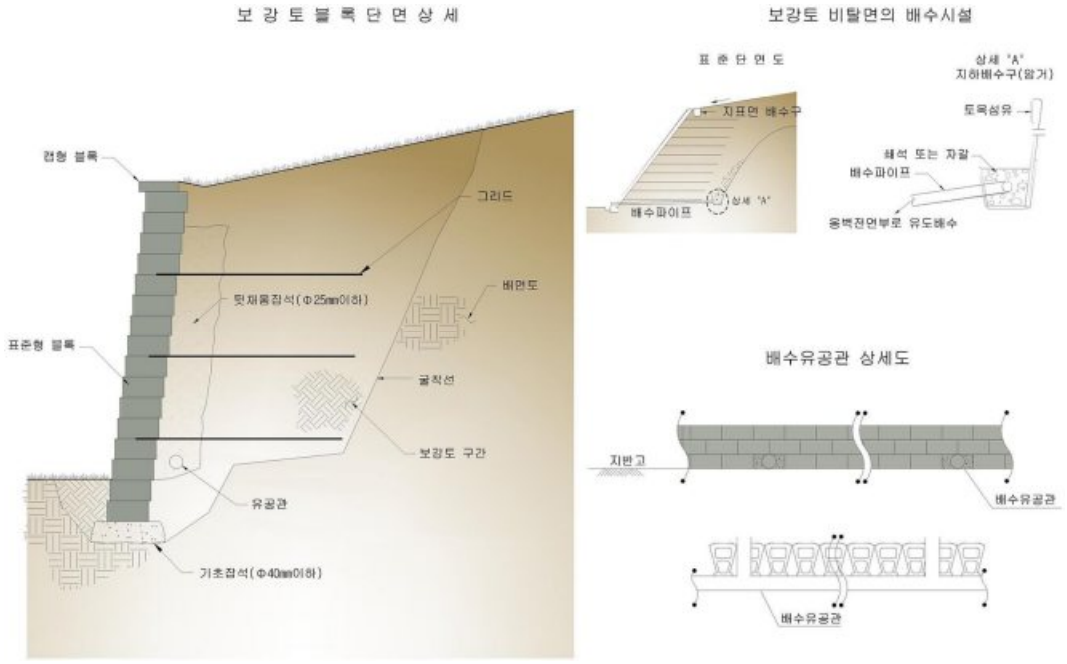


〈그림 8-34〉 옹벽 개념도(예시)

(사) 보강토 옹벽

보강토 옹벽은 쌓기나 깎기 비탈면내에 강재나 망 등의 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법이다.

보강토 공법은 지형 등의 제약을 받아서 쌓기나 깎기의 적정경사를 확보할 수 없는 경우나 급경사지를 보강할 필요가 있는 장소 또는 도시부에서 용지보상비가 과다한 장소 등에 사용한다. 주된 공법으로서 쌓기에서는 보강토벽공법, 망에 의한 보강공법 등이, 깎기에서는 철근 삽입, 각종 그라우팅, 강화섬유 주입 등의 보강공법이 있다.

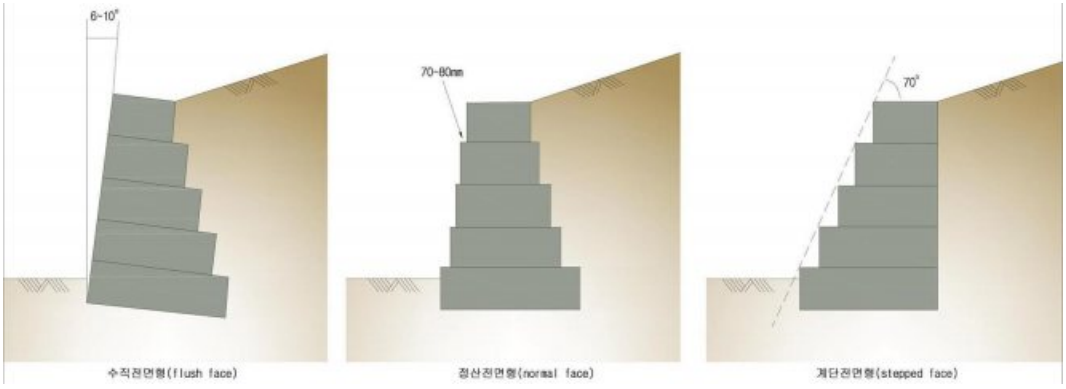


〈그림 8-35〉 보강토 옹벽 개념도(예시)

(사진 8-19) 보강토 옹벽

(아) 돌망태 옹벽

돌망태 옹벽은 철망에 자갈 등의 골재를 채우면서 여러 단으로 쌓아올린 옹벽으로서, 옹벽의 자중과 철망사이의 마찰저항력으로 흙의 작용력에 저항하여 비탈면 표층부의 침식을 방지하고 압성토의 역할을 하는 공법이다.



〈그림 8-36〉 일반적인 돌망태 옹벽의 설치형태(예시)

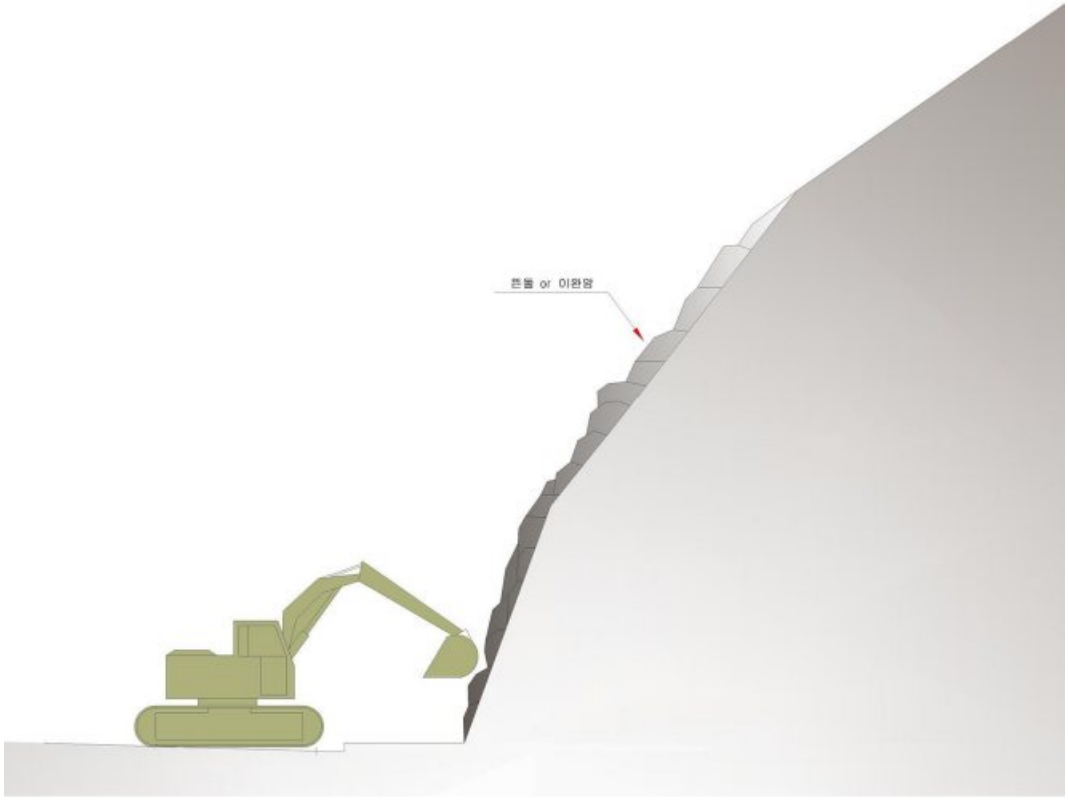
(사진 8-20) 돌망태 옹벽

3) 낙석방지공법

낙석방지공법은 급경사지에서 풍화의 진행, 지진, 호우 등에 의해 낙석의 위험이 있는 것으로 판단되는 곳에 실시한다. 낙석방지공법의 선정은 급경사지의 상황, 즉 급경사지의 지형, 지질 및 식생상황 등과 같은 조사결과에 근거하여야 하며 낙석발생시 예상되는 피해 정도에 따라 이러한 방법들을 조합시키거나 선택하여 선정한다.

(가) 뜬돌 제거

뜬돌 제거는 비탈면상의 뜬돌이나 이완암 블록이 낙하하지 않도록 직접 낙석을 제거 또는 정리하는 것이다.



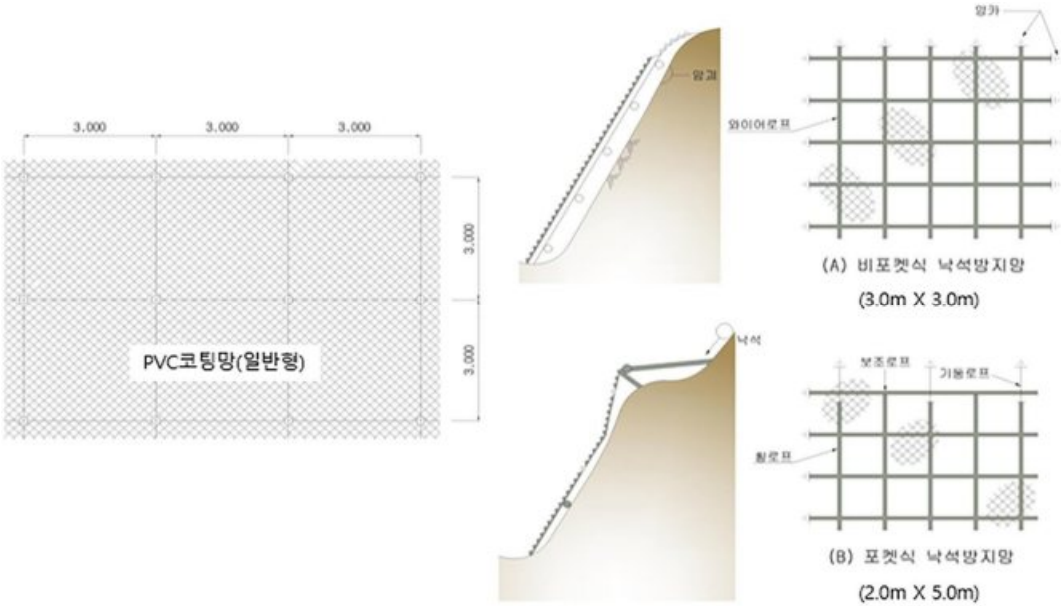
〈그림 8-37〉 뜬돌 제거 개념도(예시)

(사진 8-21) 뜬돌 제거

(나) 낙석방지망

낙석방지망은 강우나 풍화, 나무뿌리의 작용 등으로 인해 낙석발생 가능성이 있는 부분을 망으로 덮어 낙석을 예방하는 공법으로 방지망의 장력 및 자중과 이완된 암석의 포획효과에 의해 암석의 운동에너지를 억제하는 공법이다.

낙석방지망은 구조물에 의한 급경사지 보호공을 시공하지 않은 암반 또는 자갈 혼입 토사 급경사지에 낙석이 예상되는 경우에 사용한다. 낙석방지망은 낙석의 발생을 미연에 방지하고, 만일 낙석이 발생한 경우에 돌이 튀지 않도록 비탈면 끝으로 유도하는 것을 목적으로 하고 있다. 종류로는 포켓(주머니)식, 비포켓식이 있다.



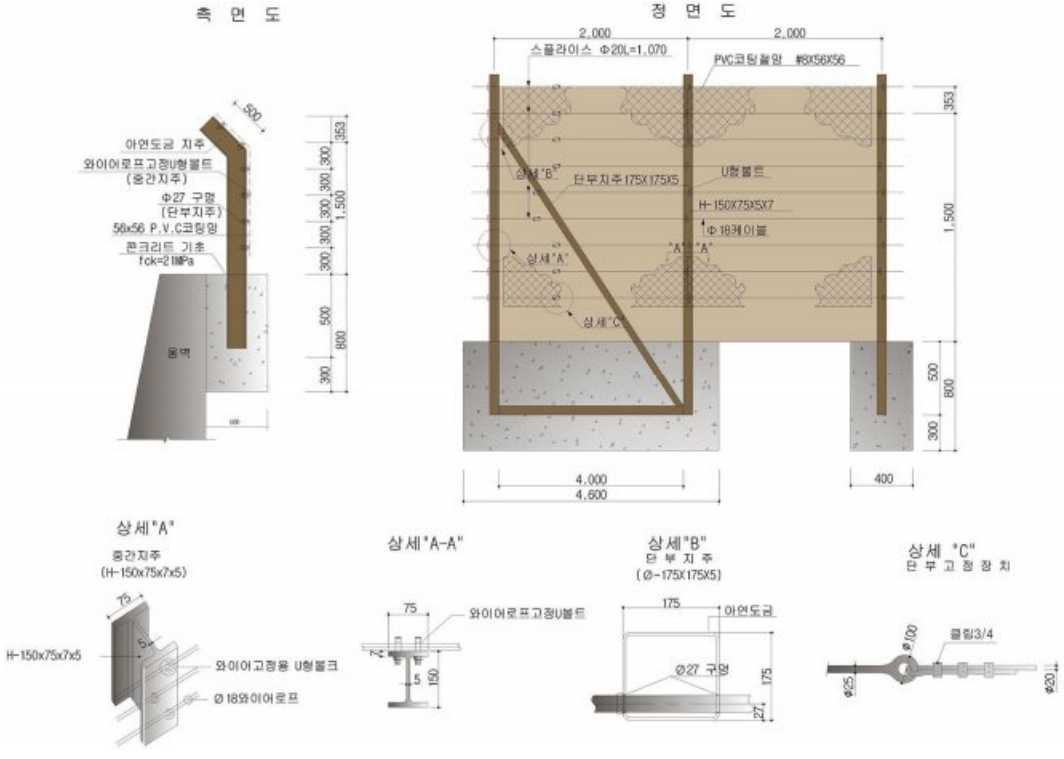
〈그림 8-38〉 낙석방지망 개념도(예시)

(사진 8-22) 낙석방지망

(다) 낙석방지울타리

낙석방지울타리는 지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등을 이용하여 낙석에너지를 흡수하는 것으로써 일반적으로 50kJ 이하의 소규모 낙석대책으로 주로 사용되나 유연성등을 이용하여 50kJ 이상의 큰 낙석에너지를 흡수할 수 있는 기능성 낙석방지울타리도 다양하게 개발되어 있다.

낙석방지울타리는 큰 규모의 급경사지 등에서 지진 또는 집중호우 등으로 낙석이 발생하는 경우에 낙석방지망만으로는 낙석을 효과적으로 제어하기 힘들 것으로 판단되는 위치에 사용한다. 특히, 경암, 연암, 및 자갈 혼입 토사 등으로 구성된 급경사지에서 낙석방지망만으로는 낙석의 위험을 효과적으로 대처하기 힘든 경우에는 낙석방지울타리를 설치하는 것이 바람직하다. 토사가 혼합되어 낙하하는 경우는 콘크리트 옹벽을 설치하고 그 상부에 낙석방지울타리를 설치한다.



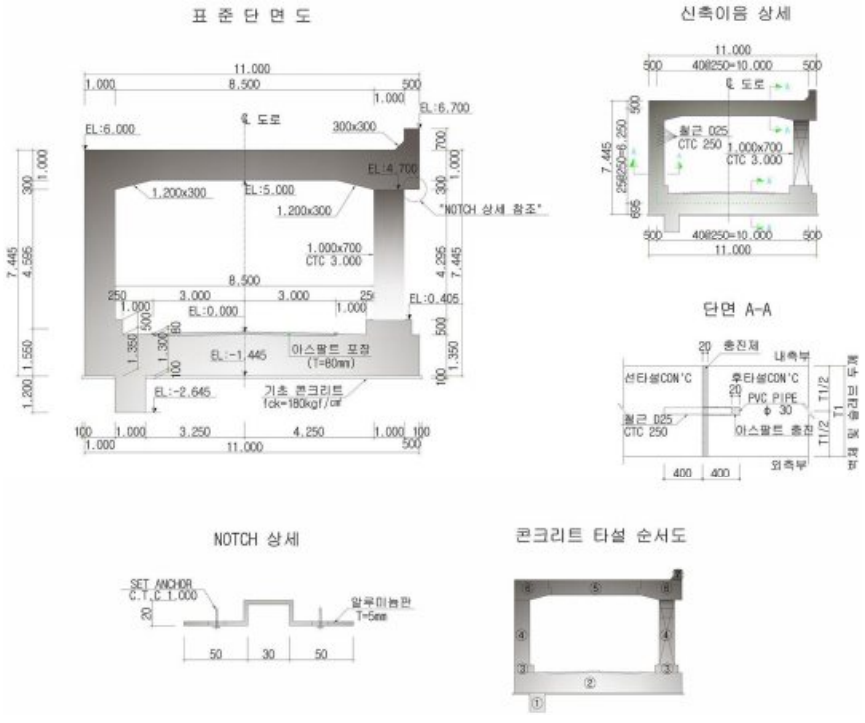
〈그림 8-39〉 낙석방지울타리 개념도(예시)

(사진 8-23) 낙석방지울타리

(라) 피암터널

피암터널은 강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로위에 처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법이다.

피암터널은 급한 장대비탈면이 연이어져 있는 경우나 낙석의 규모가 커서 낙석방지울타리만으로는 방지할 수 없는 경우 또는 낙석의 지름이 큰 경우에 사용한다. 피암터널의 상부에는 완충재(토사 등)를 두어 낙석의 충격을 완화하여야 하며 상단부 표면은 경사지게 하여 발생된 낙석을 다른 방향으로 유도하여 충격에너지를 감소한다.



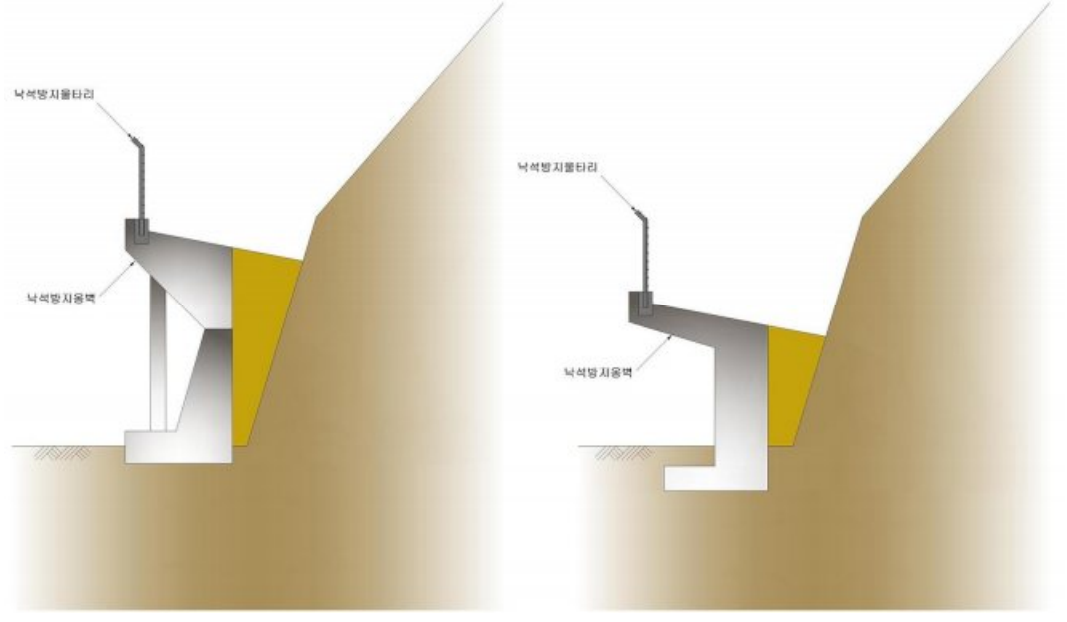
〈그림 8-40〉 피암터널 개념도(예시)

(사진 8-24) 피암터널

(마) 낙석방지옹벽

낙석방지옹벽은 토사나 낙석이 도로에 떨어지는 것을 방지하기 위해 설치하는 구조물이다. 낙석방지옹벽은 그 배후에 주머니부를 설치하여 어느 정도의 낙석을 퇴적시킬 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하기 때문에 배면 지형은 비탈면경사가 완만한 경우와 도로의 측방에 여유가 있는 장소가 조건으로 된다.

낙석방지옹벽공법을 설계 할 경우 예상되는 낙석의 중량, 속도, 최대 도약고, 지형, 지질 등을 고려하여 옹벽의 안정(연직지지, 수평지지, 전도) 및 구체 단면의 강도에 대하여 검토하여야 한다.



〈그림 8-41〉 낙석방지 옹벽 개념도(예시)

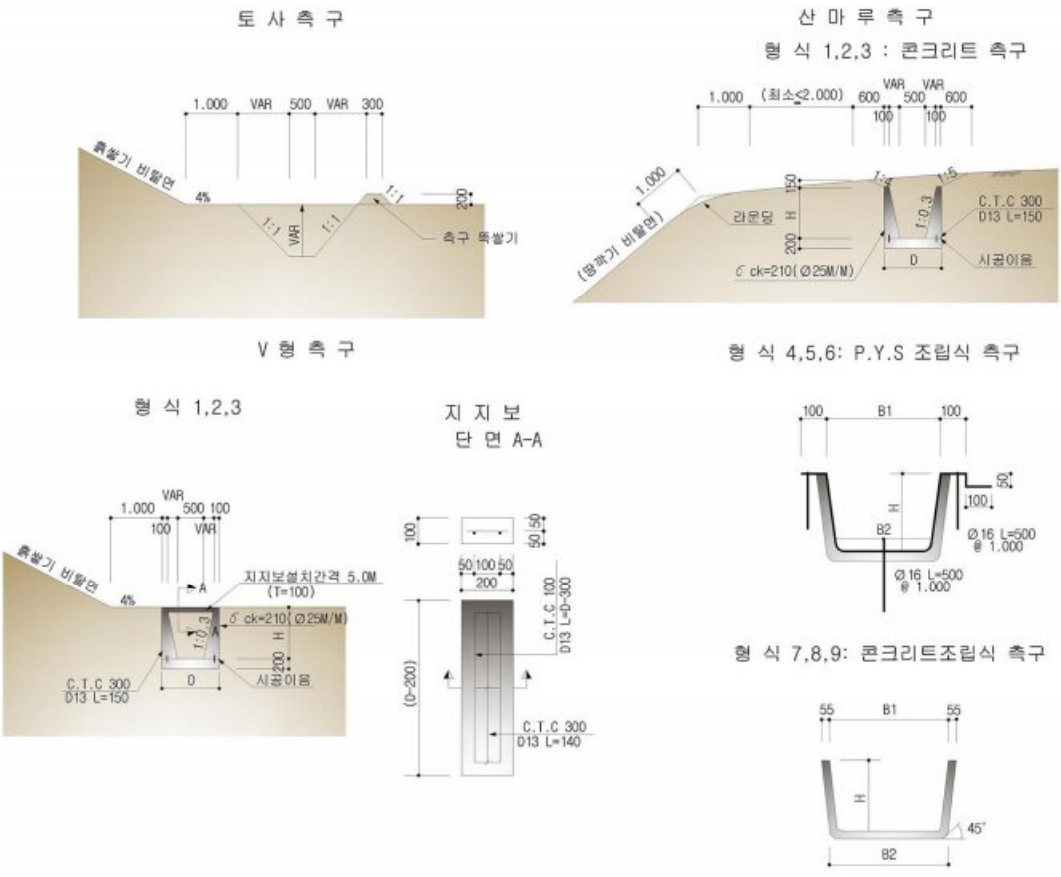
(사진 8-25) 낙석방지 옹벽

4) 배수공법

(가) 산마루측구

급경사지의 상부자연비탈면에 콘크리트 U형 수로 등의 배수로를 설치함으로써, 강우나 강설에 의해 지표수가 급경사지 내로 침투하는 것을 방지하여 급경사지 내 간극수압의 상승을 차단하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 급경사지의 침식을 방지하는 공법이다.

산마루측구 시공시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우, 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 반드시 지면과 측구사이 틈이 발생되지 않도록 하여야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

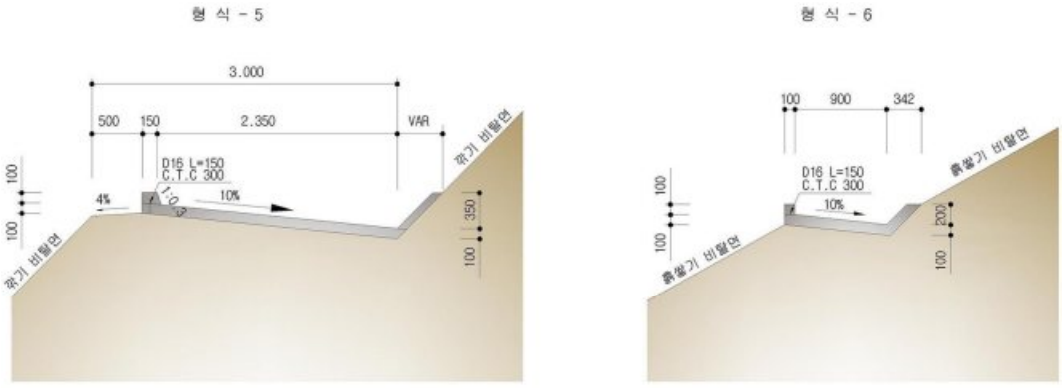


〈그림 8-42〉 산마루 측구 개념도(예시)

(사진 8-26) 산마루 측구

(나) 소단측구

소단측구는 급경사지에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다. 종단경사에 따라 배수처리를 실시하며 20m이상 깎기 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 급경사지가 유실되지 않도록 설치한다. 단, 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단될 때는 설치하지 않을 수 있다.



적 용 기 준

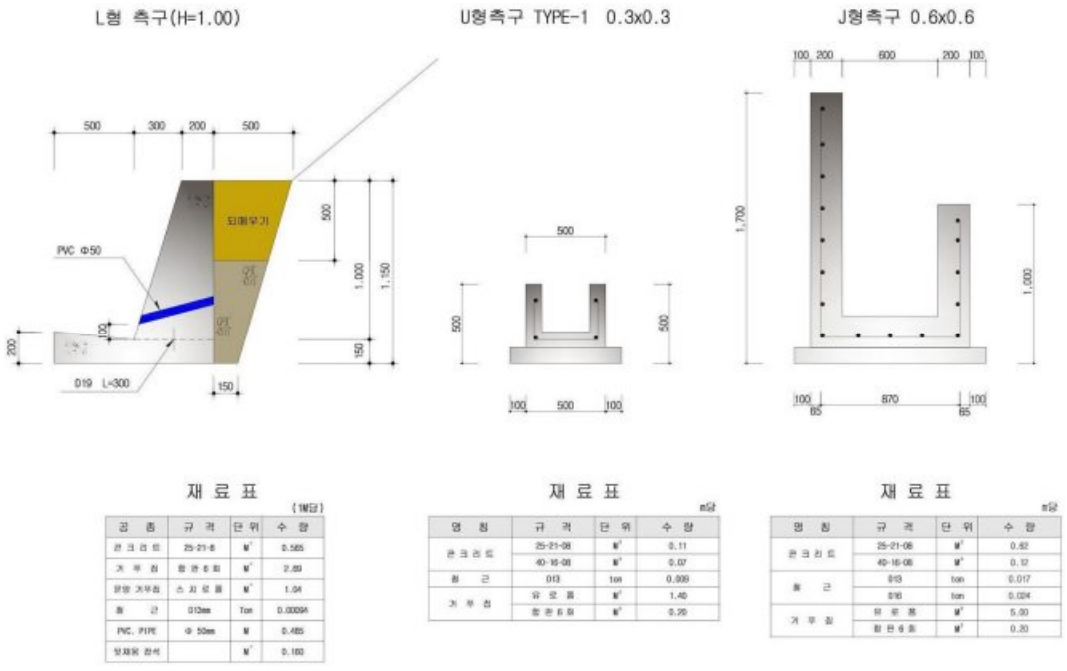
구 분	설 치 기 준	비 고
형 식 - 5	깎기부 소단측구	H=0.45M
6	쌓기부 소단측구	H=0.30M

〈그림 8-43〉 소단측구 개념도(예시)

(사진 8-27) 소단측구

(다) L, U, J형 측구

비탈면으로부터 배출되는 지하수 및 지표수와 도로상에 흐르는 용수를 집수정 등으로 유도하는 공법으로 측구의 높이를 1.0~1.5m 로 시공하여 낙석에 저항할 수 있는 효율을 높이고 연장이 길고 경사가 높은 비탈면에 시공하여 원활한 배수 유도가 가능하다.



〈그림 8-44〉 L, U, J형 측구 개념도(예시)

〈L형측구 적용〉

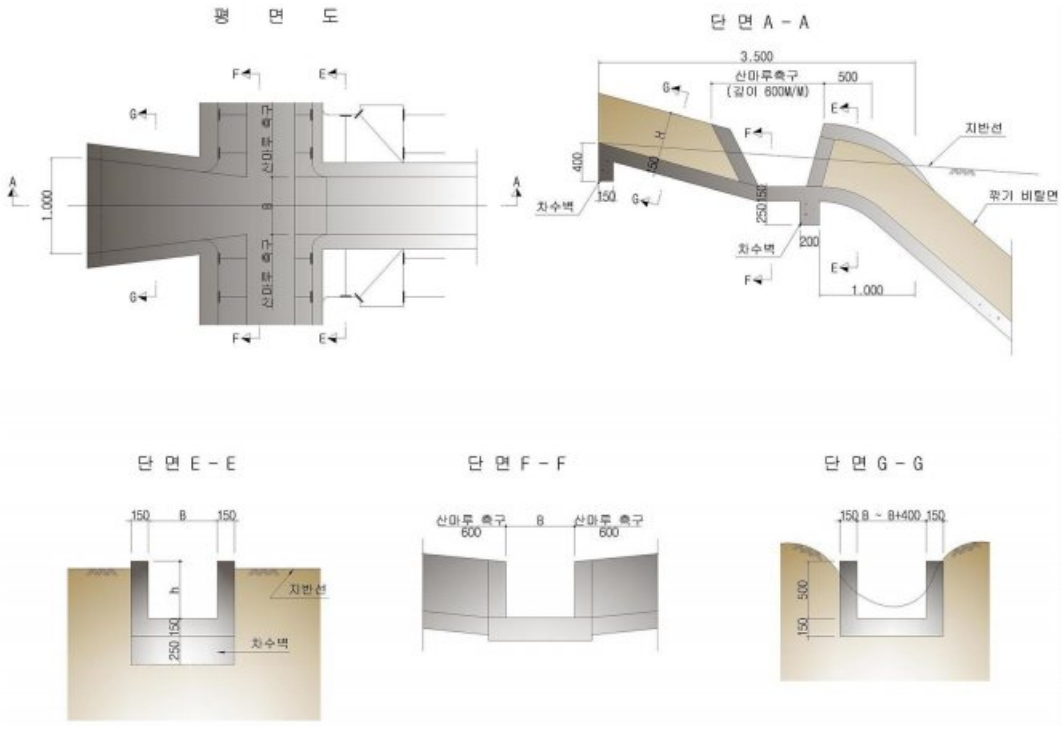
〈U형측구 적용〉

〈J형측구 적용〉

(사진 8-28) L, U, J형 측구

(라) 도수로

도수로는 집수된 물을 수로 또는 도로외부로 유출시키는 기능을 수행한다. 원칙적으로 현장타설 콘크리트로 설치하며 도수로의 주변은 콘크리트로 보호하고 세굴이나 풀등의 유입에 의한 통수기능 저하를 방지한다.

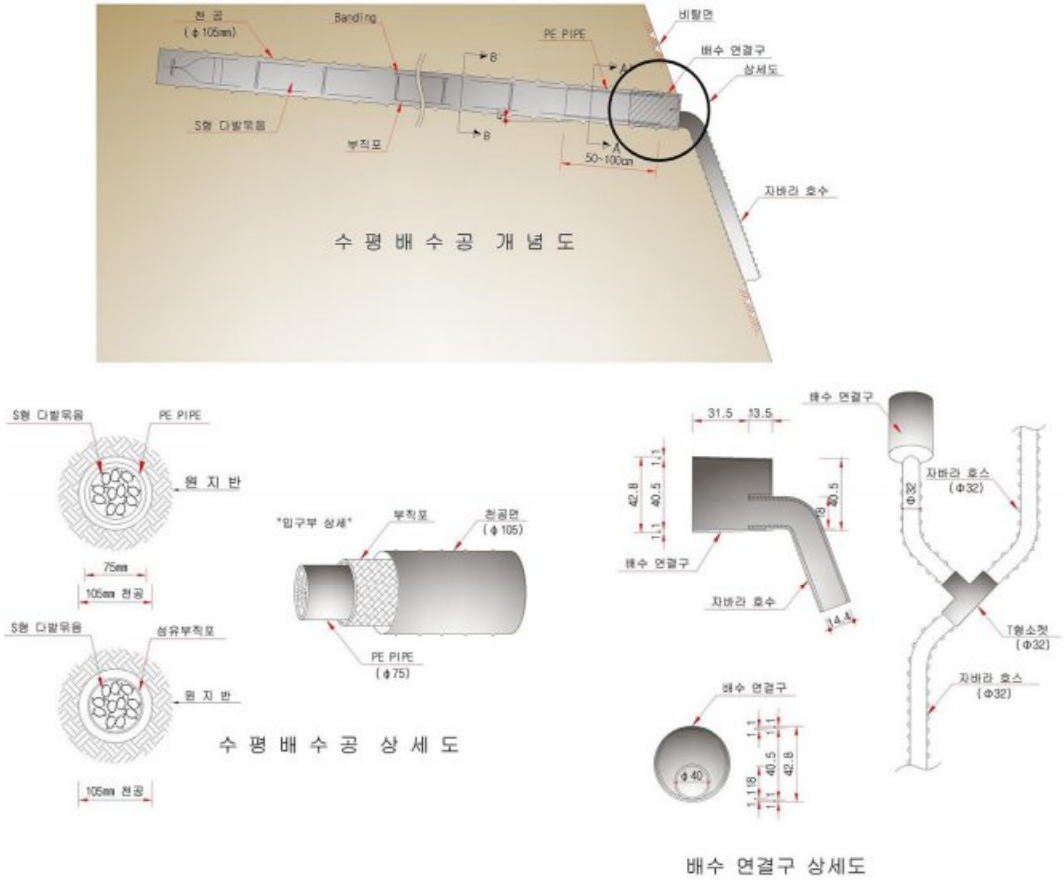


〈그림 8-45〉 도수로 개념도(예시)

(사진 8-29) 도수로

(마) 수평배수공

급경사지 내에 비교적 깊은 지반내에 지하수를 배제하는 경우나 지하배수공(암거공)등에 의해 지하수위 저하를 기대할 수 없는 경우에 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수한다. 수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하다. 규모가 큰 지반활동지대에서는 배수터널을 사용하기도 한다.



〈그림 8-46〉 수평배수공 개념도(예시)

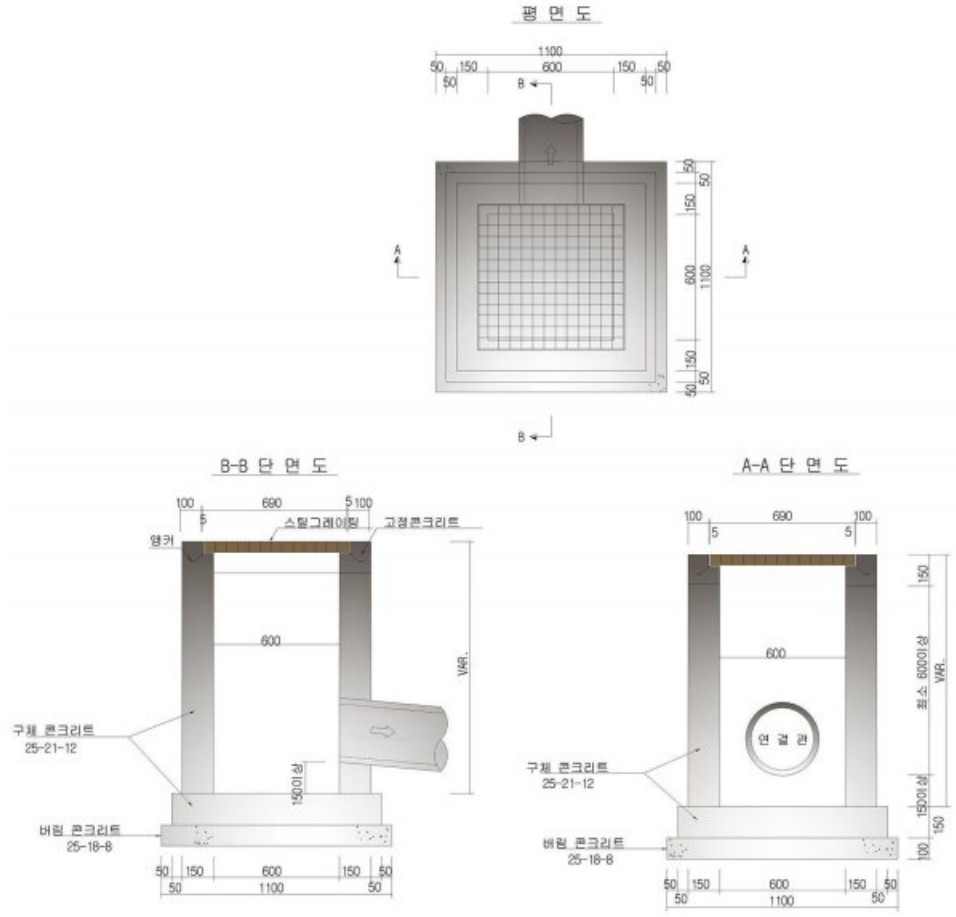
(사진 8-30) 수평배수공

(바) 집수정

집수정은 물빼기 보링공으로는 보링 길이가 길게 되는 경우나 기반암 부근에 집중적으로 지하수를 집수하는 경우에 사용한다.

〈표 8-26〉 집수정 종류 및 국가건설기준

종류	적 용 성
흙쌓기부 집수정	• 용지확보가 불리한 구간, 암거 및 횡배수관 날개벽 설치에 의하여 용지가 과다 점유될 경우에는 흙쌓기 비탈면 끝에서 집수정을 토사 측구, V형 측구 및 자연수로에 연결시켜 횡배수시킨다. • 유출량(계획 홍수량)과 암거 및 횡배수관의 관경, 종단경사 등에 따라 집수정의 집수량이 달라질 수 있으므로 집수정의 통수량을 검토 후 설치한다.
수직배수공(집수정)	• 수직배수공은 수평배수공과 함께 지하수위가 높은 구간에 설치하여 신속하게 지하수위를 저하시키기 위해 설치한다. • 수직배수공은 수평배수공과 함께 지하수위가 높은 구간에 설치하여 신속하게 지하수위를 저하시키기 위해 설치한다. • 수직배수공은 수평배수공과 함께 지하수위가 높은 구간에 설치하여 신속하게 지하수위를 저하시키기 위해 설치한다.



〈그림 8-47〉 집수정 개념도(예시)

(사진 8-31) 집수정

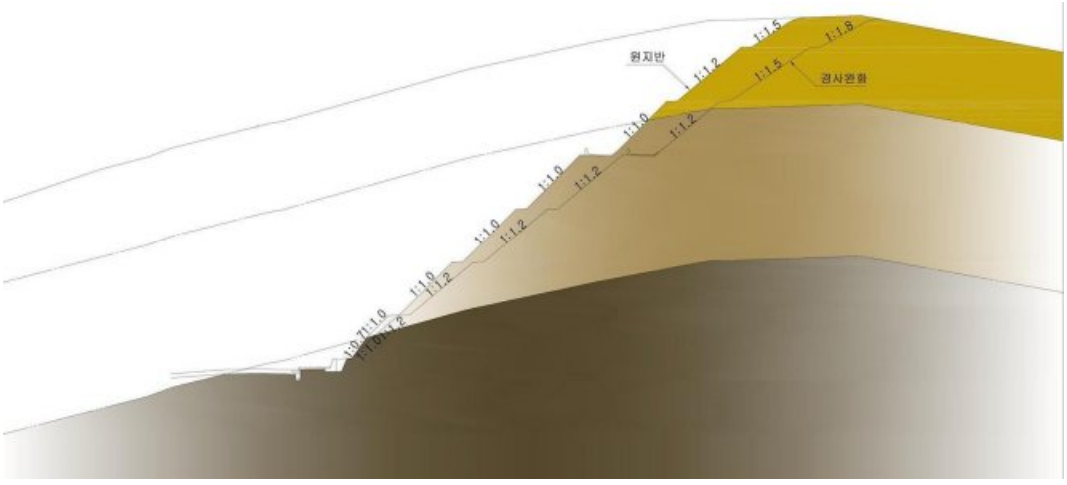
5) 하중경감공법

경사완화공법(또는 절취공법)은 활동하려는 토괴 또는 암괴를 제거하여 활동하중을 경감시킴으로써 급경사지의 안정을 도모하는 방법이다. 깎기비탈면의 경사를 완화하여 활동암괴를 제거하므로 확실한 안정공법으로 여겨지나 절취를 실시하였음에도 불구하고 파괴가 발생하는 경우가 있다.

특히 급경사지 내에 연약대층이 함유되어 있는 경우에는 절취 후 파괴가 계속될 수 있다. 그러므로 공사 중간에 급경사지의 잠재적인 내적 취약점을 명확히 조사하여 비탈면의 안정성을 재검토하고, 필요하다면 앵커공과 같은 다른 보강공법과 병행하여 시공해야 한다.

급경사지 상부의 자연 비탈면의 경사도가 큰 경우에는 굴착량이 막대하고, 경제성, 시공성의 면에서 어려운 점이 많으므로 다른 보강공법을 고려하는 것이 바람직하다.

절취경사의 결정은 표준경사도를 기초로 하며 지반의 특성 및 지형적 조건과 같은 현장여건 그리고 시공성을 종합적으로 고려하여 판단하여야 하며 붕괴요인을 가진 지반의 경우 주의하여야 한다. 특히 암반비탈면의 경우는 지표지질조사 및 시추조사에 의해 파악된 절리의 방향성 및 발달 상태에 따라 각각의 급경사지에 대하여 안정해석을 실시하여 비탈면 경사를 결정하는 것을 우선으로 한다.



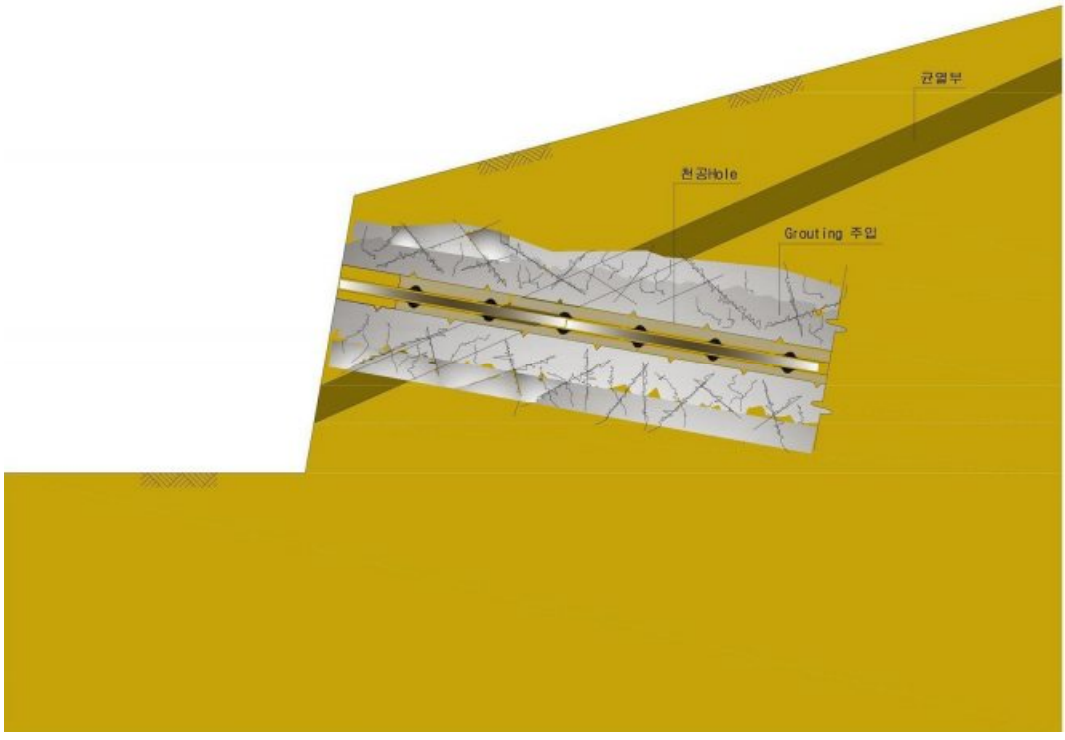
〈그림 8-48〉 경사완화(절취공법) 개념도(예시)

(사진 8-32) 경사완화(절취공법)

6) 기타 공법

(가) 그라우팅

비탈면 상부에 인장균열이 발생되었거나 암반 내 균열이 발생되어 강우 시 유수의 통로로 이용되어 암반 활동을 유발시킬 가능성이 높을 때 균열부를 채워줌으로써 암반 결합과 유수의 유입을 차단하는 공법으로 소규모 암반 균열부에 적용성이 유리하며, 기대기 옹벽 등의 구조물에도 사용이 가능하다.

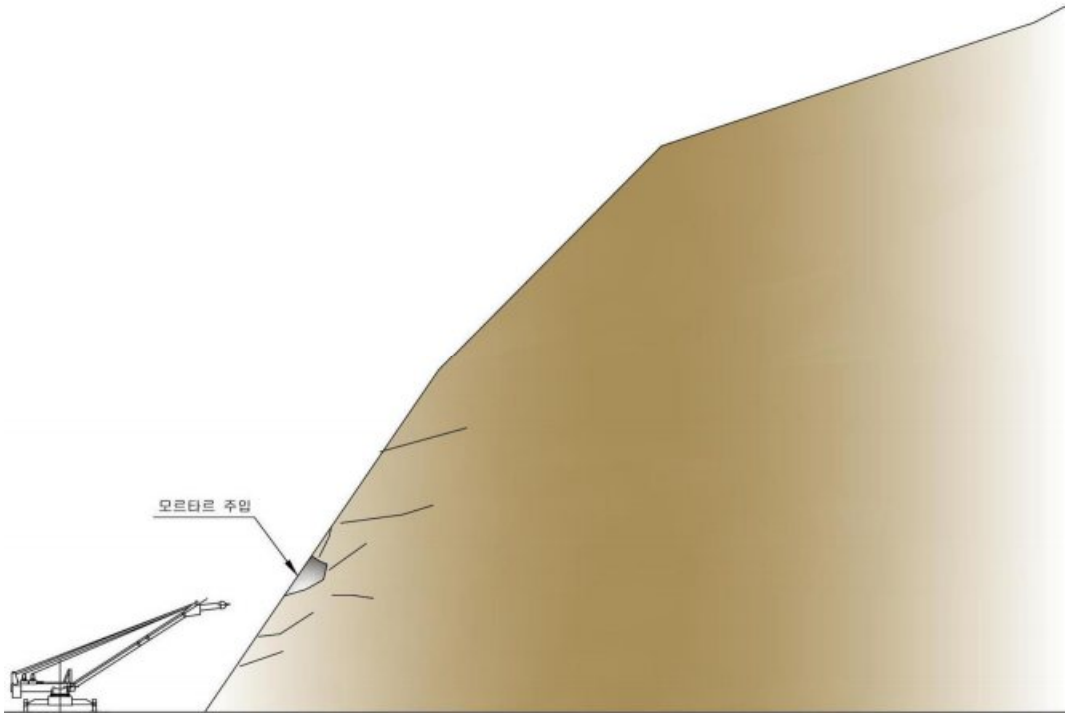


〈그림 8-49〉 그라우팅 개념도(예시)

(사진 8-33) 그라우팅

(나) 모르타르

지반이나 암반에 발생한 공동의 채움이나 돌망태옹벽 등에 주입하여 고결화 시키는 등 다용도로 활용이 가능한 공법으로 시공성이 우수하고 다른 공법에 비해 경제적이나, 하수 등의 용수 발생 구간에서는 적용 한계가 있다.

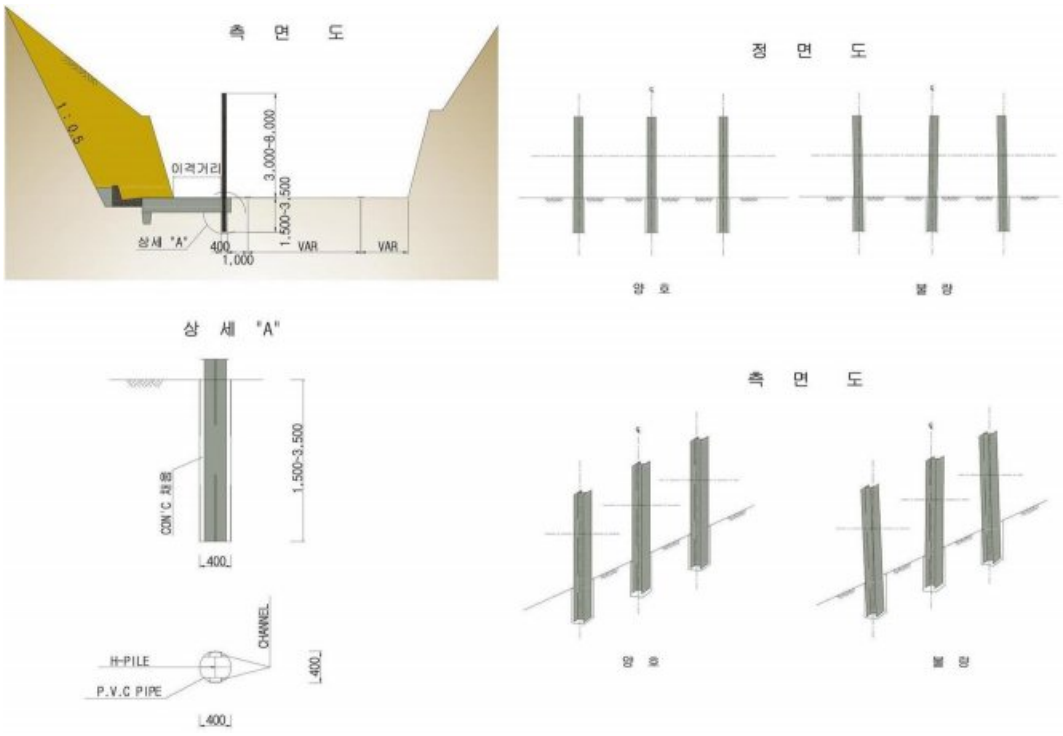


〈그림 8-50〉 모르타르 개념도(예시)

(사진 8-34) 모르타르

(다) 암파쇄방호시설

암파쇄 및 깎기 등에 의해 발생된 암괴, 토석의 도로유입을 방지하여 교통안전을 확보하고, 시공 장비의 작업 공간 확보를 위해 뒤채움 토석이나 시공 시 발생되는 토압에 저항하는 구조물을 설치하는 것으로 교통안전 확보 우수하나 시공비가 높고, 이격거리 협소 구간에 공법을 적용할 경우 원활한 차량소통이 불가능하다.

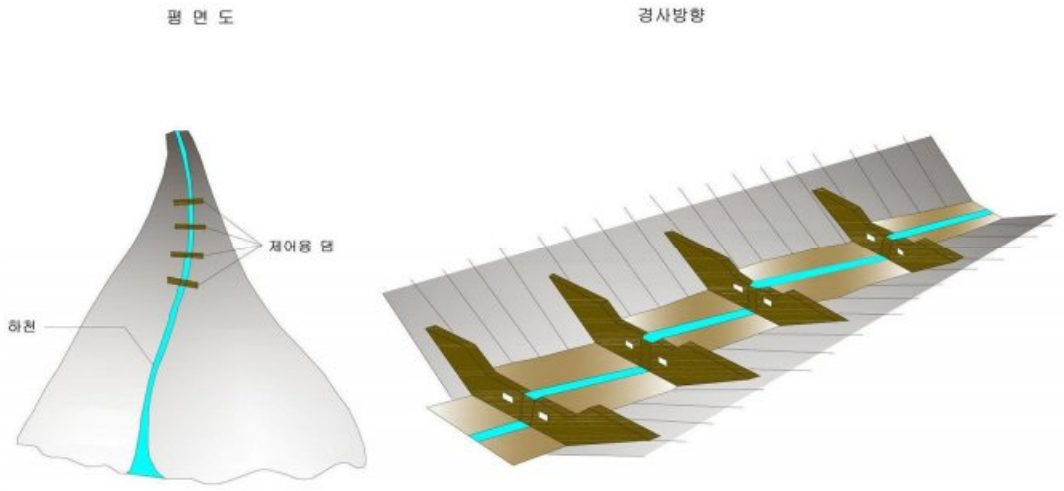


〈그림 8-51〉 암파쇄방호시설 개념도(예시)

(사진 8-35) 암파쇄방호시설

(라) 사방시설

계곡부의 토석류 이동에 따른 피해를 방지하기 위해 계류를 횡단하여 설치하는 소규모 시설로 흙, 돌, 콘크리트 등을 이용하여 만들어지는 공법으로 집중강우 및 태풍으로 계곡부의 토석류 이동에 따른 피해가 증가되므로 계곡부나 깊은 골짜기로 상부에서 발생한 유수가 집수되는 구간에 설치한다.

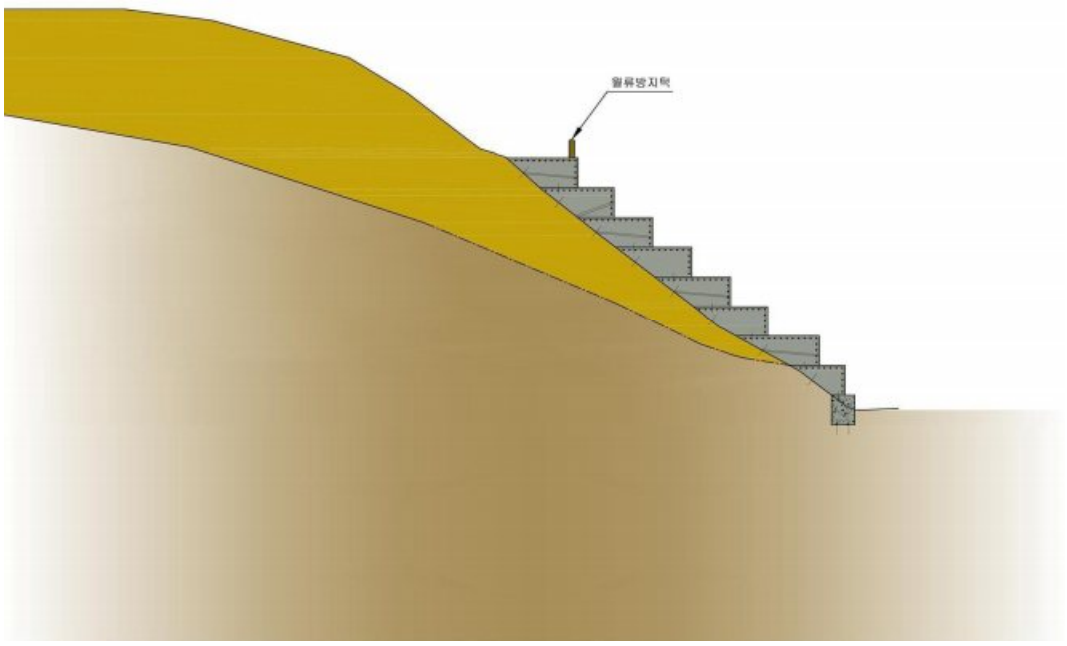


〈그림 8-52〉 사방시설 개념도(예시)

(사진 8-36) 사방시설

(마) 월류방지턱

계단식(화단)옹벽이나 소단배수구 등에 설치하는 공법으로 포획 공간을 확보하여 상부로부터의 낙석, 토사 유실 등에 대비하는 공법으로 1m 높이의 월류방지턱 시공을 통해 상부자연비탈면에서 발생하는 낙석 및 유실물 포획 가능하다. 월류방지턱 적용만으로 포획이 어려울 경우 낙석방지울타리와 병행하여 시공한다.

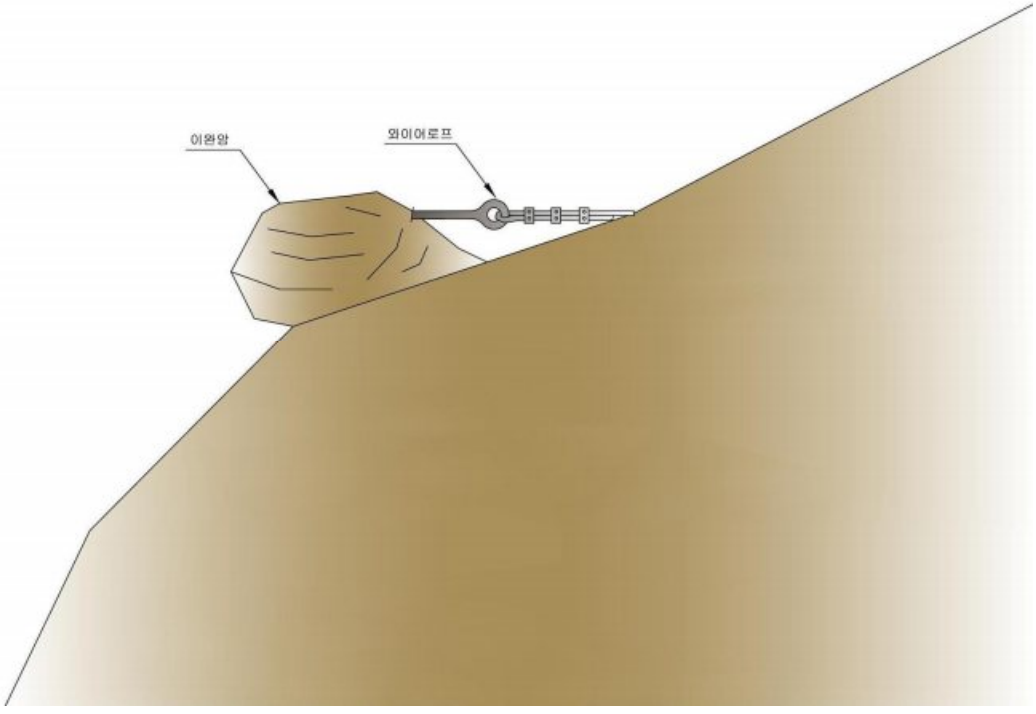


〈그림 8-53〉 월류방지턱 개념도(예시)

(사진 8-37) 월류방지턱

(바) 와이어로프걸기공

비탈면 내 대규모 이완암이 존재할 경우 와이어로프를 이용하여 이완암블록을 원지반에 묶어주는 공법으로 비탈면 상부 돌출된 암괴나 단독암괴 시공에 유리하나 영구적인 공법이 아니므로 다른 공법 적용이 불가할 경우 사용한다.



〈그림 8-54〉 와이어로프걸기공 개념도(예시)

(사진 8-38) 와이어로프걸기공

7) 토질에 따른 원리별 대책공법 종류

급경사지의 보수·보강공법은 비탈면의 구성재료와 공법의 원리에 따라 구분하여 적용하여야 한다.

〈표 8-27〉 토사비탈면의 원리별 대책공법 종류

원 리	공 법
경사도완화	깎기공
흙막이 (토류공)	앵커(Anchor)
	소일네일링(Soil nailing)
	억지말뚝
	옹벽
	게비온(Gabion)
배수	산마루측구
	수평배수공
	소단측구
	도수로
표면보호	식생공
	격자블럭
	돌쌓기, 돌붙임

〈표 8-28〉 암반비탈면의 원리별 대책공법 종류

원 리	공 법
경사완화	깎기공
암반보강	록볼트(Rock bolt)
	앵커(Anchor)
	다우웰(Dowel)
간극수압감소	수평배수공
	맹암거
표면보호	숏크리트(Shotcrete)
	식생공
낙석제어	낙석방지망
	낙석방지울타리
	뜬돌제거(면정리)
	낙석흡수 도랑(Ditch)
	피암터널

8.5 공법적용시 유의사항

8.5.1 절취

1) 절취를 통한 경사 완화 후에도 추가적인 붕괴가 있을 수 있으므로 절취공 시공 중간에 깎기비탈면의 잠재적인 내적 취약점을 명확히 조사하여 깎기비탈면의 안정성을 재검토하고, 필요하다면 앵커공과 같은 다른 보강공법과 병행하여 시공하는 것이 좋다.
2) 상부 자연비탈면의 경사도가 큰 경우에는 굴착량이 막대하고, 경제성, 시공성 면에서 어려운 점이 많으므로 다른 보강공법을 고려하는 것이 좋다.
3) 절취 공법 설계시, 장·단기적으로 깎기비탈면의 안정성을 확보하고, 장기적인 유지관리가 최소화되어야 하며, 형성된 새로운 깎기비탈면은 주변 경관과 어울리도록 하여야 한다.
4) 절취 실시 후 노출 지반은 시간이 지남에 따라 풍화, 강우 침투 등으로 점차 불안정해지므로 최초 설계시 장기적인 안정성과 지속적인 유지관리를 감안하여 설계하여야 한다.

8.5.2 앵커

1) 앵커의 간격과 길이는 앵커로 고정되는 깎기비탈면의 전체적인 안정성을 고려하여 결정하며, 적절하게 분산 배치하여 지반에 고른 저항력이 발휘되도록 하여야 한다.
2) 앵커를 설치하는 지반 내에 구조물, 말뚝 또는 지중시설이 있는 경우에는 이들 시설물의 위치를 고려하여 앵커를 배치해야 하며, 앵커 설치로 인한 영향을 고려하여야 한다.
3) 앵커 길이의 결정에 있어 앵커 자유장은 4m이상을 확보하여야 하며 파괴면보다 1m이상 깊게 설정하고, 앵커 정착장은 3~10m범위 내에서 설계인장력을 확보하는 길이로 한다.
4) 깎기비탈면 지반이 연약할 경우에는 숏크리트 등을 타설한 후에 앵커를 시공한다.

8.5.3 록볼트

1) 록볼트는 소규모로 보강이 필요한 부분에 주로 적용하는 것으로, 규모에 따라 보강되는 부분의 안정성이 확보되도록 랜덤볼트 또는 패턴 볼트 형식으로 적용한다.
2) 록볼트는 현장용접이나 이음재를 이용하여 연결되는 부분이 최소가 되도록 한다.

8.5.4 쏘일네일링

1) 네일의 간격과 길이는 네일로 고정되는 깎기비탈면의 전체적인 안정성을 고려하여 결정하며, 적절하게 분산 배치하여 지반에 고른 저항력이 발휘되도록 하여야 한다.

2) 다음과 같은 지반조건에서는 가급적 쏘일네일링 공법을 적용하지 않는 것이 권장되며, 적용 시에는 각각의 적용 제한 조건에 대한 보완방안을 고려한 후에 적용하는 것이 바람직하다.

- 1~2 m의 연직굴착에서 자립되지 않는 지반조건 : 순수한 모래, 자갈
- 함수비가 높고 굴착면에서 용수가 발생하는 지반 : 수평배수공, 벽체 배면의 토목섬유 연직배수재, 배수구 설치
- 연약한 점성토 지반 : 그라우트와의 주면마찰저항력 부족 및 크립 발생
- 예민비가 큰 지반이나 팽창성 지반조건

3) 네일의 설치 길이는 제한이 없지만 현장 용접이나 이음재를 이용하여 연결되는 부분이 최소가 되도록 하여야 한다. 또한 네일의 설치 간격을 너무 넓게 하지 말아야 하며, 시공성을 고려하여 설치각도를 결정한다.

4) 쏘일네일링 공법 적용시 네일링에는 필요시 전면벽체를 설치하여야 하며, 배수시설을 고려하여야 한다. 배수시설의 설치는 계절적인 지하수위와 지표에서의 침투, 상부배수시설로부터 누수가 발생되더라도 원활한 배수가 이루어지도록 하여야 한다.

- 쏘일네일링 공법시 적용되는 배수시설 ; 배수구(weephole), 수평배수공, 전면벽체 뒷면에 설치하는 수직배수재, 벽체상부에 표면수 유입을 위해 설치하는 배수로 등

8.5.5 콘크리트 옹벽공

1) 옹벽상단부가 도로일 경우에는 옹벽을 도로계획고보다 0.3m 높게 하고, 설계도에 명시된 규격의 난간을 설치하여 차량의 추락을 방지해야 한다.
2) 옹벽 하부지반이 설계에서 지정하는 지지력을 확보하는지 검토하고 지지력이 부족할 시에는 적절한 보강을 한다.
3) 뒤채움 잡석은 경질이고 변질된 염려가 없는 잡석 또는 조약돌로서 최대입경 100mm 이하의 적당한 입도로 혼합된 것이어야 한다.
4) 옹벽 되메우기용 재료는 유기질토, 동토, 빙설, 초목, 다량의 부식물을 포함한 흙이 섞이지 않아야 하며, 함수나 건조에 의하여 불안정하게 되는 실트나 점토 및 불량 연석 등은 제외된 것이어야 하며 KS F 2312 다짐시험에 의한 소요 다짐도와 설계밀도 및 강도정수를 만족하는 배수성이 양호하고 함수비 변화에 따른 강도 특성의 변화가 적은 사질토이어야 한다.
5) 배수구멍은 KS M 3401 또는 KS M 3404에 규정된 관경 65~100mm의 관 또는 동등 이상의 것을 사용한다.
6) 옹벽의 되메우기는 콘크리트가 충분히 양생된 후 가능한 빠른 시일 내에 실시하되, 규정에 의한 적정재료 사용과 충분한 다짐을 실시하여 침하 및 지지력 저하를 방지해야 한다.
7) 되메우기의 각 층은 다짐이 끝나면 반드시 감독자(또는 감리자)의 검사를 받은 후 다음 층을 포설해야 한다.
8) 현장밀도 시험결과, 적정한 밀도를 얻지 못한 경우에는 그 층을 다시 다지거나 필요하면 살수하고 재시험하여 소요밀도를 얻을 때까지 전 과정을 반복하여야 한다.
9) 되메우기의 품질시험 종목 및 빈도는 다음과 같다.

시험종목	시험방법	시험빈도(측정빈도)	비 고
다 짐	KS F 2312	재질변화 시 마다	(현장시험)
현장밀도	KS F 2311	연속구조물(옹벽 등):3층 마다, 50m 마다	(현장시험)
평판재하	KS F 2310	현장밀도시험	불가능 시
입 도	KS F 2302	토질변화 시 마다	(현장시험 〈체가름〉)
함 수 비	KS F 2306 또는 급속함수비 측정방법	현장밀도시험의 빈도(현장시험)	

8.5.6 돌쌓기(블록) 옹벽공

1) 돌(블록)쌓기옹벽은 전면벽체에 큰 토압이 작용하는 경우 충분한 저항력을 기대하기 어려우므로 배면지반이 침하나 수평변위로 인한 안정성 문제가 없고 토압이 작은 경우에 국한하여 적용하여야 한다.
2) 찰쌓기 및 블록쌓기를 할때에는 대기온도가 쌓기 착수 전, 쌓기 중 및 쌓기 완료 후 48시간 동안 5℃ 이상이 유지되어야 하며 대기온도가 30℃일때는 작업을 해서는 안 된다.
3) 대기온도 5℃ 이하에서 찰쌓기 및 블록쌓기 공사가 불가피한 경우에는 감독자(또는 감리자)의 승인을 얻어 채움콘크리트, 줄눈모르터 등이 얼지 않도록 보호하고, 재료를 가열시키며, 완료된 부분은 보온조치를 강구한다.
4) 서중기에는 바탕처리와 채움콘크리트의 수분이 과도하게 증발하지 않도록 인공차양, 바람막이 등을 설치하고 즉시 찰쌓기 및 콘크리트 블록쌓기를 시행하여 쌓기재료와 콘크리트의 접착이 원활하게 되도록 한다.
5) 깬돌의 찰쌓기 밑돌은 큰 돌을 사용하여 위의 두 모서리를 깨어 5각형으로 다듬고, 인접한 돌에 밀착되게 해야 한다.
6) 찰쌓기 할 돌은 사용 전에 흙먼지나 부착물을 제거하고, 충분히 물축이기를 해두어야 한다.
7) 콘크리트를 채운 다음 6시간 이상 경과한 후 그 위에 콘크리트를 채울 때는 윗면에 모르터를 얇게 깔고 콘크리트를 채워야 한다.
8) 찰쌓기의 하루에 쌓는 높이는 1.2m를 넘지 않아야 한다.
9) 상단 콘크리트는 뒤채우기 콘크리트와 일체로 시공해야 한다.
10) 신축이음은 약 20m 간격으로 두어야 하며, 설계도서나 감독자(또는 감리자)의 지시에 따라야 한다.
11) 배수구멍의 배치는 대략 2m 간격으로 두고, 버금으로 배치해야 한다.
12) 찰쌓기 및 채움콘크리트의 표면은 시공 직후 즉시 가마니 등으로 덮고, 충분히 살수하여 10시간 이상 습윤상태를 유지하고, 모르터 또는 콘크리트가 경화할 때까지 유해한 진동이나 충격을 주어서는 안 된다.
13) 메쌓기는 줄쌓기를 원칙으로 하며, 하루 쌓기높이는 1m 미만이라야 한다.
14) 메쌓기의 돌이는 폭이 견치돌일 때 50~100mm, 깬돌일 때 30~60mm가 되도록 돌메로 다듬어서 맞추고, 고임돌을 끼워 돌을 고정시키고, 틈새에 뒤채움돌을 채워 넣어야 한다.
15) 메쌓기의 전면줄눈은 어긋나도록 쌓아야 한다.

8.5.7 돌망태옹벽

1) 돌망태옹벽에 사용하는 철망은 KS에 규정된 재료를 사용하며, 제작방식에 상관없이 부식방지를 위한 처리가 되어 있어야 하며, 철망의 일부가 부식 또는 시공 중 손상 등의 이유로 부분적인 파손이 발생하더라도 원래의 형상을 유지하고 옹벽의 기능을 수행할 수 있는 종류여야 한다.
2) 돌망태 채움재는 돌망태옹벽 자체의 중량을 견딜 수 있고 장기적인 내구성을 가진 재료를 사용해야 하며, 채움재의 크기는 돌망태 철망을 빠져나가지 않도록 망눈의 최대치수보다 큰 것을 사용하되 250mm 보다 작은 것을 사용한다. 채움재의 적정 크기는 100~150mm이다.
3) 돌망태옹벽은 도시에서 경관미를 위하여 설치하는 경우도 있으며 이런 경우에는 노출되는 전면부의 골재를 모두 동일한 크기 또는 미적인 형상으로 맞추어 손으로 작업하고 뒷면은 일반적인 방식으로 채운다.

8.5.8 계단식옹벽/합벽식옹벽/버팀벽

1) 계단식옹벽/합벽식옹벽/버팀벽는 소규모 깎기비탈면 파괴부에 대한 장기적인 안정성을 유지하여야 하며, 옹벽 자체의 균열이나 변형, 파괴가 발생하지 않아야 한다.
2) 계단식옹벽은 각 계단을 순차적으로 현장타설하여 시공하므로 각 단 사이에는 시공조인트가 존재하게 되며, 깎기비탈면 표면과의 밀착을 위하여 고정핀을 설치하여야 한다. 깎기비탈면의 경사가 55°이상으로 급경사를 이룰 경우, 앵커 또는 볼트와 같은 활동 방지를 위한 보강공법을 병행하여 설치함으로써 옹벽의 전도를 방지하여야 한다.
3) 계단식옹벽/합벽식옹벽/버팀벽 설치 지형이 지하수가 유입되는 지형, 옹벽 전면에 수위가 형성되는 지형일 경우, 옹벽 및 옹벽 배면에 물을 유도하기 위한 배수시설을 설치한다.
   - 계단식옹벽/합벽식옹벽/버팀벽 공법에 적용되는 배수시설 : 배수구, 수평배수공, 옹벽 배면 토목섬유 배수재 등

8.5.9 격자블록

1) 격자블록 구조물은 깎기비탈면 표면의 유실 및 세굴을 방지하고 자체적으로 파괴가 발생되지 않도록 하여야 한다.
2) 격자블록공법은 원칙적으로 토압에 대해 저항할 수 있는 구조물이 아닌 것으로 간주되므로, 미끄러짐이나 붕괴 등의 위험성이 있는 깎기비탈면에는 적합하지 않다. 일반적으로 격자블록 공법을 적용하는 조건은 다음과 같다.
   - 강우시 표면수에 의해 침식되기 쉬운 지반조건의 비탈면
   - 규모가 큰 성토, 깎기비탈면의 하부
   - 안정화된 비탈면이 부분적으로 용수가 있는 경우
   - 식생 도입이 곤란한 토질조건의 깎기비탈면
3) 격자블록공법은 자체구조의 안정성과 채움 재료의 이탈을 방지하기 위하여 경사가 급한 깎기비탈면에는 적용하지 않는 것이 바람직하다. 일반적으로 프리캐스트 격자블록의 경우 깎기비탈면 경사가 1:1.0보다 완만한 구간에 적용하고, 현장타설식 격자블록의 경우 경사가 1:0.8보다 완만한 경우에 적용한다.

8.5.10 숏크리트

1) 숏크리트는 깎기비탈면의 풍화 억제와 암반의 이탈을 방지하기 위해 적용하며, 일반적으로 적용되는 조건은 다음과 같다.
   - 급경사지의 경사 및 지반조건에 관계없이 적용 가능
   - 용수가 없고 암반균열이 적은 곳에 적합
   - 넓은 면적에 암반의 탈락 및 소규모 붕락이 예상되는 곳
   - 급한 비탈면에 요철이 심하고 바위가 돌출된 곳
   - 급한 비탈면에 단층파쇄대의 풍화진행으로 움푹 패인 구간
2) 숏크리트 공법은 기본적으로 배수처리를 필요로 하며, 용수가 많은 지반은 지하수 배수시설법과 병행하여 적용한다.
3) 숏크리트는 깎기비탈면 대규모 붕괴를 방지하는 목적으로는 적절치 않으며 깎기비탈면 보강공법과 같이 적용한다.

8.5.11 식생공

1) 식생공의 적용 목적은 급경사지 표면을 단기적으로 안정화시켜 세굴 및 유실을 방지함에 있으며 장기적으로 급경사지를 주변경관과 어울리게 하여 시각적 안정감을 주는데 있다.
2) 식생이 부적절한 토질조건과 환경은 다음과 같으며, 이런 경우에는 구조물을 이용한 표면보호공법과 병행하거나 녹화보조방법을 병행하여 적용한다.
   - 산성토양으로서 식생의 생육이 적합하지 않은 토양
   - 표층부가 불안정하여 유실이 쉬운 토질 조건
   - 표층부의 경도가 높아 식물이 생육하지 못하는 토양
   - 연·경암 조건의 암반
   - 기상(기온, 강우, 일조량, 동결심도 등)이 취약한 곳

8.5.12 지표수배수시설

1) 지표수 배수시설은 급경사지의 지형조건, 지반조건, 지하수 상태, 계곡부의 상태 등을 고려하여 지표수 배수시설을 조합하여 설치한다.
2) 상부자연비탈면에서 깎기비탈면으로 유입되는 지표수 유량이 많은 경우에는 산마루측구를 설치한다. 또한 소단부에는 전단면소단배수로를 설치하여 신속한 배수가 이루어지도록 조치하여야 한다.
3) 산마루측구 또는 전단면소단배수로의 연장이 100m를 초과하는 경우에는 도수로를 설치하여 유수를 신속히 깎기비탈면 외곽으로 배수시킨다.
4) 측구와 지표가 밀착하지 못한 경우에는 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐만 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시키기 위하여 에이프론(apron)을 설치하여 배수시설 주변 지반으로 지표수가 유입되는 것을 최소화한다.
5) 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 시공하는 것이 바람직하다.

8.5.13 지하수배수시설

1) 지표수 배수시설은 깎기비탈면 내부로 유입되는 지하수를 신속히 배수시켜 깎기비탈면의 안정성을 높이고자 설치한다.
2) 쌓기 토체가 침수될 우려가 있는 경우는 쌓기 토체 내부 또는 하부에 수평배수층을 설치하고, 깎기비탈면 하단 끝에는 돌망태배수공을 설치하여 침식되지 않도록 한다.
3) 지반조건이 모래자갈질로써 지하수위가 높고 표면용수가 예상되는 경우, 투수층과 불투수층의 경계로 지하수위가 높고 표면용수가 예상되는 경우, 암반비탈면에서 지하수위가 높고 표면용수가 예상되는 경우 등에서는 수평배수공을 반드시 설치하여야 한다.
4) 수평배수공의 경우, 배수파이프가 깎기비탈면 구성입자의 침전물 등으로 채워지게 되면 본래의 목적을 달성할 수 없으므로, 배수파이프를 토목섬유(부직포 등)로 감싸 시공 후 토사로 인한 유공관 구멍 막힘 내지 유공관내 토사유입을 최소화하여야 한다. 이 때 부직포는 시공현장에서 물에 침수시켜 충분히 포화시킨 후 유공관을 감싸야 한다.

8.6 방재신기술

방재신기술이란 국내에서 최초로 개발되었거나 외국의 기술을 도입하여 소화 개량한 기술로 기존 기술과 비교하여 신규성 및 우수성이 인정되는 기술의 현황은 공공데이터포털(www.data.go.kr)이나 방재협회(www.kodipa.or.kr)를 통해 확인할 수 있다. 지정된 방재신기술 중 급경사지 재해 분야와 관련된 기술은 다음을 참고할 수 있다.

〈표 8-29〉 급경사지 재해 관련 방재신기술 현황

구분	지정번호	기술소유	신기술명	보호기간
1	제77-2호 ('19.10.23)	덴버코리이엔씨(주)	통합 품질관리 장치를 활용한 지반보강용 동시주입 캠팩션 그라우팅 시스템 공법	'22.10.22
2	제91-3호 ('22.3.30)	대상이앤씨(주), 강원대학교산학협력단	셀룰라 숏크리트를 이용한 경사지 경과 구조물 제작 공법	'25.3.29
3	제94-5호 ('20.5.13)	㈜신도이엔아이 (주)지오텍코리아 ㈜디엘이앤씨 한국건설기술연구원	암반지반에 적용 가능한 이중쐐기 형태의 내부 앵커체와 확장 방식의 외주면 앵커체로 구성된 영구앵커 공법	'24.5.12
4	제99호 ('20.10.23)	㈜한미기초건설, 정완균 월드기초이엔씨(주), (주)태창기초	저유동성 친환경 주입재 자동계량 제어 장치 및 다중분배 주입기를 이용한 충전식 그라우팅 공법	'25.10.22
5	제2018-4호 ('18.04.16)	(주)대흥미래기술	하천 유입부 토석류 유출저감시설	'23.4.15
6	제2018-10호 ('18.12.19)	지반이엔씨(주), 삼부토건(주), 한신공영(주), (주)천마기술단	이중지압판과 파형주름관을 이용한 옹벽보강 쏘일네일링 공법	'23.12.18
7	제2019-3호 ('19.2.11)	(주)후레씨네코리아	현장타설 크라운 부에 시공을 위한 홈을 갖는 프리캐스트 세그먼트 아치형 피암터널 공법	'24.2.10
8	제2020-2호 ('20.2.12)	주식회사 엔지니어스	지반안정재를 이용한 토사 비탈면의 녹화용 표층개량공법	'25.2.11
9	제2020-9호 ('20.7.22)	(주)지강산업 (주)성원산업	연결판과 고정쐐기 방식을 이용한 유니트화된 결착식 와이어넷 낙석방지 공법	'25.7.21
10	제2021-1호 ('21.1.6)	삼보토건(주), 금광기업(주) 남광토건(주), 극동건설(주)	강재가이드 블록을 이용한 겹침 주열식 현장타설 콘크리트 말뚝 흙막이 벽체 공법(RF CIP 공법)	'26.1.5
11	제2021-18호 ('21.5.24)	㈜창광이앤씨	완충형네트, 쿠션단부, 힌지지주로 구성된 탄성력 증진 낙석방호시설 제작 및 설치기술	'26.5.23
12	제2021-19호 ('21.6.4)	㈜스마트지오텍 ㈜동명기술공단종합건축사사무소 계룡건설산업(주)	스트레인게이지가 부착된 GFRP봉과 IoT 센서노드를 이용한 사면의 변위 계측 기술	'26.6.3
13	제2021-27호 ('21.8.20)	모던탑(주), 뉴그린창신(주) 세이프라인(주)	모듈별 회전기능과 스프링 내장형 고정구를 적용한 낙석방지망 설치 기술	'26.8.19
14	제2022-1호 ('22.1.11)	대경지반기술(주)	비알카리성반응재의 현장제조장치와 주입재료 균질·혼합 선단부 교반장치 및 성능과 환경이 개선된 주입재를 이용한 그라우팅 공법(G.C.S.M)	'27.1.10
15	제2022-15호 ('22.3.08)	컨텍이앤씨㈜, ㈜대현이엔씨	패널간 천정부 및 종방향으로 볼트 연결된 프리캐스트 아치형 피암터널 시공기술	'27.3.7

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 9 장

붕괴위험지역 비구조적 안전관리

9.1 개요

9.2 주민대피 권고기준

9.3 급경사지 상시계측관리

제9장 붕괴위험지역 비구조적 안전관리

9.1 개요

9.1.1 관계법령

국내에서의 급경사지와 산지에 대한 계측 및 주민대피 관련 법규로는 급경사지예방에 관한 법률, 재난 및 안전관리 기본법(행정안전부), 시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부), 산림보호법(산림청) 등에 규정되어 있으며 구체적인 세부규칙은 〈표 9-1〉과 같다.

〈표 9-1〉 계측 및 주민대피 관련 국내법

기관	법규	세부규칙
행정안전부	급경사지 재해예방에 관한 법률(급경사지법)	• 법률 제8조 • 법률 제9조 • 시행령 제4조
	재난 및 안전관리 기본법	• 법률 제40조 • 법률 제42조
	재난관리기준	• 제15조 • 제16조
국토교통부	시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행령	• 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침
산림청	산림보호법	• 제45조의5 • 제45조의7

1) 행정안전부

「급경사지 재해예방에 관한 법률(급경사지법)」 제8조(급경사지의 계측관리 등)

① 관리기관 및 시장·군수·구청장은 급경사지 지반의 침하·활동·전도(顚倒) 및 붕괴 등으로 위치변화를 사전에 감지하기 위하여 필요하다고 판단되는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 지속적인 계측(計測)·자료관리(이하 "상시계측관리"라 한다)를 직접 하거나 제22조에 따른 계측업의 등록을 한 자에게 이를 대행하게 할 수 있다.

② 관리기관은 제1항에 따라 직접 상시계측관리를 하거나 대행하게 하는 경우에는 계측자료를 관할 시장·군수·구청장에게 실시간으로 제공하여야 한다.

③ 시장·군수·구청장은 제2항에 따라 제공받은 계측자료와 자체의 계측자료를 활용하여 긴급 상황이 발생하는 때에는 신속히 해당 지역 주민을 대피시켜야 한다.

④ 누구든지 상시계측관리를 위하여 설치된 계측관리용 기구·장비 등을 훼손하여서는 아니 된다.

⑤ 국가는 관리기관 및 시장·군수·구청장이 제1항에 따라 상시계측관리를 하는 경우 계측기기 설치에 소요되는 비용의 일부를 지원할 수 있다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률(급경사지법)」 제9조(주민대피 관리기준의 제정·운영)

① 시장·군수·구청장은 상시계측관리의 결과와 강수량·비탈면의 성상(性狀) 등을 고려하여 주민대피를 위한 관리기준을 제정·운영하여야 한다.

② 행정안전부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의를 거쳐 제1항에 따른 관리기준의 제정·운영을 위한 지침을 작성하여 시장·군수·구청장에게 통보하고 그 이행상황에 대하여 지도·감독하여야 한다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률(급경사지법)」 시행령 제4조(상시계측관리)

① 법 제8조제1항에 따른 상시계측관리(이하 "상시계측관리"라 한다)를 하는 관리기관이나 계측업자(법 제22조제1항에 따라 계측업의 등록을 한 자를 말한다. 이하 같다)는 행정안전부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 정하는 급경사지 계측표준시방서(示方書)에 따라 계측기기를 설치하고 자료 관리를 하여야 한다.

② 제1항에 따라 상시계측관리를 하는 관리기관이나 계측업자 및 법 제8조제2항에 따라 계측자료를 제공받은 시장·군수·구청장은 계측자료를 해당 붕괴위험지역 지정이 해제될 때까지 보존·관리하여야 한다.

「재난 및 안전관리기본법」제40조(대피명령 등)

① 시장·군수·구청장과 지역통제단장(대통령령으로 정하는 권한을 행사하는 경우에만 해당한다. 이하 이 조에서 같다)은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체나 재산에 대한 위해를 방지하기 위하여 필요하면 해당 지역 주민이나 그 지역 안에 있는 사람에게 대피하도록 명하거나 선박·자동차등을 그 소유자·관리자 또는 점유자에게 대피시킬 것을 명할 수 있다. 이 경우 미리 대피장소를 지정할 수 있다.

② 제1항에 따라 필요한 조치의 요청을 받은 기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.

「재난 및 안전관리기본법」제42조(강제 대피조치)

① 시장·군수·구청장과 지역통제단장(대통령령으로 정하는 권한을 행사하는 경우에만 해당한다. 이하 이 조에서 같다)은 제40조제1항에 따른 대피명령을 받은 사람 또는 제41조제1항제2호에 따른 위험구역에서의 퇴거나 대피명령을 받은 사람이 그 명령을 이행하지 아니하여 위급하다고 판단되면 그 지역 또는 위험구역안의 주민이나 그 안에 있는 사람을 강제로 대피 또는 퇴거시키거나 선박·자동차등을 견인시킬수 있다.

② 시장·군수·구청장 및 지역통제단장은 제1항에 따라 주민 등을 강제로 대피 또는 퇴거시키기 위하여 필요하다고 인정하면 관할 경찰관서의 장에게 필요한 인력 및 장비의 지원을 요청할 수 있다.

③ 제2항에 따른 요청을 받은 경찰관서의 장은 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.

재난관리기준 제15조(재난건전성 모니터링)

해당지역에 존재하는 위험요소들을 수집·분석하여 재난 발생 가능성을 사전에 파악한 후 의사결정을 지원하기 위하여 다음 각 호의 내용을 검토하여 재난 건전성 모니터링 계획을 수립하여야 한다.

① 해당기관의 관리시설 및 구조물 등의 기능 이상을 관찰할 수 있는 다양한 센서 등 시스템을 갖추어 재난 발생시간 및 위치 등의 정보를 신속하게 수집할 수 있도록 할 것
② 수집된 정보의 합리적 진단, 분석 및 예측이 가능할 것
③ 분석결과를 계량화하여 위험등급에 따라 자동으로 예·경보를 발령할 수 있도록 할 것
④ 예측된 재난 가능성에 대하여 계획을 수립하고 피해 최소화 방안을 강구할 것

재난관리기준 제16조(재난 예·경보)

재난관리 담당자와 국민에게 재난 발생 가능성을 경고하고 재난 발생 시 정확한 정보를 제공함으로써 신속한 재난 대응이 가능하도록 다음 각 호를 고려하여 재난 예·경보 계획을 수립하여야 한다.

① 재난의 경중에 따른 위험등급 분류기준
② 위험등급별 예·경보 발령 및 해제 기준
③ 대피소, 대피로 지정 등 재난 대피정보 사항
④ 재난 예·경보에 따른 재난약자에 대한 보호대책 등
⑤ 재난상황실 및 재난안전대책본부 운영에 관한 기준

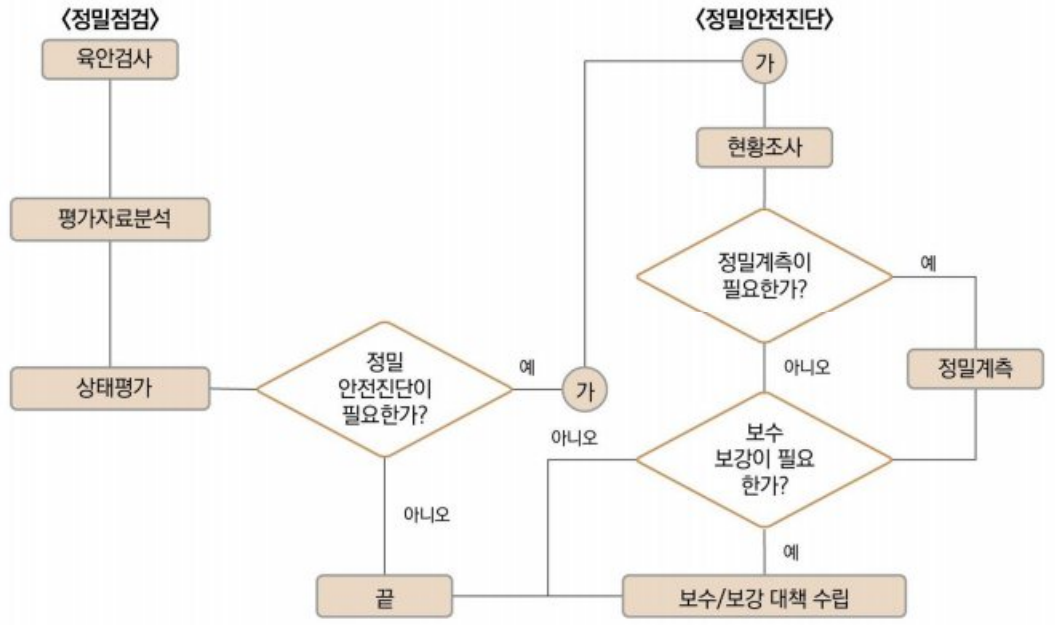
2) 국토교통부 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침

「시설물 안전관리에 관한 특별법」에 의하면 높이 30m 이상, 길이 100m 이상의 비탈면은 2종 시설물로 규정하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있으며, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침"에 의해 정밀안전진단 결과 계측이 필요하다고 인정되는 깎기비탈면에 대하여 정기적으로 계측을 시행하고 그 기록을 보관하도록 규정하고 있다.

특히, 붕괴징후가 관찰되는 등 안정성에 심각한 문제를 야기할 수 있는 깎기비탈면에 대해서는 장기적인 계측 결과를 분석함으로써 지속적인 유지관리를 수행하여야 한다.

〈표 9-2〉 진단항목별 계측내용

계측항목	계측내용	계측기기	비고
지표·지질	• 지표변위량	• 지표면 신축계 • 지표면 경사계 • 측량기 등	
지중수평변위	• 지층내 수평 이동	• 지중 수평변위계 등	
배 수	• 강우량 • 간극수압	• 우량계 • 지하수위계 • 간극수압계	



〈그림 9-1〉 정밀 안전진단 시 판단 흐름도

3) 산림청 : 「산림보호법」

법률 제45조의5(산사태정보체계의 구축·운영)

① 산림청장은 산사태예측정보, 산사태위험지도, 산사태 피해범위 예측 등 산사태 관련 정보를 누구든지 이용할 수 있도록 산사태정보체계를 구축·운영하여야 한다.

② 지역산사태예방기관의 장은 제1항의 산사태정보체계를 산사태 예방활동에 활용하여야 한다.

③ 제1항에 따른 산사태정보체계의 구축 범위 및 운영 절차 등 세부 사항은 대통령령으로 정한다.

제45조의6(산사태예측정보의 제공 및 산사태위기경보의 발령 등)

① 산림청장은 산사태예측정보를 대통령령으로 정하는 바에 따라 지역산사태예방기관의 장 등에게 제공할 수 있다.

② 산림청장은 「재난 및 안전관리 기본법」 제38조제1항에 따라 산사태위기경보를 발령할 수 있다.

③ 지역산사태예방기관의 장은 산사태가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 제1항에 따라 제공받은 산사태예측정보 또는 제2항에 따라 발령된 산사태위기경보 등을 고려하여 해당 지역 주민이나 산사태 발생 우려지역에 있는 자에게 「재난 및 안전관리 기본법」 제40조부터 제43조까지의 규정을 준용하여 대피명령, 강제대피 및 통행제한 등 적절한 피해예방 조치를 할 수 있다.

④ 제2항에 따른 산사태위기경보의 발령기준 및 조치 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

4) 기관별 관리대상 및 관리기준 비교

계측과 관련된 기관별 계측관련 법규와 함께 기관별 관리대상 선정 기준 및 주요내용은 〈표 9-3〉로 정리하였다.

〈표 9-3〉 행정안전부·국토교통부·산림청 관리기준 및 주요내용 비교

구분	급경사지 (행정안전부)	제2·3종시설물 (국토교통부)	산사태취약지역 (산림청)
관련 법규	- 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 2조, 시행령 제2조(급경사지 정의)	- 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제2조제2호 및 제3호, 시행령 2조제2호(시설물의 범위)	- 「산림보호법」 제45조의8 (산사태취약지역의 지정 및 해제)
관련 지침	• 급경사지 관리 실무편람	• 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침	• 산사태 발생 우려지역 조사 및 취약지역 지정·관리 지침
주요 내용	• 택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 인공비탈면, 자연비탈면 (인공비탈면) - 높이 5m, 길이 20m, 경사도 34° 이상 (자연비탈면) • 높이 50m, 경사도 34°이상 • 그 밖에 관리기관이나 자치단체장이 재해예방을 위하여 관리가 필요하다 인정하는 인공비탈면, 자연비탈면 또는 산지	- 높이 5m 이상 길이100m 이상 옹벽 • 높이 30m 이상 단일 수평연장 1000m 이상 절토사면	- 기초조사(산림청장 시행)와 실태조사 (지역산사태예방기관장 시행)로 구분 (기초조사) • 산사태위험지도 1등급 분포지역 및 피해 우려지역, 필요하다 판단되는 지역 (실태조사) • 기초조사 평가 상 평가점수가 60점 이상인 경우 실시 - A등급: 67점 이상 • B등급: 34점 이상 66점 이하 - C등급: 33점 이하
관리 현황	• 급경사지 25,409개소 ※ 붕괴위험지역 2,142개소	• 옹 벽 4,104개소 - 절토사면 4,527개소	• 산사태취약지역 29,646개소 ※ 실태조사 7,200개소
비고	• 도로법 제11조 및 12조, 시특법 대상시설 제외(급경사지법 제3조)		• 급경사지법, 시특법 대상 제외 (산림보호법 제2조13호)

9.1.2 주민대피 관리기준

급경사지법 제9조에서 행정안전부장관은 주민대피 관리기준의 제정·운영을 위한 지침을 작성하여 시장·군수·구청장에게 통보하여야 하며, 시장·군수·구청장은 상시계측관리의 결과와 강수량·비탈면의 성상 등을 고려하여 주민대피관리 권고기준을 제정·운영하여야 한다.

1) 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제18조(대피명령 등) : 시장·군수·구청장이 붕괴위험지역에서의 인명피해 예방을 위해 대피명령 또는 강제대피 조치

2) 「재난 및 안전관리기본법」 제40조(대피명령) : 시장·군수·구청장 및 지역통제단장은 위험지역에서 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해를 방지하기 위하여 대피명령

3) 「재난 및 안전관리기본법」 제42조(강제대피조치) : 시장·군수·구청장 및 지역통제단장은 대피 또는 퇴거명령을 이행하지 아니하여 위급하다고 판단되면 강제대피 또는 강제퇴거

「재난 및 안전관리기본법」 제40조에서 시장·군수·구청장은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해를 방지하기 위하여 필요한 때에는 당해 지역안의 주민이나 당해 지역 안에 있는 자에게 대피할 것을 명령할 수 있다.

시장·군수·구청장은 「재난 및 안전관리기본법」 제42조에서 "재난안전법 제40조의 규정에 의한 대피명령을 받은 자 또는 제41조의 규정에 의한 위험구역에서의 퇴거나 대피명령을 받은 자가 명령을 이행하지 아니하여 위급하다고 판단되는 때에는 당해 지역 또는 위험구역안의 주민이나 당해 지역 또는 위험구역 안에 있는 자를 강제 대피시키거나 강제 퇴거시킬 수 있다."고 규정하고 있다.

주민대피관리 권고기준의 설정 및 운영을 위한 주요 내용은 다음과 같다.

1) 주민대피관리 권고기준 설정 : 시장·군수·구청장은 「급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준 제정 운영 지침(행정안전부 고시)」에 따라 지역별 강수량 특성, 붕괴위험지역에 설치된 계측기기의 상시계측관리 결과와 비탈면의 성상 등을 고려하여 주민대피를 위한 관리기준을 설정 운영

2) 급경사지 붕괴가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우 당해 붕괴위험지역 주민이나 지역 안에 있는 자에게 대피 명령 및 강제 대피(퇴거) 조치

3) 급경사지 붕괴발생 위험지역에 현장 감시 인력을 지정 배치하고 주민대피가 필요하다고 판단될 경우 대피명령을 발령하며, 읍·면·동장은 행정지시 계통으로 방송을 실시하거나 주민센터 직원 순회 통보 등 가능한 모든 전달 수단을 이용하여 전 주민에게 신속히 전달

9.1.3 급경사지 계측관리

계측이란 인간의 능력과 계측기기(센서)의 기능을 조합시켜 공학적으로 유용한 정보를 수집하는 행위를 말하며, 토목에서는 주로 현장에서 대상이 되는 구조물, 지반 등에 대하여 다양한 계측장비(센서)를 적용하여 측정을 수행한다.

① 계측(Instrumentation) : 측정 작업뿐 아니라 측정된 데이터처리, 분석 작업을 포함, 특정의 목적을 위해 사물을 양적으로 받아들이는 방법, 수단을 연구하여 수행하고 그 결과를 바탕으로 어떤 조치를 취하는 것 등을 포함한다.
② 계측센서(Sensor) : 외부의 물리적인 자극을 특정한 신호로 변환해 주는 감지장치를 말한다.
③ 측정(Measurement) : 장치를 사용하여 물리량(길이, 질량, 온도, 압력 등)을 수치로 나타내는 작업으로서 측정의 대상이 되는 양을 측정량, 측정에 의해 얻어지는 수치를 측정치, 그리고 측정에 사용되는 기계·기구를 측정기 또는 계측기라 한다.

비구조적 대책의 대표적인 예라고 할 수 있는 상시계측관리의 효율적인 운영을 위해서는 합리적인 계측계획 수립이 필요하며 계측계획 수립시 수반되는 여러 고려사항들을 면밀히 검토하고, 계측 단면, 계측항목, 계측기기의 배치 등을 세부 사항에 대해 철저한 계획 수립이 필요하다.

1 계측계획 수립시 고려사항

① 계측 배경, 목적 및 목표
② 계측 대상 구간의 구조·환경적인 여건
③ 계측항목, 범위, 위치, 방법 및 시스템 구성
④ 계측기기의 종류, 사양 및 수량
⑤ 계측오차 발생 가능성에 대한 분석 및 보정방법
⑥ 계측기의 설치, 유지관리 방법
⑦ 계측 결과의 보정 및 해석방법(계측관리기준에 적용 가능성 평가)
⑧ 계측 자료 관리 및 활용방법

계측의 필요성, 상·하부 시설물의 중요도, 차량 및 통행인구 유무 등 제반여건을 고려하여 관리주체, 재해위험도 평가책임자 또는 관련 전문기술자 등이 상호 협의하여 수립하고 상기 내용에 대한 검토는 공사착공 전 공사감독자와 협의 후 계획전반에 대해 승인을 득하여야 한다.

2 계측 단면의 선정

① 계측 단면의 선정은 급경사지에 대한 실무경험을 가진 전문가로서 고급기술자 이상의 자격을 가진 자가 해당 급경사지의 재해위험도 평가책임자 또는 정밀안전진단 책임기술자와 협의하여 선정함을 원칙으로 한다.

② 계측단면은 현장 상황을 대표할 수 있는 단면(구조적으로 취약한 단면, 변형이 예측되는 단면, 붕괴 시 피해 범위가 클 것으로 예상되는 단면 등)을 선정하여야 한다.

3 계측항목의 선정

① 지반 공학적인 거동 특성을 효과적으로 평가할 수 있는 계측기를 사용하여야 한다.

② 급경사지 붕괴 거동 특성에 부합하는 내구성, 조작 및 설치의 편이성, 계측자료 전송, 유지관리가 용이하여야 한다.

③ 계측항목은 시공 방법, 계측 결과의 활용목적, 평가 방법을 명확히 이해하고 계측 대상, 계측기간, 계측장비 등을 고려하여 선정하여야 하며, 필요시 전문가의 의견을 따를 수 있다.

4 계측수량의 선정

① 붕괴예상 규모, 계측기기의 특성 및 현지 조건 등을 고려하여 효율적으로 파악할 수 있는 위치에 배치하여야 하며, 필요시 전문가의 의견을 따를 수 있다.

② 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현장 조사, 기존 자료 등을 참고하여 붕괴 또는 활동의 형태를 추정한 후, 각각의 원인별로 계측항목과 계측기기의 관련성을 검토하여 배치 계획(설치 위치, 배치밀도, 설치심도 등)을 수립하여야 한다.

③ 계측목적을 고려하여 각 계측기기는 서로의 연관성을 유지하도록 하며, 가능한 동일 단면에 배치하여야 한다.

④ 계측 수량의 선정은 계측목적, 계측 결과 등을 고려하여 수행되어야 한다.

9.2 주민대피 권고기준

9.2.1 주민대피 관리 권고기준

지방자치단체에서 지역 특성을 반영한 적정한 주민대피 관리기준을 설정·운영할 수 있도록 행정안전부는 「급경사지 붕괴 위험지역 주민대피 관리기준 제정·운영 지침(2022.12월 개정)」을 통해 전국 지역별 강우 특성과 계측기별 주민대피 권고기준을 설정 제시하였다.

본 지침은 지역 특성을 반영한 강수량에 의한 주민대피 관리기준과 상시계측관리 결과에 의한 주민대피 관리기준으로 구성되어 있으며, 이외에도 비탈면 성상에 따른 붕괴징후 판단기준, 단계별 주민대피 관리기준 운영 매뉴얼, 단계별 조정·해제 판단기준 및 상황전파에 관한 사항이 포함되어 있다.

1 지역 특성을 반영한 강수량에 의한 주민대피 관리기준

- 과거 1999~2020년까지 급경사지 및 산사태 피해 현장의 강우 특성 및 지질 특성을 분석하여 각 지자체별 강우량에 의한 주민대피 권고기준 설정
- 주민대피 관리기준 설정에 지역특성을 반영하기 위하여 전국 행정구역 단위별 화성암, 퇴적암, 변성암의 면적비율을 분석하여 권고기준 설정에 적용
- 주의단계는 각 지역별 강우특성 분석결과 파괴확률이 10% 수준의 강우량, 경계단계는 파괴확률 30% 수준의 강우량, 심각단계는 파괴확률 50% 수준의 강우량을 기준으로 설정
  - 2013~2014년 재해사례를 적용하여 신뢰성 분석 결과, 1시간 최대강우량과 2일 누적강우량 기준을 적용 시 가장 높은 신뢰성을 보임
- 전국 시군구 산림면적에 따른 지질(화성암, 변성암, 퇴적암) 비율 산정(산림 입지환경을 지형, 모암, 경사 등 인자별로 분류하여 구축한 산림입지도*의 시군구 지질 비율 활용)
- 지역별(시군구) 강우량 기준 산정(5개 권역에 대한 지질별 기준강우량과 시군구 산림면적에 따른 지질 비율을 곱한 후 각각의 값 합산)

〈표 9-4〉 지질별 강우기준(강원권, 1시간)

강우지속시간	지질	관심	주의	경계	심각
1시간	화성암	20	23	28	38
	변성암	18	21	27	36
	퇴적암	17	17	23	30

〈표 9-5〉 급경사지 붕괴 예·경보를 위한 강우량 기준(강릉시)

행정구역		단계	주민대피 강우기준		
			1시간	1일	2일
강원도	강릉시	관 심	13	44	58
		주 의	19	63	82
		경 계	26	107	147
		심 각	35	145	205

〈표 9-6〉 급경사지 붕괴 예·경보를 위한 강우량 기준(경기지역 일부)

행정구역	단 계	주민대피 강우기준		
		1시간	1일	2일
가평군	관 심	20	62	71
	주 의	29	101	146
	경 계	47	177	222
	심 각	65	249	277
고양시	관 심	8	13	35
	주 의	11	21	48
	경 계	37	123	133
	심 각	52	186	237
과천시	관 심	8	14	36
	주 의	11	23	51
	경 계	38	124	135
	심 각	53	188	238
광명시	관 심	19	24	34
	주 의	25	48	79
	경 계	40	143	181
	심 각	60	203	266

※ 지방자치단체별 관리기준 권고사례

2 상시계측관리 결과에 의한 주민대피 관리기준

① 변위계에 따른 주민대피 관리기준

- 지표변위는 일반적인 비탈면의 붕괴 형태인 다항형(Polynomial) 기반의 변위속도를 기준으로 단기기준과 장기기준으로 제시하고, 지속적인 변위 관찰을 위한 기존의 누적변위 기준도 함께 제시
  - (단기기준) 시공 중 혹은 집중강우 등의 긴급한 계측관리가 요구되는 비탈면
  - (장기기준) 지질구조 등에 의해 장기적인 계측관리가 요구되는 비탈면

〈표 9-7〉 변위계에 따른 주민대피 권고기준

관리단계	경광등	단기기준	장기기준	
		변위속도(㎜/min)	변위속도(㎜/day)	누적변위(㎜)
관 심	파랑	〈 1	1	14
주 의	노랑	1	2	36
경 계	주황	4	8	90
심 각	적색	21	56	209

② 경사계에 따른 주민대피 관리기준

- 경사계는 계측기의 기울기를 측정하여 관리기준을 설정하였으며 설치 위치에 따라 지표경사계와 지중경사계로 구분됨
  - (지표경사계) 지표변위계의 계측관리기준과 동일하게 다항형을 기반으로 각속도를 계측관리기준로 설정, 단기기준에 적용되는 지표변위계의 대안으로 적용 가능

〈표 9-8〉 지표경사계에 따른 주민대피 권고기준

관리단계	경광등	각속도(°/min)
관 심	파랑	〈 0.04
주 의	노랑	0.04
경 계	주황	0.22
심 각	적색	1.74

  - (지중경사계) 일본 비탈면안정소위원회의 관리기준 및 국토교통성 지반경사계 산사태 판정기준, 국내 급경사지 경사계 관리기준 등을 종합·분석하여 선정

〈표 9-9〉 지중경사계에 따른 주민대피 권고기준

관리단계	경광등	누적 각변위(°)	각속도(°/day)
관 심	파랑	0.3(≒0.5%H)	0.05
주 의	노랑	0.6(≒1%H)	0.1
경 계	주황	0.9(≒2%H)	0.3
심 각	적색	1.7(≒3%H)	0.5

※ 관리기준에서 제시된 1%H는 약 0.57° 수준의 각도 변화 발생량

③ 간극수압계에 따른 주민대피 관리기준

- 급경사지 계측관리 시 간극수압계에 대한 관리단계별 기준은 간극수압이 급경사지 안정성에 미치는 영향을 분석하여 선정함
- 과잉간극수압이란 간극수압계의 계측값(수두)에서 정수압(정수두)을 제외한 값을 의미함

〈표 9-10〉 간극수압계에 따른 주민대피 관리기준

관리단계	경광등	계측값
관 심	파랑	과잉간극수압이 발생하여 지속적으로 증가하는 경우
주 의	노랑	과잉간극수압이 지속적으로 증가하여 수두의 차이가 지표면에서 지하수위 깊이의 50% 이상 발생할 경우
경 계	주황	과잉간극수압이 지속적으로 증가하여 수두의 차이가 지표면에서 지하수위 깊이의 80% 이상 발생할 경우
심 각	적색	과잉간극수압이 지속적으로 증가하여 수두의 차이가 지표면에서 지하수위 깊이의 100% 이상 발생할 경우

④ 함수비계에 따른 주민대피 관리기준

- 함수비는 지반 속 물의 함유 상태변화를 말하며 중량함수비와 체적함수비로 구분됨
- 본 기준의 함수비는 체적함수비 기준으로 제시
  - 함수비의 경우 건기 시 일정값을 유지하다가 강우침투로 인해 함수비 값이 일정 수준 이상 증가하면 붕괴가 발생
  - 이를 이용하여 초기(건기) 함수비 기준으로 그 증가량을 계측관리 기준값으로 설정

- 함수비 증가량 = (현재)함수비 계측값 - 건기시 평균 합수비 계측값*
  * 건기시 평균 함수비 계측값이 없는 경우 15~25% 범위에서 결정(현장 자연함수비 모니터링 결과, 국립재난안전연구원 2019)

〈표 9-11〉 함수비계에 따른 주민대피 관리기준

관리단계	경광등	함수비 증가량(%)	비 고
관 심	파랑	〈 7.5	- 설치 위치 – 토층 심도 최소 1.0m 혹은 토층 두께의 1/2 이상 – 기반암인지 확인이 가능한 경우 기반암에 인접하게 설치
주 의	노랑	7.5	
경 계	주황	10.0	
심 각	적색	20.0	

⑤ 하중계에 따른 주민대피 관리기준

- 하중계는 구조적 대책인 보강공법과 비구조적 대책인 계측공법이 결합된 형태로 초기축력 기준 응력의 증·감을 측정하여 이상 징후 파악
- 급경사지에 대한 하중계 관리기준은 건설교통부, 서울시 등에서 제안한 흙막이 가시설의 하중계 관리기준과 현장적용 하중계 관리기준을 참고하여 선정함

〈표 9-12〉 하중계에 따른 주민대피 관리기준

관리단계	경광등	계측값	비고
관 심	파랑	± 5%	초기축력기준
주 의	노랑	± 10%	
경 계	주황	± 20%	
심 각	적색	± 30%	

⑥ 지하수위계에 따른 주민대피 관리기준

- 지하수위계를 이용한 계측공법은 수위의 급격한 변화를 측정하여 급경사지의 이상 유·무를 판단하는 방법
- 지하수위계 관리기준은 지하수위 관리기준과 흙막이 가시설 현장의 지하수위계 관리기준 적용사례를 참고하여 선정

〈표 9-13〉 지하수위계에 따른 주민대피 관리기준

관리단계	경광등	계측값	비고
관 심	파랑	H ≤ 0.3m	H=1일 수위 변화량
주 의	노랑	0.3m 〈 H ≤ 0.5m	
경 계	주황	0.5m 〈 H ≤ 1.0m	
심 각	적색	1.0m 〈 H	

참고 모관흡수력계에 따른 주민대피 관리기준

- 모관흡수력은 강우침투 동안 토층에서 발생하는 특성 중 하나로 급경사지 붕괴를 예측하기 위해 모관흡수력을 고려한 계측관리기준 필요
- 비탈면 안전율 변화특성을 검토하여 비탈면의 붕괴 유무를 사전파악 가능
- 불포화토 이론을 적용하여 모관흡수력, 흡입응력을 고려한 안전율 산정식과 임계값 산정식을 유도하여 안전율 기반의 계측관리기준 제시
- 안전율(F.S=1)을 기준으로 붕괴예측이 가능하나 산정방법이 까다롭고 지배적인 영향을 받으므로 제시된 관리기준치는 참고지표로 활용할 것을 권고
  ※ 관리단계는 안전율(F.S) 기준으로 경계(F.S=1.2), 심각(F.S=1.0)으로 설정

〈모관흡수력계에 따른 주민대피 관리기준〉

구 분	안전율		흡입응력(kPa)	
	경계	심각	경계	심각
기 준	1.2	1.0	-7.3	-3.9

⑦ 계측기기에 따른 주민대피 관리기준

- 계측항목 중 이상 징후를 직접적으로 판단할 수 있는 계측기를 직접지표, 간접적으로 판단할 수 있는 계측기를 간접지표로 설정함
- 다양한 계측기기를 설치하여 급경사지에 대한 상시계측관리를 수행할 경우, 각 계측기의 계측결과를 활용한 관리단계별 주민대피 관리기준 설정 방안 제시

〈표 9-14〉 계측기기에 따른 주민대피 관리기준 평가

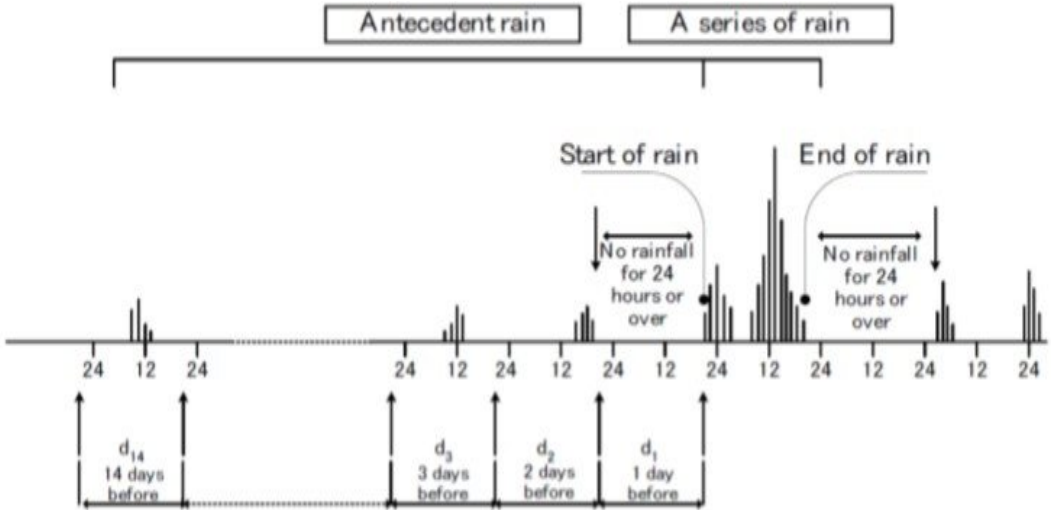
구 분	계측기 종류	주민대피 관리기준 평가방법
직접지표	지표변위계	• 간접지표 발령 없이 직접지표의 계측기에서 이상 징후가 측정될 경우 CCTV 확인(단, 선행강우 및 간접지표 발령이 있을 경우 직접지표의 경보 발령) • 직접지표의 계측기 두개 이상에서 이상 징후가 측정될 경우 단계별 경보 발령 • 간접지표와 직접지표에서 하나 이상의 이상 징후가 측정될 경우 직접지표의 관리단계에 따라 경보 발령
	경사계(지표·지중)	
	하중계	
간접지표	간극수압계	• 직접지표 발령 없이 간접지표 중 하나의 계측항목만 이상 징후가 측정될 경우, CCTV 확인 • 직접지표 발령 없이 간접지표에서 두개 이상의 계측기에서 이상 징후가 측정될 경우 간접지표의 관리단계에 따라 경보 발령
	함수비계	
	지하수위계	
	모관흡수력계	
CCTV		• CCTV로 이상 징후를 확인할 경우 경보 발령(관리자의 판단에 심각단계 발령 가능)

3 국내외 예·경보 기준

국외 방재 선진국은 급경사지 및 산사태의 피해를 저감하기 위하여 예·경보 기준을 설정하여 사용하고 있다.

1) 일본

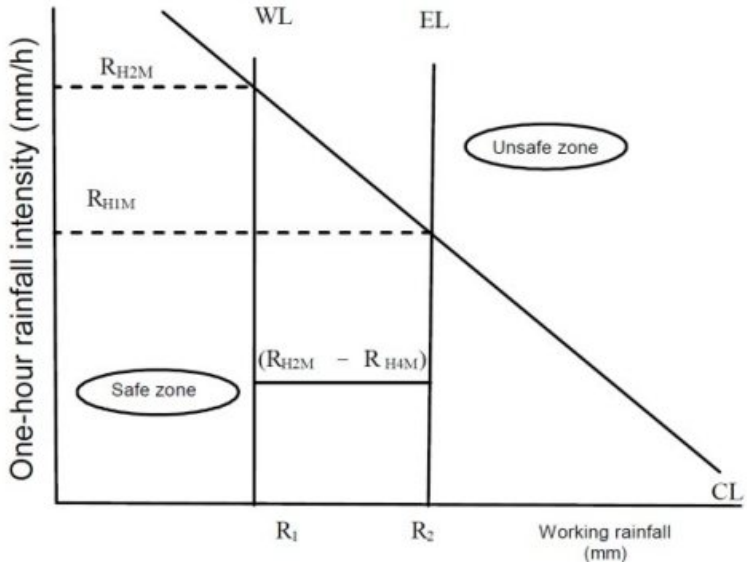
- 일본 국토교통성에서는 2007년에는 토사재해 경보 및 대피 가이드라인 검토 위원의 논의를 거쳐 지방자치단체의 방재담당자들이 사용할 수 있는 토사재해 경보 및 대피 지침을 마련하였다.
- 과거 토사재해 발생시 강우특성을 수집하여 데이터베이스화하고, 강우자료를 역추적하여 분석 후 강우기준을 설정하였다.
- 선행강우를 포함한 14일 정도의 강우기간 중에서 토사재해 발생까지의 단기강우량인 유효강우량(effective rainfall)을 토사재해를 유발하는 강우기준으로 설정한다.
- 토사재해가 발생될 것으로 예상되는 임계선(CL, critical line)의 설정은 각 지역의 토사재해 사례(database)를 이용하여 결정하며, 경보 및 대피명령을 내리는 시점과 여유시간을 결정한다.
- 경보 및 대피 명령은 매 시강우량을 지속적으로 측정하여 판단되므로 상시계측 전제하에 사용될 수 있다.



〈그림 9-2〉 연속강우와 선행강우의 개념(일본 국토교통성, 2004)

〈표 9-15〉 토사재해 경보 및 대피 명령의 시점 기준(일본 국토교통성, 2004)

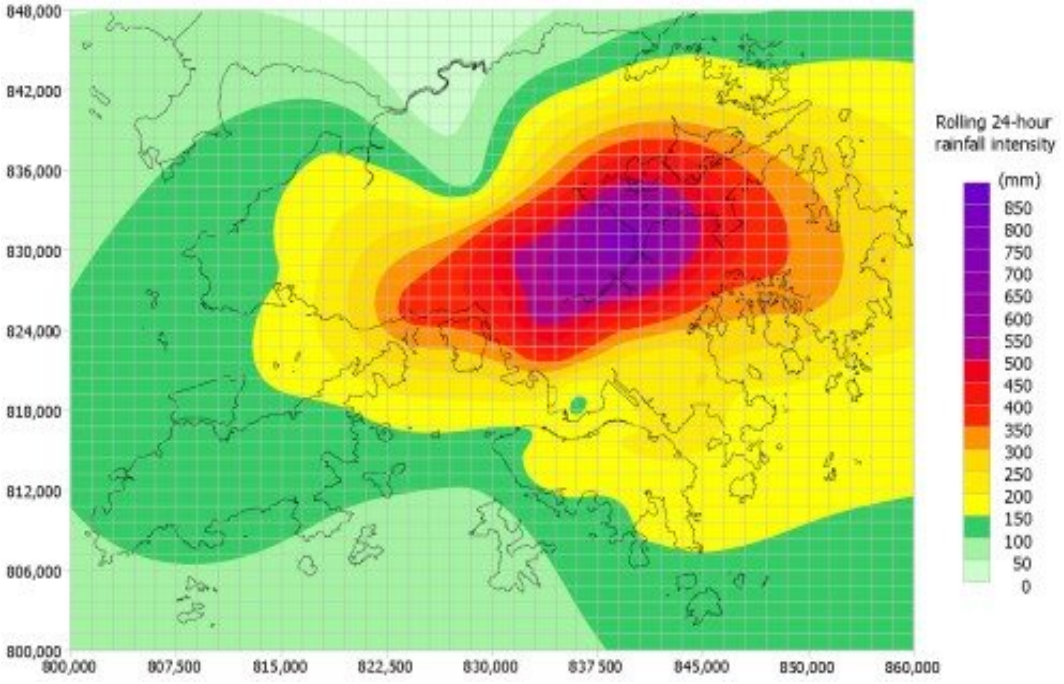
Type	Timing of issuance / instruction	Forecasted rainfall during the spare hours
Issuance of a warning	2 hours before reaching the critical line(CL)	Past maximum 2-hour rainfall(R_{H2M})
Instruction of an evacuation	1 hours before reaching the critical line(CL)	Past maximum 1-hour rainfall(R_{H1M})



〈그림 9-3〉 경보선(WL)과 대피선(EL)의 선정(일본 국토교통성, 2004)

2) 홍콩

- 홍콩은 중국 남부지역의 언덕이 많은 지형이며, 5월에서 8월 사이에 강우가 집중되는 특성이 국내와 유사한 지역으로 평균적으로 매년 300~400회의 산사태가 발생한다.
- 홍콩의 산사태와 강우에 대한 상관관계 연구는 Lumb(1975)에 의해 처음 수행되었으며, Yu et al.(2004)는 격자망을 구성하여 강우데이터를 입력하여 영향범위 내에 발생한 재해이력에 대한 기준강우량을 설정하였디.
- 현재 홍콩의 산사태 경보시스템에는 Yu et a.l (2004)의 모델이 적용된다.



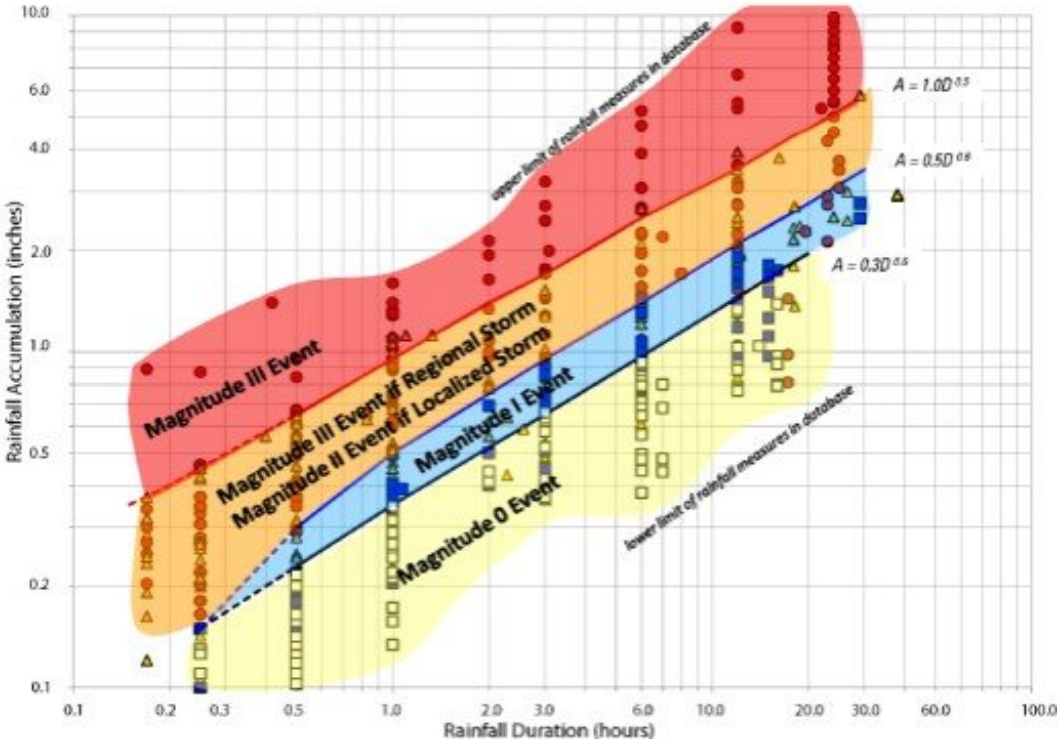
〈그림 9-4〉 등강우량선과 격자망(Cheung et al., 2006)

3) 미국

- 미국 지질조사국(USGS)는 사우스캘리포니아 산가브리엘 산을 대상으로 23개의 폭풍우와 16개소의 산불지역, 2년간의 수문자료를 분석하여 강우지속시간과 총강우량의 관계를 이용하는 재해규모를 제시하였다.

〈표 9-16〉 토사재해 및 홍수 피해 규모 분류(Los Angeles Department of Public Works, 2009)

분류	기준 및 잠재적 결과
Magnitude (규모) I	• 작은 토석류(<1,000 cubic yards) 또는 홍수는 하나 또는 두개의 유역 또는 한곳 또는 두 곳에서 생산됨 • 일부 암거 및 빗물배수관이 차단, 도로 부분적으로 침수 또는 차단, 자동차 부분적으로 매립 • 주택 손상 및 작은 목조건물 파괴, 큰 건물을 위태롭게 함
Magnitude (규모) II	• 2~5 중간정도 크기 (1,000 to 10,000 cubic yards) 토석류 또는 하나의 큰(>10,000 cubic yards) 사건은 건축 환경에 영향을 미치는 2~5유역에서 생산됨 • 여러 암거 및 빗물배수관 차단, 여러 도로 및 거리 침수 또는 완전히 차단, 여러 자동차 매립 • 다수의 주택, 건물, 도로, 교량이 손상됨
Magnitude (규모) III	• 광범위하고 풍부한 토석류와 10,000 cubic yards이상 양의 홍수는 건축 환경에 심각한 영향을 초래하며 5개 이상 유역에서 생산됨 • 많은 암거, 빗물배수관, 도로가 완전히 차단되고 여행을 위한 거리가 위험함 • 여러 큰 건물(주택포함), 사회기반시설의 일부, 교량이 파괴됨



〈그림 9-5〉 강우지속시간-총강우량 관계를 이용한 토사재해 및 홍수피해 규모 예측

4) 산림청

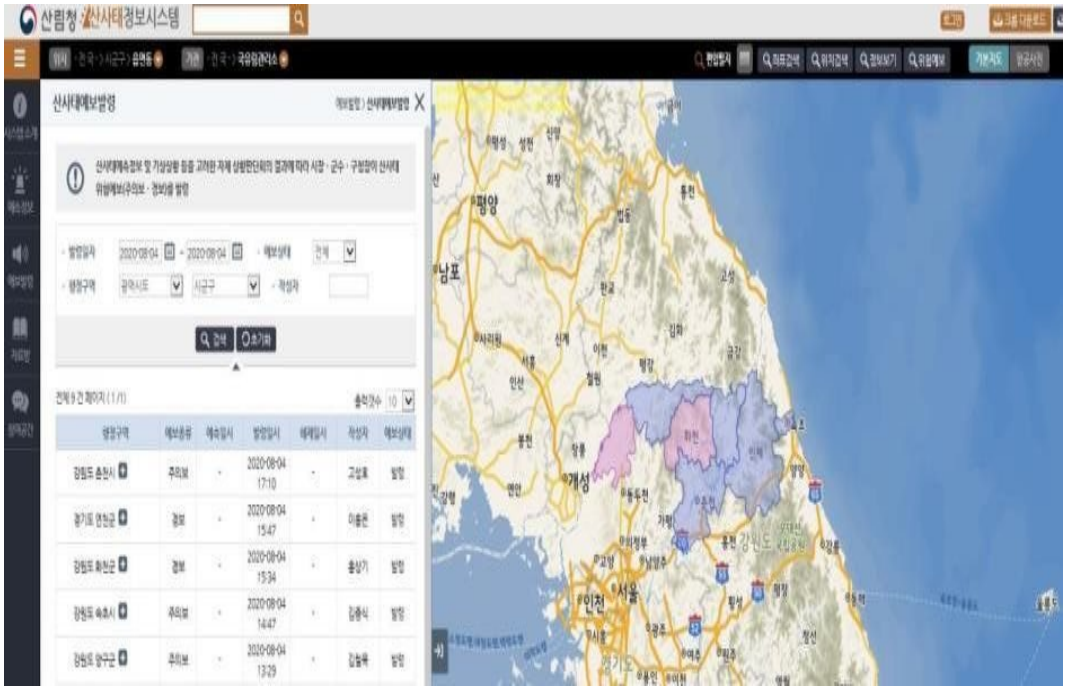
- 산림청은 산사태 재난대응을 위한 위기경보 수준을 설정하여 사용하고 있고, 위기경보는 상황에 따라 순차에 관계없이, 전국적 또는 지역적으로 발령될 수 있다.
- 단, 경보 발령기준은 위기경보 발령을 위한 기준제시이며, 실제 경보발령은 상황의 전개속도, 파급효과 등을 감안하여 「상황판단회의」에서 결정토록 한다.

〈표 9-17〉 산림청 산사태 재난 위기경보 수준

구 분	판 단 기 준	비 고
관심 (Blue)	- 산사태 빈발 시기(여름철 산림재해 대책기간 5.15~10.15) 등 산사태에 관한 관심이 필요한 경우 - 지진 규모 4.0~4.4의 지진 발생시	- 징후 감시활동
주의 (Yellow)	- 산사태 발생 위험이 높아져 산사태가 발생할 가능성이 나타날 때 - 산사태주의보의 예측정보가 시·군·구의 30% 이상에서 발생 시 - 지진 규모 4.5~4.9의 지진 발생시	- 기상정보 모니터링 - 협조체제 가동
경계 (Orange)	- 중·소규모 산사태가 발생하거나 또는 대규모 산사태가 발생할 가능성이 농후할 때 - 산사태주의보의 예측정보가 시·군·구의 50% 이상 또는 경보의 예측정보가 30% 이상 발생 시 - 지진 규모 5.0~5.9의 지진 발생시	- 신속 대응체계 점검
심각 (Red)	- 대규모 산사태가 발생하였거나 발생할 가능성이 확실한 때 또는 산사태로 인명피해가 발생하였을 경우 - 산사태경보의 예측정보가 시군구의 50% 이상에서 발생시 - 지진 규모 6.0 이상의 지진 발생시	- 즉각 대응태세 돌입

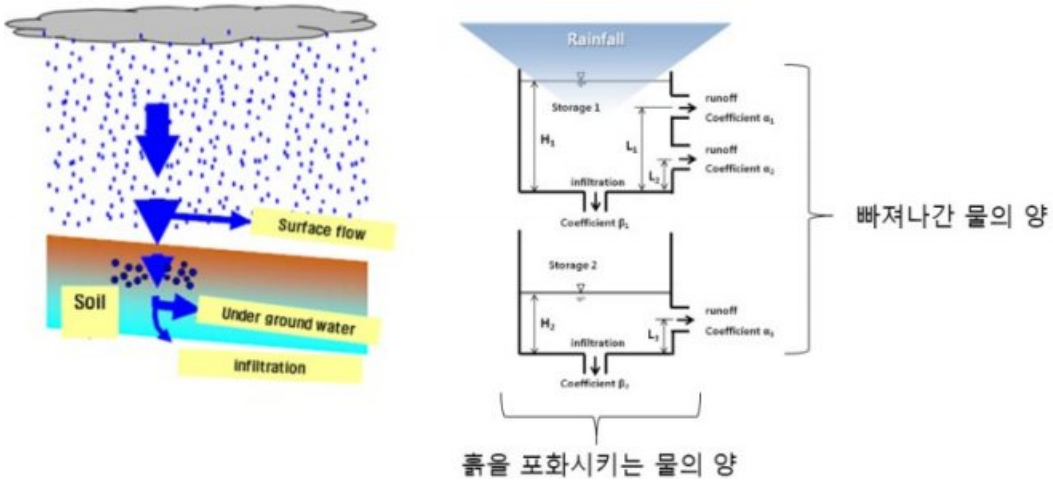
※ ① 위기경보는 전국 또는 광역시도 단위로 발령, ② 상황판단회의를 통해 위기경보 발령 단계 결정

- 산림청은 기상청 강우자료와 동네예보를 분석하여 권역별 산사태 토양함수지수(예측기준)를 분석하고 지방자치단체로 예측정보를 제공하고 있으며, 전국의 강우분포(4개 권역: 1권역: 600~1,100㎜, 2권역: 550~900㎜, 3권역: 650~850㎜, 4권역: 500~800㎜)와 지질특성(3개 권역: 화성암류, 변성암류, 퇴적암류)을 고려하여 총 11개 권역으로 구분한다.
  - 산사태예측정보 및 기상상황 등을 고려한 자체 상황판단회의 결과에 따라 시장·군수·구청장이 산사태 위험예보(주의보, 경보)를 발령



〈그림 9-6〉 산사태정보시스템(sansatai.forest.go.kr) - 산사태 예측정보 제공

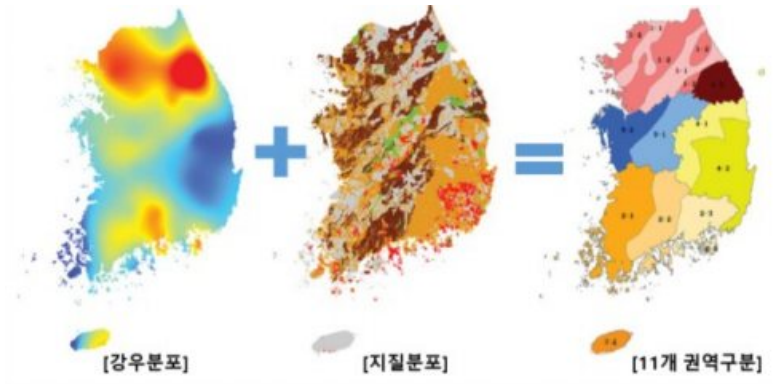
- 권역별 과거 산사태 발생이력 분석결과를 토대로 토양 내 빗물의 양을 Tank model을 이용한 토양함수지수(SWI, soil water index)로 산정해 그 지수에 따라 주의보 또는 경보를 발령하며, 권역별 토양함수지수가 80% 도달 시에는 주의보, 100% 도달 시에는 경보를 발령한다.



〈그림 9-7〉 토양함수지수를 산정하기 위한 Tank model

〈표 9-18〉 권역별 토양함수지수

권역	1권역(중부)			2권역(전라·경남)				3권역(충청)		4권역(경북)	
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	4-1	4-2
토양함수지수 (mm)	105	92	62	62	59	67	113	67	89	130	87



권역 구분 과정
(1) 강우 4권역×지질 3권역 =12권역 선정 후 (2) 지질특성이 유사한 2개 권역은 통합하여 총 11개 권역 확정

〈그림 9-8〉 산사태 예측시스템을 위한 권역 구분

9.2.2 주민대피 관리기준 설정 운영

1 주민대피계획 수립 개요

주체 : 특별자치시장·시장·군수·구청장

- 붕괴위험지역 또는 계측관리 지역에 대한 주민대피계획 수립

  ※ 지자체별 관리기준 수립 시 기관장의 결재를 반드시 득할 것

대피대상

- 붕괴위험지역의 상시계측결과 및 기상예보·특보 시 비탈면 성상의 변화 등으로 붕괴가 예측되어 인명피해가 우려되는 지역의 주민 등

대피시기

- 지역별 특성을 고려하여 자치단체장이 기상청 기상특보, 산림청 산사태 주의보·경보 발령 현황, 행정안전부 주민대피 관리 권고기준, 비탈면 성상에 따른 붕괴징후 등을 참조하여 특별자치시장·시장·군수·구청장이 행정구역별 적절한 기준 설정

주민대피계획 수립 시 포함되어야 할 사항

- 상황관리 단계별 대피기준 및 대피 절차
- 어린이 및 노약자, 여성 등 재해취약자 특별 대피대책
- 대피 시 안전요원 배치현황 및 비상연락 체계도
- GIS와 연계된 대피경로 및 단계별 대피장소
- 재난 발생시 즉각 대응 생활화를 위한 교육·훈련 계획
- 대피경로·대피장소 표지판 등 인식체계, 주민대피 담당자별 역할 매뉴얼
- 붕괴위험지역 강제대피를 위한 유관기관 상호협력 체계 구축
- 급경사지 상시계측관리의 계측기 및 시스템

  ※「자연재해대책법 시행령」제30조 및 제31조에 따라 대피계획이 수립된 지역의 경우 제외할 수 있음

2 비탈면 성상에 따른 붕괴징후 판단기준

평상시 붕괴우려 징후

- 비탈면에서 갑자기 많은 양의 물(용수)이 샘솟을 때
- 평소 잘 나오던 샘물이나 지하수가 외부 영향 없이 갑자기 멈출 때
- 갑자기 경사지 일부가 금(단차, 균열)이 가거나 내려앉을(침하) 때
- 바람이 불지 않는데도 나무가 흔들거리거나 내려앉을 때
- 주위에서 '우웅'하는 산울림이나 땅울림이 들릴 때
- 건조하거나 습하지 않던 지역에 물이 솟아나거나 포화되는 경우
- 지면·포장도로 또는 인도에 새로운 균열 발생 및 비정상적으로 부풀어 오른 경우(융기발생 시)
- 콘크리트 바닥이나 기초가 기울거나 균열이 가는 경우
- 전신주, 나무, 방음벽, 울타리, 옹벽, 석축 등이 기울어지는 경우
- 비가 계속 내리거나 그친 경우에도 계곡물이 급격히 줄어든 경우
- 평상시 낙석방지망 및 낙석방지울타리 뒷부분에 낙석이 많이 쌓여 있는 경우
- 비탈면에 암석의 틈이 발달하여 낙석의 가능성이 높거나 및 뜬돌이 존재하는 경우
- 해빙기 시 암석의 틈이 벌어지거나 지반이 변형되는 경우
- 옹벽, 울타리, 낙석방지망, 낙석방지울타리 등 구조물의 변형 또는 파손이 발생한 경우
- 비탈면이 변형 또는 기울거나 땅이 밀리는 경우(땅밀림)

비가 오는 중이거나 비가 그친 후 붕괴징후

〈암반 급경사지〉

- 배출수의 지속적인 발생 또는 작은 암반 탈락이 빈번한 경우
- 낙석방지망 및 방호책 뒷부분에 낙석이 쌓여 있는 경우
- 암반 부분에 균열이 발생하여 지속적으로 벌어지는 경우
- 집중호우 시 비탈면 상부로부터 빗물이 집수 되어 쏟아져 내리거나, 암반의 틈으로 갑자기 많은 양의 물이 샘솟는 경우

〈토사로 구성된 급경사지〉

- 급경사지 주변에 시공되어있는 배수구가 막혀 있는 경우
- 지속적으로 토사가 흘러내리거나(유실), 토사의 양이 증가하는 경우
- 급경사지 하단부에 토사가 적체되거나 길 또는 도로부에 새로운 균열이 발생 되는 경우
- 강우 시 급경사지 내부에 물고랑(세굴)이 발생하여 심하게 토사가 흘러내리는 (유실) 경우
- 강우 시 비탈면이 기울거나 움직이는 경우
- 강우 시 비탈면 상부로부터 빗물이 집수 되어 쏟아져 내리는 경우
- 비탈면 좌우 계곡부에서 다량의 우수 배출 또는 토사가 한꺼번에 쏟아져 내려(토석류)올 수 있는 경우

〈옹벽 및 축대〉

- 통상 비가 오더라도 혼탁해진 적이 없는 배수구의 물이 갑자기 혼탁해지거나 배수량이 급격하게 변화하는 경우
- 옹벽이나 축대 배면의 토압이 증가하거나 기초지반의 변형이 발생하여 평소에 보이지 않던 균열이 발생한 경우
- 평소 작은 균열이 커지면서 단차가 발생하는 것은 붕괴가 발생하는 조짐

  ※ 옹벽·축대의 일정 구간에 배부름 현상 및 상부가 전면으로 돌출된 것은 붕괴가 이미 시작된 것으로 즉시 대피하고 행정기관에 신고

낙석

산사태 흔적

균열 및 절리

수목전도

붕괴

인장균열

〈그림 9-9〉 급경사지 및 산사태 붕괴징후 판단기준(서울시, 2016)

침식

뿌리노출

전석

유목

붕괴

인위적 훼손지

〈그림 9-10〉 급경사지 및 산사태(토석류) 붕괴징후 판단기준(서울시, 2016)

〈그림 9-11〉 급경사지(옹벽) 및 사방댐 붕괴징후 판단기준(서울시, 2016)

〈그림 9-12〉 옹벽, 석축의 붕괴사례

3 단계별 주민대피 관리기준 운영 매뉴얼

관심단계

- 대피소 지정, 유관기관 상호협력 체계 구축 등 '주민대피 관리기준' 제정 및 '주민대피 계획' 수립, 비상연락망 구축 및 전파
- 붕괴위험지역 안전점검 등 예찰활동 지속 추진
- 계측DB 이력 관리, 계측장비 정상 작동 여부 확인 등 정기점검
  - 전문기관의 지원을 받아 계측DB 분석, 계측기기 및 운영시스템 정기점검 및 보수 추진
- 대피소, 대피로 등에 대한 체크리스트 작성
- 주민대피 관련 보고체계 및 주요 조치내용 사전 숙지
- 붕괴징후 시 주민대피 요령 등 사전 홍보 및 교육
  - 대피소, 대피정보 전달체계 확립(마을 이장 및 지역자율방재단 등), 대피명령을 이행하지 않은 주민의 강제적 행정조치 사전 홍보 등
- 급경사지 붕괴 등 피해발생에 대비한 재난관리자원 사전확보
- 기상청 등 자료를 바탕으로 기상상황 관측 및 예보 모니터링
  - 방재기상정보시스템을 통해 수시로 정보 확인

주의단계

- 급경사지의 계측DB 관리 및 CCTV 관찰 빈도 증가, 현장상황 파악을 위한 순찰 강화
  - 계측DB 변위 징후 포착 시 계측정보를 정밀 분석하고, 상황보고 및 필요시 현장 긴급조사 실시
- 기상정보(강우량·기상특보 등) 파악 및 전파
- 이장, 지역자율방재단, 민간모니터위원 등 비상연락망 가동
- 급경사지 붕괴 인접지역 거동 불편자 사전 이동조치
- 예·경보시설 등 긴급점검 및 보수 실시
  - 자동음성·문자통보시스템 등 각종 예·경보시설의 작동상태 점검 및 시스템과 연계된 앰프의 전원 차단 여부 확인·정비

    ※ 예·경보시설의 긴급점검 및 보수가 즉시 이루어질 수 있도록 연락체계 구축

경계단계(경보)

1) 상황판단회의 개최 및 위기경보 발령

- 담당자는 CCTV 확인, 현장 긴급조사 실시, 전문기관 지원 등을 통해 계측 및 강우 정보를 정밀분석하여 상황판단회의에서 논의
- 상황판단회의 시 종합적으로 검토하여 경보단계 발령 여부 결정
- 상황이 급박한 경우에는 경계단계를 생략하고 바로 심각단계 추진

2) 재난상황 접수 및 보고·전파

- 급경사지 재난상황 접수 및 상황 확인
- 재난상황 접수 시 유관기관 통보

3) 사전대비 강화

- 현장순찰 강화, 비상근무 실시, 대상지구 주민에게 대피준비 통보 및 안내요원, 대피담당자, 지역자율방재단 등 임무 수행 사전교육 실시
  - 자동음성·문자통보시스템, 앰프, 전화, 이동차량, 방송, FAX 등 모든 수단 활용

↓

안내요원, 대피담당자, 지역자율방재단, 이·통장 등은 수신여부 확인

- 안내요원, 지역자율방재단 등 대피 관련 업무담당자에게 자신의 역할 교육 및 현장 파견 실시
- 붕괴위험지역 대피 대상자 수요 사전 파악
- 대피소 개방과 대피소 기본시설 설치 및 부족 물품 보완, 비상인력 대기(정전과 야간 대피를 위한 물품 등 확인)
  - 업무담당자는 물품 부족 등 필요시 즉시 지원 요청
- 대피로 상태점검 및 긴급보수 등 실시
  - 대피소, 대피로 등에 대한 체크리스트 확인
    ※ 긴급보수가 신속히 이루어질 수 있도록 관내 민간사업체와 연락체계 구축
- 개인별 손전등, 비상물품 등은 미리 준비할 수 있도록 교육
- CBS 문자방송, 지역방송 등 홍보 방송 실시
- 대피주민수, 주민특성(재해약자 등), 위급환자 위치 사전파악 등
  - 위급환자가 자력 대피능력이 없는 경우에는 대피담당자 별도 지정
- 해당 지역 주민에게 준비사항 등 긴급 안내
  - 대피지도를 긴급 배포하거나 재난 예·경보시스템 활용
  - 대피 시 이웃주민 대피 여부도 확인하도록 안내
  - 이·통장이 대피장소, 대피로 및 준비사항 등 방송 실시
- 경찰, 군부대, 소방서, 지역자율방재단, 자원봉사자 등 긴급대피 관련 유관기관 역할 재점검 및 인력·장비 비상대기 협조 요청

심각단계(대피)

- 피해의 위험을 알리고 주민대피 실시(필요시 대피명령)
  - 자동문자·음성통보시스템, 자동우량경보시설, 앰프, 전화, 라디오, 순찰차 등 가능한 모든 수단을 동원
  - 안전대피로 확보, 대피로 장애물 제거, 대피경로 유도, 대피 수단 제공, 교통통제 등 지원
  - 경고판·통제선(Safety Line) 설치
- 경찰, 소방서, 군부대, 보건소, 지역자율방재단, 자원봉사단체 등 유관기관에 주민대피 긴급지원 요청
  - 유관기관은 사전계획에 따라 주민대피, 대피소 운영 등에 필요한 인력, 장비, 자재 등 긴급지원
- 대피물자, 인력, 장비 등 신속히 지원
  - 현지요청 또는 상황판단에 따라 필요한 물자·인력·장비 신속 지원
- 안내요원, 대피담당자 등의 수신 여부는 반드시 재확인 필요
  - 안내요원, 대피담당자 및 대피 관련 각 업무담당자는 임무에 따른 역할 수행으로 주민을 신속하고 안전하게 대피시켜야 함
- 대피완료 후 대피상황을 NDMS에 입력·보고
  - 대피지구명, 대피장소, 대피인원, 피해현황, 완료시각 등
  - 피해내역 파악 및 긴급지원 대책 파악
- 붕괴발생 시 원인조사 실시, 긴급조치 및 대책 수립

4 단계별 조정·해제 판단기준 및 상황전파

- 상황판단회의를 통한 위기경보 조정·해제 결정
  - 위기경보 단계별 계측기기 오류 또는 피해 발생에 따른 안전조치 이후에는 조정 또는 해제

〈표 9-19〉 단계별 조정·해제 기준

구 분	조 건	조정 및 해제 기준
주의	• 주의 발령 후 계측값이 주의단계 계측 기준값 미만으로 감소 시	• 관심단계로 조정
경계	• 경계 발령 후 계측값이 경계단계 계측 기준값 미만으로 감소 시	• 전문기관 현장확인 및 상황판단회의 후 주의단계로 조정 검토
심각	• 심각 발령 후 계측값이 경계단계 계측 기준값 미만으로 감소 시	• 전문기관 현장확인 및 상황판단회의 후 대피명령의 해제 및 경계단계로 조정 검토
기타	• 피해(붕괴) 발생 후	• 안전조치 및 전문기관 현장확인 후 상황판단회의에 따라 관리단계 결정
	• 계측값 오류	• 전문기관 계측기기 및 관련 시스템 점검 후 관리단계 조정 검토
	• 계측값이 단계별 계측 기준값 이상을 지속적으로 유지하나, 급경사지에 이상징후 없는 경우	• 전문기관 급경사지 정밀 조사, 계측기기 및 관련 시스템 점검 후 관리단계 조정 검토

- 위기경보 조정·해제에 따른 조치결과 등 상황전파
  - 관계부서 및 유관기관에 위기경보 발령 수준에 따른 조치사항 및 위기경보 단계 조정·해제 결과 전파

◆ 위기단계별 사전 발령 적용방법(강수량에 의한 주민대피 관리기준)

단 계	주민대피 강우기준		
	1시간	1일	2일
관 심	13	44	58
주 의 (10%)	19	63	82
경 계 (30%)	26	107	147
심 각 (50%)	35	145	205

1일	일기예보에 의한 예상강우량 예보 현재 무강우
예보기준	50~100mm 예보에 따라 24시간 기준 주의보 발령
2일	일일 80mm 강우발생 후 2일차 일기예보 50~100mm예보
예보기준	일일 80mm 누적강수량 예보기준 130~180mm 예상 48시간 기준 경보발령
3일	실제 강우량 50mm 발생시 2일차 80mm+50mm 48시간 누적강우 주의보기준

□ 강원도 ○○시

○ (1일 차) 현재 강수량 0㎜, 일기예보 예상 강우량 50~100㎜
- 예보 최대강우량이 100㎜로 24시간 주의보 기준 강우량 63㎜보다 많고 경계(경보) 기준인 106㎜보다 적으므로 **주의단계** 발령 가능

○ (2일 차) 24시간 실제 누적강우량 80㎜, 일기예보 예상 강우량 50~100㎜
- 실제 누적강우량 80㎜와 예보 최대강우량 100㎜ 합이 180㎜로 48시간 경계(경보) 기준 강우량인 147㎜보다 많으므로 **경보단계** 발령 가능

○ (3일 차) 실제 강우량 50㎜ 발생
- 실제 누적강우량 130㎜(2일 차 누적강우량 80㎜+3일 차 실제 강우량 50㎜)로 경계(경보) 기준인 147㎜보다 적으므로 **주의단계** 발령 가능

5 주민대피 체계 구축

1) 주민대피 대상지역 선정

- 급경사지 대상지 중 재해위험도 평가결과 D, E 등급이며, 붕괴위험지역으로 지정된 급경사지 및 C 등급이나 인명피해 우려가 있는 급경사지를 주민대피 지역으로 선정한다.
- 주민대피 대상지역은 지역특성을 반영한 비상시 대피로 및 주민대피 장소를 사전에 건물 관리자와 협의하여 지정하며, 대피 안내자, 비상시 구호물품 등의 확보계획을 수립한다.

〈표 9-20〉 급경사지 주민대피 대상지역 선정(대전광역시 00구 사례)

연번	구분	지구명	주소	개요	등급	대피 장소	비고
1	인공 (옹벽)	00지구	경기도 00군 00로 00	L: 30m H: 20m 대피인원 00명 어린이, 노약자등 0명	D	00구 00로 00 〈00마을회관〉 면적 80㎡ 30명 수용	
2							

〈표 9-21〉 00지구 주민대피 담당자 지정(대전광역시 00구 사례)

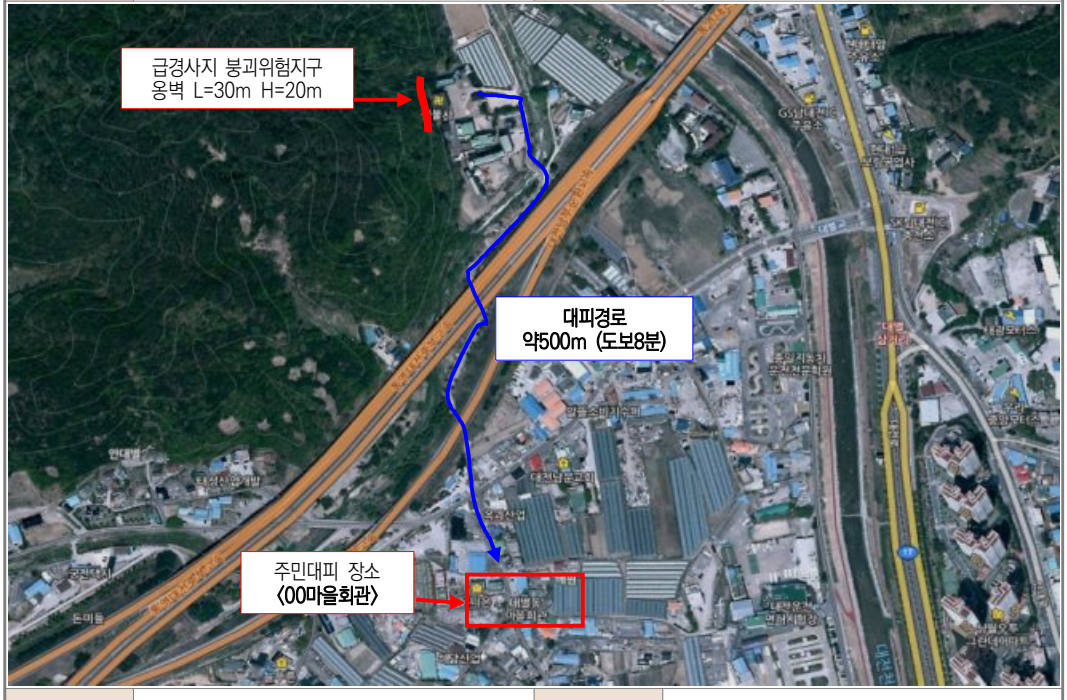
구 분	성 명	연 락 처	임 무	비 고
00구 안전총괄과	000	010-1111-222	주민대피 안내(총괄)	000외 11명
00구 00주민센터	000	010-0000-0000	주민대피 가두방송 (행정차량)	공무원 2명
	000	010-0000-0000		
00경찰서	000	010-0000-0000	교통통제 및 치안유지	경 찰 2명
00구 안전총괄과	000	010-0000-0000	재해약자 대피 지원 대피소 대피인원 확인 및 안내	공무원 2명, 통장 및 방재단 4명
마을통장	000	010-0000-0000		
지역자율방재단	000	010-0000-0000		
	000	010-0000-0000		

- 재해약자(어린이 및 노약자, 여성 등) 수송차량 : 자가용 2대(000-000-0000)

〈표 9-22〉 00지구 재해약자(어린이, 노약자 등) 현황(대전광역시 00구 사례)

연번	성명	주 소	연령	성별	전화번호	보호자 성명	대피안내요원 (이름, 전화번호)	비고
1	000	00구 00로 00	00	남	010-0000-0000	000	000	
2								

사진설명	전 경	위 치	00구 00로 00



사진설명	위 성 사 진	위 치	00구 00로 00

〈그림 9-13〉 주민대피 대상 00지구, 대피로 및 대피장소 지정(대전광역시 00구 사례)

대피소명	00읍 사무소 (00읍 00로 00)		읍장 홍길동			
거 리	-0.4km		소요시간	4분	수용 가능인원	200명
현장관리	개발담당		000		063-000-0000	
관련기관	이장		000		010-0000-0000	
	행정	00읍 사무소	000		063-000-0000	
	경찰	00 파출소	000		063-000-0000	
	소방	00 119	000		063-000-0000	

〈그림 9-14〉 00지구 급경사지 붕괴위험지역 주민 대피소 현황(전북 00군 사례)

〈표 9-23〉 00지구 주민 대피소 및 대피로 등 체크리스트(대전광역시 00구 사례)

구분	내 용	좋음	보완 필요	비고
대피소	• 급식 등을 위한 장소는 충분한가? • 식수는 확보할 수 있는가? • 환기, 보온, 조명은 양호한가? • 수용인원에 비해 좁지 않은가? • 자원봉사자 등 운영인원을 확충할 필요는 없는가? • 진입로는 파손우려가 없는가? • 간이 목욕시설, 화장실은 충분한가? • 전기시설은 잘 갖추어져 있는가? • 응급 의료품은 있는가? • 전화는 가능한가? • 소화기등 방화시설은 잘 갖추어져 있는가? • 지붕이나 벽 등은 충분히 튼튼한가? • 구호물품 등은 즉시 확보 가능한가? • 주차장은 충분히 넓은가? • 방역계획은 있는가? • 더 가깝고 안전한 대피소는 없는가?			
대피로	• 대피로의 침수 등 파손요인은 없는가? • 대피로가 차량의 교차 소통이 가능한가? • 대피시 교통통제 등 경찰의 협조는 필요 없는가? • 재해에 취약한 부분은 없는가? • 대피로에 방해물은 없는가?			
기타				

〈표 9-24〉 00지구 주민 야간대피를 위한 Action Plan(대전광역시 00구 사례)

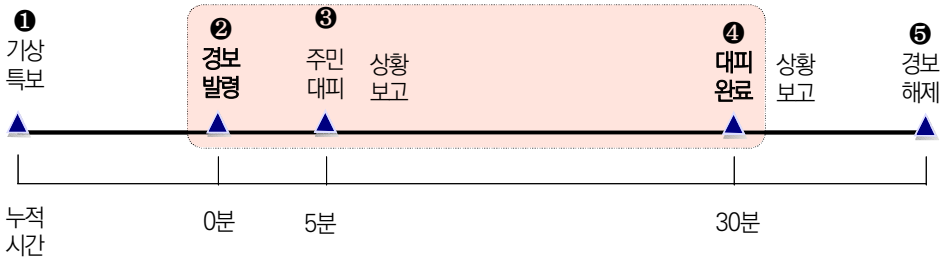
구분	야간 대피 Action Plan	비고
사전대피 및 순찰활동 강화	• 사전대피 누적강우량이 많고 기상특보 발표 등 야간에 많은 강우가 예상될 경우 위험지역 거주자를 일몰 전에 사전대피 실시 • "현장 CP"설치 및 야간 순찰활동 강화 – 누적 강수량이 많고 지속적으로 비가 예상되는 경우에는 CP를 설치하고 "현장순찰팀"을 야간에도 계속 운영 – 강우량과 "현장순찰팀"의 상황을 체크하면서 위험하다고 판단시 즉시 주민대피 실시	
유관기관 협조체제 강화	• 야간에 신속하고 원활한 주민대피를 위하여 경찰·소방·군부대등과 사전협조체제 구축	

구분	야간 대피 Action Plan	비고
야간대피 보조자재 확충	• 대피로(소) 표지판 야광 재질 사용 및 보강 – 기존 설치한 대피로(소) 표지판 중 야광재질이 아닌 것은 야광으로 교체 – 갈림길이나 굴곡부위에 대피로 표지판이 없거나 표지판 사이 거리가 지나치게 먼 경우에는 추가설치 • 야간대피 유도인력 및 물품을 충분히 준비 – 야간 주민대피 안내를 위한 인력을 단계별 비상근무자 외의 인력으로 사전 확보 – 안내요원들에게 필요한 경광봉, 반사조끼, 후레쉬, 무전기 등 사전확보	
야간대피 Action plan	• 대피 담당자 확보(비상근무자 명단 작성시 확정) – 2인 1조(구청 공무원 1명, 유관기관 1명)로 대피담당자를 지정하고 사전에 담당 가구를 지정하여 책임 대피제 확행 – 담당자는 현장 출동 전에 현지상황 및 담당주민 연락처, 가족 수, 재해약자 여부 및 현장 행동요령, 대피소 위치, 대피로, 비상연락처 등을 숙지하도록 조치 – 현지에서 사용할 반사조끼, 후레쉬, 무전기, 대피수첩 등 사전 배포 사전 홍보방송 실시 – 위험요인 증대시 야간에라도 대피할 수 있으므로 사전준비하라는 홍보방송 실시 ※ 방송 차량, 마을앰프, 전화(대피담당자), 자동음성통보시스템 등 – 대피소, 대피방법(도보, 차량), 차량탑승 장소, 준비물 등 안내 – 개인별로 대피 시에는 통장 등에게 반드시 알리도록 안내 – 위급시 귀중품 챙기기에 시간낭비 하지 않도록 사전홍보 철저 • 대피 유도시 – 거동 불편자, 환자, 어린이, 노약자 등 재해약자는 최우선 대피 – 대피로 중간에서는 방향 유도 안내요원 배치(경광봉 휴대) – 도보 대피자들이 대피소를 쉽게 찾을 수 있도록 대피소 입구에 조명을 설치하거나 차량 불빛 등을 이용하여 위치 안내 ※ 필요시 비상발전기 등을 활용한 조명시설 설치 – 대피조는 주민과 대피소까지 동행 하여야 하며 대피 중(또는 차량 탑승 후) 어떠한 이유에서도 다시 집으로 가려는 것을 저지 ※ 본인 뿐 아니라 다른 사람들을 위험하게 할 수 있음 – 경찰은 선두·후미에서 대피자(차량) 안내 및 낙오자 유무 점검 – 확인조는 대피 완료한 마을을 가구별로 최종확인 후 철수 – 대피완료 후에는 가구별 대피 담당자가 대피인원, 대피장소 등을 최종 보고 – 주민대피에 참가한 담당자 중 낙오자 여부 확인 등 • 대피완료 후 – 대피조는 주민의 대피완료 및 인원수를 총괄반에 보고 – 확인조는 철수하면서 위험지역 출입도로에"재난안전선(S/L)을 설치하여 출입통제 – 재난안전선 설치지역 출입통제(사전 지정된 담당자 또는 경찰) ※ 이때 출입통제자는 반드시 본인의 안전이 확보된 장소에서 근무	

〈표 9-25〉 00지구 주민대피 사전대비계획 수립(대전광역시 00구 사례)

평 상 시	사태 발생시
① 주민 안전의식 고취 등 주민홍보 강화 ② 돌발성 인명피해 우려지역 경계활동 강화 ③ 위험지역 출입통제, 강제대피 등 주민통제 제도강화	④ 각종 재난정보 수집 및 전파 기능 강화 ⑤ 주민대피 및 통제활동 강화 ⑥ 재해약자 인명피해 예방 특별대책 추진

주민대피 비상 계획서



❶ 기상특보 발령
- ⇨ 태풍·호우 등 재해발생 원인이 되는 주의보 발표
- ⇨ 담당자 및 통장 위험지역 예찰
- ⇨ 마을방송을 통해 기상상황 전달

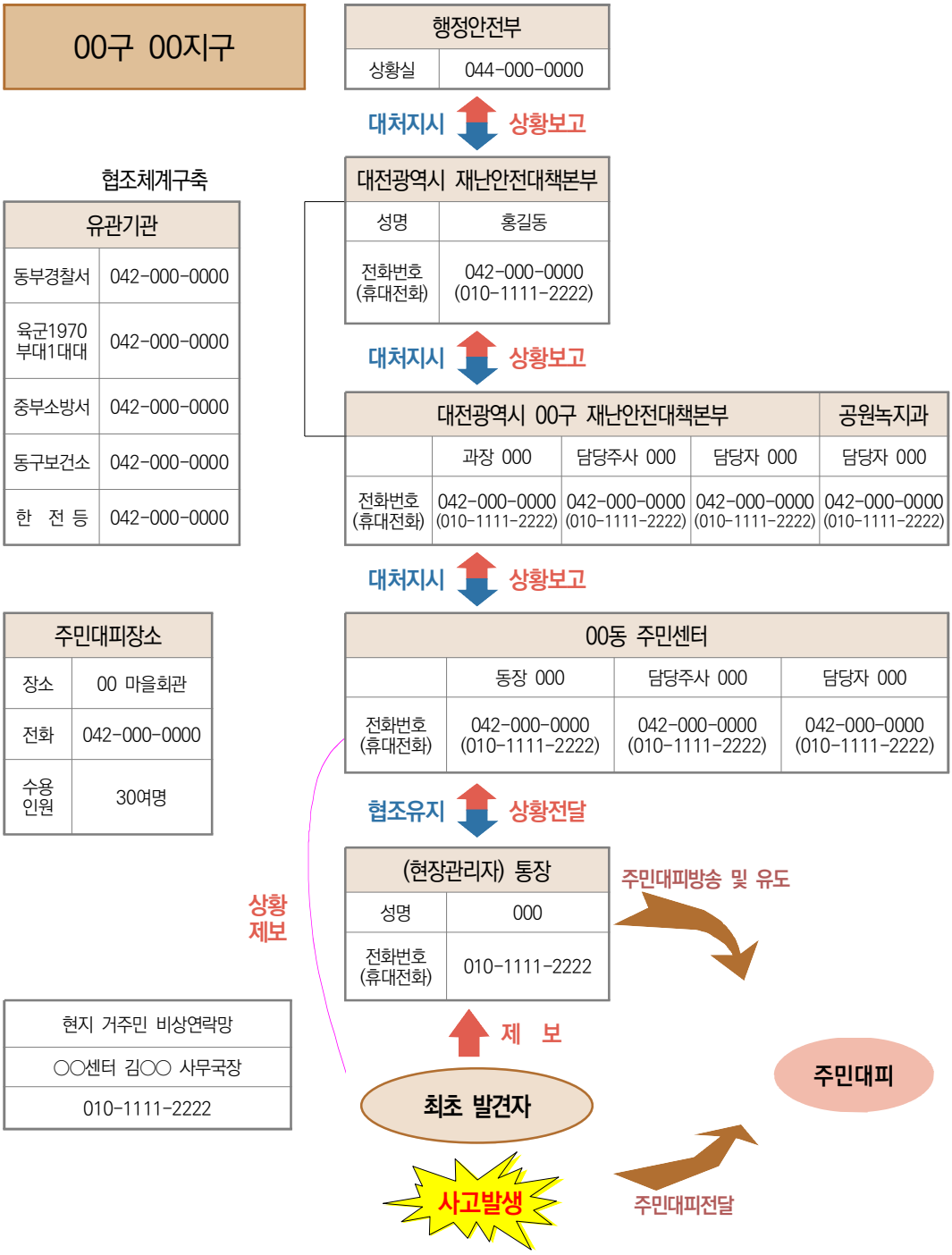
❷ 경보발령(기준시각)
- ⇨ 급경사지 붕괴위험지역 등 지속적인 관찰
- ⇨ 위험 확실시 경보발령
  ※ 기상특보와 상관없이 실제 침수, 붕괴위험을 자치단체장이 판단
- ⇨ 위험지역 출입동제

❸ 주민대피 및 상황보고(경보발령 후 5분 이내 시작)
- ▸ 대전광역시 00구 재난안전대책본부
- ⇨ 해당지역 경보사이렌 발령 및 대피안내방송 실시
- ⇨ 사전대비계획에 따라 신속히 대상지구 주민대피
- ⇨ 지역본부 상황실 비상체계 가동
- ⇨ 자연재난 현황 중앙재난안전대책본부 및 중앙부처에 보고

❹ 대피완료 및 상황보고
- ⇨ 경보발령 30분 이내 대피 완료
- ⇨ 중앙재난안전대책본부 및 중앙부처에 대피 완료 보고

❺ 경보해제
- ⇨ 응급복구 완료, 안전점검 후 자치단체장 판단하에 경보해제

2) 비상연락망 구축



〈그림 9-15〉 주민대피 비상연락망 구축(대전광역시 00구 사례)

3) 단계별 주민대피 담당자별 임무 및 유관기관의 임무와 역할

① 업무담당자

- 관심·주의·경계단계

구 분	주 요 임 무
총괄담당자	▪ 대피 준비 통보(가능한 모든 예·경보 시스템 활용) ▪ 대피담당자에게 대비단계 임무 수행 지시 ▪ 주민대피시기 판단을 위하여 현장상황 수시 파악 – 현장상황 파악은 대피담당자 또는 대책본부 상황보고 시스템 활용 – 대피담당자의 고유 임무(주민대피)를 저해할 수 있는 무리한 상황 보고 요구 자제 – 업무총괄 담당자는 특별한 사유가 없는 한 대책본부에서 총괄 업무 수행(현장 출장 자제) ▪ 대피 불응자 강제대피 등을 위하여 필요시 대피명령 공문서 작성을 완료하고 결재 대기(「재난 및 안전관리 기본법」 제40조 및 제42조)
안내요원 (공무원, 민간인, 지역자율방재단)	▪ 1개 지구에 안내요원이 여럿인 경우에는 1명 선정, 현장을 총괄하도록 함(현장총괄담당자) ▪ 담당지구 위험요인에 대한 지속적인 관찰 및 현장상황 보고 – 주민대피 방해요인 유무 확인 및 위험요소 수시 점검 ▪ 대피담당자는 담당 지역 주민대피를 최우선으로 추진 ▪ 전화·방문 등을 통한 담당지구 주민의 현황 파악 ▪ 앰프 등 가능한 모든 수단을 활용하여 대피 준비 전파 – 대피소, 대피로, 대피준비물, 행동요령 등 사전 전파 – 대피 준비물은 대피소의 상황에 따라 달라질 수 있으므로 평상시 대피소의 상황을 파악하여 개인적으로 준비하여야 할 물품을 대피지도, 대피수첩 등에 표시하거나 미리 통보 ▪ 해당 지역 주민대피와 관련된 특이사항 파악·보고 – 대피를 위하여 인력·차량 등 추가 지원이 필요한 사항 – 기타 신속한 대피를 위하여 필요한 사항 파악 및 지원요청 등 – 필요시 경찰, 소방서, 병원 등에 지원 요청 ▪ 대피로 점검 및 대피소 상황 파악 – 대피로의 파손 여부 및 차량 이동 가능 여부 등 전반적인 사항 점검 – 대피소 기본시설 확인 및 필요한 사항 지원요청 ▪ 재해약자 담당자·총괄 담당자와 지속적인 정보교환 ▪ 기타 담당지역의 대피 관련 전반적인 사항 파악·보고 등
대피담당자	▪ 재해약자의 상태 확인 및 대피 준비 지원 – 건강상태, 대피수단의 유무, 자력 대피 가능 여부(가족 등), 대피준비물 확보 상태 등 – 필요시 차량, 생활필수품 준비 등 대피 준비 지원 ▪ 대피장소, 대피소 등 사전확인 ▪ 안내요원에게 상황 전달
업무담당자	▪ 관련 업무에 대하여 상황관리의 대비단계(사전준비)부분 업무 수행
대피자 (해당지역 주민)	▪ 대피준비 – 대피준비물, 대피안내도·대피수첩 준비, 가족의 위치·상태 확인, 대피소 위치 확인, 차량 등 대피수단 확인 – 외출한 가족이 있을 경우 즉시 연락을 취하고, 연락 불가시 대피장소, 연락처 등을 표시한 메모지 부착 ▪ 지구 밖의 안전한 장소에 있는 가족이나 친·인척 등 대피사실 알림 ▪ 가능하면 이웃과 행동을 같이하여 상호지원을 통한 안전도모 ▪ 문 단속, 전기, 가스 등 점검 – 최종 대피 시에는 누전차단기를 내리고, 가스 밸브 차단

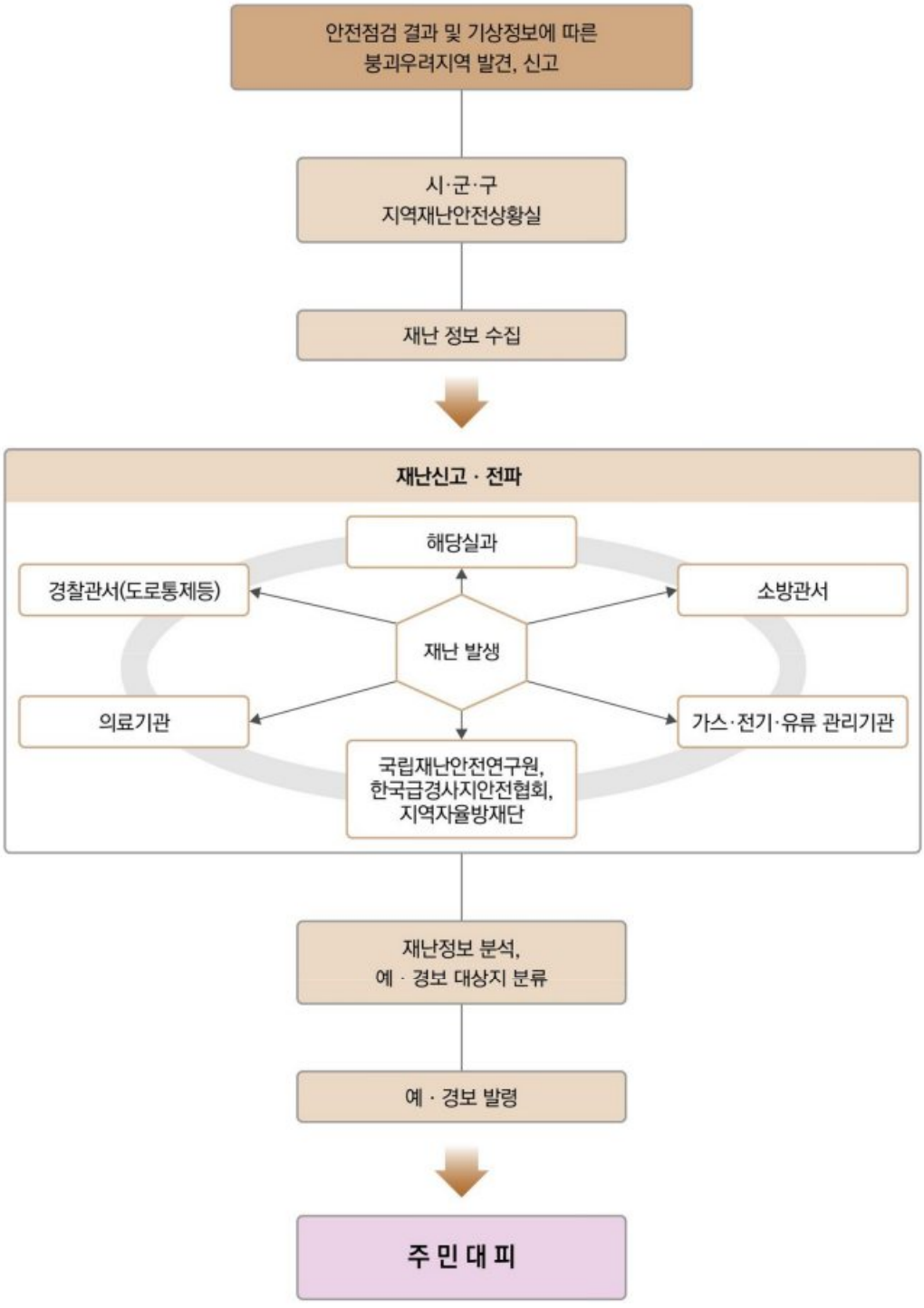
● 심각단계

구 분	주 요 임 무
총괄담당자	• 대피지시 : 예·경보시설 활용 – 대피지시는 가능한 모든 예·경보시설 활용 – 1차 지시 후 안내요원, 대피담당자에게는 재차 발송 및 확인 필요 • 대피 불응자 강제대피 등을 위하여 필요시 대피명령 및 강제대피 시행(「재난 및 안전관리 기본법」 제40조 및 제42조) – 강제대피가 필요한 경우에는 즉시 소방서·경찰에 협조 요청 • 안내요원·대피담당자 등과 지속적인 연락유지 – 현장상황, 지원이 필요한 사항 등 실시간 파악 • 지원요청 사항에 대한 즉시 조치 – 총괄 담당자는 특별한 사유가 없는 한 대책본부에서 총괄 업무 수행(현장 출장 자제) • 경찰에 대피차량 유도 및 대피지구 치안유지 요청 – 대피지구 차량유도 및 치안유지는 유관기관인 경찰과 평상시 협조체계 구축 필요 • 상황계획서에 따라 NDMS에 입력·보고
안내요원 (공무원, 민간인, 지역자율방재단)	• 대피지시 확인 즉시 담당지구 주민대피 안내 – 마을방송 등을 활용한 주민대피 안내 및 직접 방문 등을 통한 주민대피 여부 확인 – 대피소, 안전한 대피로, 준비물 등에 대하여 안내 – 위험요소가 있는 경우 대피 후 또는 대피 과정 중 다시 집으로 돌아가는 사람 적극 만류 – 대피 불응자가 있는 경우에는 경찰·소방 등에 협조 요청하여 강제 대피 – 위급환자 등이 있을 경우에는 소방서, 경찰, 병원 등에 협조 요청 – 주민대피 후 치안 필요시 경찰에 협조 요청 – 안내요원은 담당지구에 대한 수첩을 항상 휴대 • 최종까지 현장에 남아서 전원 대피가 완료된 것을 확인 후 철수 – 철수 전에 대피담당자에게 재해약자 대피완료 여부 반드시 확인
안내요원 (공무원, 민간인, 지역자율방재단)	• 각종 상황보고 – 보고수단 : 전화, 무전기 및 활용 가능한 수단〈대피보고 – 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 대피지시를 받은 직후 또는 대피가 필요할 경우 반드시 보고 〈시작보고 – 현장총괄 담당자가 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 주민에게 대피안내 방송 직후 – 보고내용 : 대피시작 시각 및 현지 상황, 지원요청 등〈완료보고 – 현장총괄 담당자가 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 주민 대피 완료 확인 직후 – 보고내용 : 완료시각, 대피장소 등 개략적인 내용〈세부보고 – 현장총괄 담당자가 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 지구별 대피인원 파악 후 – 보고내용 : 대피소별 인원, 지원이 필요한 사항 등 ※ 안내요원 중 현장총괄 담당자를 선정한 경우에는 다른 안내요원은 현장총괄 담당자에게 보고하여야 함.
대피담당자	• 담당한 재해약자를 지정된 대피방법으로 지정된 대피장소로 최우선 대피 • 재해약자 대피에 지원이 필요한 경우 즉시 지원 요청 – 직접 병원이나 119, 경찰 등에 지원요청(사후보고) • 상황보고 – 보고수단 : 전화, 무전기 및 활용 가능한 수단〈대피보고 – 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 대피지시를 받은 직후 또는 대피가 필요할 경우 반드시 보고 – 보고내용 : 대피지시 내용 및 담당 재해약자 등〈완료보고 – 현지 총괄담당자에게 보고〉 – 보고시기 : 재해약자 대피완료 직후 안내요원에게 보고 – 보고내용 : 완료시각, 대피장소, 이름, 현 상황, 지원사항 등 • 재해약자 대피 완료 후 안내요원을 도와주고 안내요원과 같이 최종 철수

② 유관기관

구 분	주 요 임 무
경찰서	• 치안 유지 • 도로통제 및 우회도로 사전 파악 – Police Line 설치, 교통통제 – 도로 교통통제 지원 및 우회도로 지정(필요시) – 사상자 신원 확인 – 응급복구 장비 지원 요청 – 사상자 후송을 위한 통행로 확보
소방관서	• 사상자 발생 시 구조·구급(119 상황실) – 인명피해 현황 확인 및 인명구조대책 수립 – 사상자 후송을 위한 통행로 확보 – 사상자 응급처치, 의료기관 확보, 이송 조치 – 사상자 후송상황 확인, 신원 파악 및 가족과의 연락 등
지역자율방재단	• 해당 지역에 출입통제를 위해 Safety Line 설치 및 경찰 지원
의료기관	• 부상자 치료 및 사망자 장례절차 협조
한국전력공사	• 신속한 복구 작업을 통한 주민불편 해소
한국가스공사	• 신속한 복구 작업을 통한 주민불편 해소
민간건설시공사	• 응급복구 장비 지원
전문기관	• 관심 및 주의단계 – 계측정보, 강우정보 분석 및 계측 DB 이력관리 ※ 계측정보 분석 시 진행성 변위 등 위험징후 포착한 경우, 경계단계 발령 사전에 관리기관에 안내 – 계측기기, 운영시스템, 예·경보시설(문자, 확성기, 전광판 등) 정기 점검 및 보수 지원 • 경계 및 심각단계 – 계측정보 및 강우정보 정밀분석 후 상황판단회의 지원 – 필요시 현장 긴급조사 실시 • 피해 발생시 – 원인조사 실시, 긴급조치 및 항구대책 방안 제안

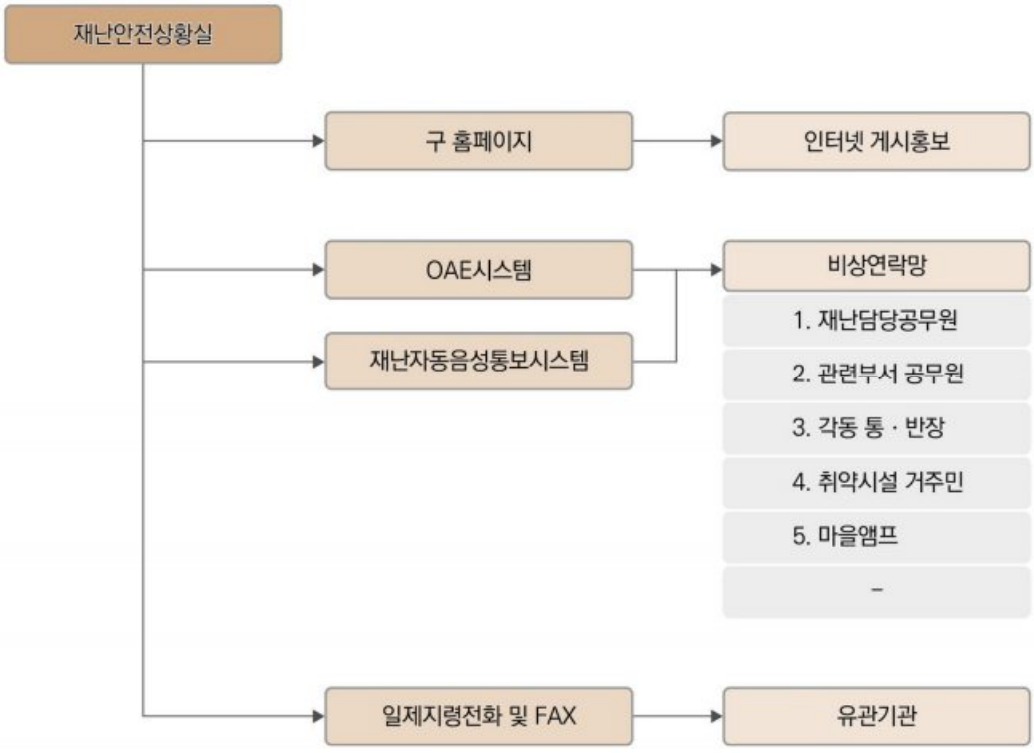
※ 유관기관 등과 사전에 상호 연락체계를 구축하고 임무를 부여함으로써 사고가 발생 할 경우 신속한 상황대처



〈그림 9-16〉 주민대피 상황전파 체계

9.2.3 대피명령

시·군·구청장은 붕괴위험지역에서 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우 해당지역의 주민이나 위험지역에 있는 자에게 사이렌·가두방송·자동음성통보시스템· 지역방송 등 최단시간내 주민에게 알릴 수 있는 방법으로 대피명령을 전달하여야 한다.



〈그림 9-17〉 주민대피 명령 전달체계(00구 사례)

현장 대피 안내요원은 붕괴위험지역에서 대피명령에 불응하는 자가 있을 경우에는 「재난 및 안전관리 기본법」 제79조 및 제80조에 의한 불이익이 발생할 수 있음을 전달하여야 한다.

〈표 9-26〉 00구 주민대피 홍보 방송 문안(00구 사례)

○○구 재난안전대책본부에서 알려드립니다. ○○월 ○○일 ○○시○○분 ○○mm의 많은 비가 내려 00 인접지역에 급경사지 붕괴가 우려되오니 00 인근 주민께서는 즉시 안내요원의 안내에 따라 00마을회관 대피소로 침착하게 대피하여 주시기 바라며, 주변에 몸이 불편한 노약자가 있는 경우에는 같이 대피하거나 안내요원에게 알려주시기 바라며, 라디오나 재난안전대책본부의 발표를 계속 주시하면서 안전이 확보되기 전까지는 절대 대피소를 떠나는 일이 없도록 주의하시기 바랍니다.

붕괴위험지역에서 대피 불응자가 발생할 경우 유관기관의 협조를 요청하여 강제로 대피시키도록 할 수 있으며, 붕괴위험지역을 대피명령 적용 대상지역으로 지정하여 재해발생시 또는 발생할 우려가 있는 경우 신속하게 대피할 수 있도록 한다.

대피명령 발령 후 사전에 지정된 대피 안내요원(읍·면·동 또는 시·군·구 공무원)과 대피 지원요원(마을이장 등)은 현장에 즉시 출동, 사전 지정된 대피소로 주민이 대피하도록 유도하고, 담당공무원은 대피명령 발령 후 발령일시·발령방법·발령장소 등을 사전 준비된 서식에 기재하여 상황관리를 하도록 해야 한다.

〈표 9-27〉 주민대피 시 점검 사항

구분	점검 내용	비고
대피명령 전	▪ 붕괴위험지역 순찰강화 및 위험요소에 대한 주민관심 당부 – 붕괴위험지역 순찰강화 및 응급조치 – 붕괴징후 시 주민대피 요령 등 사전 홍보 및 교육 ‣ 대피소 경로(대피대상지역에서 대피소로 이동하는 경로) ‣ 대피정보 전달체계 확립(통장 및 지역자율방재단 등) ‣ 대피거부자에 대한 강제적 행정조치 사전 홍보 등 ▪ 유관기관 간 붕괴징후에 대한 정보를 사전 제공 ▪ 대피 예상지역 거주민 신원 사전 파악 등	
대피명령 시	▪ 관할 경찰서, 소방서 및 군부대에 주민대피에 대한 협조 요청 ▪ 앰프, 전화, 라디오, 순찰차 등을 활용 주민대피 안내 ▪ 대피거부 주민에 대한 대피방안 추진 ▪ 주민 대피시 직원 파견, 안전대피로의 확보, 대피경로 유도, 대피 교통수단 제공, 대피자 및 교통통제, 대피로의 장애물 제거 ▪ 대피소 개방 ▪ 대피활동 지원을 위한 필요사항 파악 및 활동 지원 – 정전과 야간대피시 조명탄과 신호탄 사용 등	

9.3 급경사지 상시계측관리

9.3.1 계측관리의 필요성

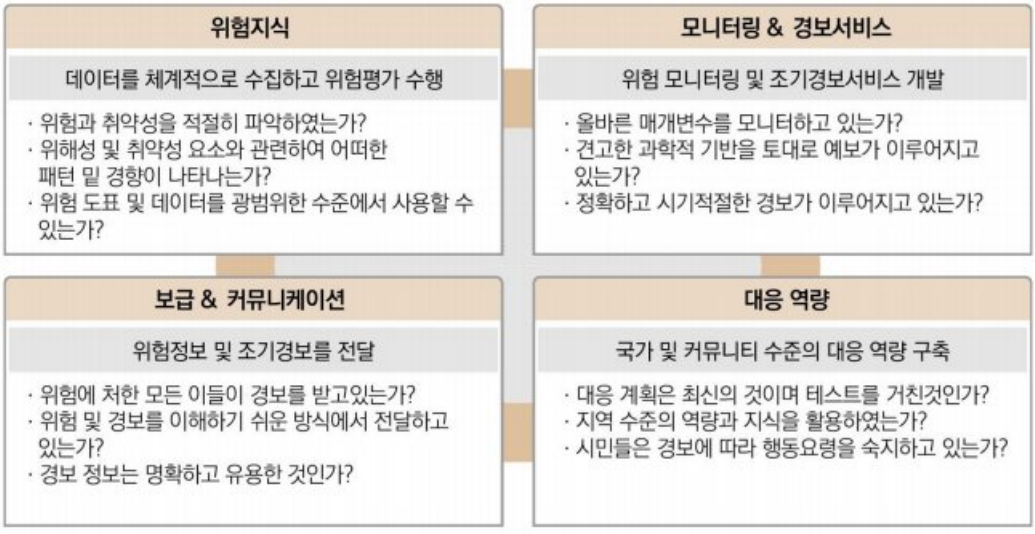
계측관리는 "재난위험 관리(Disaster risk management)"와 "재난위험 경감(Disaster risk reduction)"을 동시에 충족하여야 한다.

"재난위험 관리(Disaster risk management)"의 행정적 지침, 조직, 운영능력 및 역량을 기반으로 "재난위험 경감(Disaster risk reduction)"에서 위험에 대한 노출을 감소시키고 인명 및 재산보호, 상황에 따른 정보전달 등 재난위험에 대한 대비책을 가지고 있기 때문이다.

최근 지자체에서는 "계측관리시스템 구축"이라는 용어 외 "상시계측관리 구축"이라는 용어를 많이 사용하고 있으며, 이러한 이유는 데이터의 습득과 동시에 도화, 분석이 이루어지고 실제 상황 발생에 따른 신속한 정보 전달을 위해 CCTV와 문자메시지, 마을방송 장비(동보장치), 댁내방송단말장비 등과 연동하여 시스템을 구축하고 있기 때문이다.

계측관리는 상시계측관리에 있어 위험 지역의 실제적인 정보 취득과 전달이라는 핵심적인 부분을 담당하고 있어 전문가를 통한 대상 시설물에 따른 센서의 설계와 적용이 필요하다.

아래 그림은 GFCS(전지구기후서비스체제)에서 발표한 상시계측관리의 네 가지 구성요소에 대한 설명을 나타낸 것이다.



〈그림 9-18〉 상시계측관리의 네 가지 구성요소

출처 : UNISDR, PPEW, 2006.

9.3.2 붕괴위험성 경감을 위한 계측관리

붕괴위험성 경감 측면에서 계측관리는 시공 중 계측으로 수행되는 계측관리를 의미 한다.

최근 시공 중 계측 수행을 통해 시공 중 안전 확인의 차원을 넘어 장기적인 구조물의 안전을 확인하기 위하여 시공 중 계측항목의 일부 또는 전체를 유지관리 계측으로의 전환을 위하여 설계시에 계측항목을 별도로 적용하기도 한다.

도심지의 경우 급경사지와 같은 구조물은 적으나 건축물이나 옹벽 등이 산재해 근접시공에 따른 현장 안전관리를 위한 계측에 인접 건물과 시설물에 대한 계측관리도 수행하고 있다.

아래는 비탈면 굴착 중 대규모 인장균열이 발생된 현장의 사진이다.

굴착 중 계측관리 항목은 지중경사계, 지하수위계, 지표변위계를 설치하여 굴착에 따른 지중 및 지표변위와 지하수위 변동량을 확인하여 FEED-BACK 자료로 활용하고자 하였다.

〈그림 9-19〉 급경사지 조성 중 붕괴발생

굴착중 비탈면 저부에서 대규모의 인장균열이 발생하여 보강한 비탈면이다.

보강공법 적용 시 보강 공사 중, 준공 후 도로운용 중에도 안전성을 확보할 수 있는 방안으로 하중계를 설계 반영하여 시공관리와 유지관리를 만족할 수 있도록 하였다.

아래의 현장은 급경사지 붕괴 후 추가적인 붕괴 여부 및 붕괴영역을 확인하기 위하여 계측관리를 적용한 현장이다. 이미 붕괴가 발행하였으나 상부 자연비탈면에 존재하는 테일러스 등의 불안정 요소가 많아 붕괴지역의 보강으로는 안정화를 확보할 수 없는

상황이다. 또한 보강을 위한 예산확보에 시간적 제약으로 인하여 상부 자연비탈면의 안정과 변위 영역을 확인하고 추가 붕괴 전조 관측 시 경보발생과 계측데이터를 활용 보강영역을 도출하고자 시스템을 적용하였다.

〈그림 9-20〉 붕괴 급경사지 전경

〈그림 9-21〉 (좌에서 우로)지표변위계, 함수비센서

계측 운영시스템은 GIS를 기반으로 계측정보, 영상(CCTV), 기상정보, 그리고 필요시 문자전광판, 마을 방송과 연계하여 경보 및 위험정보 등의 상황 전달을 위한 다양한 장비와 연동되는 통합운영시스템으로 구성할 수 있다.

〈그림 9-22〉 운영시스템 화면(예시)

9.3.3 피해저감을 위한 계측관리

1) 국립공원

국립공원관리법은 국립공원 내에서의 개발행위 및 자연훼손이 엄격히 금지되어 있어 국립공원관리공단에서는 자연경관의 보존과 탐방객들의 안전을 위하여 설악산 23개소를 포함하여 전국주요 국립공원에 102개소 이상에서 계측관리 시스템을 운용하고 있다.

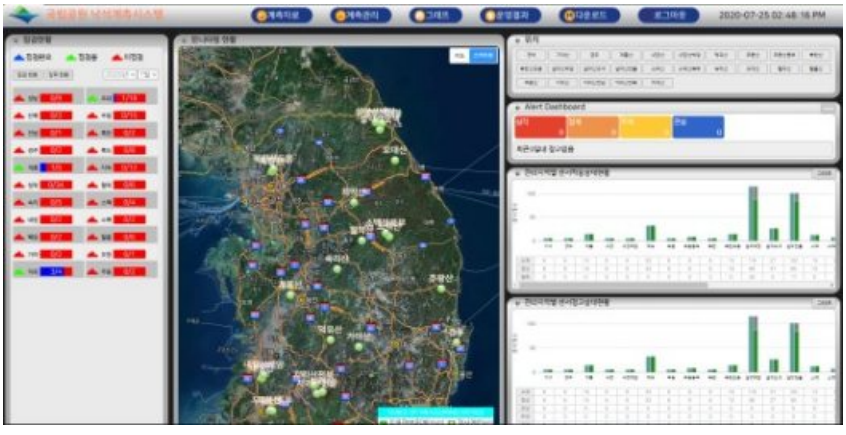
주로 발생되는 붕괴유형은 낙석 및 낙반, 그리고 수목전도 등으로 해빙기와 풍수해 기간중에 주로 발생되는 특성을 가지고 있다. 국립공원이라는 환경적 특성으로 탐방로의 개설이 위험구간을 지나는 곳이 많고 계곡부를 따라 형성되어 상시적인 낙석 위험이 존재하는 것은 어쩔 수 없는 상황이다.

적용 계측센서는 주로 변위센서와 구조물각도센서가 적용되어 있으며 계측지점 전·후로 탐방객의 이동을 감지는 센서가 있어 탐방객이 낙석위험 지역 접근 시 낙석주의 멘트를 방송한다. 전원은 태양열을 이용한 솔라시스템, 통신은 무선모뎀 통신을 사용한다. 시스템은 각 지역국리공원과 공단내의 통합서버와 연계되어 있다.

탐방로 상단 이완암 센서설치 전경

메인함체 전경(솔라시스템) 낙석위험지역 접근 알림 센서

〈그림 9-23〉 국립공원 계측기 설치 전경

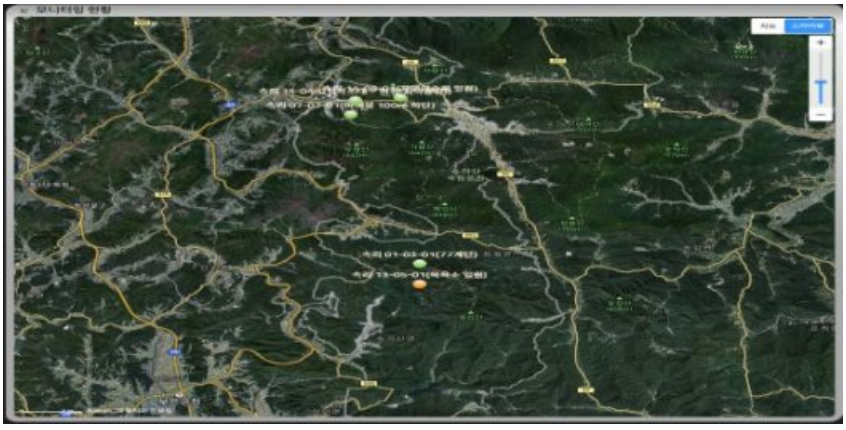


〈그림 9-24〉 통합운영시스템 화면

통합 운용시스템 메인화면은 관리현장이 많아 각 단위현장 상황을 확인하지 않아도 국립공원 내 전체 현장 중 위험 현장을 직관적으로 볼 수 있도록 구현하였으며 경고발생 현장에 대한 이력을 표현하게 하였다.

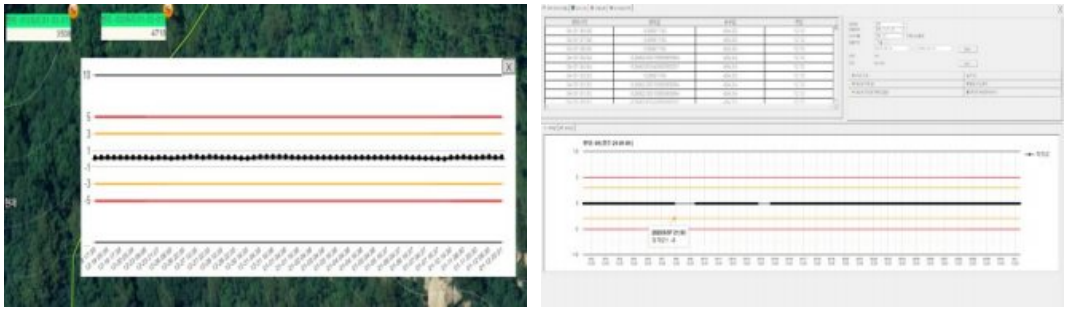
경고발생 현장에 대해서 메인화면에서 즉시 위험현장을 확인할 수 있도록 구현되어 있다.

아래 그림은 단위 국립공원 내 설치된 GIS기반 위치를 표현하고 있으며 POI형태의 색상으로 변위현장을 보여주고 있다.



〈그림 9-25〉 국립공원 별 설치 위치 및 변위현장 표현

변위가 감지된 단위 현장을 클릭할 경우 변위 이력을 나타내는 그래프가 표출되고 데이터 테이블을 열면 시간별 계측값과 전압을 표시하도록 하였다.



〈그림 9-26〉 국립공원 현장별 변위 이력과 현장 전원 상태 알림

현장 전압정보를 전송하는 이유는 국립공원 특성상 상시전원의 인입이 불가하여 시스템 전원을 솔라시스템으로 사용하고 있어 배터리 교체시기와 일조량에 따른 솔라시스템의 건전성을 관리자가 상시적으로 관리 할 수 있는 정보를 표현하기 위하여 고안하였다.

2) 문화관광지

도심지 내 문화관광지로 지정되고 급경사지를 포함하고 있는 경우 도심지 내 문화 및 휴식공간으로서의 가치에 따른 보존가치로 인해 위험성이 존재하나 훼손보다는 보존에

주안점을 두고 관리하는 곳이 많다. 아래 그림은 대구시 중구 “건들바위” 지역으로 관광지로 지정되어 있다. 상부에는 주택들이 존재하고 도로와 인접하여 위치하고 있으며, 급경사지 내 수목 생장이 양호하다. 소규모의 암편에 의한 낙석 위험성은 적으나 규모있는 이완 암블록과 돌출 암괴의 낙반에 따른 위험양상이 감지되고 있다.

현재(2022.10) 조기경보 시스템이 설치 중에 있으며 신축계와 구조물경사계가 설치될 예정이다. 계측관리 시스템은 상기에서도 언급하였지만 GIS를 기반으로 계측정보, 영상(CCTV), 기상정보, 그리고 필요 시 문자전광판, 마을 방송과 연계하여 경보 및 위험정보 등의 상황 전달을 위한 다양한 장비와 연동되는 통합운영시스템으로 구성되어 있다.

건들바위 지구 전경

주민 휴식공산

이완 암블록

〈그림 9-27〉 대구 중구 문화관광지(건들바위) 전경

9.3.4 급경사지 상시계측관리 사업

급경사지 상시계측관리 사업 배경은 전세계적인 이상기후로 인해 급경사지 관련 피해가 지속적으로 발생하고 있기 때문이다. 이에 각 지자체는 급경사지 안전관리를 위해 지속적으로 정비사업을 추진중에 있으나 예산의 한계로 인해 신속한 정비를 추진하기 어려울 뿐만 아니라 급경사지 정비사업을 추진하는 경우에도 항구적인 안정성 확보가 어려운 실정으로 인해 구조적 대책(정비사업)뿐만 아니라 비구조적 대책(상시계측)을 병행하여 진행하고 있다.

급경사지 상시계측관리 구축 사업 추진 절차

1) 급경사지 상시계측관리 구축 사업 법적 관련근거

「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제8조의 내용에 따라 급경사지 붕괴위험지역 및 모니터링이 필요한 위험 급경사지를 대상으로 "상시계측관리" 체계를 구축하여 관리 할 수 있다.

계측데이터를 근거로 붕괴위험을 사전에 인지하여, 긴급상황이 발생하는 때에는 신속히 해당 지역 주민을 대피시켜 인명 및 재산피해 저감이 가능하다.

※ 법 제8조(붕괴위험지역의 계측관리 등) ① 관리기관은 붕괴위험지역 지반의 침하·활동·전도(顚倒) 및 붕괴 등으로 위치변화를 사전에 감지하기 위하여 필요하다고 판단되는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 지속적인 계측(計測)·자료관리(이하 "상시계측관리"라 한다)를 직접하거나 제22조에 따른 계측업의 등록을 한 자에게 이를 대행하게 할 수 있다.

또한 "상시계측관리" 데이터의 지속적인 축적 및 관리를 통해 향후 급경사지 주민대피기준 개선 등 안전관리 업무 및 연구자료로 활용 가치도 높다.

2) 급경사지 상시계측관리 구축 사업 추진근거

- 급경사지 재해예방에 관한 법률 시행령 제4조(상시계측관리)
- 급경사지 재해예방에 관한 법률 제8조(급경사지의 계측관리 등)
- 급경사지 재해예방에 관한 법률 제22조(계측업의 등록)
- 급경사지 재해예방에 관한 법률 시행규칙 제8조(계측업 등록 등)

3) 대상지 선정

◆ 대상지 선정 절차

사업계획 제출	→	사업계획 검토 및 순위 결정	→	현장 확인 및 대상지 확정	→	사업 착수
(시·군·구→시·도)		(시·도)		(행정안전부)		(지자체)

◆ 사업계획 대상기준

① 붕괴위험지역으로 지정·고시된 지역 중 5년 이내 정비계획에 포함되지 않고, 인명피해 위험이 높은 지역

② 정비가 되었으나 기후변화 및 지반변형으로 낙석 발생 등 붕괴 시 인명·재산피해가 위험이 높은 지역

③ 인명·재산피해 경감 등 생활권 주변의 주민수혜 효과가 큰 급경사지

◆ 주요 검토사항

① 지반변형, 낙석 및 붕괴 등으로 인한 인명 및 재산 피해 정도

② 주변 지형여건 등 계측기 설치 가능 여부

③ 전력공급 및 계측DB 송·수신이 용이한 지역 검토

④ 계측기기 설치 시 주변의 반대 등 민원 발생 여부 등

4) 계약관련 내용

"상시계측관리 구축용역"사업 관련한 계약과 계약에 따른 진행은 다음과 같이 일반경쟁(협상에 의한 계약 체결) 방식을 채택.

- 지방자치단체를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 제43조 제1항에 의거 일반경쟁(협상에 의한 계약 체결) 방식으로 추진
- 「지방자치단체 입찰 및 계약집행기준(행정안전부예규)」 및 「지방자치단체 입찰시 낙찰자 결정기준(행정안전부예규)」제5장 협상에 의한 계약체결기준 적용
- 급경사지 상시계측관리에 적합하게 제안된 기술제안서를 평가하여 협상에 의한 계약체결 추진

  * 평가기준 : 기술 능력 평가 90%, 입찰 가격 평가 10%

- 입찰 및 사업자 선정 절차

  ① 입찰공고 및 제안요청서 배부 → ② 입찰등록 → ③ 제안서 및 가격평가 →
  ④ 협상적격자 선정 → ⑤ 협상실시 → ⑥ 사업자 선정 및 계약

5) 규격 및 성능

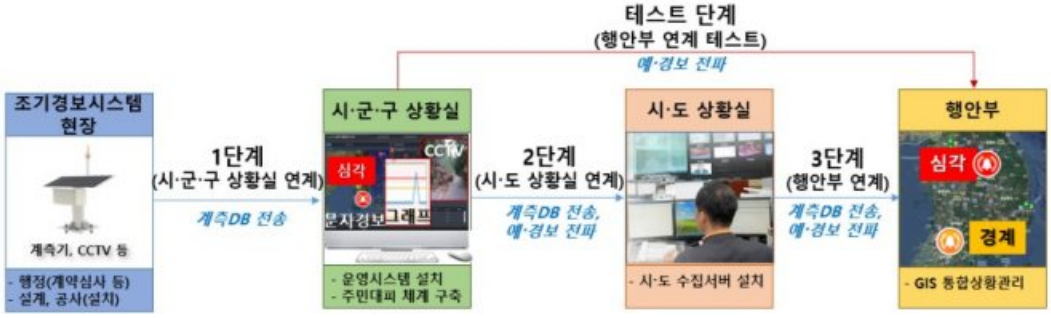
지자체에서는 "급경사지 상시계측관리 구축용역"사업에 대한 과업지시서 및 제안요청서 내에 사용 계측기기와 계측 및 운용시스템 서버의 규격과 성능조건을 계측 표준시방서와 보안관련 자료에 근거하여 명기하여야 한다.

◆ 계측기기의 요구 성능

종류		최소 요구 성능
행정안전부 「계측기기 성능검사 기준에 관한 규정」의 센서	지표변위계	• 측정범위 : 2,000mm 이내 • 분해능 : 0.05% FS • 정확도 : 0.5% FS
	구조물·지반 경사계	• 측정범위 : ±10deg • 분해능 : 0.1% FS • 정확도 : 1.0% FS
	지중경사계	• 측정범위 : ±30deg • 분해능 : 0.5% FS • 정확도 : 3.0% FS
	간극수압계	• 측정범위 : 20kPa~700kPa • 분해능 : 0.1% FS • 정확도 : 0.5% FS
	지하수위계	• 측정범위 : 150m 이내 • 분해능 : 0.1% FS • 정확도 : 0.5% FS
	함수비센서	• 측정범위 : 토양수분 0%~40%, 온도 -10~60℃ • 분해능 : 토양수분 ±0.5% 이하, 온도 0.1℃ 이하 • 정확도 : 토양수분 3.0% 이하, 온도 0.5℃ 이하
	하중계	• 측정범위 : 1500kN • 분해능 : 0.1% FS • 정확도 : 1.0% FS
	진동센서	• 속도센서 측정범위 : 20cm/sec • 가속도센서 측정범위 : 2.0g • 분해능 : 0.1% FS • 정확도 : 5.0% FS
	강우량계	• '기상측기의 검정기준에 대한 검사방법 및 공차'
	GNSS	• 국토지리정보원 고시 '측량기기 성능검사 규정' 또는 제조사 시험성적서
행정안전부 「계측기기 성능검사 기준에 관한 규정」 외 센서 및 시설	기타 센서	• 복합센서 등 기타 개발된 센서는 관련 성능기준을 만족하여야함 • 성능기준이 없는 센서는 발주처 및 전문기관의 협의를 통해 별도로 정함
	상황실 장비	• 상황실 서버 및 관리용 PC등의 사양은 계측기기 및 발주처 전산인프라 상황을 고려하여 발주처 및 전문기관의 협의를 통해 별도로 정함
	기반시설 설치	• 현장 통신장비 설치장소 외함 및 보호시설 제작 • 전력공급 인프라 시설(상시전원을 기본으로 하되, 필요시 solar system, 보조배터리 포함) • 안전휀스, 안내 표시판 및 낙뢰방지장치 등 설치

◆ 계측DB 상호연계 체계

아래의 내용은 “급경사지 상시계측관리 구축용역”사업 중 계측DB 및 상황전파를 위한 관계기관과의 연계방안으로서 그 체계는 다음과 같다.



〈그림 9-28〉 계측DB 상호연계 개념도

① 1단계(시·군·구 상황실 연계)

- (시·군·구) 설계, 계측기 설치 및 운영시스템 구축
- (시·군·구) 계측기가 수집한 계측DB를 시·군·구 상황실 서버에 전송

② 테스트 단계(행정안전부 연계 테스트)

- (시·군·구) 행정안전부에 직접 전파하는 ‘행안부 연계 테스트’를 실시

③ 2단계(시·도 상황실 연계)

- (시·군·구) ‘시·도 상황실 서버’에 실시간 전파 가능 인프라 구축
- (시·도) 행정안전부에 중계하기 위한 인프라 구축

④ 3단계(행정안전부 연계)

- (시·도) 행안부에 실시간 중계

◆ 계측DB 표준규격

“급경사지 상시계측관리 구축용역”사업과 관련하여 관계기관과 통일된 규격으로 DB를 소통 및 교환하기 위해 계측DB 표준규격이 필요하며, 계측DB 표준규격은 행정안전부의 「재난위험감지센싱정보표준화가이드」를 참조하여 구축하여야 한다.

급경사지 상시계측관리 구축 사례

2021년 경주시는 “경주시 경감로”일대 12개 급경사지를 대상으로 “급경사지 상시계측관리 시스템 구축 사업”을 진행하였다.

대상 비탈면은 경주시 덕동에서 황용동 구간에 분포하고 있으며 산지형 도로의 급경사지이다.

급경사지는 산지화되어 자연비탈면과 같이 수목 생장이 활발하나 테일러스와 풍화 및 탈락된 암괴에 의한 지속적인 낙석과 붕괴 및 유실 위험성이 상존하고 시설물의 노후화로 인해 낙석등의 포획에 한계가 있다.

사업 목적은 “급경사지 상시계측관리 시스템구축 사업”을 통해 정량적데이터에 기반한 정비사업의 순위를 정하고 예산확보를 통한 위험 이슈의 점진적인 제거를 통해 도로이용자의 안전을 확보하고 원활한 교통소통 등이 목적이다.

〈그림 9-29〉 대상구간 및 급경사지 전경

낙석(이완암블록 분포)

붕괴(급경사지 상부 산지 경계)

테일러스 붕괴(유실 및 붕괴)

낙석 및 낙반(지지력 상실)

〈그림 9-30〉 경감로 구간 급경사지 위험요인

적용센서는 지표변위복합센서, 구조물경사계, 데이터로거, 강우량계가 적용되었으며 계측시스템과 연동하여 정보전달과 현장확인을 위해 재해문자전광판, CCTV가 설치되었다.

지표변위복합센서는 신축계 센서로서 서스재질의 와이어보호관을 별도시공하여 식생에 의한 와이어 오작동을 방지하였다.

센서 설치 전경 및 설치센서와 장비는 다음과 같다.

센서 설치 전경

지표변위복합센서

구조물경사계

구조물경사계

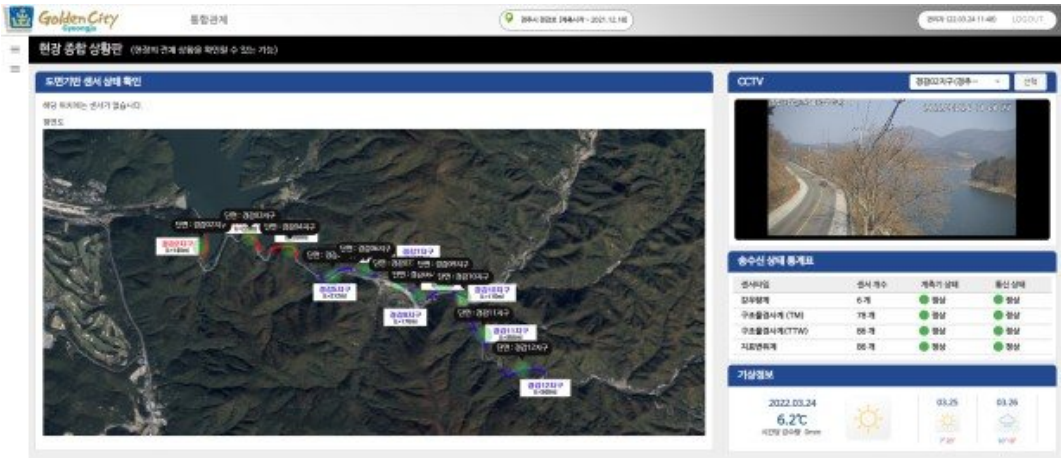
CCTV

재해문자전광판

계측함체

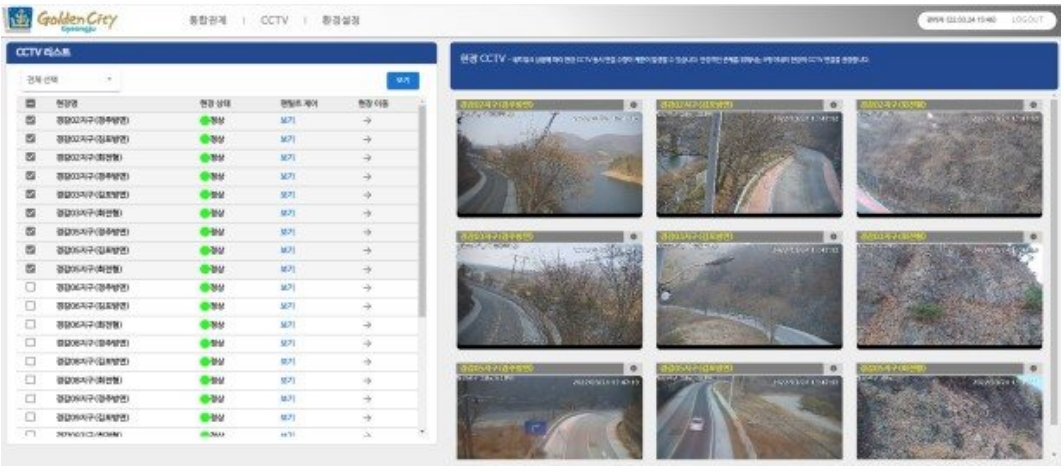
〈그림 9-31〉 대상구간 센서설치 전경

운용 프로그램은 전체 현장의 안정성 유·무를 직관적으로 확인 및 개별 현장을 별도 확인할 수 있도록 구성되어 있으며, CCTV는 언제라도 불러올 수 있도록 구성하였다.



〈그림 9-32〉 전체현장 모니터링 화면

〈그림 9-33〉 현장 모니터링 화면과 데이터



〈그림 9-34〉 CCTV 모니터링 화면

2021년 P군은 관내 5개소에 대해 “재해위험지구 상시계측관리 구축용역”사업을 발주하여 진행 중에 있다. 급경사지 3개소와 하천 고립 위험지역 2개소를 대상으로하는 사업이다.

급경사지와 하천 고립 위험지역이 사업에 포함되어 있으며 상황 발생에 따른 정보전달과 신속한 대피를 유도하기 위하여 동보장치 및 댁내방송수신단말장치와 CCTV를 구성하여 설치되어 있다.

특히 하천 고립 위험지구의 경우 수위모델 분석을 통해 상류측에 수위계와 강우량계를 설치하여 모니터링 시스템을 구축 하였으며 모니터링 시스템과 연계하여 운용되는 도로차단 시설이 설치되어 있다.

도로차단시설은 위험상황 발생 시 상시적으로 관리되는 고립지역의 주민 이외 외부인 및 익명의 고립자 발생을 막을 수 있도록 고립지역 내에서 외부로 피난은 가능하나 고립지역 내로의 차량이동은 불가능하게 설계되어 있으며 시스템을 통해 관리하고 CCTV를 통한 육안 확인도 가능하다.

대표적인 급경사지 현장은 G지구와 J지구이다.

G지구는 전형적인 배산임수의 지형으로 민가 배면에 위치한 급경사지와 도로 비탈면 급경사지가 동시에 위치하고 있어 지표변위계와 신축계, 강우량계, CCTV, 동보장치로 구성되어 있다.

J지구는 마을 진입로 전 파형강판 피암터널이 시공되어 있으며 편토압에 의한 터널 라이닝 변형과 기초부 침하가 관측되었다. 또한 진출입 구간에 위치한 비탈면에서 변형이 관측되었다.

구성은 지표변위계, 구조물경사계, 강우량계, 변형률계, 재해문자 전광판, CCTV로 구성되어 있다.

지표변위계

구조물경사계

변형률계 1

변형률계 2

〈그림 9-35〉 센서 설치 전경

강우량계 및 메인함체

CCTV+재해문자전광판(외부방향)

재해문자전광판(마을방향)

현장 CCTV 상시모니터링 영상(상시관측)

〈그림 9-36〉 강우량계 및 CCTV/ 재해문자전광판 설치 전경

운용 프로그램은 전체 현장의 안정성 유·무를 직관적으로 확인 및 개별 현장을 별도 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 GIS연동시 3D지형 표출이 가능하고 기상청 자료와 연동하여 현장의 기상정보 및 지진정보를 자동으로 업로드하여 표출한다.

현장 CCTV는 모니터링 화면내 표출도 되지만 별도 모니터를 통해 상시 관측이 될 수 있도록 하였다.

화면내 표시된 센서 아이콘은 관리기준치를 오버하는 변위 발생 시 변위 이력과 알람 및 경보발생문자 발송 이력이 하단에 나타나며 자동적으로 색상이 변경된다.

변위 센서의 아이콘 클릭을 통해 데이터 조회가 가능하도록 구성되어 있다.

〈그림 9-37〉 현장 모니터링화면(3D표출)

〈그림 9-38〉 3D 모니터링 화면과 센서 및 장비 아이콘

9.3.5 붕괴위험지역 상시계측관리를 위한 조사방법

비탈면의 붕괴에 대한 적극적인 대처방법은 붕괴가능 위험비탈면을 사전에 파악하고 이에 대한 적절한 대책을 수립하여 비탈면붕괴를 예방하는 것이다.

이를 위하여 위험 비탈면에 대한 현장 조사를 수행하고 현장 자료를 기초로 안정성 해석을 실시한 후 적절한 대책공법을 제시하여 사전에 붕괴위험 요소를 제거하거나 차단하여 비탈면 붕괴 피해를 예방하여야 한다.

그러나 비탈면의 현장 여건에 따라 효과적인 항구 대책공법의 제시, 시공이 어려운 경우가 발생할 수 있으며 다음과 같은 조건을 가진 경우가 해당된다.

1. 상부자연비탈면 경사가 급하고 높이가 50m 이상인 대규모 비탈면
2. 대책공법 적용에 한계성을 가지며 우회도로 개설이 불가능한 비탈면
3. 국립공원, 문화재 보호구역 등으로 지정되어 토목공사가 어려운 비탈면
4. 지형 및 지반 특성상 특별히 필요하다고 판단되는 비탈면 등

급경사지 붕괴위험지역을 주요 파괴요인 별로 분류하면 암반비탈면, 토사비탈면, 옹벽으로 분류할 수 있으며 각 유형별 주요 파괴요인으로 암반비탈면은 불연속면, 토사비탈면은 지반의 포화상태, 옹벽은 배면토압이라고 할 수 있다. 이 주요 파괴요인에 대한 계측항목을 각각 설명하였다.

급경사지의 파괴 유형은 다양하지만 파괴로 인해 나타나는 현상은 인장균열, 지반변형, 구조물변형의 형태로 나타나는데 이에 대한 조사를 통하여 붕괴위험지역에 대한 안정성을 판단하고 보강이나 계측을 수행하여야 한다.

가. 암반비탈면

암반비탈면이란 〈그림 9-39〉와 같이 비탈면의 주요 구성물질이 암석으로 구성된 비탈면을 말하며 주로 불연속면에 의한 거동지배를 우세하게 받는 비탈면으로 대표적인 붕괴유형으로는 평면파괴, 쐐기파괴, 전도파괴, 낙석, 붕락 등이 있으며 변위속도가 상대적으로 빠르다. 암반의 불연속면에 분포하는 지하수의 영향이 크기 때문에 지하수위의 증가는 암반비탈면의 주요 파괴 인자이며 아래에 제시된 계측기 이외에 지하수위계와 강우량계는 붕괴형태와 관계없이 적용한다.

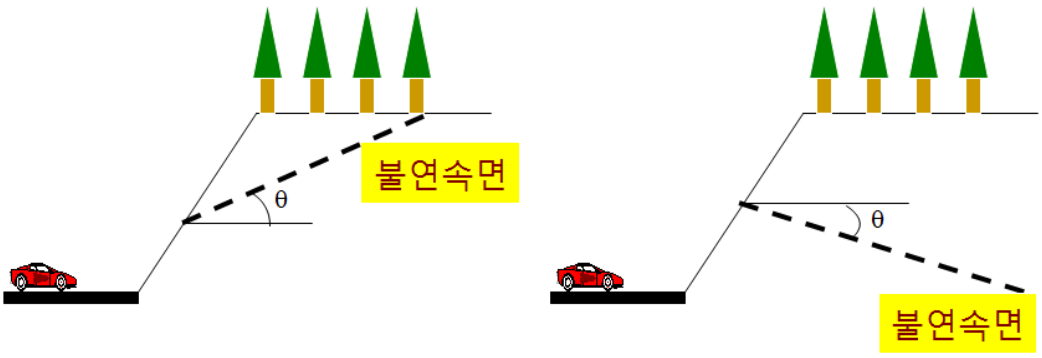
〈그림 9-39〉 암반비탈면

1) 평면파괴

일반적으로 암반의 굴착 전 단계에서는 평면활동의 전면부 균열위치의 예측이 곤란하기 때문에 평면파괴에 대한 활동면을 예측하는 것이 매우 어렵다.

따라서 굴착 후의 지표면조사 또는 시추조사 등에 따라 단층, 절리나 지층 층리의 주향, 경사 등의 지질구조를 확인하여 활동면을 예상한 후 계측기기의 배치를 고려해야 한다. 계측기기 배치와 관련된 기본적인 사항은 다음과 같다.

〈그림 9-40〉 암반비탈면 - 평면파괴



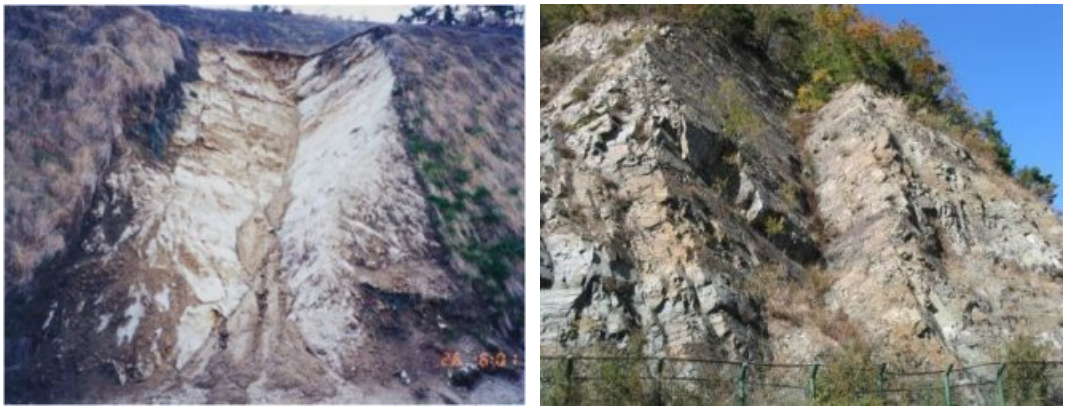
〈그림 9-41〉 평면파괴 시 불연속면 방향

- 비탈면 변형량, 변형속도를 검측하기 위해 활동블록의 중앙 부근에서 전반부 균열을 걸쳐서 이동방향에 따라 지표변위계를 설치한다.
  활동면 경사가 급한 경우에는 수직 변위량이 커지며, 계측 최대량에 이르기 전에 신축계의 선이 보호파이프에 접촉되어 계측이 불가능하므로 주의가 필요하다.
- 평면파괴가 예측되는 블록의 상반과 하반 사이 또는 상반의 상부에 위치하는 절리면에 대하여 크랙게이지를 설치하여 계측할 수도 있다.
- 활동면 위치 검지를 위해 지중경사계를 설치한다.

2) 쐐기 파괴

쐐기파괴 형태는 암반비탈면에서 가장 빈번히 발생할 수 있는 붕괴형태이지만 활동면과 또 하나의 면(단층이나 연속된 균열, 연약면 등)의 조합으로 비탈면붕괴가 지배되므로 활동블록을 사전에 예측하는 것은 매우 어렵다.

계측기기 배치의 기본개념은 평면파괴와 동일하지만 이동 말뚝의 설치는 계측 주측선(종단측선)에 대해서 직각의 횡단방향으로 하여 일렬로 늘어놓는 배치로 하는 편이 이동현상을 검지하기 용이하다.

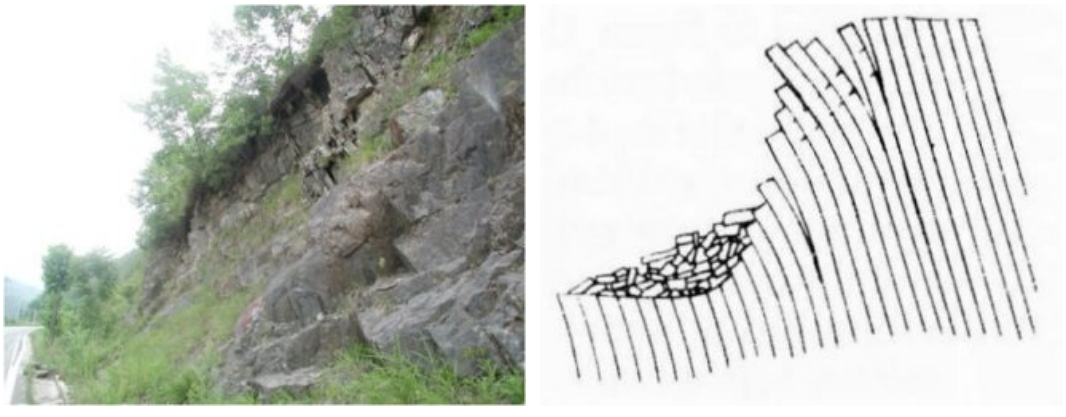


〈그림 9-42〉 암반비탈면 - 쐐기파괴

3) 전도파괴

전도파괴의 경우에는 비탈면굴착 중의 계측이 불가능하며, 전도파괴로 판단되는 비탈면에 있어서 고려되는 계측항목과 계측기기의 배치는 다음과 같다.

- 전도에 의한 전반부 변위량을 지표변위계로 계측하며, 급경사를 나타내는 절리를 기준으로 크랙 케이지를 설치해서 계측할 수도 있다.
- 전반부 경사 변위량을 지반경사계로 계측한다.
- 전도부 전체의 활동부분의 계측을 위해 지중경사계를 측선 상에서 예정하는 활동면 아래까지 삽입하여 계측한다.
- 비탈면에 말뚝을 타설하여 이것에 목표물을 설치하여 반대 측에서 광파측량을 실시하는 방법도 있다.



〈그림 9-43〉 암반비탈면 - 전도파괴

4) 낙석, 붕락 현상

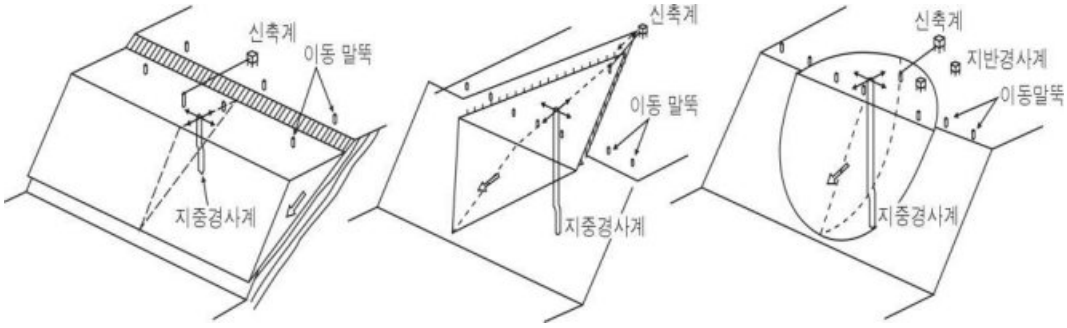
많은 균열, 층리, 절리 등이 발달된 급경사의 비탈면에 있어서 발생되는 경우가 많다. 이것은 대책공법을 실시한 후의 계측방법이다.

- 균열이 많은 붕락비탈면의 경우에는 숏크리트 또는 록볼트를 단독 혹은 조합으로서 시공하여 록볼트 축력계 및 숏크리트 변위계에 의한 계측을 한다.
  - 대책공법으로 낙석방지망, 낙석 방책 등을 고려하는 경우 낙석감지기를 설치한다.
- 비탈면 전반부의 변위량을 지표변위계에 따라 계측한다.

〈표 9-28〉에는 암반비탈면의 붕괴형태와 현장에 적용이 가능한 각종 계측기기의 예를 설명하였고, 〈그림 9-47〉은 붕괴유형별 계측기기 설치 위치를 나타낸다.

〈표 9-28〉 암반비탈면의 붕괴형태 및 적용 계측기

붕괴 형태	대상 지질	계측항목	계측기 및 방법	계측상의 문제점	비고
평면 파괴	연암, 경암	① 지표변위량 (수평, 수직성분) ② 지중변위량 (활동면의 확인)	① 지표변위계 ② 지중경사계 ③ 크랙게이지	활동면의 위치나 머리부 텐션크랙의 위치 예측이 사전에는 어렵고, 깎기 후의 거동 계측밖에 안되나, 사전의 지질구조 조사나 땅깎기 후의 깎기비탈면 상세관찰을 실시하는 것이 중요하다.	강우량계와 지하수위 관측을 실시한다.
쐐기 파괴	연암, 경암	① 지표변위량 (수평, 수직성분) ② 지중변위량 (활동면의 확인)	① 지표변위계 ② 지중경사계	변동 활동 블록의 사전 결정이 어렵고, 계측 위치의 결정이 곤란하나, 사전에 지질 구조 조사나 땅깎기 후의 깎기비탈면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	강우량계와 지하수위 관측을 실시한다.
전도 파괴	연암, 경암	① 지표변위량(수평, 수직성분, 경사량) ② 지중변위량 (활동면의 확인, 수평변위량)	① 지표변위계 ② 지중경사계 ③ 크랙게이지	전도와 낙석·붕락의 구별이 의외로 어렵고, 충분한 지질조사를 실시하여 지질구조를 파악할 필요가 있다. 계측 데이터에서 비탈면의 안정평가와 결부시키는 것이 어렵다.	
낙석	연암, 경암	① 낙석표면변위량 ② 낙석검지 ③ 대책공 계측	① 지표변위계 ② 낙석감지기 ③ 록볼트축력계, 숏크리트응력계	전조 현상이 생긴 다음 붕락이 발생될 때까지의 시간이 짧다. 계측보다도 붕락 대책이 우선되는 경우가 많은 편이며, 대책공의 거동 계측이 금후 필요하다고 생각된다.	낙석감지기는 사후 검지용 예측이 어렵다.



주 : 지반경사계=지중경사계

〈그림 9-44〉 붕괴유형별 계측기 설치 위치

나. 토사비탈면

토사비탈면이란 주요 구성물질이 토사로 이루어져 토사지반의 거동을 보이는 비탈면을 말하며, 지반포화시와 불포화시에 단위중량이 변화하는 것이 암반비탈면과 다른 큰 특징을 가진다. 계측이 필요한 붕괴유형은 원호파괴이며, 암반비탈면에 비해 변위속도가 상대적으로 빠르지 않다.

〈그림 9-45〉 토사비탈면

원호파괴 형태에 있어서 계측기기 배치의 기본은 평면파괴와 동일하나 원호파괴의 경우에는 전반부 지표면이 활동의 진행에 따라 회전운동이 생기기 때문에 이 회전변위를 계측하는 지반 경사계를 이동 암괴 전반부나 부동점을 적어도 수 개소에 배치하여 계측하는 것이 필요하다.

지반경사계는 파괴 예상지역 내의 인장부, 중앙부, 압축부에 각각 1~2기 또는 균열 밖의 전반부에 더미용으로 1기를 설치하는 것이 적절하다.

지반경사계는 회전각(경사 변동량)의 변화를 측정하는 장비로서 비탈면의 파괴가 회전이 생기는 형태, 즉 원호파괴 혹은 원호를 포함한 복합파괴가 아닐 경우에는 변위를 검지하기가 매우 어렵다.

따라서 평면파괴와 같이 암괴가 원형을 유지하여 이동하는 형태 혹은 암괴가 파쇄 되는 형태에서는 지반경사계의 계측 데이터로 비탈면의 위험도를 평가하는 것은 부적절할 수 있으며 경사 변동 데이터의 누적성이 인정되지 않고 변동 방향과 비탈면 최대 경사방향이 일치되지 않는 경우에도 표층토의 전도 등의 이동 현상이 고려되므로 지중경사계와 같은 다른 계측기기의 계측 데이터와의 종합적인 검토를 실시하여 판정한다.

〈표 9-29〉 토사비탈면의 붕괴형태 및 적용 계측기

붕괴 형태	대상 지질	계측항목	계측기 및 방법	계측상의 문제점	비고
원호 활동 파괴	토사, 연암, 경암	① 지표변위량(수평, 수직성분) ② 지중변위량 (활동면의 확인) ③ 간극수압 측정	① 지표변위계 ② 지중경사계 ③ 간극수압계, 함수량 센서, 우량계	활동 블록의 사전 결정이 어렵고, 계측 위치의 결정이 곤란하나, 사전의 지질 구조 조사나 깎기 후의 비탈면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	

다. 옹벽/축대

옹벽은 크게 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축으로 나누어진다. 옹벽의 파괴는 수직방향으로 가라앉는 침하, 토압에 의한 저면 또는 원호활동, 기초지반 토립자의 이동으로 발생하는 세굴, 외력에 의한 파손, 균열, 마모, 박리, 철근노출 등의 형태로 나타난다.

옹벽은 수직에 가까운 일정한 기울기를 가지는 구조물이므로 앞에 열거된 파괴로 인하여 전면의 경사가 변화되므로 구조물 경사계를 이용하여 계측할 수 있고 균열의 발전 양상을 추적하는 것이 중요한 요소이므로 크랙게이지를 이용할 수 있다.

〈그림 9-46〉 파괴된 옹벽

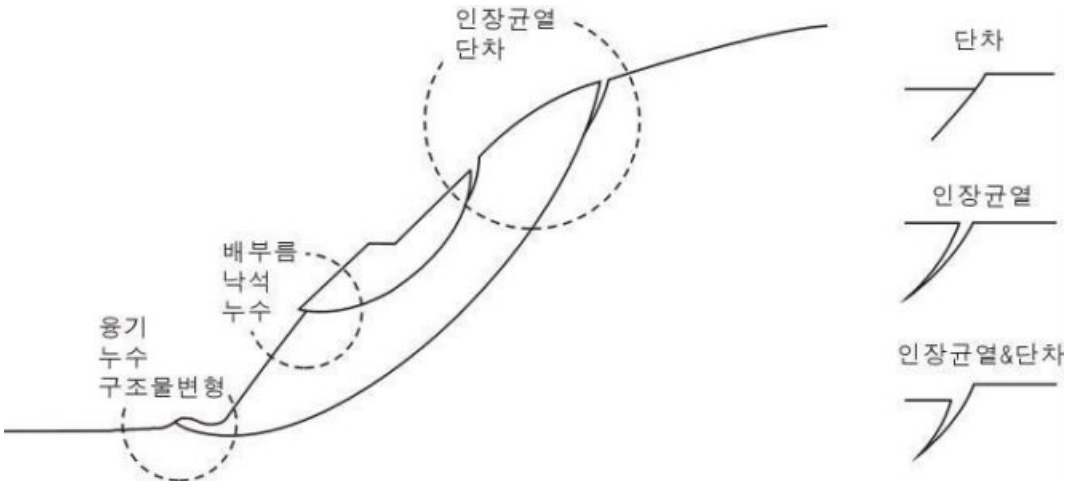
〈그림 9-47〉 보강토옹벽 균열(좌) / 석축 배부름(우)

〈표 9-30〉 옹벽의 붕괴형태 및 적용 계측기

붕괴 형태	대상 구조물	계측항목	계측기 및 방법	계측상의 문제점	비고
전면	옹벽	① 전면 경사 ② 균열 전파 양상	① 구조물 경사계 ② 크랙게이지	균열이 발생하면 추적조사가 필요하며 균열의 시간별 길이, 두께 등의 발전양상을 기록하여야 안정성 검토가 가능하다.	

라. 조사 요령 및 설치사례

〈그림 9-51〉은 비탈면의 파괴로 인해 나타나는 인장균열, 지반변형, 구조물 변형의 위치를 나타낸다. 각각의 현상이 발생하는 위치에 대한 자세한 조사를 통하여 비탈면의 안정성을 파악하고 비탈면의 파괴가 발생할 경우 보강 또는 계측기기 설치 여부에 대해 판단한다.



〈그림 9-48〉 비탈면 변형발생 위치

1) 인장균열

붕괴활동면이 발생된 비탈면이 연성적으로 거동할 때 인장균열이 관찰된다. 인장균열은 일반적으로 상부 자연비탈면에서 관찰되고 붕괴부 이동방향에 수직으로 발달하는 것이 특징이며, 비탈면내에서도 인장균열이 나타나기도 한다.

또한 인장균열은 붕괴 원인의 단서를 제공하므로 균열이 발생한 부위는 상세한 조사를 실시해야 한다. 즉, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부 등을 조사해야 하며, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료를 토대로 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측한다.

〈그림 9-49〉 비탈면 상부 및 내부 인장균열

2) 지반변형

깎기부나 상부 자연비탈면에서 활동면 상단의 균열부에 나타나는 지반의 고저차를 '단차'라 한다. 깎기부에서 활동면 하단의 변형으로 지반이 전방으로 밀리는 현상을 '배부름'이라 하며, 비탈면 선단부위나 도로에서 발견되는 활동면 하단의 변형으로 부풀은 현상을 '융기'라 한다.

지속적인 지반변위나 변형으로 낙석형 전도나 낙석이 특정부위에서 계속 발생되는 경우는 붕괴의 전조현상으로 의심할 수 있으며, 필요시 임시조치와 관련전문가의 자문을 통해 대책을 검토할 수 있다.

〈그림 9-50〉 비탈면 단차 발생

〈그림 9-51〉 암반비탈면 배부름(좌) / 동일비탈면 붕괴 후 전경(우)

〈그림 9-52〉 지반 융기

3) 구조물 변형

일반적으로 자연지반은 큰 변형이나 변위가 발생하기 전까지 인지하기 어렵다. 인공구조물의 경우 시공 당시의 모양이나 위치가 변형되면 비탈면의 움직임에 대한 인지가 가능하다. 따라서 옹벽, 배수구, 점검로 등 비탈면 시설과 비탈면 내에 위치한 전신주 등을 관찰하여 붕괴 징후를 예측할 수 있다.

비탈면에 시공한 콘크리트 뿜어붙이기나 식생녹화, 계단식(화단)옹벽, 돌망태옹벽, 철재 점검로가 설치되어 있는 경우 이들의 변상이나 변형이 비탈면의 거동을 개략적으로 지시하는 간이계측기 역할을 하므로 점검 시 주의 깊은 관찰이 요망된다.

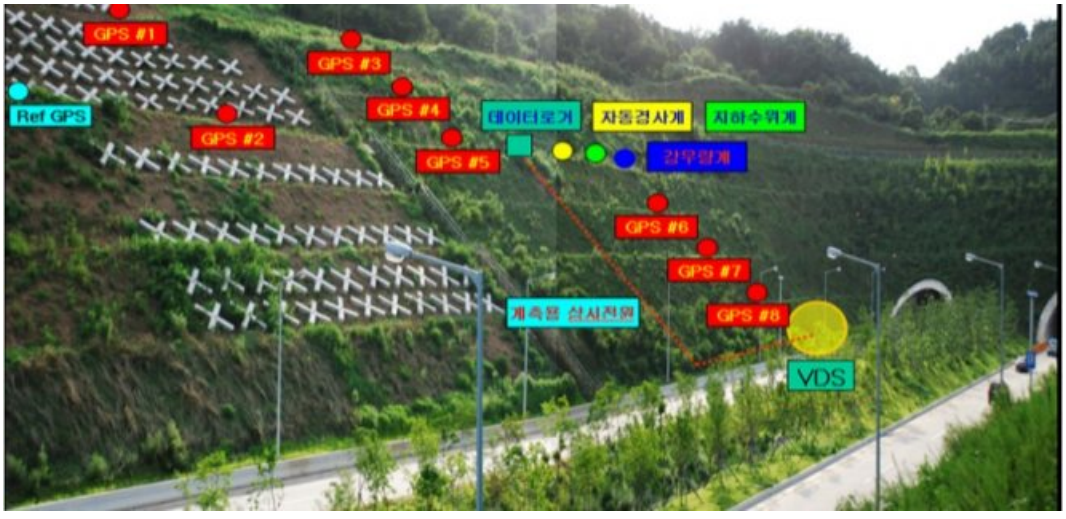
〈그림 9-53〉 전신주 기울어짐(좌) / 옹벽 균열(우)

〈그림 9-54〉 숏크리트 균열(좌) / 계단식옹벽 균열(우)

〈그림 9-55〉 붕괴 비탈면의 급격한 지하수 용출

4) 계측기 설치 사례

1 사례 1

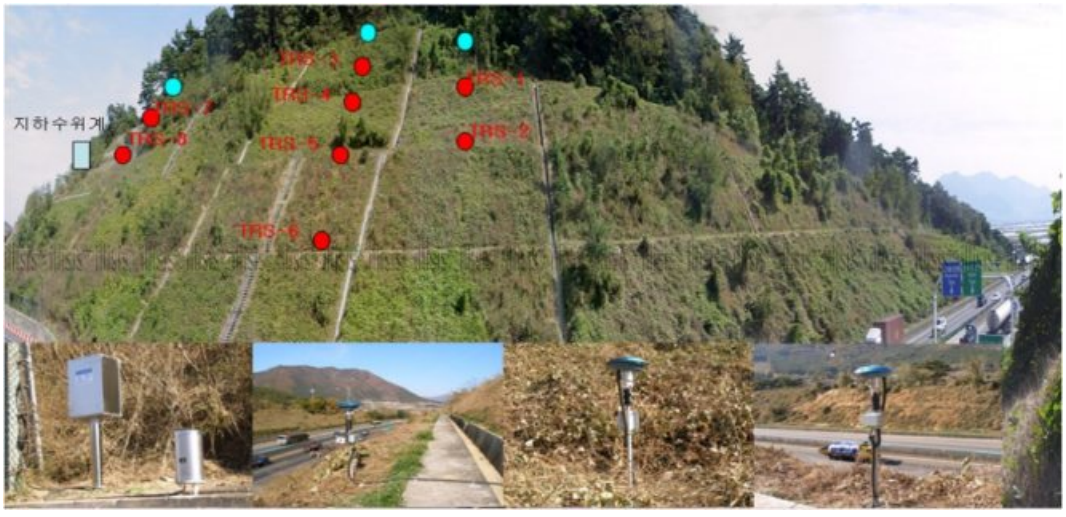


〈그림 9-56〉 계측기 설치사례 1

〈그림 9-57〉 붕괴 당시 비탈면 사진

조사내용
• 큰 규모의 붕괴로 인해 현재 앵커가 시공 • 우측구간은 식생이 양호하며, 좌측구간은 현재 식생기반재 취부공이 적용되어 있음 • 상부 붕적층 및 풍화대를 통한 용수유입 및 집중호우(태풍 에위니아)에 의한 붕괴가 발생되었으며, 지반구성상 점토질 및 씰트질로 이루어져 강우 시 비배수 조건을 형성하고 자중증가 및 전단강도의 약화 등으로 인해 붕괴가 발생된 것으로 판단됨.
• 지중경사계 1hole × 20m (3m간격) • 지하수위계 1hole × 30m • 강우량계 • GNSS 수신기

2 사례 2



〈그림 9-58〉 계측기 설치사례 2

〈그림 9-59〉 비탈면 근경

조사내용
• 식생이 매우 발달한 상태로 비탈면 상태 확인이 불가능 • 과거 큰 규모의 붕괴로 비탈면 우측부에 억지말뚝이 시공되어 있는 상태 • 상부에 게비온 옹벽이 시공되어 있으며, 하부 일부 구간에 섬유 거푸집 보호대가 시공
• 지표변위계 (2단면 ×4개) • 지하수위계 1hole × 30m • 강우량계

3 사례 3

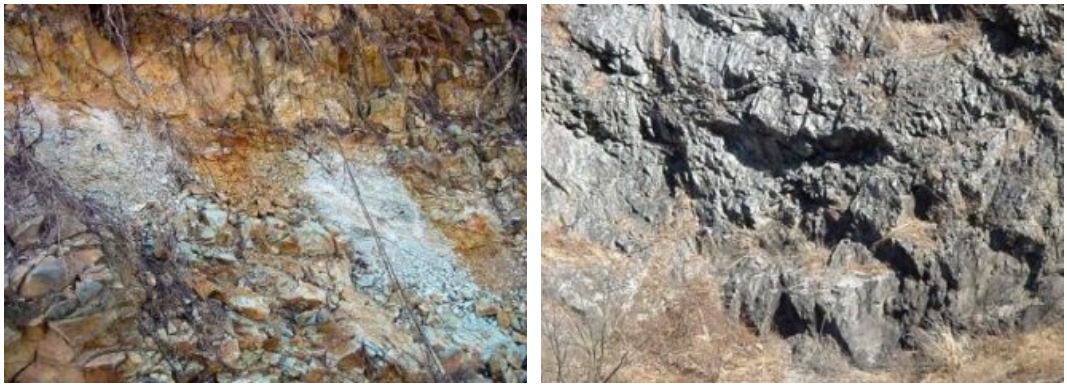
〈그림 9-60〉 계측기 설치사례 3

〈그림 9-61〉 비탈면 근경

조사내용
• 20m 소단 하부는 록볼트와 숏크리트로 보강되어 있음 • 20m 소단 상부 표면파괴로 인한 소단부 균열과 비탈면 배부름이 관찰됨 • 20m 소단 상부는 네일 추가 보강 • 20m 소단 상부는 앵커 추가 보강
• 지표변위계 (1단면 ×4개) • 강우량계

4 사례 4

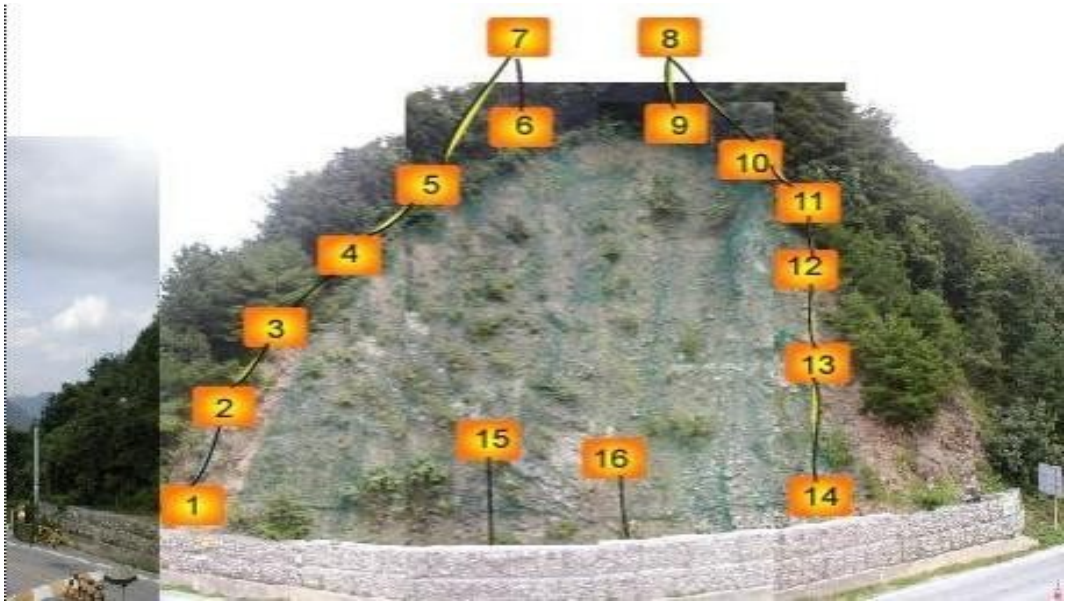
〈그림 9-62〉 계측기 설치사례 4



〈그림 9-63〉 비탈면 근경

조사내용
• 갱구부 좌·우측비탈면은 낙석방지울타리, 갱구부 정면 직상부구간은 숏크리트 시공 • 우측부는 파쇄대 및 열수 변질대에 의한 풍화대가 분포하고 면 좌측부는 암반구간 • 암반구간에서 소절리에 의해 이완된 부위의 낙반 우려가 예상되는 곳이 2개소 분포 • 풍화암 구간은 열수 및 파쇄 작용의 영향으로 세굴 및 침식이 진행 • 풍화암 구간에서의 풍화 및 세굴·침식에 의한 원호활동형태는 지속적일 것으로 판단
• 터널 좌측부 암반구간에서 낙반이 예상, 낙반감지 : 지표변위계 • 터널 우측부 토사구간에서 활동파괴가 감지 : 지표변위계

5 사례 5

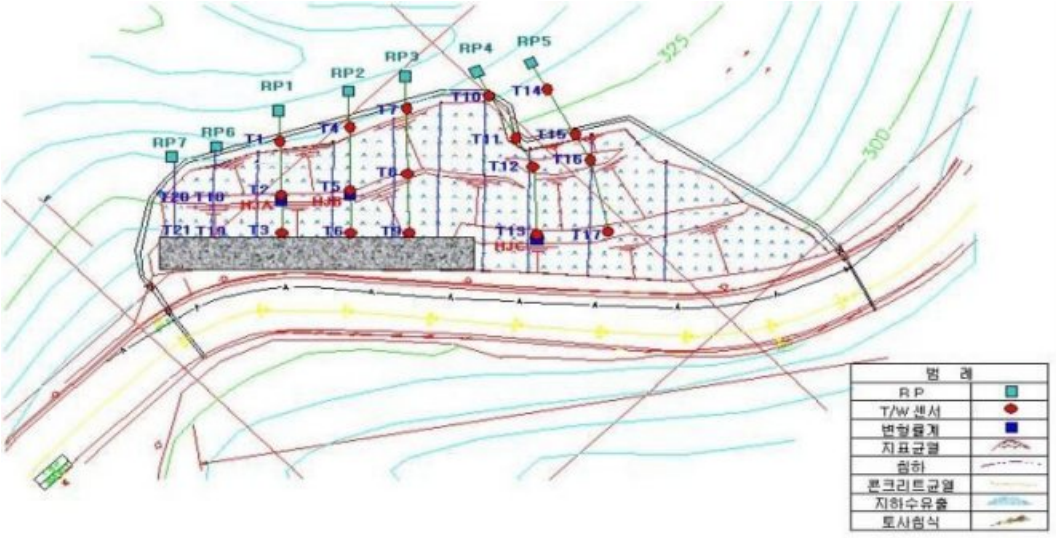


〈그림 9-64〉 계측기 설치사례 5

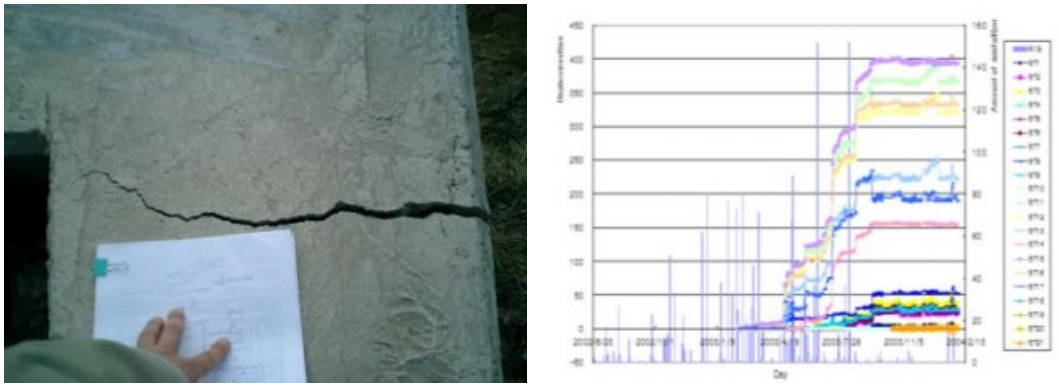
〈그림 9-65〉 비탈면 근경

조사내용
• 게비온과 낙석방지망이 시공되어 있는 상태이나 지속적인 표층붕괴 발생 • 항구적인 안정성 확보안으로 깎기 등의 대책안이 제시 • 발생하고 있는 표층붕괴에 대해 낙석방지망과 개비온의 공법으로 1차적인 안정성을 확보 • 장기적인 관찰을 통해 표층붕괴의 거동양상을 파악하고자 시범 설치 지구로 선정
• 1~4 단면을 통합하여 지표변위계 16개소 • 강우량계 1개소

6 사례 6



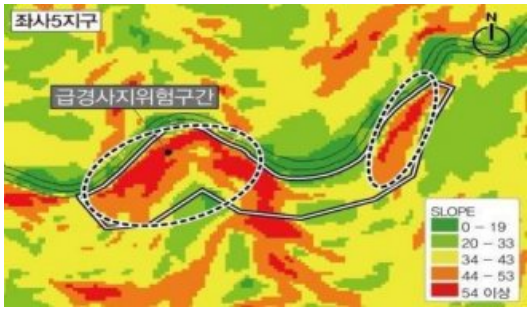
〈그림 9-66〉 계측기 설치사례 6



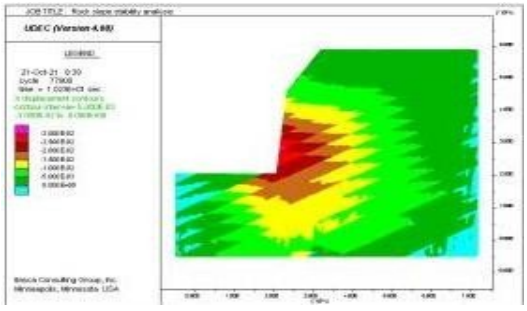
〈그림 9-67〉 인장균열 및 발생변위

조사내용
• 단층파쇄대 영향에 의한 대규모 붕괴가 발생하여 그라우팅 및 계단식옹벽의 공법이 적용된 상태 • 깎기와 그라우팅 공법이 제안되었으며 대책공법의 경제성, 시공성, 효율성 등을 고려하여 그라우팅 공법을 채택하고 시공의 품질 관리에 대하여 상시계측시스템을 운용함으로서 차후 붕괴 위험비탈면에 대한 항구대책을 수립하기로 결정 • 2003년 4월 50mm/일의 집중강우에 의해 지반변위가 발생, 2003년 6~9월의 집중적인 강우량에 의해 최대 40cm의 변위가 발생 • 인장균열 발생부위에 대해 시멘트 그라우팅(소단부분)과 상부 비탈면에 앵커(콘크리트수압판 포함, 10m×1m 구간에 2m×2m 간격, 길이 10m)를 설치
• 지표변위계 21 개소 • 지중경사계 3 개소

7 사례 7



GIS분석



변위 분석

계측기설치

계측기설치

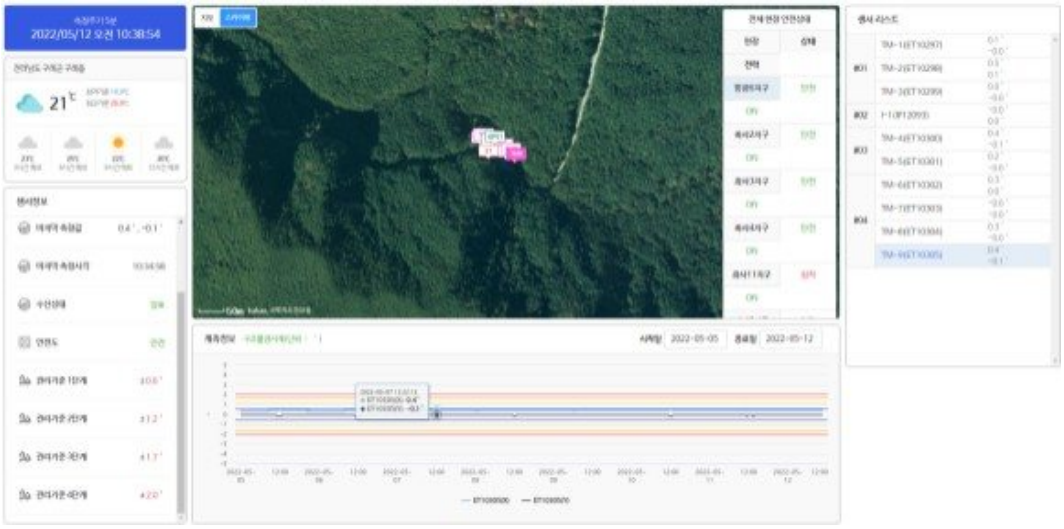
계측기설치

계측기설치

CCTV 설치

문자전광판 설치

〈그림 9-68〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 7



데이터 모니터링 화면

〈그림 9-69〉 계측기를 이용한 모니터링 운영

급경사지 위험지역에 대한 상시계측관리 구축을 위한 계측기 설치								
구분	단위	지구 1	지구 2	지구 3	지구 4	지구 5	지구 6	합계
지표변위계	EA	8	13	13	10	10	14	68
구조물경사계	EA	1	2	1	1	3	2	10
지중경사계	EA	1	0	0	1	1	0	1
지하수위계	EA	1	0	0	0	0	0	1
강우량계	EA	1	0	1	0	0	0	2
GNSS	EA	2	2	1	1	1	2	9
진동계	EA	1	1	1	1	2	2	8
CCTV	EA	1	1	1	2	1	3	9
재해문자전광판	EA	1	0	0	0	0	1	2
계측정보수집장치	EA	1	1	1	1	1	1	6
지구별 합계	EA	17	19	18	16	18	24	112

8 사례 8

지표변위계 (암반구간)

지표변위계 (토사구간)

구조물경사계(암반구간)

강우량계

진동계

CCTV

메인함체

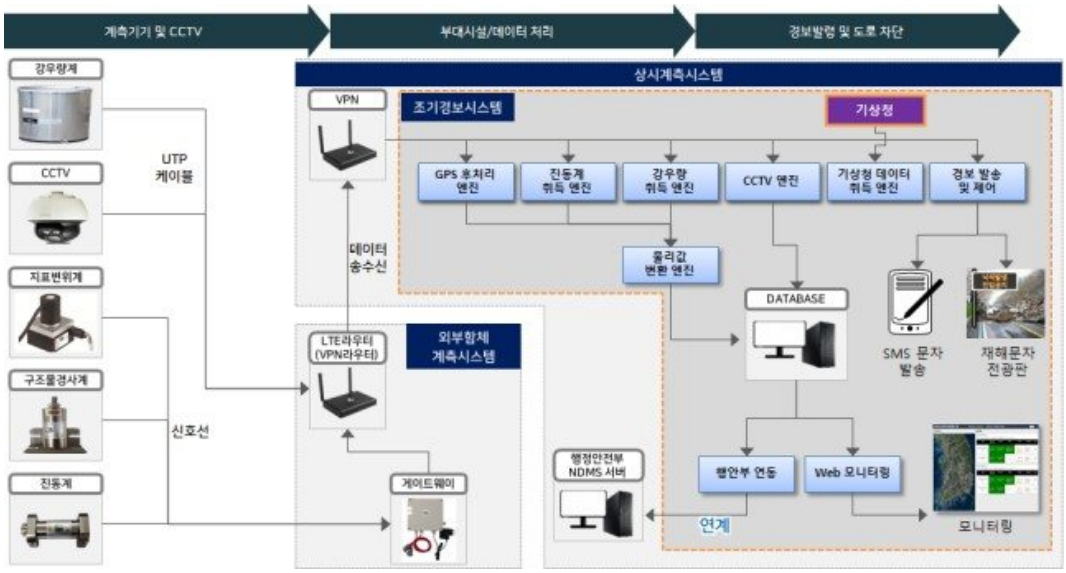
메인함체 전경

재해문자전광판

재해문자전광판

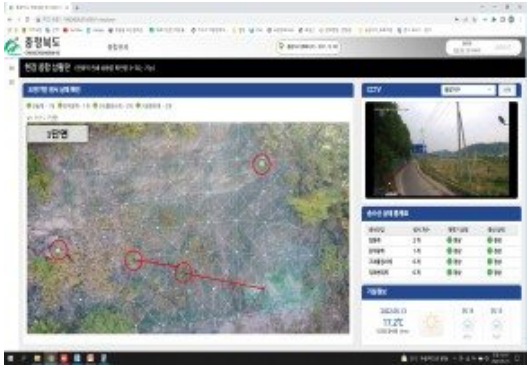
〈그림 9-70〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 8

급경사지 위험지역에 대한 상시계측관리 구축을 위한 계측기 설치									
지구명	계 측 기 기							부대시설	
	비탈면 경사계	구조물경 사계	지중 경사계	지하 수위계	강우량계	GNSS	진동계	CCTV	문자 전광판
A 지구	6	6	0	0	1	0	2	1	1
B 지구	10	10	0	0	1	0	2	1	1
C 지구	10	10	0	0	1	0	3	1	1
합계	16	16	0	0	2	0	4	2	2



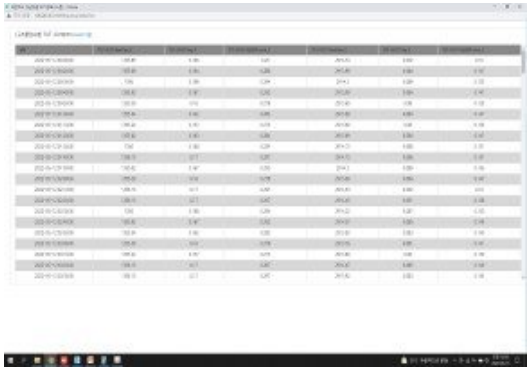
〈그림 9-71〉 급경사지 상시계측관리 운영 구성도

도면기반 센서상태 확인 (단면별)



도면기반 센서상태 확인 (각 단면)

데이터 그래프 표현



데이터 테이블

〈그림 9-72〉 급경사지 상시계측관리 운영

9 사례 9

지표변위계

구조물경사계

강우량계

GNSS

낙석감지센서

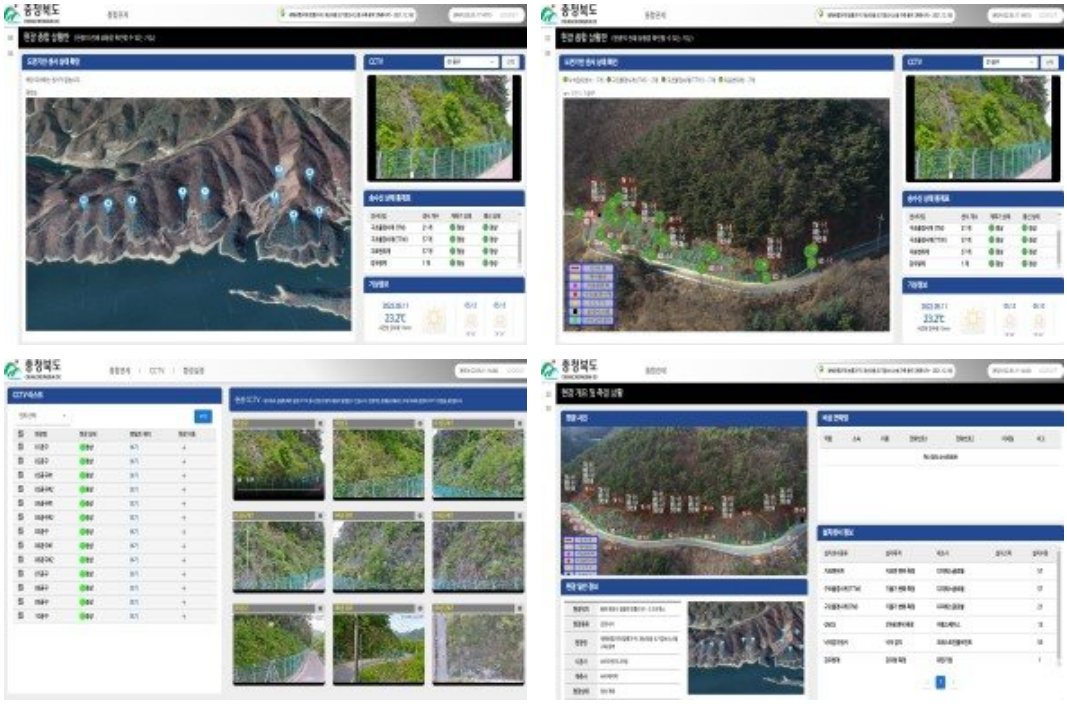
CCTV

문자전광판

운영시스템(게이트웨이)

〈그림 9-73〉 급경사지 위험지역 계측기 설치사례 9

급경사지 위험지역에 대한 상시계측관리 구축을 위한 계측기 설치							
지구명	계 측 기 기					부대시설	
	지표 변위계	구조물 경사계	강우량계	GNSS	낙석 감지센서	CCTV	문자 전광판
OO 1	7	9	-	-	7	1	-
OO 2	4	7	-	-	4	1	-
OO 3	10	14	-	4	10	2	-
OO 4	10	15	-	4	11	2	-
OO 5	7	9	-	4	6	1	-
OO 6	6	7	1	4	6	2	0.5
OO 7	1	3	-	-	1	1	-
OO 8	4	6	-	-	4	1	-
OO 9	4	4	-	-	3	1	-
OO 10	4	4	-	-	3	1	0.5
합계	53	74	1	16	52	12	0.5



〈그림 9-74〉 급경사지 상시계측관리 운영

마. 급경사지 계측항목별 센서

국내 토목·건설 현장에 적용되는 계측기기 및 종류는 매우 다양하나 깎기비탈면에 적용 가능한 계측 종류는 제한적일 수밖에 없다.

구조물의 안전성 감지나 건전도를 평가하기 위한 모든 계측용 센서는 센서가 설치되는 구조물의 변형 특성에 적합하게 제작된 것을 사용하여야 한다.

즉, 계측 목적에 맞는 정밀도 뿐만 아니라 구조물의 변형이나 변위에 따른 위험도를 예측할 수 있어야 하며, 구조물의 강성에 부합하는 내구성과 조작의 편이성 및 유지관리가 용이하여야 한다.

특히, 비탈면의 파괴 유형은 다양하며, 탈락(fall), 전도(topple), 활동(slide), 유동(flow), 퍼짐(spread)의 현상을 통합하여 산사태로 규정하고 있으며, 암반 비탈면의 경우에는 원호, 쐐기, 평면, 전도파괴로 분류한다.

국내비탈면 현황을 보면 토사비탈면에 비해 암반비탈면이 주를 이루고 있으며, 암반 비탈면의 붕괴 특성을 보면, 암종에 따라 다소의 차이가 있겠지만 규모 면에서는 쐐기파괴와 평면파괴가 주로 발생하는데 일반적으로 두 가지 파괴형태가 동반되는 경향이 많으며, 빈도 면에서는 낙석의 발생이 가장 많다.

1) 지중변위

비탈면의 지중 수평변위 측정을 위한 지중경사계(In-place Inclinometer)는 자동화 계측 시스템에 적절한 기기이지만, 여러 개의 센서를 사용하므로 가격이 상당히 비싸고, 설치를 위해서는 시추를 해야 하기 때문에 설치비용도 많이 든다는 단점 때문에 한정된 경우에만 사용되고 있다.

또한 지중경사계를 설치하기 위해서는 사전에 활동면을 대강 파악해야 하는데, 이를 위해서는 적지 않은 시간과 노력이 소요된다는 문제점이 있으며, 지중경사계는 암반비탈면 보다는 토사 비탈면의 거동파악에 효과적이므로 주로 암반비탈면으로 구성된 도로비탈면에서는 비용에 비해 효율성이 떨어지는 면이 있다.

지중 수직변위 또는 침하량 측정에 사용되는 지중 신축계(Fixed borehole extensometer)는 지중경사계(Inclinometer)와 마찬가지로 시추공 내에 설치되며, 예상 활동면을 관통해서 설치해야 한다.

지중신축계는 비탈면내의 미소한 지반 움직임도 측정할 수 있다는 장점이 있으나, 비탈면 자동화 계측시스템에는 별로 이용되지 않고 있다.

2) 지표변위

비탈면의 지표변위 측정에는 일반적으로 측량법, 지표면 신축계(Wire Line extensometer), 그리고 지표경사계(Tiltmeter)가 사용된다.

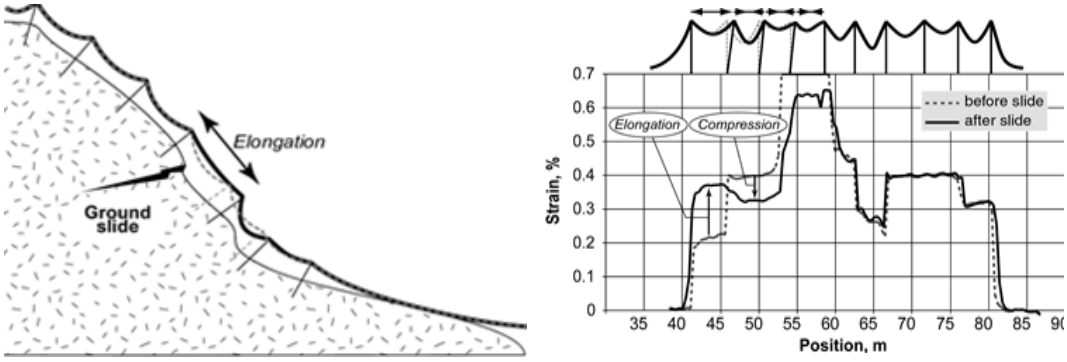
지표변위 측정을 위한 '자동측량법'(지상라이다, Total station, GPS 등)은 노천채굴광산의 비탈면 감시 등을 위한 비탈면 자동계측시스템에 사용되기는 하나 너무 비싸고 도난의 우려가 있어서 무인상태로 방치해 놓을 수 없다.

인장균열 또는 단차의 변위를 측정하는데 많이 사용되는 지표변위계는 자동측량기기와 지중변위측정에 쓰이는 계측기들에 비해 비용이 훨씬 적게 들며, 설치가 간단하고, 수집된 계측자료를 이용해 비탈면의 붕괴를 예지할 수 있어서 비탈면 자동계측시스템에 널리 이용되고 있다.

그러나 식생 활동이 매우 활발한 시기인 여름철인 경우, 현장에 따라서는 이와 같은 신축계 타입의 와이어 센서는 주위 수목 및 넝쿨 등과 뒤엉켜 많은 오작동을 초래하는 경향이 있어 기본적으로 잡초제거를 위한 정기적인 관리가 꼭 필요하며 이를 위한 예산의 뒷받침이 필수적이다.

외국의 경우(일본, 미국, 인도네시아 등)는 아예 처음부터 와이어를 원형관속에 삽입하여 보호하고, 이들 관은 각목 등으로 지지하는 방법을 사용하고 있으며, 홍콩의 경우는 현장여건에 따라 계측기 설치구역을 철책으로 보호 조치하기도 한다.

※ 신축계 타입의 지표변위 센서는 아래 그림과 같이 와이어 센서가 부착된 여러 개의 말뚝을 지표면에 설치하여 지반 움직임에 따른 와이어 길이 변화를 측정하는 방식이다.



〈그림 9-75〉 다 측점 지표변위기

또한 암반비탈면의 붕괴형태와 계측기기의 적합성 조사에 의하면, 지표변위계는 평면파괴, 쇄기파괴, 원호파괴, 전도파괴 등 모든 형태의 활동파괴 계측에 적합한 것으로 보고되고 있다.

특히 최근에 GPS와 지표변위계에 tiltmeter와 IMU센서를 결합해서 지반의 병진, 회전 및 처짐을 측정할 수 있도록 개발된 TRS(T : Translation, R : Rotation, S : Settlement) 센서는 Vector 해석을 통해 활동영역의 깊이와 폭을 유추할 수 있게 됨으로써 재래적인 단순 표피측정의 한계를 극복하였다.

3) 강우량계

우리나라의 비탈면붕괴는 대부분 집중호우 동안이나 그 직후에 발생한다.

따라서 비탈면붕괴 예보를 위해 계측을 하는 경우에는 비탈면계측에서 일반적으로 수행하는 간극수압의 측정보다는 비탈면붕괴를 직접 유발시키는 강우량의 관측이 보다 중요하다.

자동 강우량계는 원거리에서 비탈면을 계측하는데 매우 유용하고, 과거의 산사태-강우량 자료에 근거하여 비탈면붕괴를 예보하는데 이용할 수 있으므로 비탈면 무인감시시스템에 흔히 포함된다.

또한 강우량계의 설치로 강우량의 자료가 계속 축적되면 국내의 비탈면붕괴와 강우조건의 상관관계를 정확하게 규명하는 연구에도 큰 도움이 될 수 있다.

특히 최근에 빈번하게 발생하는 게릴라성 호우(예측치 못한 국지적인 경로를 따라 발생하는 국지 호우)의 예·경보는 현재의 기상자료 수집 시설로는 역부족이므로 비탈면 현장의 실시간

강우자료 확보를 위해서는 강우량계 설치가 꼭 필요하다.

4) Network Camera

무인 상시 감시시스템에서 위기관리를 위해 빠뜨릴 수 없는 것이 CCTV다. 카메라는 평소에는 교통의 흐름을 주시하다 센서가 설정된 관리치를 초과해 이상 징후를 감지하면, 카메라는 Pre-set 기능을 활용해 자동적으로 그 센서의 위치로 전환되어 영상을 촬영하고 관리자에게 전송하게 된다.

이렇게 센서와 연동된 자동영상 촬영이 부과된 시스템은 여러모로 유용한 정보를 제공한다.

실시간 측정과 도화, 해석이 이루어진 후의 다음 단계 즉, 데이터 상으로 경보를 내려야 할 필요가 있다고 판단 될 때 눈으로 현장을 직접 확인함으로써 시행착오 없이 신속하게 대응책을 마련할 수 있다.

더욱이 이런 명확한 상황 확인을 유관기관이 동시에 공유함으로서 위기상황을 초기에 진화할 수 있으며 예·경보를 위한 관리조치가 불분명한 경우에는 관리자의 현장방문 필요성에 신속하게 유용한 정보를 제공함과 동시에 교통통제 등 필요시 현장통제를 위해서도 명확한 상황인식을 마련한다.

5) 낙석방지망 및 방지책

낙석방지망 및 방지책 등은 통상적으로 '사후감지'로만 인식되고 있으나 최근에는 '사전감지'로도 활용되고 있는 추세이다.

붕락우려가 심한 지역에 보편적으로 설치되며 억지말뚝, 네일링 등과는 달리 소극적 보강대책의 한 방안에 속한다. 전 국토의 급경사지에 대부분 설치되어 있다.

또한 적극적 붕괴억지 대책을 도입했다 하더라도 장대비탈면인 경우 혹은 현실적으로 정비 사업이 불가능한 지역에는 낙석방지망/방지책을 추가로 설치하는 경우가 대부분이다.

특히, 지자체의 열악한 예산으로 인해 낙석방지망/방지책은 피해저감을 위한 최소한의 심리적 방편으로 보여진다.

〈그림 9-76〉 낙석방지망

최근 유럽, 미국, 일본 등에서 'Turf' 센서로 일컫는 낙석감지계를 개발해 왔다.

이것의 장점은 일반 포인트 센서와는 달리 붕괴면 전체를 분포형으로 감지할 수 있는 면관리(Area sensor)센서이다. 즉, 지반의 불균질성과 이방성으로 인하여 포인트 센서가 급경사지 붕괴 취약부를 대표하기에 어려움이 있기 때문에 붕괴 가능성이 있는 일부 표면 전체에 센서를 포설, 매설함으로써 붕괴 전조징후를 파악하기가 용이하기 때문이다.

지능형 낙석방지망 센서는 설치되는 방지망 자체가 센서로 작동됨으로서 붕괴·낙석을 방지하는 기능과 동시에 센서 기능을 겸비하고 있으며, 구조체 전체에 센서가 부착되어 취약부와 건전부를 구분할 수 있게 된다.

따라서 취약부 붕괴 진행 현저화에 따라 집중적인 위험관리와 한 단계 더 높은 안전공법을 도입할 수 있음으로써 초기에 투입되는 과도한 정비 예산을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. (시범사업 사례 : 경기도 여주 고속도로 비탈면, 2010년 4월).

〈표 9-31〉 급경사지에 적용되는 계측항목 및 계측기기

현상	계측의 대상	계측항목	계측수순, 계측기명	설치장소 및 설치방법
활동거동	지표면 변동 (변형, 변위)	지반 신축 변위량	지표면 신축계	지표면의 균열을 낀 다수 설치
		지반 경사 변위량	지반 경사계	지표면의 필요 장소에 다수 설치
		전도, 회전량	전도스위치	이동암괴 표면부의 필요장소에 다수 설치
		낙석의 검지	검지선식 낙석검지기	낙석, 붕락 발생 장소에 필요수 설치
		지표 Ⅱ-이동량	이동 말뚝 측량	지표면에 다수 이동말뚝을 설치하여 광파측량을 한다.
			GPS 측량	지표면에 고정 관측정과 필요 장소에 다수 이동 표점을 설치하여 인공위성에 따라 측량, 해석한다.
			침하핀 측량	지표의 균열을 낀 침하핀을 다수 설치
활동거동	지중변동 (변형, 변위)	활동면의 위치 활동 암괴 이동량	삽입식 지중경사계	보링구멍을 이용하여 활동면을 끼고 다수 설치
			고정식 지중경사계 (설치형 지중경사계)	
			지중 변위계	
		지중의 융기, 침하량 이동량	지중 변위계	보링구멍을 이용하여 변위 발생 심도 보다 깊게 설치
구조물의 거동	작용외력	옹벽, 말뚝 등에 작용하는 토압	토압계	구조물의 필요장소에 다수 설치
		앵커에 작용하는 장력 등	로드셀	앵커 구조물의 필요 장소에 다수 설치
	내부응력	대책공 변형 (축력, 휨모멘트로 환산)	변형게이지	대책공의 필요장소에 다수설치
		철근의 변형 (축력, 휨모멘트로 환산)	철근계 (록볼트, 네일링 축력계)	원지반 보강재로서의 철근에 있어서 필요 장소에 다수 설치
	변위, 변형	구조물 변위량	구조물 표면경사계	대책공이나 기설 구조물 표면의 필요 장소에 다수 설치
			광파 측량법	대책공이나 기설 구조물 표면의 필요 장소에 다수 표점을 설치하여 광파측량을 한다.
		강관 말뚝 처짐량	삽입형 지중경사계	강관 말뚝 내부의 필요 장소에 다수 설치
		균열폭,진행속도량	균열게이지	대책공이나 기설 구조물 표면에 발생된 균열을 끼고 다수 설치
		뿜어 붙이기의열화도, 공동추정	열 적외선 영상법 (리모트센싱기법)	적외선 카메라에 의한 뿜칠 콘크리트 표면 온도 정보의 영향 해석을 하여 배면 공동을 추정
수문상황	지하수변동 수압변동	지하수위	지하수위계	관측정이나 보링공내를 이용하여 설치
		활동면의 간극수압변동	간극수압계	보링공내의 활동면 예측 부근에 설치
	기상자료	누적우량, 우량강도 실효우량, 융설량	우량계	계측 대상 비탈면에 가급적 근접된 적절한 장소에 수평으로 설치
		융설량의 추정	적설량계	계측 대상 비탈면에 가급적 근접된 적절한 장소에 수평으로 설치
	지하수 배수효과	배수량의 변화	유량계	배수로의 필요 장소에 방축을 만들어 다수 설치 배수로의 노치 등에 다수 설치

바. 지반변위의 관리방법

1) 계측자료 관리 방안

공공시설물의 관리에 따른 인적, 물적 관리 리스크를 통제할 수 있는 법률, 제도 장치가 미비하여 동일한 사안이 재해마다 반복되는 구조적인 한계를 극복하기 위해서는 유지관리가 제2의 건설효과라는 인식을 가져야 한다.

이러한 인식은 국가, 지방정부의 재난대처 능력이 신뢰받을 수 있는 토양을 조성하고, 시설물의 운영에 대한 실무적 내용에 대해 공공관리주체와 민간의 역할분담을 통해 유지관리 시장의 제도화가 모색되어야 한다.

토목시설물은 지역적으로 분산되어 있고 자연환경의 절대적 지배를 받는 거대구조물로서 장기적이며 일관된 관리가 필요한데도 국제적으로 표준화된 관리기술체계가 아직은 없기 때문이다.

시설물의 유지관리 분야 중 정보화 업종의 특화된 역량이 중요한데, 이는 재해의 문제가 기술의 문제보다는 사회적 문제로서 중요성을 가지고 있기 때문이다.

정보의 범위와 질, 효과적 의사소통 및 의사결정, 홍보를 지원할 수 있는 소프트웨어적 인프라, 인적 네트워크 구축을 위한 다양한 켐페인 수단을 통해서 대중에게 알려야 할 것이다.

반면 하드웨어 인프라는 기술적으로 성숙되어 있음에도 토목업계에 이를 수용할만한 인적 자원이 빈약하고, 이는 재래기술을 기반으로 하는 신설 중심의 건설시장의 한계로 유지관리, 재해 예보, 재해대처 정보 서비스를 제공하는 B2G, B2B 수준에서 특화된 기업, 정보화된 기업의 등장이 필요하다.

단순히 데이터를 나열하거나 그래프로 보여주는 것이 아니라 분석/예측 정보, 센싱과 네트워킹, 계측/관측 및 지휘/통제 정보를 하나로 통합하고, 무선기술은 편의성, 참신성, 비용 등의 문제를 해결하는 중요한 기술로서 유선기술과 결합하여 계측에 적극 활용해야 할 것으로 생각된다.

① 비탈면해석 자료로서의 계측관리(Feed-Back이 가능한 계측)

신규 비탈면이 조성 및 붕괴 발생 가능한 비탈면에서의 비탈면 안정의 검토를 할 때 전체 계획의 흐름 중에서 해석계획을 세워 실행하는 것이 중요하나 보통 특별한 해석계획이라는 것을 수립하지 않는다.

이것은 해석계획이 조사·설계·시공에 잠재적으로 포함되었으며 이들 4인자가 유기적으로 기능되지 않으면 비탈면의 안정성 평가와 실제의 구조물 구축이 안 되기 때문이다.

따라서 암반 비탈면의 해석계획에는 몇 가지의 단계가 있다.

조사에 대한 예비 해석, 설계전의 본격적인 해석, 시공 단계에 대한 계측에 수반하는 해석이다.

또한 본격적인 해석에도 크게 나누어 사전에 비탈면의 안정성을 평가하는 사전 해석과 암반 붕괴에 있어서 붕괴 후 주로 그 원인을 찾고, 그 후의 대책을 강구하기 위해 실시하는 사후 해석의 2가지가 있다.

평가의 대상이 되는 비탈면이 정해진 시점에서, 우선 검토해야 하는 것은 그 비탈면에 관한 데이터가 어느 정도 축적되었는가 이다.

비탈면의 규모, 지형, 지질, 불연속면의 상태(단층 등이 큰 것부터 절리 등이 작은 것까지), 암반의 역학 특성, 지하수 상황, 주변 환경과 영향에 관한 사항이 있으나 이것들이 모두 갖추어지는 일은 별로 없다.

이들 기존의 데이터가 유리한가 여부를 검토한 후, 필요한 것이 빠져 있으면 새로 조사를 해야 한다.

또한 염두에 두어야 할 점은 조사와 해석은 표리가 일체한 점이다.

지반 조사의 기술은 해마다 진보를 가져오고 있으나 자연조건 등의 복잡한 내용을 완전히 밝히는 것은 아직 곤란하다.

또, 같은 비탈면이라도 비탈면내에 만들어지는 구조물의 크기, 형상, 시공법에 따라서도 그 거동은 다르다는 것을 잊어서는 안 된다.

이것은 암반의 조사에 있어서 지질, 조사 전문가가 구조물의 거동 내용이나 해석의 방침을 알지 못하고 조사를 한 경우 해석이나 시공을 하는 시공 기술자와의 사이에 데이터의 해석에 차이가 생기게 되며, 이는 수집된 정보가 관점의 차이로 인해 발생된다.

이것은 비탈면 평가의 초기 단계에서 실시하는 조사 결과의 우열이 후의 해석 나아가서는 구조물의 안정성을 좌우한다는 점과 조사와 해석의 전문가간의 연계가 얼마나 중요한가를 단적으로 표시한다.

◆ 예비 해석

예비 해석은 주로 조사 단계에서 채용된 데이터를 해석하기 위한 단계이다. 조사나 시험은 여러 가지 제약조건하에서 실시되며 그것들의 결과가 곧바로 실상을 반영시킨다고는 말할 수 없는 경우도 많다.

예비 해석에서는 이와 같은 조사·시험 데이터를 이해하고 이론과의 정합성을 취하여 일반화를 도모하는 과정이다.

예비 해석의 대상이 되는 사항은 극히 많다. 조사 계획에서의 개략 조사부터 설계의 전단계의 상세 조사의 일부까지 포함된다.

지형도·지질도의 해석, 광역인 항공사진의 판독 결과의 해석, 실내 시험이나 원위치 시험 결과의 해석에도 해석이 실시된다.

이와 같은 해석의 결과를 기존 자료의 정리·분석과 대비시켜 검토함에 따라 더욱 상세한 해석의 필요성, 제외된 조사 항목을 판단하고 초기 단계에서의 암반 비탈면의 안정도를 평가한다.

또한 문제가 없는 암반 비탈면에 대해서는 이 단계에서 해석이 완료되는 경우도 있다.

◆ 설계를 위한 해석

예비 해석은 조사 데이터 그 자체의 해석에 중점이 두어지나 여기에서는 데이터와 그 해석의 결과를 이용하는 해석이 실시된다.

이것은 해석 방법을 도구로서 이용하고 비탈면의 설계에 쓰이는 값이나 안정성의 평가 판단 재료를 제공하기 위한 것이다.

• 사전 해석

비탈면붕괴의 형태는 여러 가지이며 비탈면의 붕괴에 관한 기술은 경험 공식에 의존하는 면이 대단히 크다.

특히 자연비탈면의 붕괴에 관해서는 사전에 예지하는 것이 대단히 어렵고, 확립된 방법이 아직 존재하지 않는다.

즉 지형·지질이나 수리 조건, 굴착의 시공 조건, 또는 기상이나 지진 조건 등 수많은

요인·원인이 복잡하게 관여되기 때문이며, 이것들을 원인으로 하는 붕괴의 mechanism을 조사하여 붕괴 현상을 일반화하는 것만으로는 특정 지역의 비탈면붕괴 위험도를 사전에 예측하는 것은 불가능에 가깝다.

그러나 계측이나 과거의 사례를 통하여 비탈면의 일반적인 거동 파악은 가능하므로, 더욱 정밀도를 높이기 위해 여러 가지 새로운 방법, 특히 불연속성을 고려한 해석법이 개발되고 암반 비탈면의 시뮬레이션이 실시되고 있다.

암반의 역학적 거동을 해석하는 대표적인 방법에는 유한 요소법, 강제 스프링 모델, 개별 요소법이 있으며 전 자의 두가지는 불연속면을 조인트 요소로 표현하였으며, 연속체 해석적인 고찰로 해결하였다.

한편 개별 요소법은 암반을 구성하는 암괴의 개개의 움직임을 대변형이 될 때까지 추적하는 특이한 방법이며 비탈면의 붕괴시 및 붕괴후의 거동과 형상을 알 수가 있다.

또한 불연속면의 기하학적 형상 분표가 판명되며, 어느 불록이 불안정한가를 판정할 수 있는 블록 이론이 개발되고 수치 해석과의 연계도 검토되었다.

이와 같은 해석 방법의 진전은 불완전하지만 비탈면붕괴의 사전 예지 능력을 향상시켰으며 조사법의 진보에 따라 해석에 의한 암반 비탈면의 안정성 평가가 더욱더 중요해지고 있다.

- 사후 해석

암반 붕락이 생겼을 때에는 사후 해석을 기초로 상세한 해석이 실시되는 경우가 많다. 이것은 붕괴가 발생된 사실이 가져다주는 정보를 최대한으로 살리기 위한 것이며 그 후의 안정성 평가에 극히 유효하다.

이와 같은 사후 해석은 사전 해석에 비교하여 붕괴 형태 등이 판명된 부분, 해석이 용이하다는 것은 분명한 것이다.

이 경우의 해석은 파괴유형 및 붕괴 메커니즘의 해명, 파괴요인의 특정에 힘이 주어지나 그 과정에서 진술한 해석 시뮬레이션이 사용된다.

또한 역학 정수 등의 추정에 후술하는 역해석 등의 방법도 이용된다.

◆ 계측에 수반하는 해석

계측 계획에서도 말한 것처럼 암반 굴착시 혹은 자연 비탈면의 거동을 파악하기 위해 적극적인 계측이 실시되는 경우는 많다.

이와 같은 계측의 결과를 분석하기 위해 해석이 실시되나 그 중에서도 현장 계측(통상 변위)의 결과에서 거시적으로 암반의 역학적 특성(주로 응력-변형 관계)을 구하는 해석 방법이 이용하도록 되었으며 이 방법을 역해석이라 부르고 있다.

비탈면붕괴 후의 조사에서 비탈면의 강도 정수(점착력과 마찰각)를 구하는 방법은 이 범주에 들어간다.

금후 필요한 점은 역해석에서 얻어진 정보를 그 비탈면의 대책공법에 또는 다른 비탈면의 안정성 평가를 위해 활용하는 체제를 만드는 일이다.

보통 비탈면에 있어서는 조사 단계에서 암반의 특성을 정밀도 있게 파악하는 것이 곤란한 경우가 많은 것은 분명하므로 굴착의 진행에 수반하여 노출된 암반면의 상세한 관찰 결과나 계측결과에 의거하여 적절히 그 결과를 평가와 대책에 피드백 할 수 있는 시스템을 구비하는 것이 비탈면의 안정성 평가와 대책상 기본적이며 중요한 요소이다.

계측결과를 지역별, 계절별, 강우별 등으로 분류하고 DB화를 통해 상기에서 언급한 모든 역해석의 과정에 실제 변위량과 측정된 강우데이터 등을 통하여 각 비탈면에 적용가능한 관리기준치를 선정하고, 나아가 비탈면의 붕괴 발생 예지나 감지 및 붕괴 후의 항구 복구가 가능한 대책공법이 제시될 수 있는 자료로서의 관리가 필요할 것이다.

2 재난관리적 측면에서의 계측관리

전세계적 뿐만 아니라 우리나라에서도 이상기후 영향에 의한 자연재해의 다발과, 산업구조가 복잡 다양해짐에 따라 산업재해의 증가 그리고, 도시의 밀집화로 인한 복합적 재난 대형사고에 대한 국가위기관리의 중요성이 강조되고 있다.

또한 선진국에서도 재난관리청과 위기관리실을 중심으로 종합적이고 총괄적인 위기관리 대책을 수립하고 있다.

이에 반해 우리나라는 위기에 대한 이해가 부족하고 위기관리에 대한 인식도 낮아 재난 발생시 상황처리에만 주력하고 있는 실정이어서 효율적이고 체계적인 재난관리가 이루어지지 않고 있다.

또한 재난관리 업무를 지도 감독해야 하는 정부의 중앙부서, 공공기관 및 모든 기관에는 종합위기관리를 담당하는 전문인력이 통합 또는 아직 미비한 수준이다.

◆ 계측데이터의 정보화 방안

국민생활의 변화로서 안전을 추구하는 수요가 증가하고 있지만, 복잡 다양한 유형의 재난 가능성(대규모 지진, 화재(공동구, 지하공간), 원자력 방사능누출, 대규모 비탈면붕괴 등)은 다방면에 존재하고 있다.

계측데이터의 정보화 방안과 연관하여 재난이나 사고에 의한 피해를 최소한으로 방지하기 위해서는 재난관련구조기술의 향상을 시작으로 안전지식의 보급을 위한 교육훈련, 재난발생을 예측하기 위한 각종 관측시설이나, 신속 정확한 현장정보를 전달하기 위한 통신시설 및 관련시설의 정비가 필요 할 것이다.

일반적으로 재난에 관한 정보는 광범위하게 수집되고, 정보량이 많은 만큼 보다 세밀한 방재대책을 강구하기 위해서는 실제적인 데이터 및 자료에 근거한 정보만이 위급한 상황에 대처할 수 있는 자료로서의 가치가 크다.

이러한 관점에서 볼때 계측데이터는 장기간의 비탈면 거동과 계절별, 시기별 얻어진 강우량과의 상관관계를 포함하고 있어 위급 상황발생 대처에 대한 자료로 활용 가치가 높으며, 행정 전산망을 통한 정보교류시 재난관리에 일조를 할 수 있을 것이다.

● 정보 시스템의 구정

재난관리적 측면에서의 정보는 기상관측데이터를 시작으로 다양한 분야를 통하여 정보를 수집하게 되는데 실제로 이러한 정보는 재난에 의한 피해의 경감에 크게 기여하고 있다.

보통 이들 정보는 대책 강구에 도움이 되도록 신속하게 분석처리하고, 관계기관과 일원화되어, 정확하고 신속하게 재난관리 지역내에 거주하는 주민들에게 전달될 때에 그 가치가 발휘될 것이다.

- 정보의 수집과 분석

급경사지 관리를 위한 계측시스템은 기본적으로 실시간 자동화 계측시스템을 지향하고 있어 원거리에서도 현장의 상황을 전달받는 측면에서는 살아있는 자료라 봐야 한다.

또한 급경사지 관리 계측시스템은 측정, 도화, 해석의 일련의 과정을 실시간 처리가

가능하기 때문에 변위 및 강우강도에 따른 재난관리 지역내 거주 주민의 대피 및 상황발생에 따른 경보발령의 기준으로 삼을 수 있을 것이다.

- 정보의 전달

급경사지 관리 실시간 자동화계측 시스템을 통신 네트워크와 연결하여 수집, 분석 처리된 데이터를 적시에 적절하게 제공될 수 있도록 시스템화하여야 한다.

이는 정확한 정보의 전달만이 국민의 신뢰도를 향상시키고 재난 발생시에는 사회적 안정에 기여할 수 있기 때문이다.

실제로 부정확한 정보의 유출은 재난관리적인 측면에서 볼 때 재난의 확대를 가져오는 요인으로 작용할 때가 많다.

효과적인 정보의 전달을 위해서는 하드웨어적인 기능에서는 정보의 중단, 또는 고립화를 방지하기 위한 별도의 시스템 활용방안이 강구되어야 하며, 소프트웨어적인 기능의 강화 측면에서는 다음과 같은 준비가 필요할 것이다.

① 평상시 프로그램의 취급, 조작훈련의 실시(기량향상)
② 운용 매뉴얼의 작성 및 활용(운용 체제의 기준화)
③ 재난관련 훈련/방재교육의 충실(판단능력, 안전의식의 고양)
④ 최신 정보의 축적(신뢰성 향상)

급경사지 관리 실무편람

Ministry of the Interior and Safety

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

제 10 장

급경사지 정보체계 구축 및 운용

10.1 개요

10.2 급경사지 정보관리

제10장 급경사지 정보체계 구축 및 운용

10.1 개요

행정안전부에서는 전국의 급경사지 정보를 체계적이고 통합적으로 관리하기 위하여 국가재난관리정보시스템(NDMS) 내부에 "침수가뭄급경사지정보시스템(이하 '급경사지통합시스템'이라 한다)"을 구축(2016.7.6.)하고 운영 서비스를 시작하였다.

"급경사지통합시스템"은 급경사지에 대한 체계적인 관리 및 대응을 위하여 ①급경사지 정보관리와 ②계측정보관리의 기능으로 구분되어 있다.

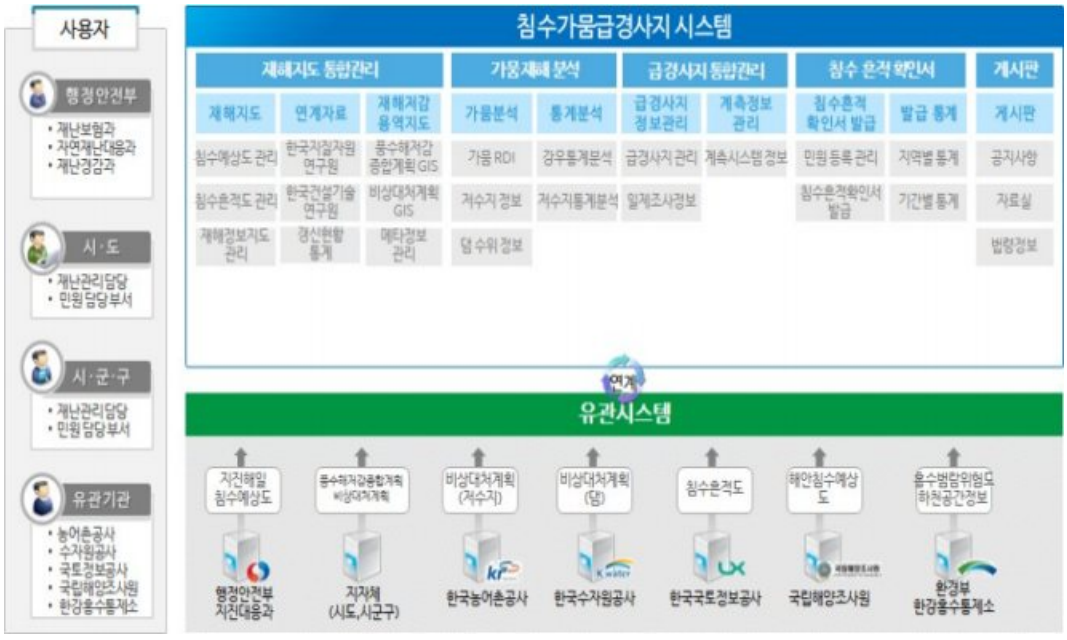
급경사지 정보관리 기능에서는 위험성 판단 및 재해 발생 시 신속한 대응을 하기 위하여 급경사지 현황정보를 실태조사서 기준으로 관리하며 급경사지 안전점검, 재해위험도평가, 붕괴위험지역 지정/해지 등의 이력정보관리 및 등급관리와 주민대피 관리기준, 지반재해 피해이력정보 관리를 지원하고 있다.

급경사지 계측정보관리 기능에서는 붕괴위험지역 상시계측관리 시스템 구축 시 계측데이터 및 현장 CCTV를 연계하여 급경사지통합시스템에서 제공하는 모니터링 기능을 활용할 수 있다.

현재(2025년 1월)는 지자체에서 붕괴 위험 급경사지에 대한 계측 및 모니터링이 이루어지고 있으나, 급경사지통합시스템에 연계되고 있지는 않다.

부가적인 내용으로 급경사지의 위험성 판단 시 활용할 수 있는 자료로서 국토교통부의 지반정보(시추공 실험정보), 한국지질자원연구원의 지질도와 지반재해위험지도, 국립재난안전연구원의 재해위험지도를 GIS 기반으로 표출하고 있다.

관계기관은 "급경사지통합시스템"을 사용하여 급경사지 현황정보와 전문자료를 활용함으로써 위험 요소를 사전에 방재할 수 있으며, 현장 계측시스템과의 연계 기능을 활용한 상시 안전관리를 통하여 보다 효율적이고 체계적인 급경사지 관리를 할 수 있게 되었다.



〈그림 10-1〉 NDMS 침수가뭄급경사지정보시스템 구성도

〈그림 10-2〉 NDMS 급경사지통합시스템 메인화면

10.2 급경사지 정보관리

10.2.1 급경사지통합시스템 구축

급경사지를 체계적으로 관리하고 위험성 판단을 위한 전문자료로 활용하기 위하여, 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제20조(급경사지에 관한 정보체계의 구축)에 근거하여 "급경사지통합시스템"을 구축하였으며, 이 시스템은 Web을 기반으로 GIS 시스템을 활용한 급경사지 위치 및 속성정보와 재난관리에 필요한 다양한 주제도를 서비스하고 있다.

주요 사용자는 같은 법 제2조 제5호의 급경사지 관리기관이며, 시스템의 접근은 공공기관 행정망과 일반 인터넷을 통한 접근이 가능하나, 대전통합전산센터 보안정책상 접근 승인된 IP 주소로만 가능한 제약조건이 있어 관리기관 내부에서의 사전 승인자만 접근할 수 있는 한계가 있다.

"급경사지통합시스템"은 급경사지 관리 전반의 업무를 지원하는 기능으로 구성되어 있으며, 급경사지 자료 및 관리업무 기능을 위한 시스템 연계를 위해 행정안전부 통합재난 안전정보 체계를 따르고 있다.

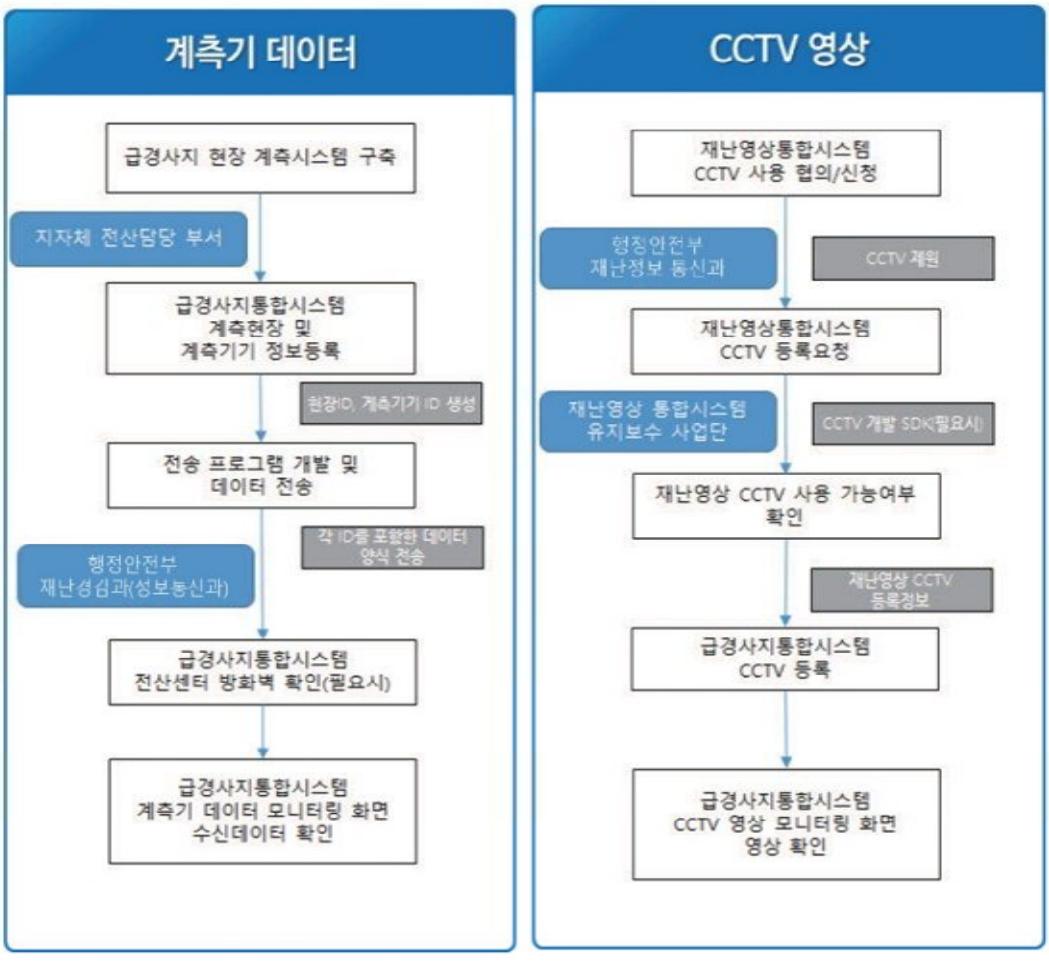
"급경사지통합시스템"의 주요 기능, 전반적인 시스템 사용자, 제공 서비스 및 연계 시스템은 다음과 같다.

〈그림 10-3〉 NDMS 급경사지통합시스템 시스템 구성도

〈그림 10-3〉을 보면, 급경사지 재난관리를 위해 ①급경사지 현황관리 기능 ②현장 계측 연계 기능 ③ 주민대피 기준 조회 기능 ④ 통계 기능 ⑤ GIS기반의 지도 제공 기능으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 관계기관에서 시스템 주요 사용목적은 급경사지 실태조사서 등록과 관련된 부분이며, 행안부 등 중앙부처에서는 통계 및 조회 기능을 주로 사용한다. 특히 현장 계측과 관련해서 "급경사지통합시스템"은 급경사지 현장 계측 시스템과 연계하여 현장 계측데이터 및 CCTV를 모니터링 할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 이를 위해서는 계측현장 시스템과 연계되어야 하며, 연계 방법은 "행정안전부 급경사지 정보데이터베이스 표준지침서"의 「데이터베이스 호환 표준화 지침(계측현장과 급경사지통합시스템 연계)」 부분을 준용해야 한다. 이외에서 「행정안전부 급경사지 계측표준시방서(2015.6)」의 현장 센서 데이터의 자료 구조, 계측정보 표준 규격 등에 따른 계측센서 데이터 표준화 방안을 준용해서 연계해야 한다.

계측데이터는 계측현장 시스템에서 "급경사지통합시스템"으로 제공될 수 있도록 외부 인터페이스를 제공하고 있으며, CCTV 영상은 행정안전부 재난영상통합시스템을 사용하고 있어 각 항목에 따른 절차에 따라 연계한다.

다만, 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 현황을 관리하는 시스템은 종전의 "재난관리정보 시스템[재난관리-예방-재난경감-급경사지-급경사지 재해예방사업 조회]"에 의해 유지·사용하여야 함으로 "급경사지통합시스템"과 혼동해서는 아니된다.



〈그림 10-4〉 NDMS 급경사지통합시스템 시스템 구성도

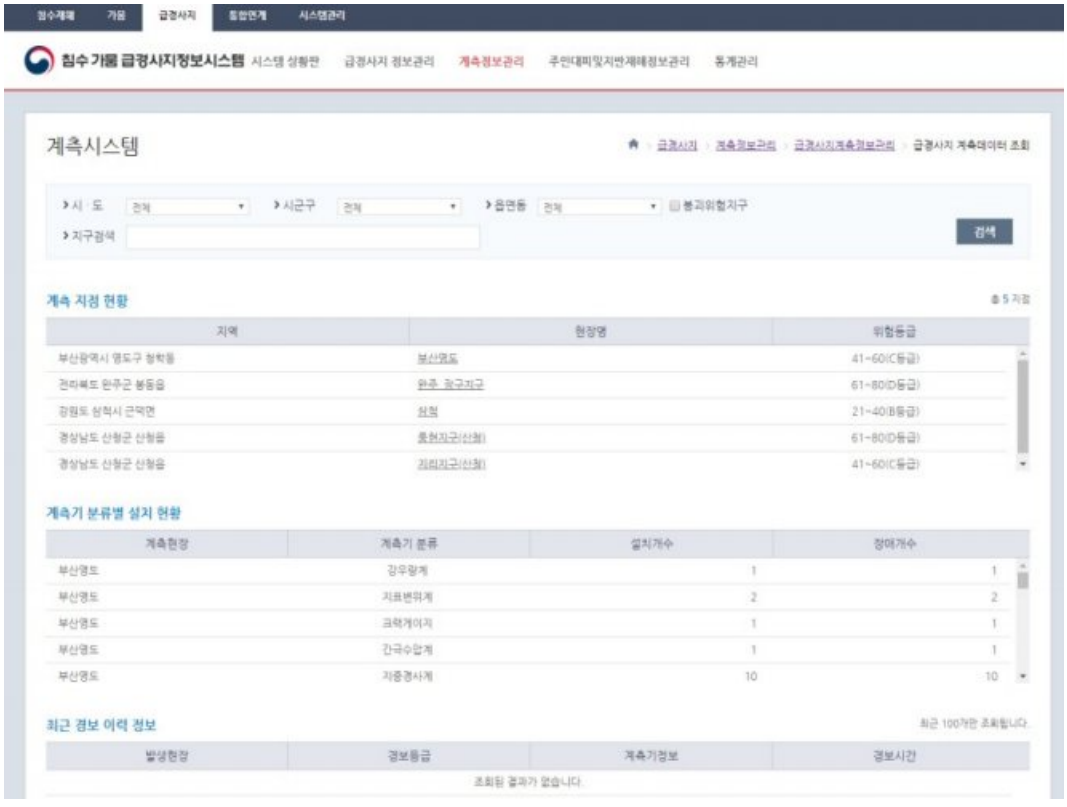
10.2.2 급경사지통합시스템 매뉴얼

1. 급경사지 계측정보관리 기능

가. 계측지점 현황 조회 기능

경로 급경사지 〉 계측정보관리

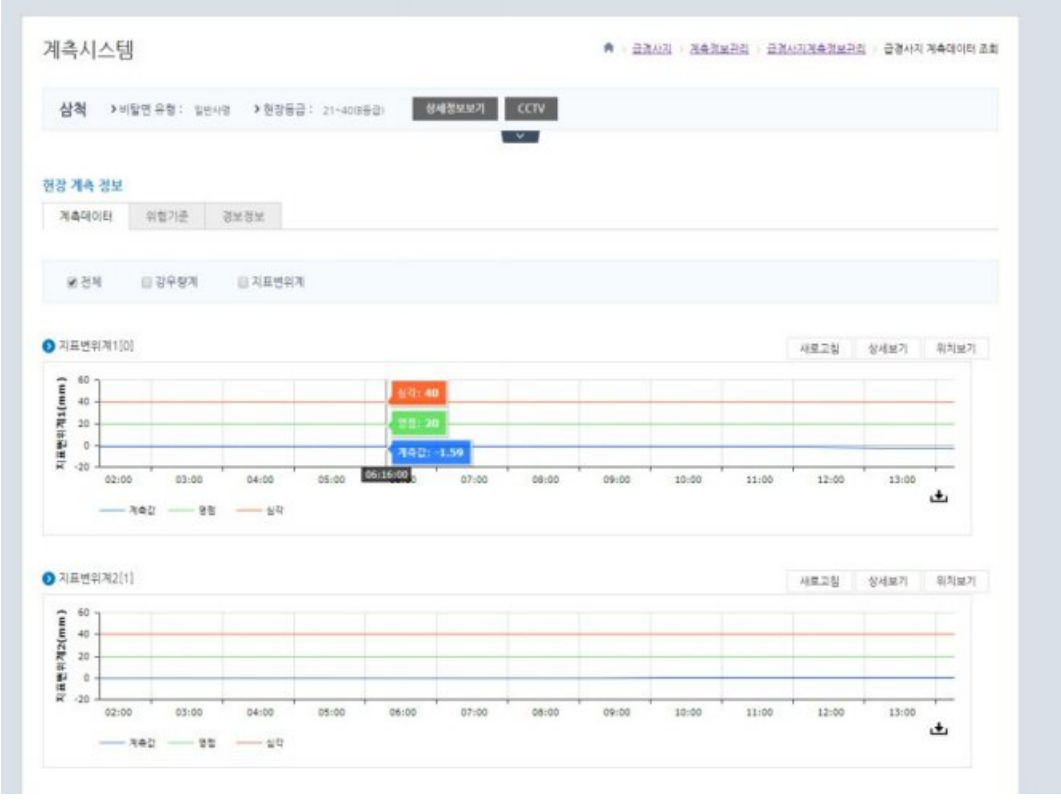
■ 계측지점 정보 및 계측기 종류 등을 표시한다.
계측지점에서 원하는 현장을 선택하면 계측 관정 정보가 표시된다.
계측 현장명 및 위험등급
계측 현장에 설치된 계측기 종류 및 설치 개수, 장애 개수
계측 현장의 최근 경보 이력 정보



나. 계측 데이터 조회 기능

경로 급경사지 〉 계측정보관리 〉 급경사지계측정보관리 〉 계측데이터 선택

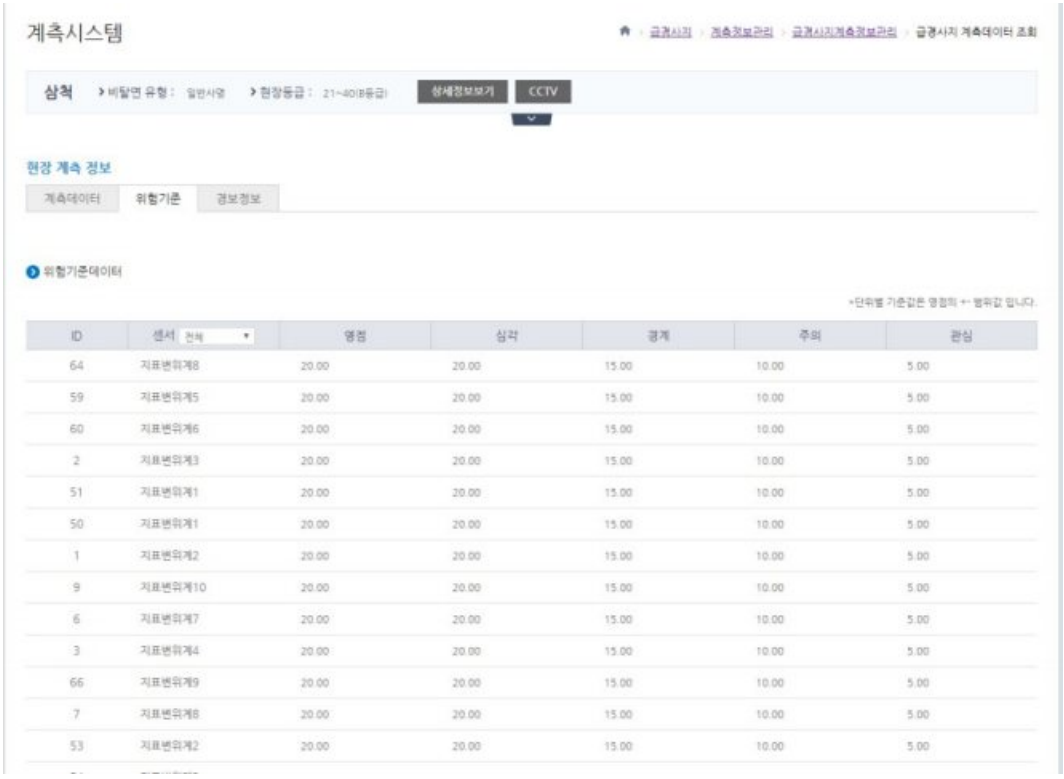
■ 계측 현장의 계측 상세 정보를 확인한다.
계측 현장에서 계측센서별 데이터를 확인할 수 있다.
전체 계측기 조회 및 계측기별 계측 정보 확인
계측기 종류별 위험관리 기준 표시
계측기 설치 위치 및 상세 정보 표시



다. 계측기 위험 기준 조회 기능

경로 급경사지 〉 계측정보관리 〉 급경사지계측정보관리 〉 위험기준 선택

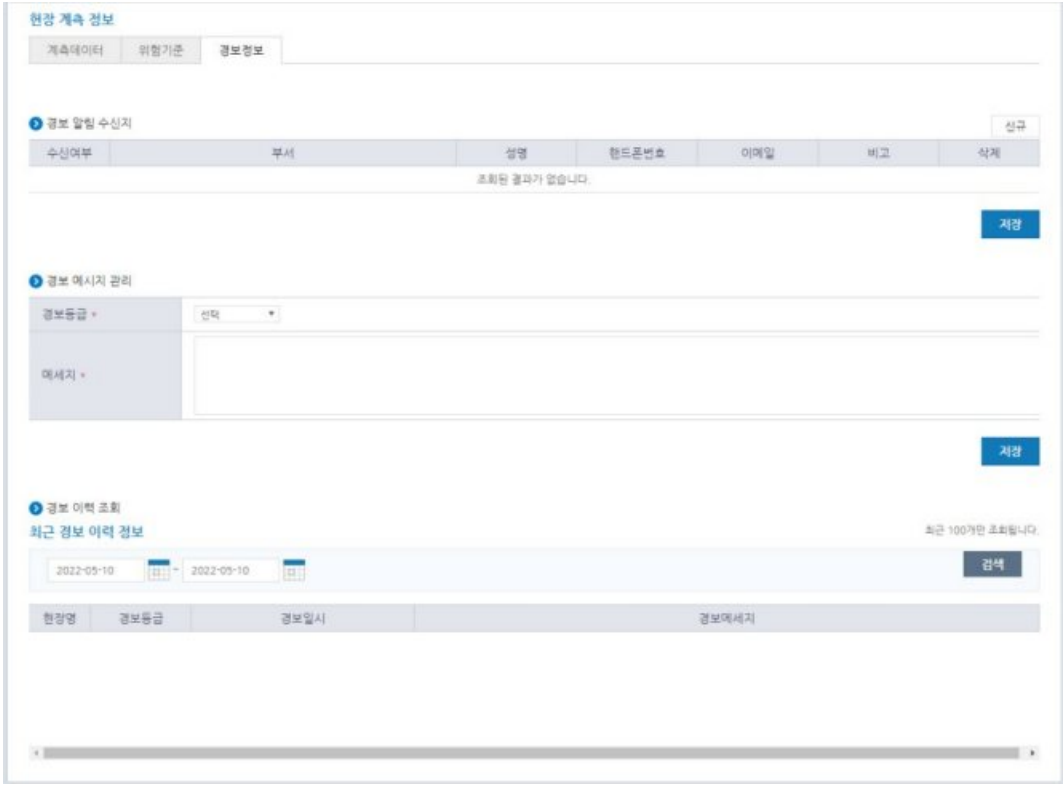
■ 계측 현장의 계측기별 위험관리기준을 표시한다.
계측 현장에서 계측센서별 초기값, 위험관리기준을 표시한다.
계측기 종류 및 ID 표시
계측기 영점 및 관심, 주의, 경계, 심각 기준 표시
※ 각 계측기의 관리기준 값은 행정안전부에서 제공



라. 계측기 경보 정보 관리 기능

경로 급경사지 〉 계측정보관리 〉 급경사지계측정보관리 〉 경보정보 선택

■ 계측 현장의 경보발령과 관련된 정보를 조회한다.
계측 현장의 경보발령 수신자, 경보 메시지. 경보 이력을 관리 및 조회한다.
경보 알림 수신지를 신규로 입력하거나, 삭제하는 관리기능
경보 단계(관심, 주의, 경계, 심각)별 경보 메시지 관리
기간 선택에 따른 경보 이력 정보 검색 기능
※ 경보 이력 정보는 최근 100개만 조회됨

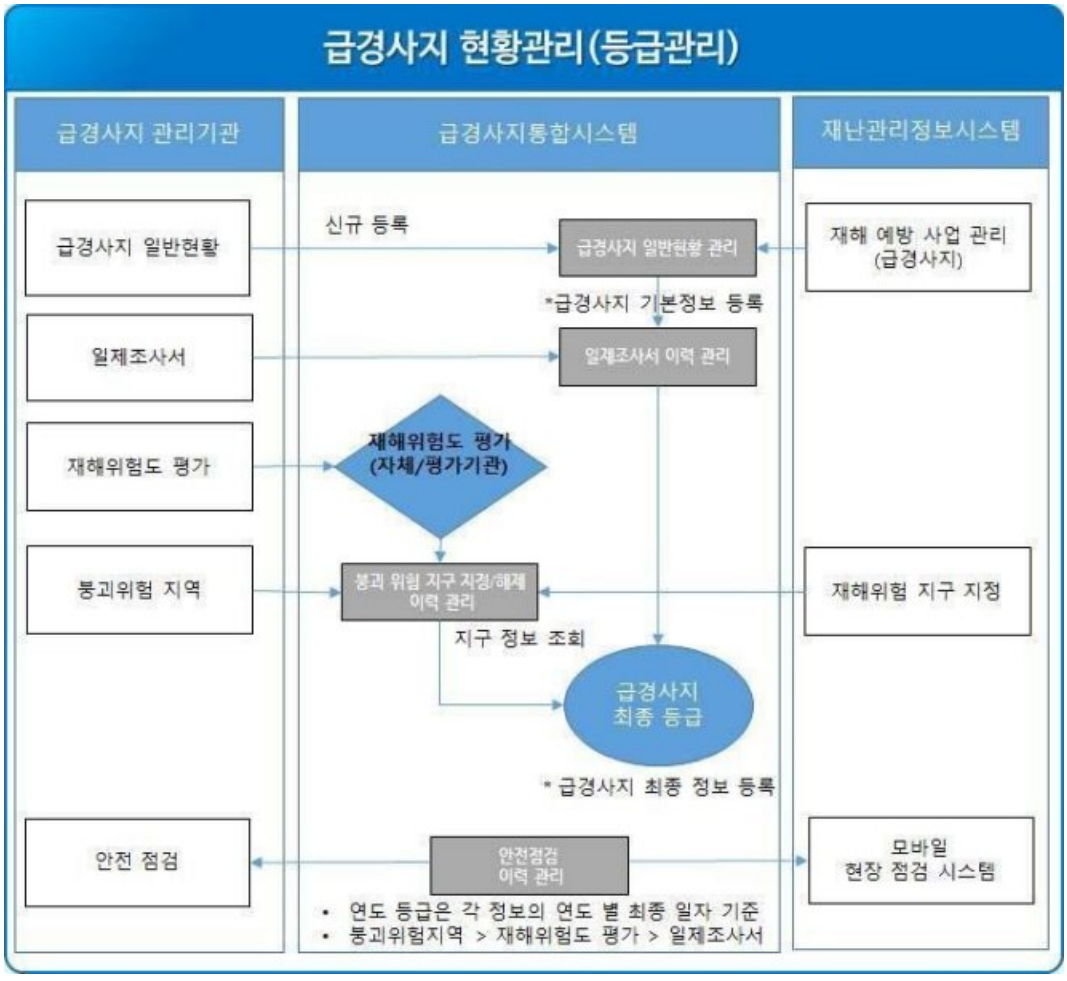


1) 목적

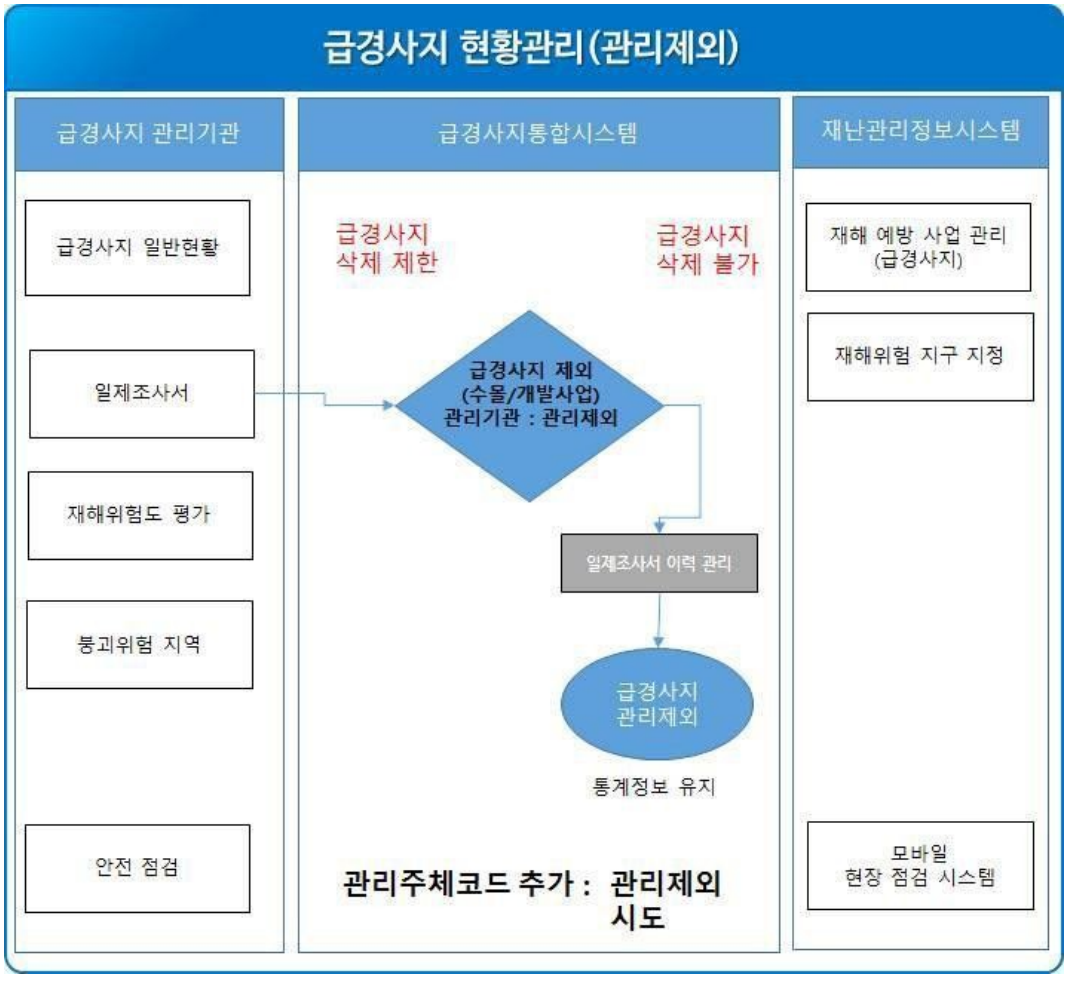
급경사지 정보의 체계적인 관리를 위해 구축한 『급경사지통합시스템』을 각 사용자 구분에 따른 기능을 쉽게 이해하고 업무에 활용할 수 있도록 시스템 전반적인 업무 흐름 및 기능을 설명한다.

2) 시스템 구성

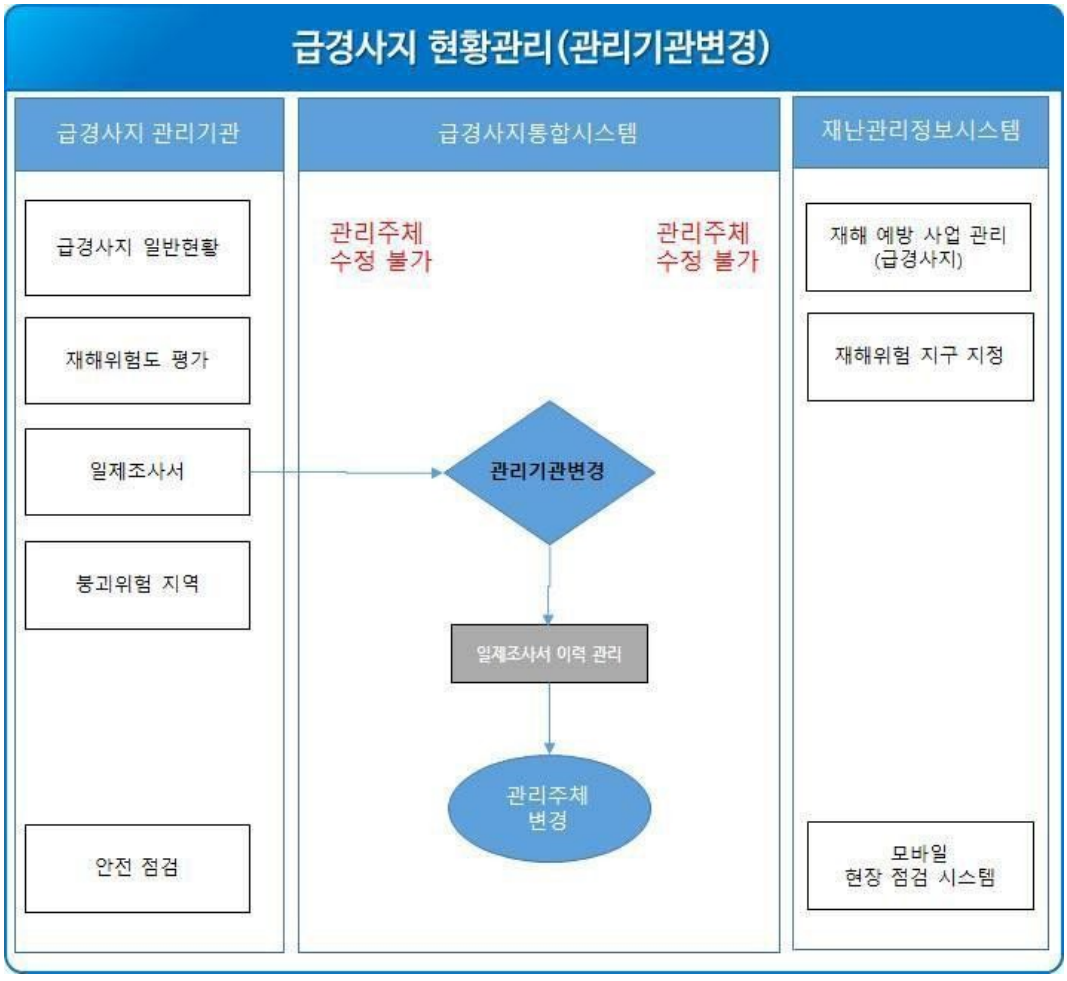
가. 업무흐름도 - 급경사지 현황관리(등급 이력관리)



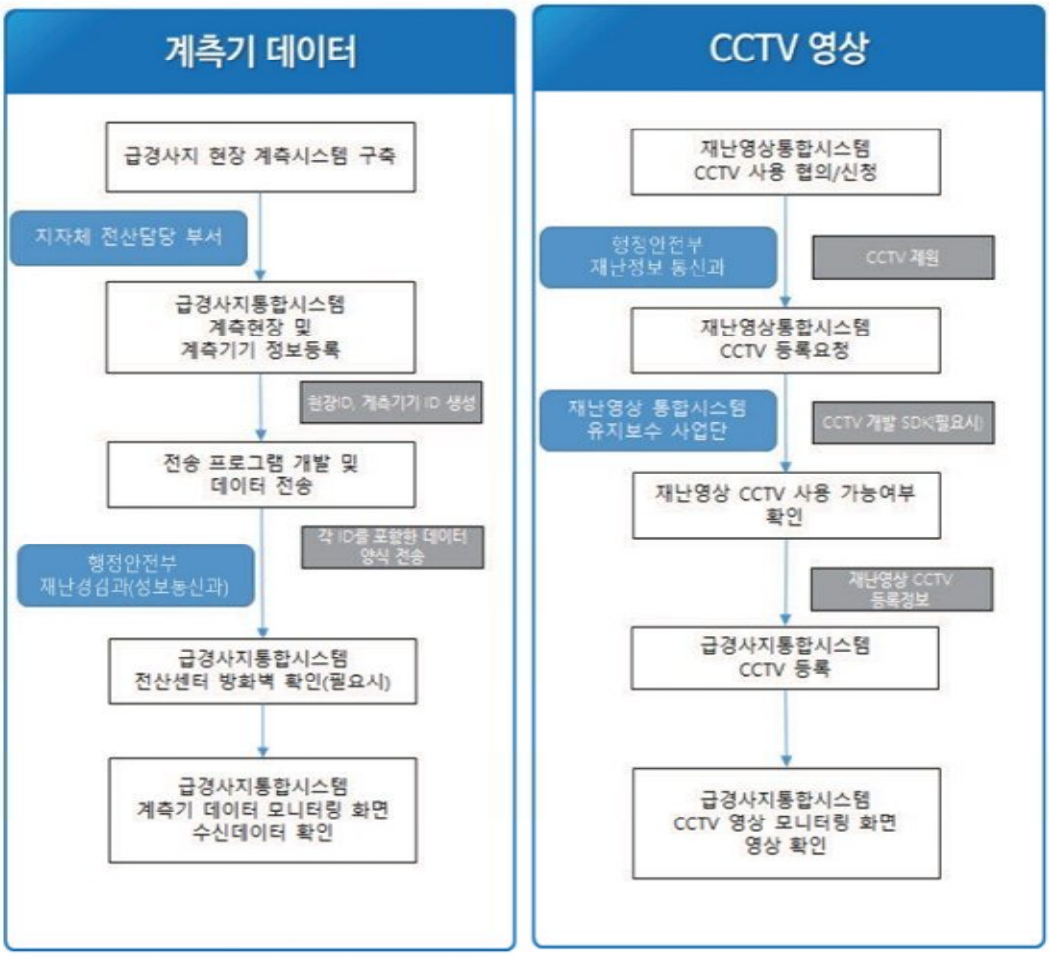
나. 업무흐름도 - 급경사지 현황관리(관리 제외)



다. 업무흐름도 - 급경사지 현황관리(관리기관 변경)



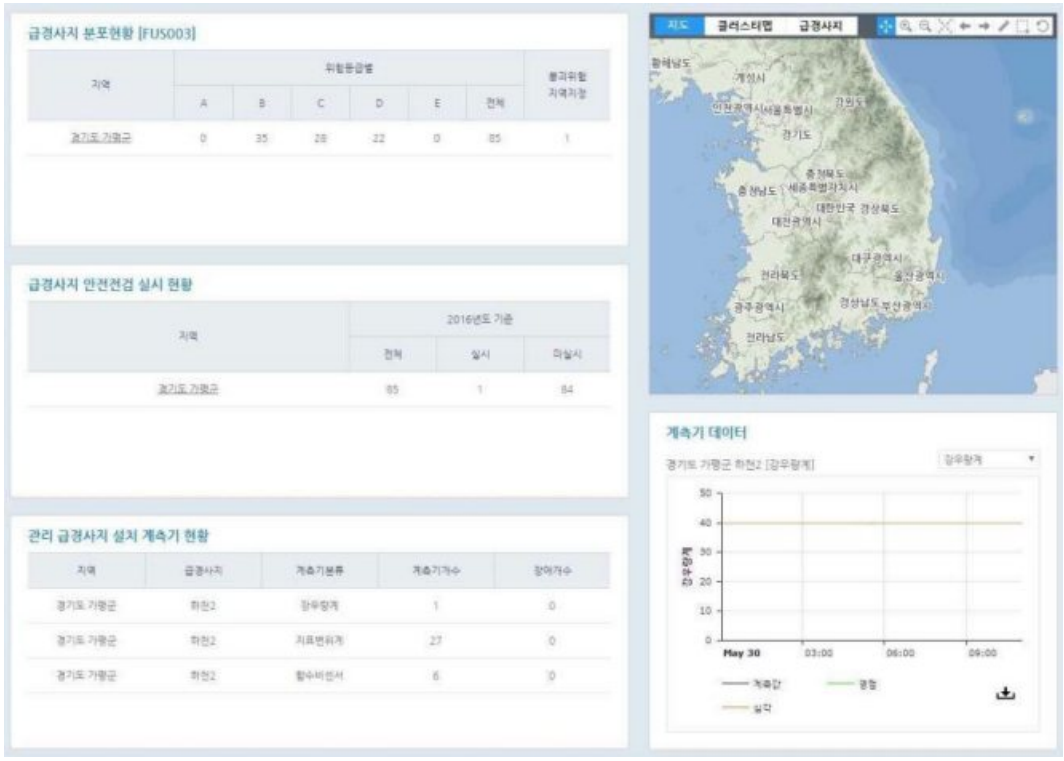
라. 업무흐름도 - 계측기 현장 관리



3) 시스템 구분

가. 시스템 상황판

시스템 전반에 걸친 현황정보를 사용자 구분에 따라 표출한다.

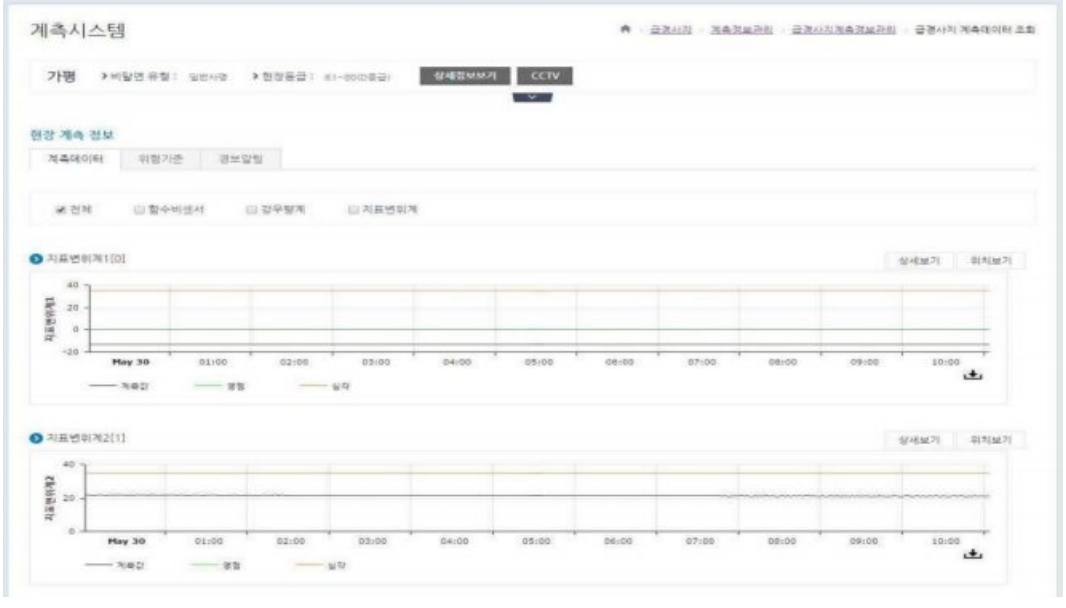


나. 급경사지 정보관리

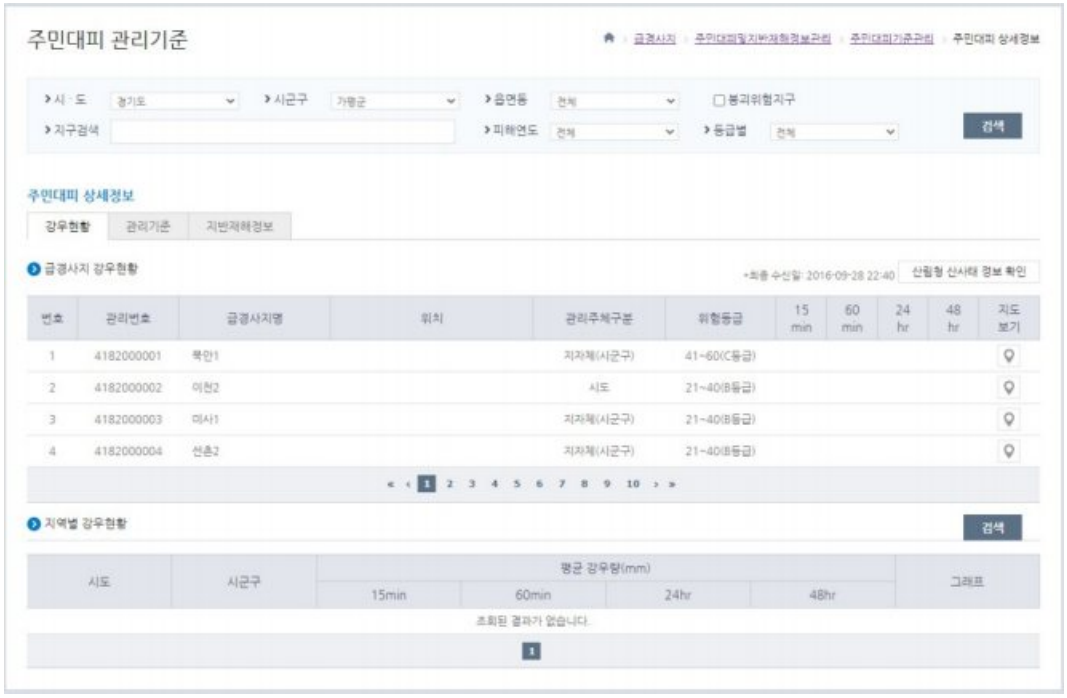
급경사지 정보의 체계적인 관리를 위한 기능을 한 화면에서 종합적으로 접근할 수 있다.

다. 급경사지 계측 정보관리

급경사지 계측 현장 정보와 현장 계측기, CCTV에 대한 관리 및 모니터링 한다.



라. 주민대피 및 지반재해정보관리



(2) 시스템 실행방법

1) 접속경로

재난관리업무 포털 (www.ndms.go.kr) 메인화면에 링크되어 있고, 급경사지통합시스템으로 바로 접속하기 위해서는 접속하고 있는 인터넷 상황에 따라 내/외부 접속경로를 이용하여 접속한다.

※ 외부사용자의 경우 대전통합 전산센터의 보안정책상 접근하려는 PC의 IP에 대한 방화벽 차단 해제 요청을 국민안전처 재난정보통신과 및 재난경감과를 통해 처리 후 접속이 가능하다.

2) 사용 신청 및 권한 부여

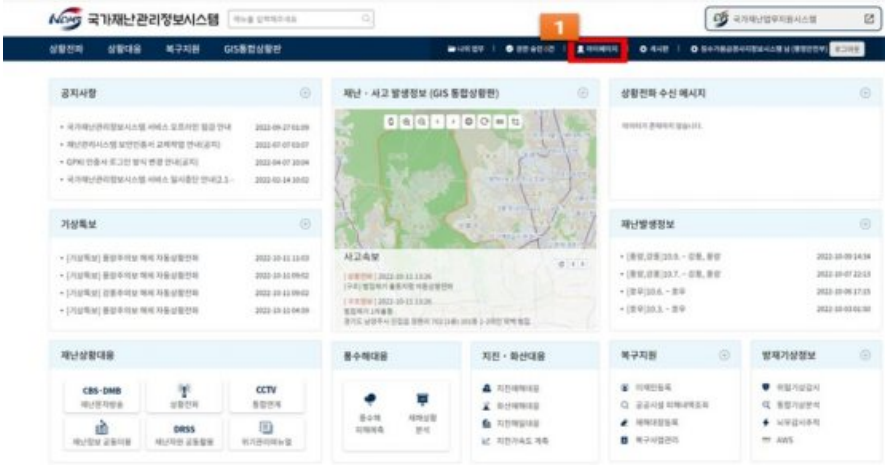
가. 사용신청

침수가뭄급경사지 정보시스템 사이트 접근 및 급경사지 정보 조회/수정 권한 신청

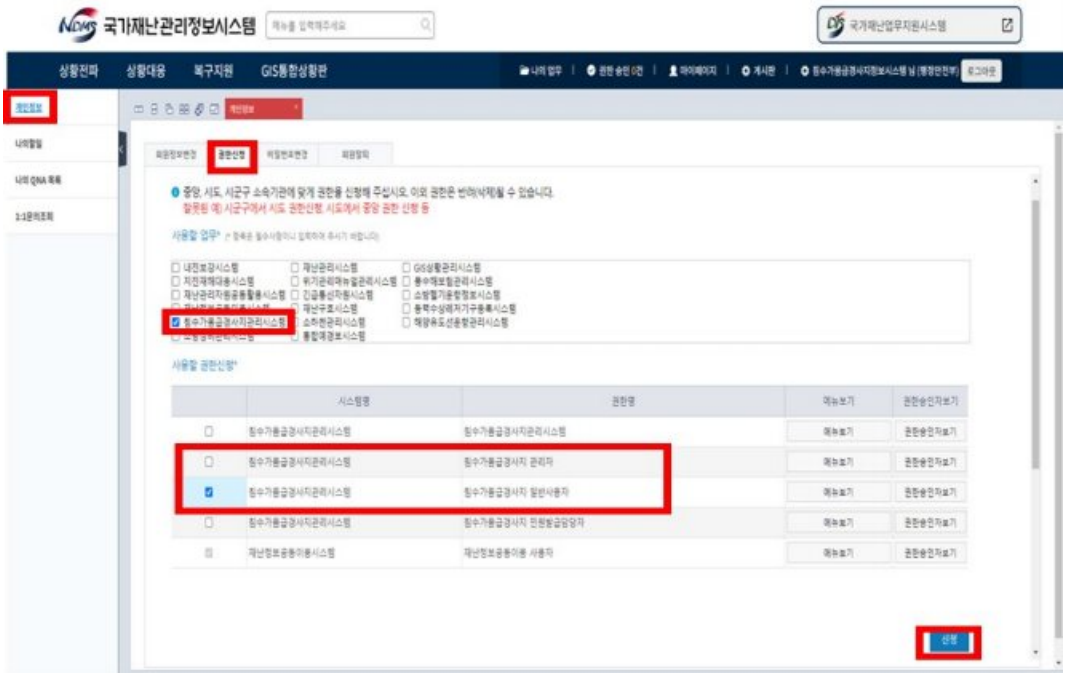
행정 공무원이 재난관리업무포털에서 침수가뭄급경사지 정보시스템 사이트로 접근할 수 있는 권한을 신청하는 과정이다.

① 재난관리업무포털에서 GPKI 인증서 또는 아이디/비밀번호로 로그인한다.

② 재난관리업무포털에서 마이페이지를 클릭한다.



③ 개인정보 메뉴의 권한신청 탭에서 사용할 업무에서 침수가뭄급경사지 정보시스템을 체크하고, 사용할 권한신청에서 권한명 침수가뭄급경사지 정보시스템 관리자 또는 침수가뭄급경사지 정보시스템 일반사용자를 체크한 후 등록버튼을 클릭한다.

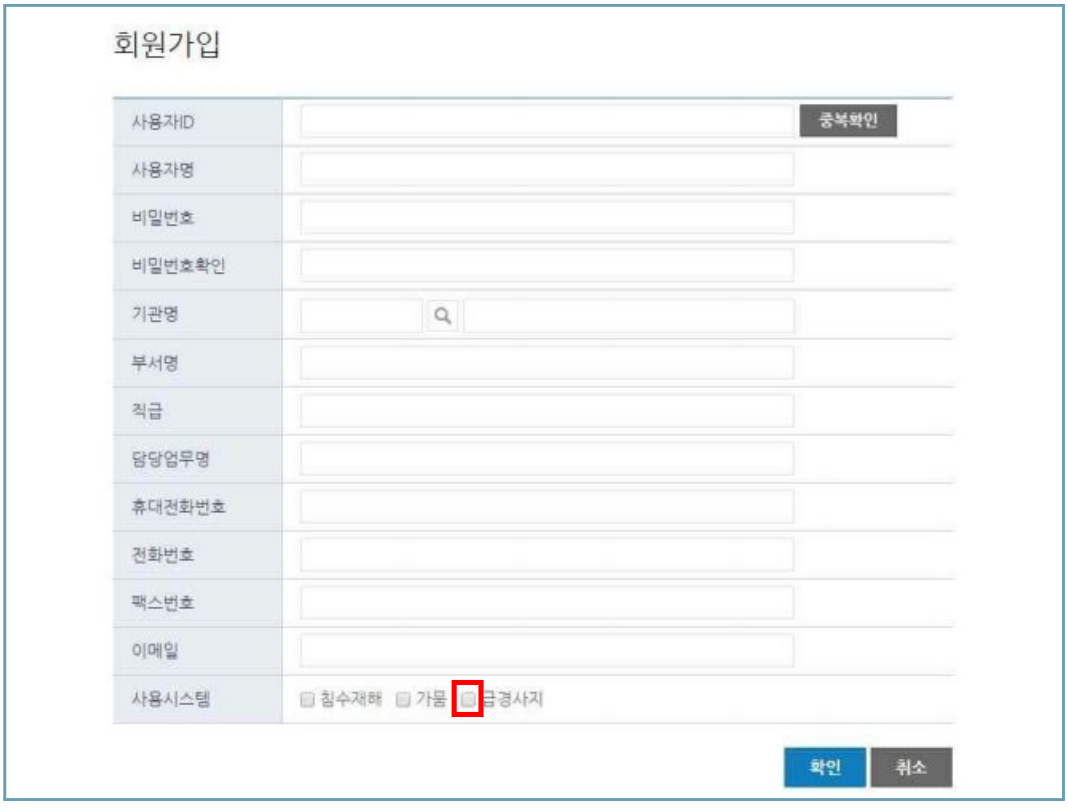


※ 침수가뭄급경사지 정보시스템 관리자 : 침수가뭄급경사지 정보시스템 사이트 접근, 급경사지 정보 조회 및 수정에 대한 사용자의 권한 신청을 승인할 수 있는 권한 (중앙부처, 시도, 시군구)

※ 침수가뭄급경사지 정보시스템 일반사용자 : 침수가뭄급경사지 정보시스템 사이트 접근, 급경사지 정보 조회 및 수정 가능한 권한 (중앙부처, 시도, 시군구, 지자체, 외부기관)

- **침수가뭄급경사지 정보시스템 회원가입(외부기관 사용자)**

행정 공무원은 재난정보업무포털 시스템에서 사용하는 아이디 및 GPKI 인증서를 사용할 수 있으며, 외부기관 사용자는 사용 신청을 통해 아이디를 등록해야 한다. 회원가입 완료 후 침수가뭄급경사지 정보시스템 관리자 권한을 가진 자로부터 승인받으면 시스템 이용이 가능하다.



※ 외부기관 사용자의 경우 대전통합 전산센터의 보안정책상 접근하려는 PC의 IP에 대한 방화벽 차단 해제 요청을 국민안전처 재난정보통신과 및 재난경감과를 통해 처리 후 접속이 가능하다.

나. 권한 부여

시스템을 운영하는 담당자는 시스템 사용 신청을 승인하고 해당 업무에 따른 메뉴별 권한을 등록하여야 한다. 담당 업무에 해당하는 조회, 수정 권한을 등록하여 적정한 사용자가 자료에 접근할 수 있도록 관리되어야 한다.

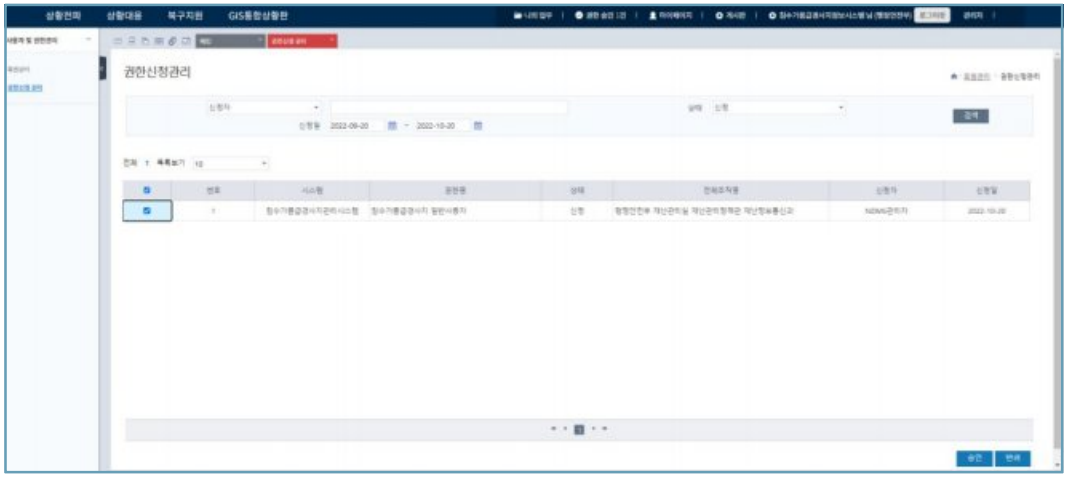
- **침수가뭄급경사지 정보시스템 사이트 접근 권한 부여**

① 재난관리포털에서 침수가뭄급경사지 정보시스템 관리자 권한이 있는 인증서 또는 아이디로 로그인한다.

② 재난관리업무포털 우측 상단의 관리자 버튼을 클릭한다.

③ 관리자 화면 좌측의 사용자 및 권한관리 메뉴 선택 후 권한신청관리를 클릭한다.

④ 검색조건에 신청자 또는 권한명 입력 후 검색버튼을 클릭하여 권한 신청내역을 확인하고, 목록에서 승인 처리할 항목에 체크한 후 승인 버튼을 클릭한다.



다. 메뉴별 사용자 구분 권한

(중 : 중앙부처&시도, 지:시군구, 기:지자체외 관리기관)

메 뉴			대상	권 한			
1차메뉴	2차메뉴	3차메뉴		C	R	U	D
시스템 상황판			전체	-	전체	-	-
1. 급경사지 정보관리	1-1. 급경사지현황관리	1-1-1. 급경사지 정보검색	전체	-	전체	-	-
		1-1-2. 급경사지 일반현황 정보관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-3. 실태조사서 정보 관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-4. 준공도서 관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-5. 토질조사자료 관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-6. 안전점검 관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-7. 재해위험도 평가관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-8. 붕괴위험지역 지정현황정보 관리	전체	지,기	전체	지,기	지,기
		1-1-9. 붕괴위험지역 정비사업 조회	전체	전체	전체	전체	전체
2. 계측정보 관리	2-1. 급경사지계측정보 관리	2-1-1. 급경사지 계측지점 정보 검색	전체	-	전체	-	-
		2-1-2. 급경사지 계측현장 관리	전체	중.지	전체	중.지	중.지
		2-1-3. 급경사지 계측기기 관리	전체	중.지	전체	중.지	중.지
		2-1-4. 급경사지 CCTV 관리	전체	중.지	전체	중.지	중.지
		2-1-5. 급경사지 계측데이터 조회	전체	중.지	전체	중.지	중.지

메 뉴			대상	권 한			
1차메뉴	2차메뉴	3차메뉴		C	R	U	D
		2-1-6. 급경사지 위험기준 관리	전체	중.지	전체	중.지	중.지
		2-1-7. 급경사지 경보알림 정보 관리	전체	중.지	전체	중.지	중.지
3. 주민대피 및 지반재해 정보 관리	3-1. 주민대피기준관리	3-1-1. 실시간 강우현황 조회 (급경사지별, 지역별)	전체	-	전체	-	-
		3-1-2. 지역별 주민대피 관련 정보 검색	전체	-	전체	-	-
		3-1-3. 지역별 주민대피 관리기준 정보 관리	전체	지	전체	지	지
		3-1-4. 지반재해 정보 관리	전체	지.기	전체	지.기	지.기
4. 통계관리	4-1. 통계조회	4-1-1. 급경사지현황 통계정보 조회	전체	-	전체	-	-
		4-1-2. 붕괴위험지구 현황 통계정보 조회	전체	-	전체	-	-
		4-1-3. 안전점검 실시 현황 조회	전체	-	전체	-	-
		4-1-4. 계측기 현황 통계정보 조회	전체	-	전체	-	-
		4-1-5. 주민대피 관리기준 접속통계 조회	전체	-	전체	-	-
5. GIS 정보	5-1. GIS 정보	5-1-1. 지도 도구	전체	-	전체	-	-
		5-1-2. 지도 정보 검색	전체	-	전체	-	-
		5-1-3. 급경사지 클러스트 맵 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-4. 급경사지 위치정보 조회	전체	-	전체	-	-

메 뉴			대상	권 한			
1차메뉴	2차메뉴	3차메뉴		C	R	U	D
		5-1-5. 지반재해 위험지도 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-6. 붕괴위험군 위험지역 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-7. 토석류, 돌발홍수위험지역 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-8. 시추공 정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-9. 시료 및 물성시험정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-10. 입도시험 정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-11. 표준관입시험정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-12. 지하수위 정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-13. 지층정보 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-14. 지역별 강수량 분포현황 조회	전체	-	전체	-	-
		5-1-15. 기상정보 기반 상황분석	전체	-	전체	-	-

※ C(Create):자료생성권한. R(Read):자료조회권한. U(Update):자료변경권한. D(Delete):자료삭제권한

3) 로그인

아이디 등록 및 사용신청에 대한 권한 부여 절차가 완료된 후, 요청한 아이디와 비밀번호(GPKI 인증서) 등으로 시스템에 로그인 시 메인화면이 표시되고 시스템을 정상적으로 사용할 수 있다.

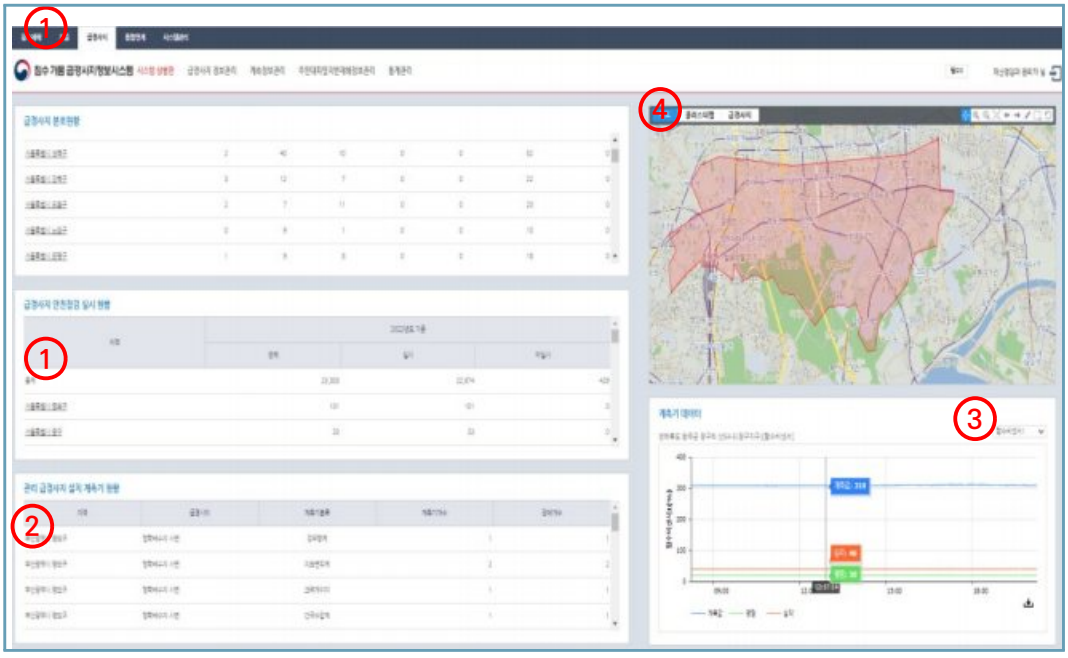
(3) 급경사지통합시스템 사용법

1) 시스템 상황판

가. 시스템 상황판

경로 시스템상황판

- 시스템 전반적인 현황정보를 표시한다.
  각 사용자 구분에 따라 표출되는 정보가 설정된다.
  중앙, 시도 : 급경사지 분포현황
  관리기관 : 급경사지 분포현황, 안전점검 실시현황
  지자체 : 급경사지 분포현황, 안전점검 실시현황, 계측기 현황
- 행정 구역으로 위치 이동과 급경사지 분포현황 지도가 표시된다.
- 지자체 사용자의 경우 계측현장 계측기 현황과 계측데이터가 표시된다.



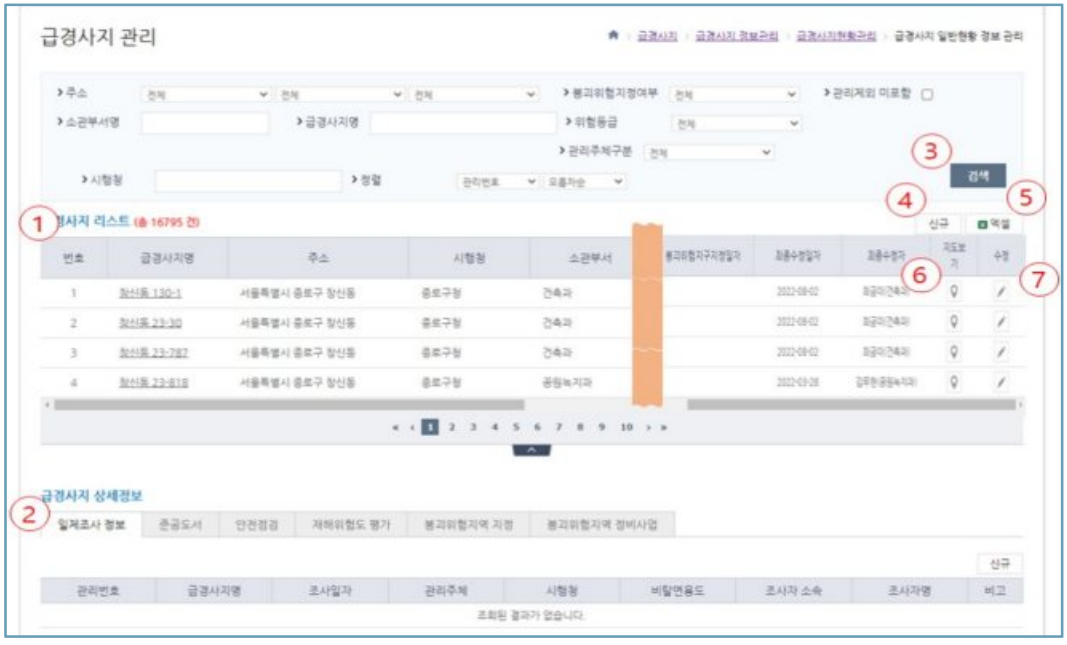
실행방법 및 버튼설명		
①	지역	자치구 동명으로 지도를 확대 및 지도 화면이 이동한다.
②	지역	자치구 동명의 계측 현장의 계측기 그래프를 표시한다.
③	계측기	계측기 선택 상자에서 계측기를 선택하면 해당하는 계측기의 계측데이터가 조회된다.
④	지도	해당하는 기본도 버튼을 클릭하면 기본도 및 급경사지의 분포가 표시된다.

2) 급경사지 정보관리

가. 급경사지 목록

경로 급경사지 정보관리

■ 급경사지의 현황 정보를 표시한다.
사용자 구분에 따라 지역이 지역 조건이 반영된다.
- 급경사지 리스트 : 급경사지 관련 모든 정보를 볼 수 있는 화면이다.



실행방법 및 버튼설명		
①	급경사지 리스트	사용자의 검색조건이 반영된 급경사지의 현황이 표시된다.
②	급경사지 상세정보	사용자가 선택한 급경사지의 실태조사, 준공도서, 안전점검, 재해위험도 평가, 붕괴위험지역, 붕괴위험지역 정비사업 현황이 탭 형태로 표시되며 해당 탭 클릭시 각 항목의 현황이 표시된다.
③	검색	검색조건에 해당하는 급경사지 리스트를 검색한다.
④	신규	새로운 급경사지 정보를 등록할 수 있는 팝업화면을 보여준다.
⑤	엑셀	①,② 의 정보를 엑셀파일로 다운로드 한다. 주소의 시도, 시군구는 필수로 선택하여야 엑셀 다운로드가 가능하다.
⑥		선택한 급경사지의 위치를 볼 수 있는 GIS 팝업화면을 보여준다. 단 급경사지 등록시 위치정보를 저장한 경우만 볼 수 있다.
⑦		선택한 급경사지의 상세정보를 볼 수 있으며 수정할 수 있는 팝업 화면을 보여준다.

나. 급경사지 선택

경로 급경사지 정보관리

■ 급경사지의 상세정보를 볼 수 있는 버튼을 제공한다.
- 버튼을 클릭하면 급경사지의 상세정보를 볼 수 있다.
  급경사지의 관련 정보를 리스트로 제공

실행방법 및 버튼설명		
①	급경사지정보	사용자가 선택한 급경사지의 기본 정보를 표시한다.
②	상세정보보기	사용자가 선택한 급경사지의 상세정보를 볼 수 있는 팝업화면을 보여준다.

다. 급경사지 일반현황 관리

경로 급경사지 정보관리 〉 급경사지 일반현황정보 관리

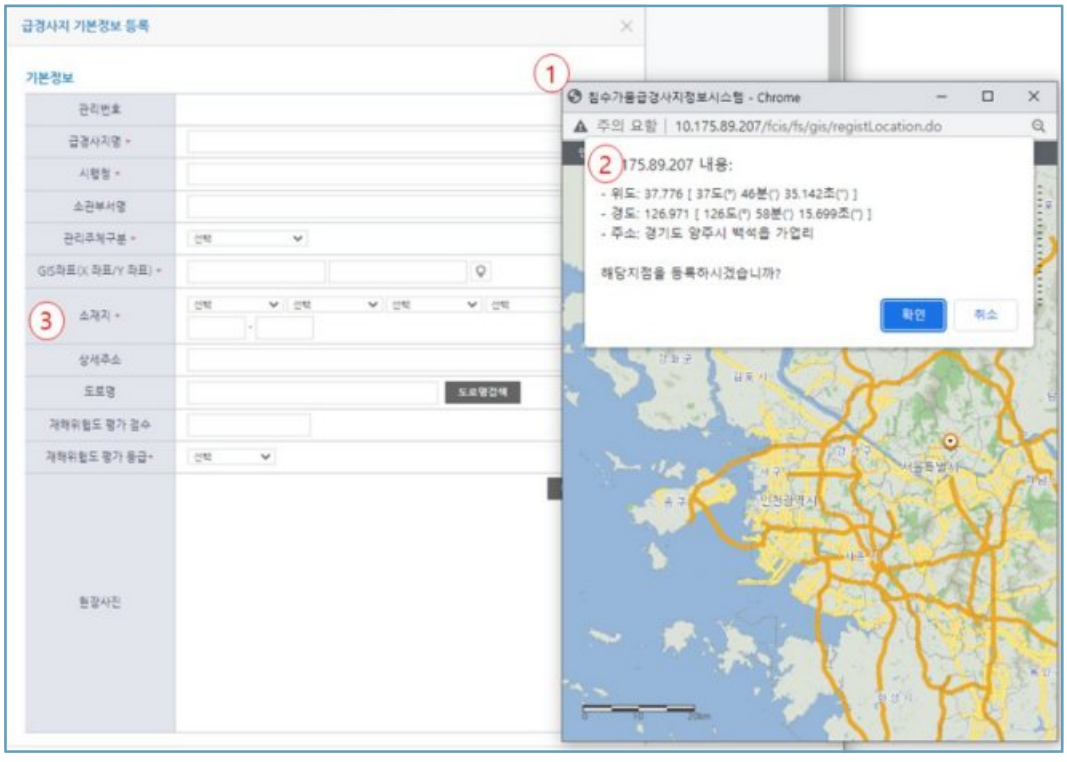
- 등록된 급경사지의 상제정보를 관리 할 수 있는 화면이다.
- 급경사지 현황에서 신규 버튼을 클릭하면 등록이 가능하며 상세보기 상태에서 수정버튼을 클릭하면 수정이 가능하다.

실행방법 및 버튼설명		
①	입력항목	급경사지 정보의 입력항목이다. * 표시가 되어 있는 항목은 필수 입력 항목으로 반드시 입력하여야 한다.
②		위치등록을 할 수 있는 GIS 팝업화면을 보여준다. GIS 팝업 화면에서 사용자의 위치를 선택하면 좌표, 소재지, 도로명 주소가 자동으로 입력된다. 단 도로명 주소는 건물을 선택하여야만 가능하다.
③	재해위험도 평가	재해위험도 평가 점수와 등급을 입력할 수 있다. A~C등급은 저장은 되지만 D 등급이상은 재해위험도 평가 점수와 등급은 등록되지 않는다. (재해위험도 평가 화면에서 등록을 진행해야 됨)
④	현장사진	등록할 급경사지의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일 추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일 선택 버튼을 클릭하여 급경사지 현장 사진을 선택하면 된다.
⑤	저장	저장 버튼을 클릭하면 급경사지의 등록, 수정이 진행되며 성공일 경우는 "정상적으로 저장되었습니다." 라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.
⑥	닫기	입력하던 것을 취소하고 등록 화면을 닫는다.
⑦	도로명검색	도로명 주소를 검색할 수 있는 팝업창을 보여준다.
⑧		은 급경사지 현장 사진을 다운로드한다, 은 급경사지 현장 사진을 삭제한다.
⑨	취소	수정하던 것을 취소하고 상세보기 상태도 돌아간다.

라. 급경사지 위치등록

경로 급경사지 정보관리 〉 급경사지 일반현황정보 관리

■ 급경사지의 위치를 선택하는 팝업화면 사용자가 선택한 위치의 좌표 정보, 소재지, 도로명 주소를 급경사지 등록 화면에 자동으로 입력한다.



실행방법 및 버튼설명		
①	급경사지 위치지도	급경사지의 위치를 선택할 수 있는 지도 팝업 화면이다. 급경사지의 위치를 선택하면 자동으로 급경사지 기본 정보 등록, 수정 화면에서 자동으로 입력된다.
②	위치정보 알림	급경사지의 위치를 선택하면 표시되는 알람 창으로 GIS 좌표 및 주소, 도로명 주소가 보이며 확인 버튼을 클릭하면 급경사지 기본 정보등록, 수정 화면에 자동으로 입력된다.
③	급경사지 위치 입력 항목	②의 확인 버튼을 클릭하면 자동으로 입력되는 항목으로 GIS좌표, 소재지, 도로명 주소가 자동으로 입력된다.

마. 도로명 주소 검색

경로 급경사지 정보관리 〉 급경사지 일반현황정보 관리

■ 급경사지 등록, 수정시 도로명 주소를 검색할 때 사용되는 팝업 화면이다. 도로명 조수를 확인하고 등록하면 급경사지 등록, 수정 화면에 자동으로 입력된다.

실행방법 및 버튼설명		
①	도로명 검색선택 항목	시도, 시군구, 도로명을 선택하는 항목들이다.
②	도로명주소확인	①에서 항목들을 선택한 뒤 도로명 주소 확인 버튼을 클릭하면 도로명 코드와 도로명 주소가 자동으로 입력된다.
③	도로명주소등록	도로명 주소 등록 버튼을 클릭하면 급경사지 기본 정보 등록, 수정 화면에 자동으로 도로명 주소가 입력된다.

바. 실태조사서 정보 현황

경로 급경사지 정보관리 〉 실태조사서 정보 현황

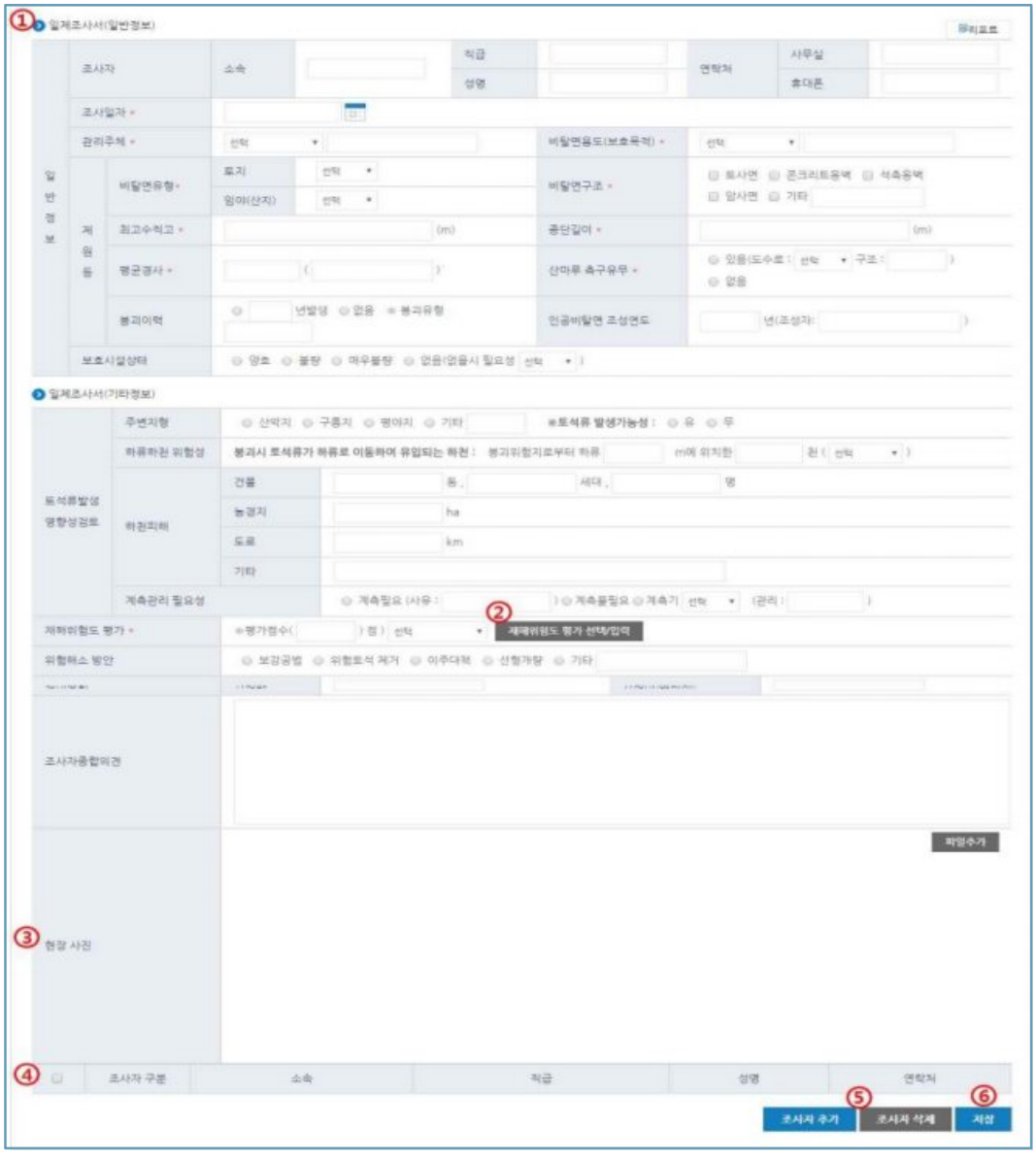
■ 급경사지 현황정보에서 선택한 급경사지의 실태조사서 현황 정보를 표시한다.

실행방법 및 버튼설명		
①	급경사지 상세정보 탭	선택한 급경사지의 상세정보를 표시하는 탭으로 각 탭을 클릭하면 해당 상세정보가 표시된다.
②	실태조사서 현황	선택한 급경사지의 실태조사 현황을 표시한다. 관리번호를 클릭하면 실태조사서의 상세정보를 실태조사 현황 하단에 표시하며 상세정보 화면에서 수정 버튼을 클릭하면 실태조사서를 수정할 수 있다.
③	신규	선택한 급경사지의 신규 실태조사서를 작성할 수 있는 화면을 ②의 하단에 표시한다.

사. 실태조사서 정보 관리

경로 급경사지 정보관리 〉 실태조사서 정보 현황

■ 선택한 실태조사서의 상세정보를 관리 할 수 있는 화면이다.
- 재해위험도평가는 재해위험도평가를 먼저 한 후 선택할 수도 있지만 실태조사서 등록 시 사용자가 직접 점수와 등급을 입력할 수도 있다.



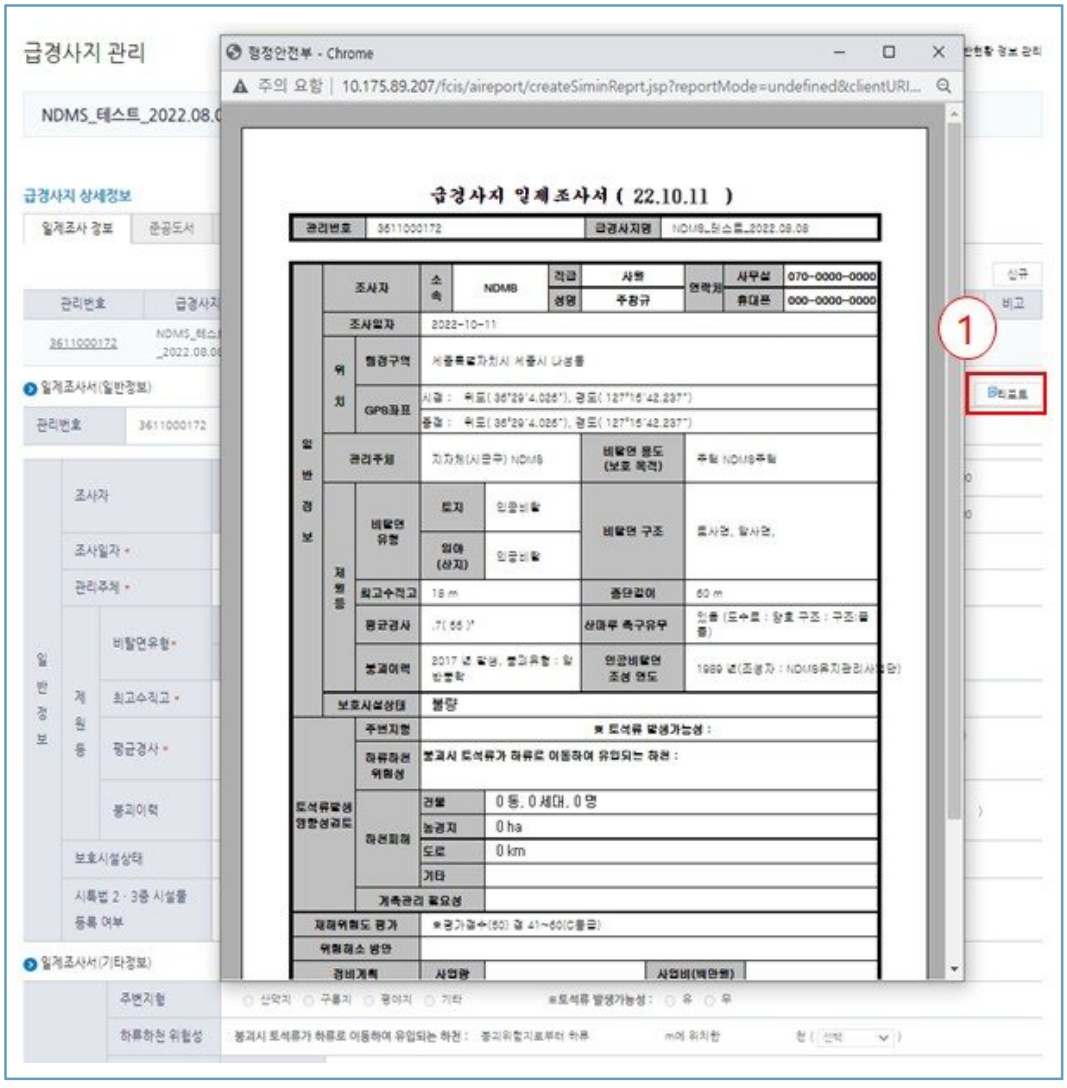
⑨
일계조사서(일반정보)
관리번호
1111000022
급경사지명
창신동 23-787
조사자
소속
건축과
직급
7
성명
연락처
사무실
02-2148-2806
휴대폰
조사일자
2016-05-30
관리주체
비탈면유형
토지
임야(산지)
비탈면구조
토사면
콘크리트옹벽
석축옹벽
암사면
기타
최고수직고
38
(m)
종단길이
평균경사
70
산마루 측구유무
있음
없음
붕괴이력
년발생
없음
붕괴유형
인공비탈면 조성연도
보호시설상태
양호
불량
매우불량
없음(없을시 필요성
토석류발생 영향성검토
주변지형
산악지
구릉지
평야지
기타
토석류 발생가능성 :
유
무
하류하천 위험성
붕괴시 토석류가 하류로 이동하여 유입되는 하천 :
붕괴위험지로부터 하류
m에 위치한
천
하천피해
건물
농경지
ha
도로
km
기타
계측관리 필요성
계측필요 (사유 :
계측불필요
계측기
(관리 :
재해위험도 평가
평가점수(
)점)
재해위험도 평가 선택/입력
위험해소 방안
보강공법
위험토석 제거
이주대책
선형개량
기타
정비계획
사업량
사업비(백만원)
조사자종합의견
현장 사진
파일추가
조사자 구분
소속
직급
성명
연락처
확인자
도시관리국장
⑦
⑧
조사자 추가
조사자 삭제
저장
삭제
취소

실행방법 및 버튼설명		
①	실태조사서 입력 항목	실태조사서 등록, 수정할 경우 입력하는 항목들이 있으며 * 표시된 항목은 필 수 입력항목이다.
②	재해위험도 평가 선택/입력	재해위험도 평가 선택/입력 버튼을 클릭하면 작성된 재해위험도 평가가 있을 경우엔 작성된 재해위험도 평가현황을 표시하는 팝업 화면을 보여준다. 작성된 재해위험도 평가가 없을 경우에는 재해위험도 평가 화면으로 이동하겠냐는 메시지가 표시되며 확인 버튼을 클릭하면 재해위험도 평가 등록 화면으로 이동한다.
③	현장사진	등록할 실태조사서의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일 추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일 선택 버튼을 클릭하여 실태조사서 현장 사진을 선택하면 된다.
④	점검자/확인자 입력	점검자/확인자를 입력하는 항목이다. ⑥,⑦ 버튼으로 입력항목을 추가하거나 삭제할 수 있다. 조사자 구분을 통해 점검자와 확인자를 구분한다.
⑤	조사자 추가 조사자 삭제	④의 점검자와 확인자 입력항목을 추가한다. ④의 점검자와 확인자 입력항목을 삭제한다. 체크박스를 이용하여 한 번에 여러 입력항목을 삭제할 수 있다.
⑥	저장	저장 버튼을 클릭하면 실태조사서의 등록, 수정이 진행되며 성공 일 경우는 “정상적으로 저장되었습니다.” 라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.
⑦	삭제	해당 실태조사서를 삭제한다.
⑧	취소	수정 중이던 것을 취소하고 상세보기로 돌아간다.
⑨	리포트	리포트 버튼을 클릭하면 해당 실태조사서의 보고서를 볼 수 있는 팝업 화면이 호출되며 팝업 화면에서 프린트 및 다양한 형태의 파일로 변환하여 다운로드 받을수 있다.(등록 및 수정 상태일 경우는 리포트를 기능 안됨)

아. 실태조사서 보고서

경로 급경사지 정보관리 〉 실태조사서 정보 현황

■ 선택한 실태조사서의 상세정보를 보고서로 출력할 수 있다.

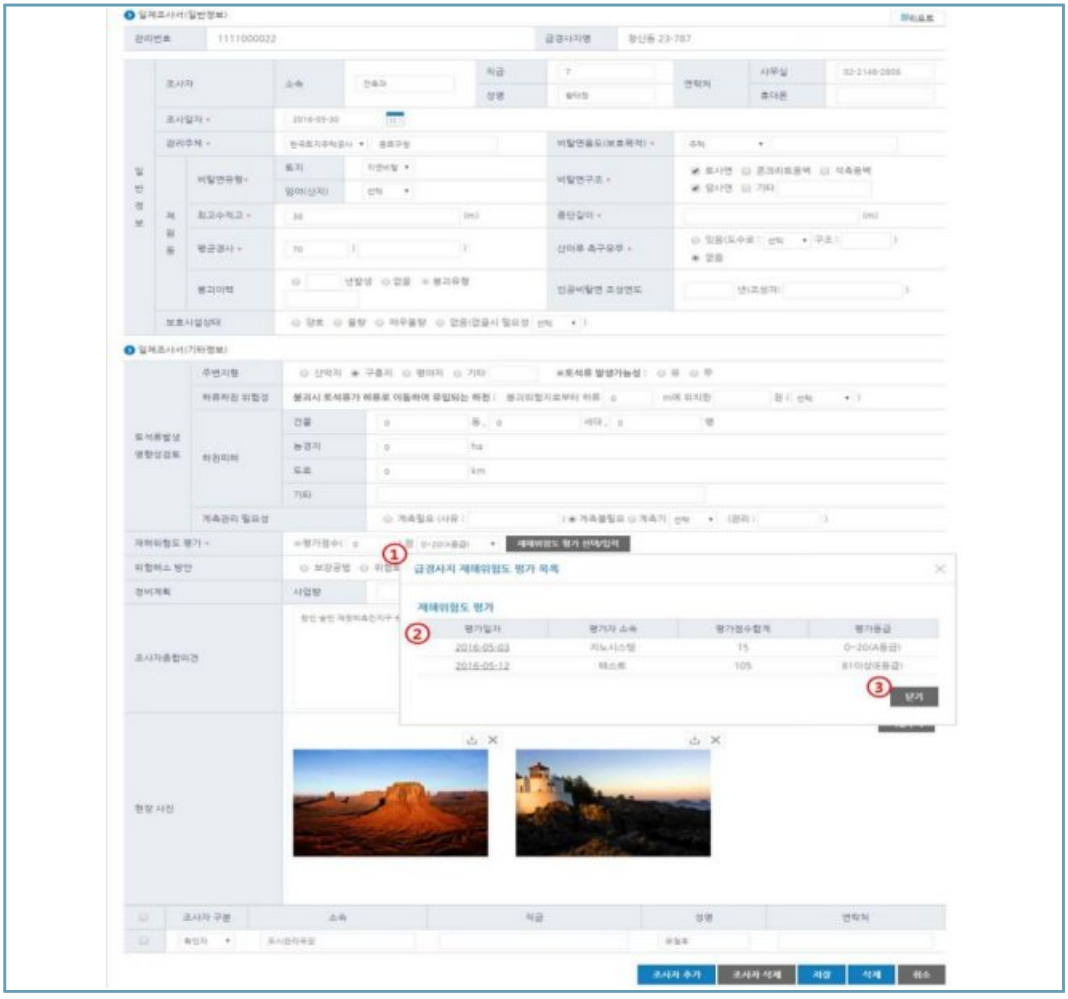


실행방법 및 버튼설명		
①	리포트	리포트 형식으로 해당 보고서를 인쇄 할 수 있다.

자. 급경사지 재해위험도 평가 선택 팝업

경로 급경사지 정보관리 〉 실태조사서 정보 현황

■ 선택한 실태조사서의 재해위험도평가를 선택할 수 있다.



실행방법 및 버튼설명		
①	재해위험도 평가 선택/입력	재해위험도 평가 선택/입력 버튼을 클릭하면 작성된 재해위험도 평가가 있을 경우에는 ②의 팝업 화면을 표시한다.
②	재해위험도 평가 항목	해당 급경사지가 재해위험도 평가가 현황을 표시한다. 평가 일자를 클릭하면 실태 조사서의 재해위험도 평가 항목에 자동으로 입력된다.
③	닫기	②의 화면을 닫는다.

차. 준공도서 현황

경로 급경사지 정보관리 〉 준공도서 정보 현황

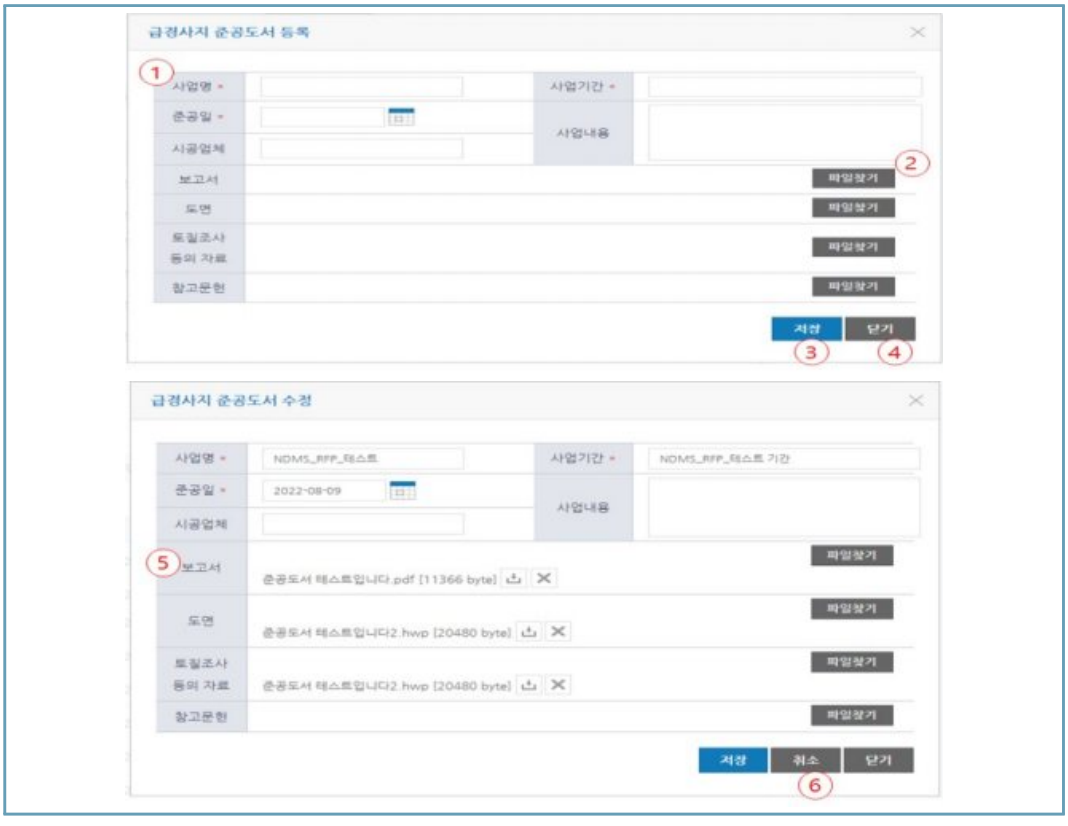
■ 급경사지 현황정보에서 선택한 급경사지의 준공도서 현황정보를 표시한다.

실행방법 및 버튼설명		
①	준공도서 현황	선택한 급경사지의 준공 도서 현황을 표시한다. 관리번호를 클릭하면 토질조사 현황과 토질조사 상세정보를 준공 도서 현황 하단에 표시하며 토질조사 상세정보 화면에서 신규, 수정 버튼을 클릭하면 토질조사 정보를 등록, 수정할 수 있다.
②	신규	새로운 준공 도서 정보를 등록할 수 있는 팝업 화면을 보여준다.
③		선택한 준공 도서 정보를 수정할 수 있는 팝업 화면을 보여준다.

타. 준공도서 관리

경로 급경사지 정보관리 〉 준공도서 정보 현황

- 선택한 준공 도서의 상제 정보를 관리 할 수 있는 화면이다.
- 준공 도서 현황에서 신규 버튼을 클릭하면 등록이 가능하며 상세보기 화면에서 수정버튼을 클릭하면 수정이 가능하다.

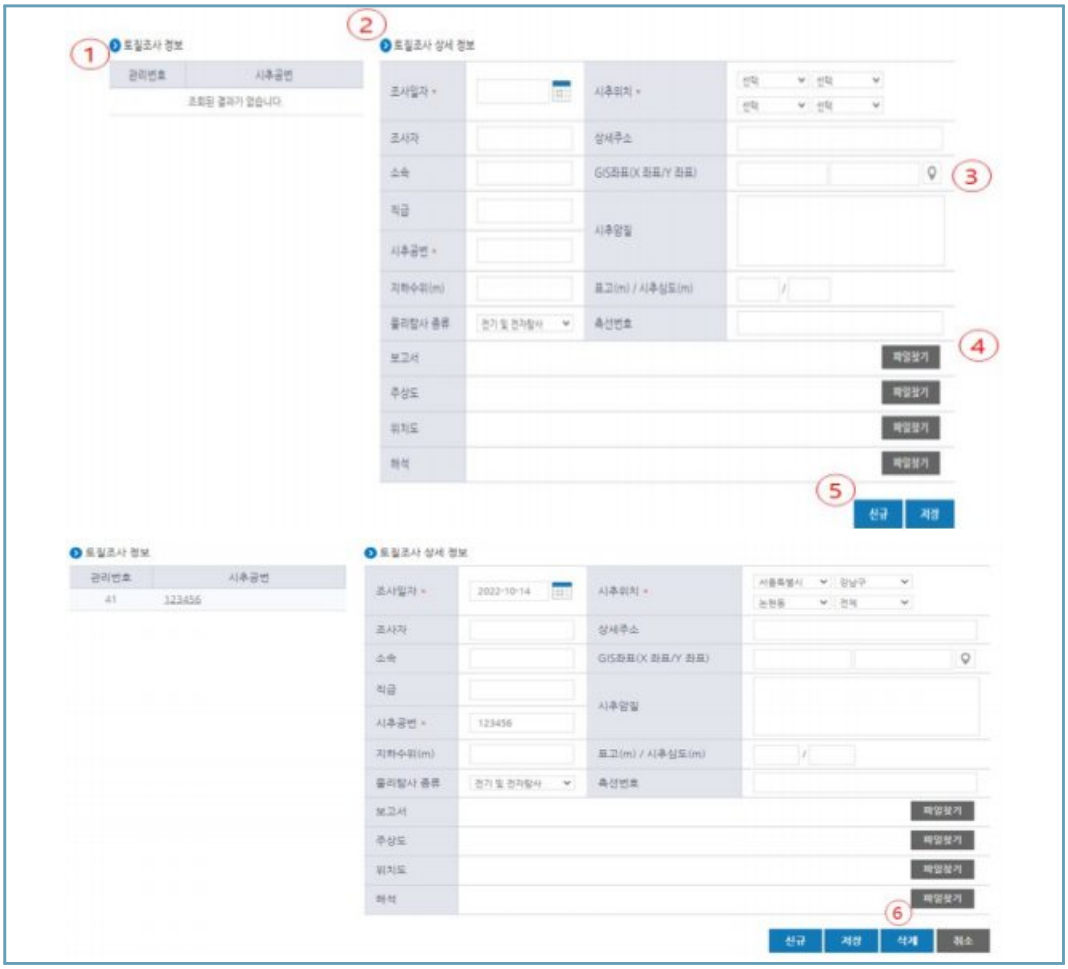


실행방법 및 버튼설명		
①	준공도서 입력 항목	준공도서 등록, 수정 할 경우 입력 하는 항목들이 있으며 * 표시된 항목은 필수 입력 항목 이다.
②	파일찾기	준공도서에 필요한 보고서, 도면, 이미지를 등록 할 수 있다.
③	저장	저장 버튼을 클릭하면 준공도서의 등록, 수정이 진행되며 성공 일 경우는 “정상적으로 저장되었습니다.” 라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.
④	닫기	준공도서 관리 화면을 닫는다.
⑤	×	등록된 준공도서 관련 보고서, 도면, 토질조사 등의 자료 이미지를 삭제한다.
⑥	취소	수정 중이던 것을 취소하고 상세보기로 돌아간다.

파. 토질조사 현황 및 관리

경로 준공도서 현황 〉 토질조사자료 관리

■ 선택한 준공도서의 토질조사 현황을 표시하며 선택한 토질조사의 상세정보를 관리 할 수 있는 화면이다.



실행방법 및 버튼설명		
①	토질조사 현황	선택한 준공도서의 토질조사 현황을 표시한다. 시추공번을 클릭하면 토질조사상세 정보를 표시한다.
②	토질조사 상세정보	선택한 토질조사의 상세정보를 표시하며 등록, 수정시 입력할 수 있다.
③		시추공의 위치를 지정할 수 있는 GIS 팝업 화면을 보여준다. GIS 팝업 화면에서 시추공의 위치를 선택하면 GIS 좌표, 시추 위치가 자동으로 입력된다.
④	파일찾기	토질조사 보고서, 주상도, 위치도, 해석을 등록할 수 있다.
⑤	신규	등록된 준공 도서 관련 보고서, 도면, 이미지를 삭제한다.
⑥	취소	수정중이 던 것을 취소하고 상세보기로 돌아간다.

하. 안전점검 현황

경로 급경사지 정보관리 〉 안전점검 정보 현황

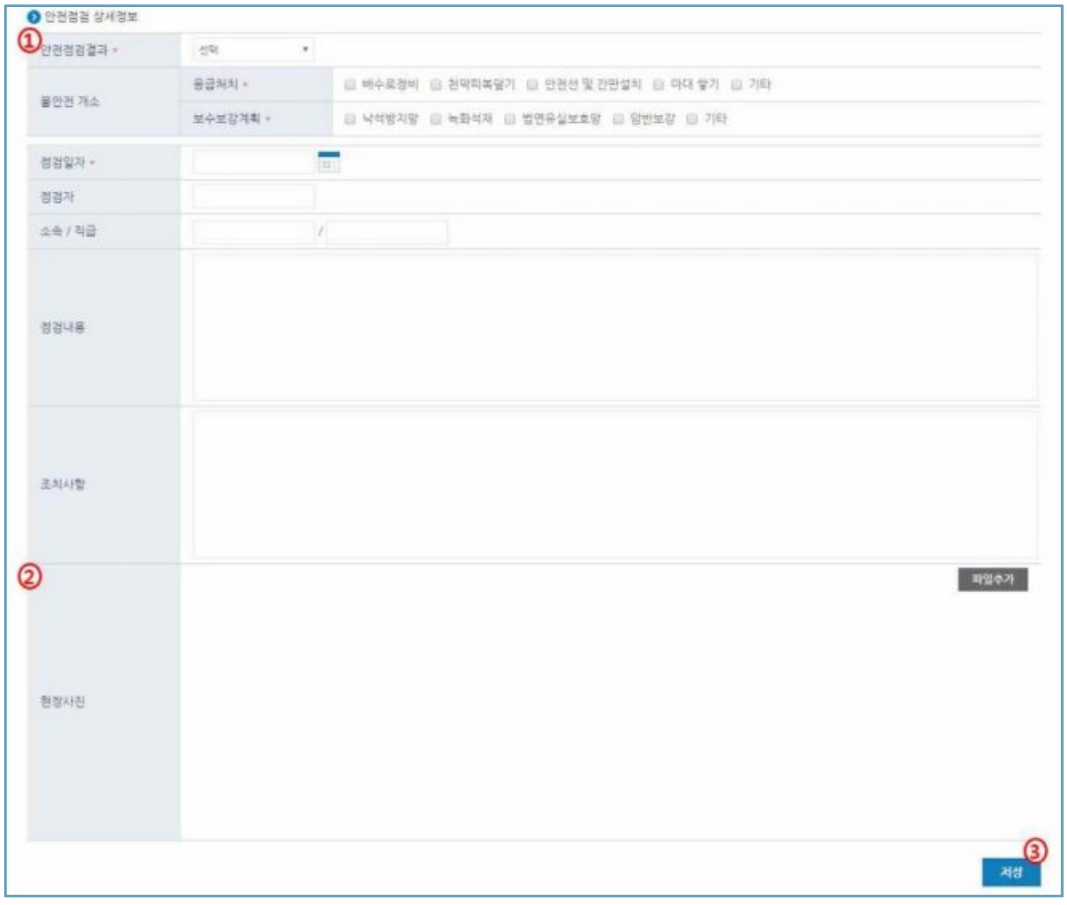
■ 급경사지 현황정보에서 선택한 급경사지의 안전점검 현황정보를 표시한다.

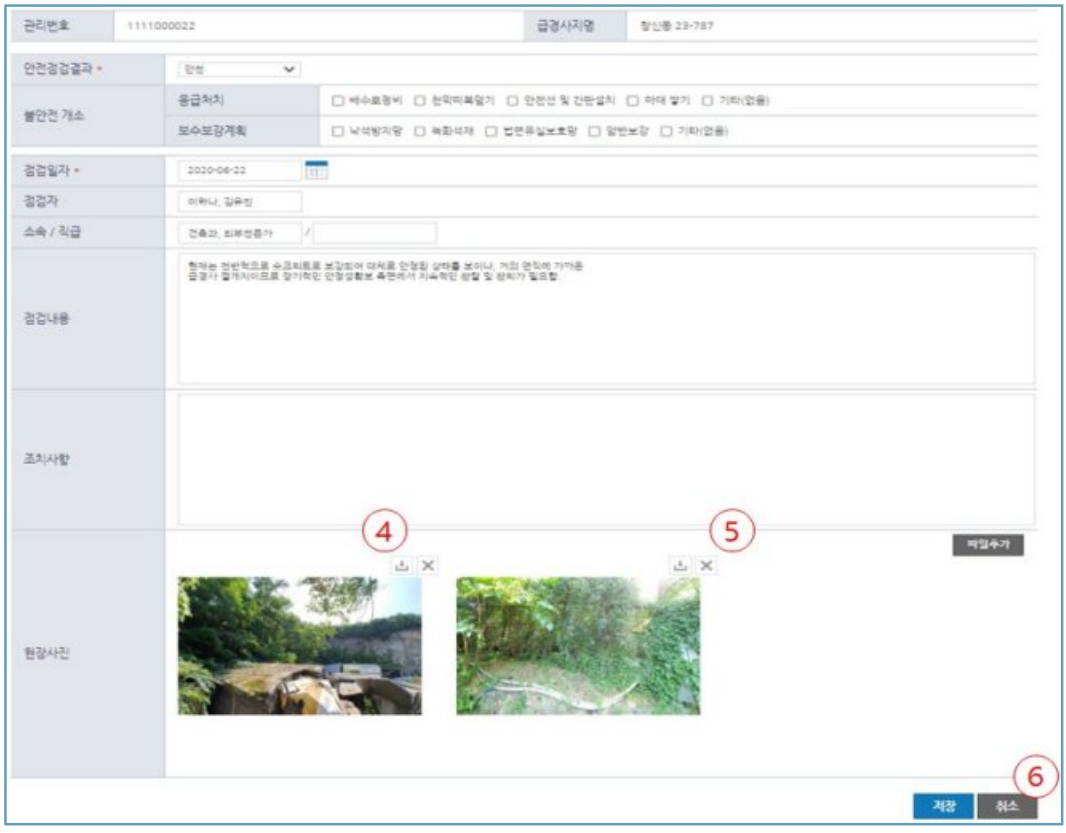
실행방법 및 버튼설명		
①	안전점검 현황	선택한 급경사지의 안전점검 현황을 표시한다. 관리번호를 클릭하면 안전점검 상세정보를 안전점검 현황 하단에 표시한다.
②	신규	선택한 급경사지의 신규 안전점검 정보를 작성할 수 있는 화면을 ①의 하단에 표시한다.

거. 안전점검 관리

경로 경로 : 급경사지 정보관리 〉 안전점검 정보 현황

- 선택한 안전점검의 상세정보를 관리 할 수 있는 화면이다.
- 안전점검 현황에서 신규 버튼을 클릭하면 등록이 가능하며 상세보기 화면에서 수정버튼을 클릭하면 수정이 가능하다.





실행방법 및 버튼설명		
①	안전점검 입력 항목	안전점검 등록, 수정할 경우 입력하는 항목들이 있으며 * 표시된 항목은 필수 입력항목이다.
②	현장사진	등록 할 안전점검의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일 추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일 선택 버튼을 클릭하여 안전점검 현장 사진을 선택하면 된다.
③	저장	저장 버튼을 클릭하면 안전점검의 등록, 수정이 진행되며 성공 일 경우는 “정상적으로 저장되었습니다.” 라는 메시지가, 실패하였을 경우 각 실패 상황에 맞는 메시지가 표시된다.
④		안전점검 현장사진을 다운로드 한다.
⑤		안전점검 현장사진을 삭제한다.
⑥	취소	수정중이던 것을 취소하고 상세보기로 돌아간다.

너. 재해위험도 현황

경로 급경사지 정보관리 〉 재해위험도 평가 정보 현황

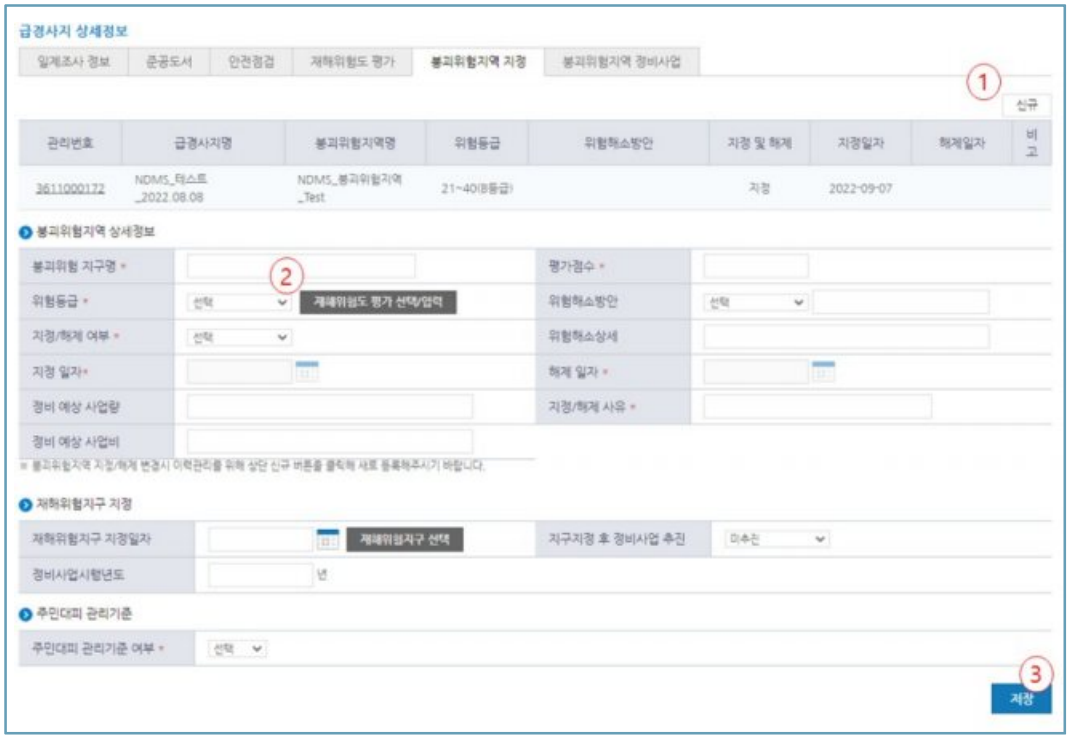
■ 급경사지 현황정보에서 선택한 급경사지의 재해위험도 평가현황 정보를 표시한다.

실행방법 및 버튼설명		
①	현장사진 파일추가	등록할 재해위험도평가의 현장 사진을 등록할 수 있다. 파일 추가 버튼을 클릭하면 코멘트와 파일 선택 버튼이 추가되며 파일 선택 버튼을 클릭하여 재해위험도평가 현장 사진을 선택하면 된다.
②	재해위험도 평가지침서	재해위험도 평가 지침서 파일을 열람할 수 있다.
③	재해위험도 평가 항목	붕괴 위험성, 사회적영향도, 조사자 보정점수의 각 항목을 작성한다.
④	사회적 영향도 점수 합계 계산	각 항목의 작성된 점수를 합산하여 계산한다.
⑤	자동등급산정	조사자 보정점수 합계 계산의 합계를 계산하여 자동 등급을 산정한다.
⑥	저장	재해위험도 평가 항목의 필수항목을 작성 후 저장 버튼을 누르면 저장된다.

더. 붕괴위험지역 지정

경로 급경사지 정보관리 〉 붕괴위험지역 지정 상세정보

■ 급경사지 현황정보에서 선택한 급경사지의 붕괴위험지역 지정 정보를 표시한다.



실행방법 및 버튼설명		
①	신규	신규로 붕괴위험지역 지정을 작성할 수 있다.
②	재해위험도 평가 선택/입력	재해위험도 평가 선택/입력 클릭 시 작성된 재해위험도 평가가 없을 경우 재해위험도 작성 페이지로 이동하시겠습니까? 라는 문구와 함께 페이지가 이동하며, 작성된 재해위험도 평가가 있으면 목록이 조회가 된다.
③	저장	재해위험도 평가 항목의 필수항목을 작성 후 저장버튼을 누르면 저장된다.

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

참고문헌

제1, 2장

- 급경사지 재해예방에 관한 법률, 행정안전부(재난경감과), 2021
- 자연재해위험개선지구 관리지침, 행정안전부(재난경감과), 2021
- Peck, R.B., 1967, Stability of natural slopes, Proc. ASCE, Vol.93, No.SM4, pp.403-417.
- Bjerrum, L., 1966, Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay shales, Preprint, ASCE Structural Engineering Conference, Miami.
- 국토해양부, 2011, 건설공사 비탈면 설계기준

제3장

- 한국건설기술연구원, 2016, 2015년도 도로비탈면유지관리시스템 운영 업무, 국토교통부, 375p.
- Skempton, A. W. and Hutchinson, J. N., 1969, Stability of natural slopes an embankment foundation. State-of-the-art Volume, 7th Intl. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engineering, pp.291-340.
- Cruden, D. M., 1991, A simple definition of a landslide. Bulletin of Intl. Association of Engineering Geology, No. 43, pp.27-29.
- Smith, K., 1996, Environmental hazards assessing risk and reducing disaster. pp.3-53.
- Varnes, D. J., 1978, Slope movement types and process. National Academy of Science, Washington, D.C., special report, 2, pp.11-3.
- EPOCH(European Community Programme), 1993, Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. v.3, Contract no. 90 0025.
- Brunsden, D., 1985, Landslide types, mechanisms, recognition, identification. Proceedings of landslides in the South Wales, pp.18-29.
- Hutchinson, J. N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. In Landslide Proc. 5th

Intl. Symp. on Landslides, 1, pp.3-35.

- Highland L., Johnson M., 2004, Landslide types and processes. Fact Sheet 2004-3072, USGS, 4p.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1981, Rock Slope Engineering, Spon. Press., 368p.
- 한국지질자원연구원, 2019, 한국지질도(1:1,000,000)
- 한국지질자원연구원, 1995, 한반도 주요 암석 분포도
- 사이언스몰[관입암]. (2022.07.18.). https://www.scienceall.com/%EA%B4%80%EC%9E%85%EC%95%94intrusive-rock/
- 에듀넷[암석 출생의 비밀을 밝혀라]. (2022.07.18.). http://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstContPost.do?contents_id=0fe874b4-5c30-4c79-9cd5-c0419862bea2&head_div=s2015w
- 탄성파탐사. (2022.07.18.). https://www.geodr.com/%ED%83%84%EC%84%B1%ED%8C%8C%ED%83%90%EC%82%AC
- KH건설[표준관입시험의 이해]. (2022.07.18.). http://khent.co.kr/kh%ec%86%8c%ec%8b%9d/?mod=document&uid=350
- USGS[2004, Landslide Types and Process]. (2022.07.18.). http://pubs.usgs.gov/fs/2004/2072.
- 한국지반공학회, 2011, 우면산 산사태 원인조사 및 복구대책수립 용역, 61-62p.

제4장

- 국토교통부, 비탈면 통합 관리시스템, 2022.07.18. https://www.csms.or.kr/
- 기상청, 2021, 기후변화 2021 과학적 근거(정책결정자를 위한 요약본)
- 산림청, 산사태정보시스템,2022.07.18. https://sansatai.forest.go.kr/
- 한국급경사지안전협회, 2021, 전국 급경사지 실태조사 연구용역, 행정안전부
- 홍콩, HONG KONG SLOPE SAFETY, 2022.07.18., https://hkss.cedd.gov.hk/

제5장

- 건설공사 비탈면 설계기준, 국토해양부, 2011
- 건설공사 비탈면 설계기준 해설서, 2009
- 건설공사 비탈면 유지관리지침, 한국시설안전공단, 2006
- 건설공사 비탈면 표준시방서, 국토해양부, 2011
- 구조물기초설계기준, 국토해양부, 2014
- 델파이 기법을 활용한 토석류 피해조사 항목 개발, 한국안전학회, 2016
- 도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼, 국토해양부, 2011
- 도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발연구단 연차실적 보고서(2~3차년도)
- 비탈면보호시설의 효율적 설계 및 적용, 한국시설안전공단, 2013
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 국토해양부, 한국시설안전공단, 2016
- 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전공단, 2010
- 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면, 옹벽), 한국시설안전공단, 2012
- 옹벽 유지관리 매뉴얼, 한국시설안전공단, 2013
- 유목과 재해, 토사유출현상과 토사재해대책, 토석류 재해대책을 위한 조사법
- 절토사면 유지관리 매뉴얼, 한국시설안전공단, 2013
- 토사재해 위험지역의 구조적 대안 설정을 위한 사태물질 초기 질량분포 및 방어시설물 형상의 영향 분석, 한국안전학회, 2016
- 토석류 재해저감을 위한 시설기준 및 제도개선, 한국시설안전공단, 2013

제6, 7장

- 기상청(2016), http://www.kma.go.kr/.
- 사면재해경감협회(2014), 2014년도 부산, 경남지역 급경사지 붕괴지역 재해경감대책협의회 현장조사 보고서.

- 산림조합중앙회(2014), 풍수해·산사태(태풍, 호우) 재난 발생시 현장조치 행동매뉴얼.
- 산림청(2012), 산사태 예방 대응 현장매뉴얼.
- 산림청(2015), 풍수해·산사태(태풍, 호우) 재난대응 실무매뉴얼.
- 산림청(2016), 산사태정보시스템, http://www.forest.go.kr/.
- 서울시(2016), 서울시 풍수해·산사태(급경사지 붕괴) 현장조치 행동매뉴얼.
- 서울시(2016), 산사태 대응 학교방문 안전교육(대왕중학교) 발표자료.
- 소방방재청(2008), 급경사지 관리기준 연구.
- 소방방재청(2011), 급경사지 관리 및 보수·보강 매뉴얼.
- 이종학(2005), GIS를 이용한 산사태위험지 관리시스템, 한국산림공학기술연구회, 제3권, 제3호, pp.245-255.
- 이창우, 윤호중, 우충식(2009), Tank Model을 이용한 산지 토사재해 경계피난 기준우량 산정법 개발 및 검토, 한국임학회지, 제98권, 제3호, pp. 272-278.
- 증평군(2016), 증평군 풍수해·산사태(태풍, 호우) 현장조치 행동매뉴얼.
- 충청북도(2016), 풍수해·산사태(태풍, 호우) 재난 현장조치 행동매뉴얼.
- 홍문현외3(2016), 선행강우를 고려한 산사태 유발 강우기준(ID Curve) 분석, 한국지반공학회논문집, 제32권, 제4호, pp.15-27.
- 일본 국토교통성(2004), Development of Warning and Evacuation System Against Sediment Disasters in Developing Countries, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Infrastructure Development Institute, Japan.
- Oh, J. and Park, H.J.(2014), "Analysis of Landslide Triggering Rainfall Threshold for Prediction of Landslide Occurrence", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 14(2), pp.115-129
- Yu, Y.F., Lam, J.S., Siu, C.K. & Pun, W.K.(2004), Recent advance in landslip warning system, Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 24th Annual Seminar, Hong Kong, pp.139-147.

제8장

- 김승현, 2013, 국내 도로비탈면의 거동 특성과 체계적인 유지관리에 관한 연구, 부산대학교, 이학박사학위논문, 363p.
- 일본도로공단, 1986, 道路土工 のり面工·斜面安定工 指針, 사단법인 일본도로협회, 434p.
- 한국건설기술연구원, 2010, 현장실무자를 위한 쌓기사면 점검요령, 국토해양부, 343p.
- 한국건설기술연구원, 2011, 도로비탈면유지관리실무매뉴얼, 국토해양부, 344p.
- 한국지질자원연구원, 2003, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 자연재해방재기술개발사업, 과학기술부, 326p.
- 한국지질자원연구원, 2006, 산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감기술 개발, 자연재해방재기술개발사업, 과학기술부, 363p.
- 한국시설안전공단, 2006, 건설공사 비탈면 유지관리지침
- 국토해양부, 2013, 보강토 옹벽 잠정지침
- Bjerrum, L., 1966, Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay shales, Preprint, ASCE Structural Engineering Conference, Miami.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J., Hutchinson, J.N., 2001, A review of the classification of landslides in the flow type, Environmental and Engineering Geoscience, VII (3), pp. 221-228.

제9, 10장

- 강원도(2021), 21년 조기경보시스템 구축 사업 추진 지침.
- 건설교통부(2005), 건설공사 비탈면 설계·시공 및 유지관리에 관한 연구.
- 광주시 남구(2016), 급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준 제정·운영(안).
- 경기도 광주시(2016), 급경사지 주민대피 관리기준 운영계획.
- 경기도 연천군(2016), 급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준.
- 경기도 이천시(2016), 급경사지 주민대피 관리기준 및 운영계획 수립.

- 국가민방위재난안전교육원(2017), (교육자료)「통합재난안전정보체계과정」지자체사용자 교육.
- 국립공원관리공단, 국립공원 낙석계측시스템, knps.espsys.co.kr.
- 국립공원관리공단(2020), 낙석계측 시스템 유저가이드.
- 국립재난안전연구원(2020), 실증실험 기반 급경사지 계측관리기준 개발.
- 국민안전처(2015), 급경사지 주민대피 계측관리시스템 구축 및 계측시방서 개발 연구.
- 국민안전처(2015), 급경사지 주민대피기준 관리기준 지침.
- 국토교통부, 도로비탈면관리시스템(CSMS), www.csms.or.kr.
- 김열, 류지협, 서상훈(2015), 강우특성과 지질특성을 고려한 급경사지 주민대피 관리기준 연구, 한국방재학회논문집, 제15권, 제3호, pp.229-236.
- 대전시 동구(2016), 급경사지 주민대피 관리기준 제정·운영 지침.
- 부산시 사하구(2016), 급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준.
- 산림청(2022), 2022년 전국 산사태예방 종합대책.
- 산림청, 산사태정보시스템, sansatai.forest.go.kr.
- 서울시(2016), 서울시 풍수해·산사태(급경사지 붕괴) 현장조치 행동매뉴얼.
- 소방방재청(2015), 급경사지 주민대피 계측시스템 구축 및 계측시방서 개발 연구.
- 울산시 동구(2014), 급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준(관리계획).
- 인천시 남동구(2016), 재해취약지역(급경사지) 주민대피계획.
- 전라남도 광양시(2015), 광양시 급경사지 주민대피 관리기준(안).
- 전라남도 순천시(2015), 순천시 급경사지 붕괴위험지역 주민대피관리기준 제정·운영 지침.
- 전라북도 무주군(2016), 급경사지 주민대피 관리기준.
- 강준묵, 엄대용, 최준석, 2003, 수치사진측량에 의한 암반사면의 불연속 선구조 분석, 대한토목학회논문집, Vol. 23, No. 1D, pp. 131-137.
- 건설교통부, 2004, 2003년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용
- 건설교통부/한국시설안전기술공단, 2003, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2003.7
- 곽영주, 장용구, 강인준, 2005, 사면재해평가의 3차원 스캐닝 기법 적용, 한국지형공간정보학회지, Vol. 13, No. 2, pp. 45-50
- 국립방재연구소, 2004, 토석류의 발생작용 및 피해저감에 관한 연구

- 산업기지 개발공사, 1987, “소양강 다목적 댐 거동분석 및 안정해석 보고서”, 1987.3.
- 오석훈, 2005, 3차원 레이저 스캐너를 이용한 사면 관리기법 연구, 한국지구과학회 05 추계학술발표회논문집, pp. 103-111
- 유병옥, 2008, 국내의 사면안정화 기술과 도로교통연구원의 사면관련 연구과제 소개, 대한토목학회지, Vol. 56, No. 1, pp. 90-94
- 윤선업, 1999, 토목건설현장의 지반과 구조물 자동계측 모니터링 시스템, 세기엔지니어링
- 이송 등, 2006, 사면재해 저감 및 안전관리를 위한 연구, 국립방재교육연구원 방재연구소
- 이승호, 황영철, 정태영, 2005, 3차원 영상처리를 이용한 암반 사면의 절리측정에 관한 연구, 한국지반공학회 봄학술발표회
- 이우진, 안신환, 김용진, 조충붕, 이웅주, 1998, TDR을 이용한 지반변형의 측정, 한국지반공학회, 정보화시공 및 터널분과위원회 논문집, pp. 37-58.
- 이진덕, 연상호, 이호찬, 2005, 디지털 사진측량 처리기법에 의한 도로사면의 모니터링 정보 추출, 한국지리정보학회지, 8권, 3호, pp. 55-64.
- 일본 국토교통성(2004), Development of Warning and Evacuation System Against Sediment Disasters in Developing Countries, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Infrastructure Development Institute, Japan.
- 장기태, 정경선, 김성환, 2005, 광섬유격자 센서를 활용한 사면거동 실시간 안전진단 시스템, 지구물리학회지, 제8권, 제1호, pp. 7-14.
- 장찬수, 남순성, 1993, 정보화 시공, (1) 및 (2), 토목시공 고등기술 강좌 교재, 대한토목학회,
- 장창덕, 전계원(2016), 산지재해 피해저감을 위한 국내외 모니터링 사례분석, 방재저널논문집, Vol. 18 NO.1, PP. 44-54
- 한국건설기술연구원, 1989, 토목구조물의 현장계측에 관한 연구, KRC-87H-TO4, 최종보고서, 한국전력공사 기술연구원
- 한국건설기술연구원, 1988, 홍콩의 산사태 현황과 대책, 부록, 방재종합대책 중장기계획 조사 보고서(3권), 건설부
- 한국건설기술연구원, 2001, 도로사면 무인감시시스템 개발, 건설교통부 건설기술연구개발사업 최종보고서
- 한국시설안전기술공단, 2006, 건설공사 비탈면 유지관리지침

- 한국시설안전공단(2011), 계측기 설치 및 운영지침(안).
- 한국지반공학회, 1997, 사면안정, 지반공학시리즈 5, 구미서관
- 한국지반공학회, 2007, 정보화 시공, 지반공학 시리즈 12, 구미서관
- 홍성완, 1990, 토질공학 모형실험에 입체사진 측정기법의 활용, 정인준 교수 정년퇴임 학술발표회 논문집, pp.83~97.
- 황영철, 유병옥, 전기성, 김태수, 이종환, 2000, 고속도로 절토사면 유지관리 시스템개발연구(I), 한국도로공사 도로연구소
- 행정안전부(2021), 급경사지 붕괴위험지역 주민대피 관리기준 제정·운영 지침.
- 행정안전부(2021), 기후변화특성을 고려한 급경사지 주민대피 관리기준 재정립.
- 행정안전부(2021), 급경사지 조기경보시스템 구축 가이드라인.
- 행정안전부(2019), 재난관리업무포털(NDMS) 사용사 매뉴얼.
- 행정안전부(2019, 2020, 2021), 지능형 기술기반 급경사지 재해평가 및 재난관리 기술개발.
- 도로공사 표준시방서, 2009 - 국토교통부
- 토목공사 표준 일반시방서, 2005 - 대한토목학회
- 비탈면 표준시방서, 2006 - 한국시설안전기술공단
- 건설공사 전문시방서, “토목시설물 고유공종”, 2007 - 한국토지공사
- 고속도로공사 전문시방서, “토목편”, 2009
- 주택건설 전문시방서, “토목공사”, 2004
- 건설공사 도로설계기준, 2005표
- 건설공사 비탈면 설계기준, 2006 - 한국시설안전기술공단
- 건설공사 및 유지관리 계측표준시방서(안), 2008 - 국토교통부
- 계측기 설치 및 운영지침(안), 2011 - 한국시설안전공단
- 건설공사 중 및 시설물 유지관리 계측표준시방서(초안) 작성 보고서, 2000, (사)한국구조물진단유지관리공학회
- 두산백과사전 EnCyber & EnCyber.com
- 급경사지 계측전문인력교육 전문과정 상시계측 분야, 2015,(사)사면재해경감협회
- Angeli, M,-G., P. Gasparetto, A.Pasuto, S.Sivano, 1989, Example of Landslide

instrumentation(Italy)“, Proc. 12th ICSMFE, Rio de janeiro, Vol 3, pp. 1531~1534.

- Brand, E.W., 1987, Some Aspects of Field Measurements for Slopes in Residual Soils, Proc. 2nd Intemational Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Kobe, Jappan, April
- Campbell, R. H. 1975, Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California, U. S. Geological Survey Professional Paper 851, p.51.
- Cannon, S. H., and S. D. Ellen, 1985, Rainfall Conditions for Abundant Debris
- Avalanches, San Francisco Bay Region, California, Calofornia Geology, Vol. 38, NO.12, pp.267~272.
- Coe, J. A., Godt,J. W. Ellis, W. L. Savage,W. Z. Savage, J. E. Powers,P. S. Varnes, D.J. and Tachker, P. 2000, Seasonal movement of the Slumgullion Landslide as determined from GPS observations, July 1998-July 1999, USGS Open-File Report 00-101 on-line edition 2000.
- Cording, E. J., A. J. Hendron, Jr., W. H. Hansmire, J. W. Mahar, H.H. MacPherson, R.A. Jones, and T.D. O'Rourke, 1975, Methods for Geotechnical Observations and Instrumentation in Tunneling, Department of civil Engineering, University of Illionois at Urbana-Champaign, Urbana, Illionois, UILU-ENG, 5-2022, The National Science Foundation, Vol. 1, pp. 23~24 and Vol. 2, Appendix E., Instrumentation for Mornitoring Groundwater Pressures, pp.483~499.
- Dunnicliff, J., 1988, Geotechnical Instrumentation for monitoring Field Performance, John Wiley and Sons.
- Dunnicliff. J. and Green. G. E. 1988. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. Wiley-Interscience, New York.
- Eisbacher, G. H., and J. J. Clague, 1984, Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Managemen”, Geological Survey Canada Paper 84-16, Ottawa, p.230.

- Ellen, S. D., G. F. Wieczor다, W. M. Brown Ⅲ, and D. G. Herd, 1988,
- Landslides, Floods, and Marine Effects of Storm of January 3-5,1982, in the San Francisco Bay Region, California(S. D. Ellen and G. F. Wieczorek, eds.), U. S. Geological Survey Professional Paper 1434, pp.1~5.
- GCO, 1979, Geotechnical Manual for Slopes, Geotechnical Control Office, Engineering Development Deparment, Hong Kong, pp.123~132.
- Hanna, T.H., 1985, Field Instrumentation in Geotechnical Engineering. Trans Tech Publications.
- GFCS, 전지구기후서비스체제 사용자 인터페이스 플랫폼 모범사례 -재난위험경감 분야-, PP. 5-8.
- Hong, S-W, 1991, Landslide and Its Mitigation Method in Korea, Proc. US-Korea-Japan Trilateral Seminar, Honolulu, pp.455~469.
- Keith Turner, A. , and Robert L. Schuster, 1996, Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, TRB, National Research Council, Washington D. C.
- Kiersch, G. A., 1964, Vaiont Reservoir Disaster, Civil Engineering, Vol. 34, No. 3, pp.32~39.
- Lollino, G. et al., 2002, The use of the automatic inclinometric system for landside early warning: the case of Cabella Ligure(North-Western Italy). Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 27, p1545-1550.
- Mark E. Reid, and Richard G. LaHusen, 1998, Real-time Monitoring of Active Landslides Along Highway 50, EI Dorado Country, California Geology, Vol. 51, No. 3, pp.17~20.
- Ministry of Construction (Japan), 1983, Reference Manual on Erosion Control Works(in Japanese), Erosion Control Department, Japan, p.386.
- Moore, D. P., Imrie, A. S. & Baker D. G., 1991, Rockslide risk reduction using monitoring. Proc., Canadian Dam Association Meeting, Whistler, BC.
- Oh, J. and Park, H.J.(2014), "Analysis of Landslide Triggering Rainfall Threshold

for Prediction of Landslide Occurrence", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 14(2), pp.115-129.

- Peck, R.B., 1988, "Foreword", for the book "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance", by J. Dunniciff, John Wiley & Sons, pp.vii~ix.
- Petley, D. N. and Petley, D. J., 2004, On the intiation of large rock-slides : perspectives from a new analysis of the Vaiont movement record, in : Large Rock slope failures. edited by Paper Evans, s., Balkema, Rotterdam (NATO Science series)
- Roctest, 1996, Geotechnical and Structure Instrumentation.
- Saito, M., 1968, Forecasting the time of occurrence of a slope failure(in Japanese). Railway technical research report, Railway technical research institute, Japanese National Railways, Tokyo, No. 626, p53.
- Saito. M., 1969, Forecating time of slope failure by tertiary creep. Pro. of 7th ICSMFE, Mexico, Vol. 2, p677-683
- Sinco, 1994, Slope Indicator Co. Applications guide.
- Sinco, 1996, Slope Indicator Co. Applications guide.
- Slope Indicator Company, 2004, Rod Extensometer 51836499 manual.
- UNISDR-PPEW. 2006. Global Survey of Early Warning Systems: an Assessment of Capacities, Gaps and Opportunities toward Building a Comprehensive Global Early Warning System for All Natural Hazards. Platform for the Promotion of Early Warning.
- University of Utah, 1984, Flooding and Landslides in Utah-An Economic Impact Analysis, University of Utah Bureau of Economic and Business Research, UtahDepartment of Community and Economic Development, and Utah Office of Planning and Budget, Salt Lake City, p.123.
- Varnes, D.J.. 1983, Time-deformation relations in creep to failure of earth materials. proc. of 7th southest Asian Geotech. conf., Vol. 2., p107-130
- Voight, B., 1988, A method for prediction of volcanic eruption. Nature, Vol.

332, No.6140, p125-130.

- Voight, B., 1989, A relation to describe rate-dependent material failure. Science, Vol. 243, p200-203.
- Terzaghi, K. and Peck. R.B., 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, Inc.
- Wilson, S.D., 1970, Observational Data on Ground Movements Related to Slope Instability, J.SM and FE Div., Proc. ASCE, Vol. 96, No. SM5, , pp.287~310.
- Watari, M., H.Fujita, H. Nakamura, A.Sakai, and M.Kondo, 1977, Mechanism of Neocene Mudstone Landslide-Sarukuyoji Landslide, Proc. 9th ICSMFE, Tokyo, Vol. 4, Case History Vloume, pp.963~1012.
- Walkinshaw, J., 1992, Landslide Correction Costs on U. S. State Highway Systems, In Transportation Research Record 1343, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp.36~41.
- Varnes, D. J., 1978, Slope Movement Types and Processes, In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control(R. L. Schuster and R. J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington D. C., pp.11~33.
- Yu, Y.F., Lam, J.S., Siu, C.K. & Pun, W.K.(2004), Recent advance in landslip warning system, Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 24th Annual Seminar, Hong Kong, pp.139-147.

급경사지 관리실무편람

Ministry of the Interior and Safety

부록

1. 주요 용어
2. 국내외 계측 사례 및 시장조사
3. 웹 기반 급경사지 통합관리 사례
4. 주요 응답 사례
5. 급경사지 조사 비용 산정표

부록 1 주요 용어

【공통사항】	
• 안전점검	관계전문가가 육안 또는 기구 등으로 조사 및 분석하여 급경사지의 위험요인을 조사하는 행위이며, 정기 안전점검(정기점검)과 긴급 안전점검(긴급점검)으로 구분
• 유지관리	급경사지의 기능을 보존하고 이용자의 편익과 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 또는 정기적으로 기능상태를 조사하고 손상부에 대한 조치를 취하는 일련의 행위
• 정밀조사	급경사지 붕괴위험지역의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 취하기 위해 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하는 행위
• 긴급점검	급경사지의 물리적, 기능적 및 환경적 상황과 이상에 대하여 신속하고도 적절한 조치를 취하기 위하여 실시하는 점검으로 육안검사와 측정 기구를 통하여 관계전문가에 의하여 이루어지며 응급대책을 제시
• 결함	계획, 설계 및 시공단계에서 목표를 충족시키지 못한 초기 하자상태
• 손상	급경사지가 시간의 경과에 의해 외적 또는 내적인 힘에 의해 장기적으로 불완전하게 된 상태
• 열화	자연력 및 인위적인 작용을 받은 급경사지가 시간이 경과함에 따라 물리적·화학적으로 변질·변형되어가는 현상
• 복구	재해 등의 요인으로 변형되어 본래의 기능을 상실한 급경사지를 복원하여 본래의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 보수하는 작업
• 보수	일상적인 손실 즉 유지로는 감당치 못할 정도로 크게 변상된 급경사지를 수리를 통해 기능 또는 내구성을 설계시의 목적대로 회복시키기 위한 작업
• 보강	급경사지를 보수하는데 있어 원래 기능 이상으로 기능향상을 꾀하거나, 적극적으로 기능향상을 목적으로 행하는 작업
• 깎기비탈면	자연비탈면을 절취하였을 때 새로이 드러난 경사진 지반
• 보강/보호 시설	급경사지의 안정성을 확보하거나 유지관리를 위해 설치된 각종 구조물로서 낙석방호시설, 보강시설, 표면보호시설, 배수시설 등으로 구성
• 상부자연비탈면	깎기비탈면의 상단에 위치한 자연비탈면 방향에 위치한 원래의 자연비탈면
• 비탈면경계	깎기부와 상부자연비탈면과의 경계 부위
• 최상부	급경사지의 최대 수직고를 이루는 지점
• 배수시설	비탈면의 지하수, 지표수 배제기능 향상을 위해 설치된 시설
• 강우강도(mm/hr)	누적강우량을 시간으로 나눈 평균값으로 정의한다.
• 산사태	기반암 및 토사의 성질, 비탈면의 형상, 강우, 지하수 상태 등의 복합적인 요인에 의해 산악지형의 자연비탈면에서 주로 발생되며, 암이나 토사가 급속히 이동되는 현상
• 토석류	집중호우 등으로 포화된 흙과 돌, 바위, 나무 등이 물과 섞여 빠른 속도로 흘러내리는 현상

【공통사항】	
• 활동파괴	급경사지에서 다양한 활동면 형상으로 연속적 거동을 보이면서 발생되는 붕괴
• 침식	풍화정도가 심한 암반비탈면의 상부나 토사비탈면에서 지표수에 의해 물길이 형성되는 현상
• 포행	장기간에 걸쳐 경사진 지표가 수축·팽창을 반복하며 서서히 중력 이동하는 현상, 지표 부근의 흙, 표토, 응고하지 않은 퇴적물 따위가 매우 느린 속도로 경사면을 미끄러져 내려오는 운동
• 절리	암반이 응력 변화나 변형을 받아 비교적 일정한 방향을 갖는 갈라진 틈
• 단층	취성 지반이 변형을 일으키며 생성된 균열을 따라 상대적인 변위가 발생하는 현상

【토사비탈면】	
• 붕적층	지형·지질적인 요인에 의해 토사나 암편이 중력작용에 의하여 비탈면 아래로 이동하여 혼합되어 있는 지반
• 얕은 파괴	표층유실과 침식작용으로 구성된 비탈면에서의 변상
• 표층유실	급경사지 구성 지반의 풍화 진행이나 지표수에 의해 비탈면이 넓게 벗겨지는 현상
• 토석	급경사지 붕괴 시 생성되는 토사와 암이 혼재된 붕괴더미
• 핵석지반	신선했던 암반의 풍화진행으로 구성요소의 이동 없이 일부는 완전풍화되어 토사화되고, 일부는 바위형태로 남아 혼재되어 있는 지반

【지반조사】	
• 2종 깍기시설물	「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에 의해 결정되며, 대형비탈면을 의미함. 과거에는 높이 50m 이상, 연장 200m 이상 규모의 깎기비탈면에 해당되었으나, 2016년 1월 1일 이후 높이 30m 이상, 연장 100m 이상으로 변경
• 간극수압	사력·모래·점토 등의 입자간 간극을 채우고 있는 지하수를 간극수라고 함. 흙의 간극 속에 존재하는 물의 압력. 정수압, 과잉간극수압을 총칭하여 말함
• 강도정수	지반의 강도를 공학적으로 표현하기 위한 값이며, 파괴기준에 따라 강도정수에 대한 정의가 달라짐. 지반공학에서 강도정수는 일반적으로 Mohr-Coulomb의 파괴기준을 적용하며, 점착력(cohesion)과 내부마찰각(internal friction angle)으로 표현됨.
• 경사	① 비탈면의 기울기. 보통 수직 길이에 대한 수평길이의 비, % 또는 각도로 표시함, ② 층리면, 단층면, 절리면과 같은 지질구조면의 기울기 각으로 수평면으로부터 구조의 주향과 수직을 이루는 각.
• 경사완화	비탈면의 단면경사를 완만하게 만드는 깎기
• 경암	암석을 강도에 따라 극경암, 경암, 보통암, 연암 등으로 상대적으로 구분할 때 두번째로 강한 암석을 말하며, 이러한 분류는 주로 굴착과 토공의 난이도를 나타내기 위하여 사용. 탄성파 속도측정 및 정성적인 지질햄머 타격시 소리나 깨어지는 상태 등의 기준에 의해 분류
• 계곡부	골짜기라 불리는 좁고 길게 움푹 들어간 지형
• 골재	모르타르 또는 콘크리트의 뼈대가 되는 재료로, 주로 모래와 자갈을 사용하는데, 낱알의 지름에 따라 5mm 이상인 조골재(粗骨材), 5mm 이하의 세골재(細骨材)로 나눔

【지반조사】	
• 굴착	지반을 파는 작업으로 지반의 강도에 따라 발파굴착, 기계굴착 및 인력굴착으로 구분하여 적용함
• 균열	인장을 받는 부재의 재료적 결함 또는 과도한 하중 등으로 인하여 원래 연결되어 있던 재료가 분리되어 발생하는 작은 틈. 균열 주위에는 큰 응력 집중이 발생함
• 기반암	미고결층과 풍화층의 아래쪽에 존재하는 고결된 지층과 암체. 지질학에서는 부정합을 수반하는 피복층 아래의 지층을 기반이라 함
• 깎기부	자연비탈면을 깎기하였을 때 새로이 드러난 경사진 지반
• 깎기비탈면	도로나 부지확보를 위해 자연비탈면을 인위적으로 깎기하여 발생된 인공비탈면의 한 유형
• 낙석	암반 내 불연속면의 이완으로 암편이 모암으로부터 분리되어 낙하하는 현상. 절벽, 급경비탈면, 지하갱도 등에서 여러가지의 크기로 느슨해진 암괴가 자유낙하한 것
• 내부마찰각	흙의 전단 강도를 나타내는 상수로서 수직 응력과 전단 응력의 관계를 나타내는 선형의 경사각, 전단저항각과 동일한 의미. Coulomb의 파괴기준에서는 흙의 전단강도의 마찰성분을 전단파괴면상의 수직응력 σ를 이용하여 $\sigma\tan\varphi$로 나타내는 데 이 때의 φ를 내부마찰각이라 함
• 노두	지반의 암석이나 지층의 일부가 지표에 노출되어 있는 부분으로 지질조사의 중요한 조사대상의 하나임
• 누수	지하수에서 바닥 또는 위에 형성된 반투수층을 통하여 대수층으로부터 물이 흐르는 현상. 또는 댐이나 비탈면, 옹벽으로부터 물이 새는 것
• 단층	지각변동에 의하여 지층이 어긋나는 현상으로 규모는 수 cm에서 수천 m에 달하는 것까지 다양하며, 이동방향에 따라 세분화됨. 대체로 파쇄대를 수반하여 비탈면에서 용수가 나오기도 함
• 단층파쇄대	작은 단층이 많이 생기면서 단층 주위에 암석이 잘게 부서진 곳으로 지반이 약해 붕괴가 빠르게 진행됨
• 대책공법	급경사지의 유지관리상의 보수·보강방안으로 적용되는 공종으로 깎기공법, 보강공법, 낙석방호공법, 표면보호공법, 배수공법 등으로 구성됨
• 돌망태옹벽	강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 급경사지 표층부의 침식방지를 꾀하고 압쌓기의 역할을 하는 공법으로 배수능력이 뛰어남
• 뒷채움	구조물이나 옹벽 등의 뒷면에 자갈 등을 잘 다지고 투수성이 좋은 재료를 채우는 것. 뒤채움 재료는 옹벽이나 돌쌓기에는 뒷면의 배수를 잘해 주고 수압을 경감할 뿐 아니라 특히 돌쌓기에는 전체의 안전성을 증대시키는 역할을 함
• 뜬돌	자연적·인위적 요인에 의해 낙석 될 위험성을 내포하고 있는 깎기부와 상부자연비탈면내의 암괴
• 물리적풍화	암석이 건조, 습윤, 동결, 융해, 등의 반복에 의하여 열화되는 것을 말함. 기계적 풍화라고도 하며 지표부근에서 깊은 곳으로 진행함
• 물리탐사	물리적 수단에 의하여 지질이나 암체의 종류, 성상 및 구조를 조사하는 방법으로 탐사방법에 따라 탄성파탐사, 전기탐사, 중력탐사, 자기탐사, 방사능탐사 등이 있으며 조사위치에 따라 지표탐사, 공중탐사, 해상탐사, 갱내탐사, 공내탐사로 구분됨
• 배수	지표수나 지하수를 자연적 또는 인공적으로 빼주는 행위. 지형에 따라 자연적으로 이루어지는 자연배수와 시설물을 통해 인위적으로 이루어지는 시설배수로 분류(예 배수공, 배수구 등)
• 배수공	옹벽, 석축 등에서 배후의 지반에서 발생되는 물을 빼기 위하여 옹벽의 표면까지 설치하는 작은 구멍
• 버력	비탈면이나 터널 굴착현장에서 깎기, 갱도 굴진, 채광, 선광 등의 과정에서 선별되어 나오는 무가치한 암석덩어리, 암석조각, 슬라임 등의 총칭으로 폐석이라고도 함

【지반조사】	
• 벌개제근	토공의 굴착 또는 쌓기의 시공에 앞서 깎기부, 토취부, 쌓기부에서 풀이나 나무뿌리를 제거하는 표상깍기 및 이들의 처리를 말함.
• 보강	급경사지와 그 시설을 보수하는데 있어서 원래 기능 이상으로 기능향상을 꾀하거나, 적극적으로 기능향상을 목적으로 행하는 작업
• 보수	일상적인 손실 즉 유지로는 감당치 못할 정도로 크게 변상된 급경사지와 그 시설을 수리를 통해 기능 또는 내구성을 설계시의 목적대로 회복시키기 위한 작업
• 복구	재해 등의 요인으로 변형되어 본래의 기능을 상실한 급경사지와 그 시설을 복원하여 본래의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 보수하는 작업
• 불연속면	암석의 절리, 엽리, 균열 및 단층대를 포함한 일체의 결함을 통틀어 지칭하는 말, 암반에 발달되어 있는 여러가지 형태나 크기의 약면. 암반이 연속체가 아닌 불연속체로 거동하도록 만드는 역할을 하며, 균열, 절리, 단층, 층리, 엽리, 편리, 파쇄대 등의 연약면에 대한 총칭
• 붕적층	지형·지질적인 요인에 의해 바위나 암편이 중력 이동하여 토사와 혼합되어 있는 지반
• 블록파괴	암반비탈면에서 불연속면에 의한 특정 파괴형상을 가지는 붕괴양상으로 쐐기파괴, 평면파괴, 전도파괴로 구성
• 비탈면선단파괴	비탈면의 하단을 통과하는 활동면을 따라 파괴되는 비탈면파괴. 사질토의 급경사 비탈면에서 발생하는 경우가 많음
• 비탈면시설	급경사지의 안정성을 확보하거나 유지관리를 위해 설치된 각종 구조물로서 낙석방호시설, 보강시설, 표면보호시설, 배수시설 등으로 구성
• 산사태	구성물질 특성 및 외부수리조건 등의 복합적인 요인에 의해 산악지형의 자연비탈면에서 주로 발생되며, 암이나 토사가 급속히 이동되는 현상
• 상부깎기 (상부절취)	비탈면의 중·상단 이상의 구간에 대해서 실시하는 깎기. 급경사지 상부로 암블록 이완, 연약대 형성 등의 취약부가 집중된 경우, 급경사지 상부 위험 구간에 국한하여 경사를 조절함으로써 급경사지의 안정성을 확보하는 공법
• 상부자연비탈면	깎기부의 상단방향에 위치한 원래의 자연비탈면
• 세굴	풍화정도가 심한 암반비탈면의 상부나 토사비탈면에서 지표수에 의해 물길이 형성되면서 침식되는 현상
• 소단	비탈면 안정 및 유지관리를 위하여 높이에 따라 좁은 폭으로 조성되는 수평공간
• 소단경사	소단이 존재하는 비탈면에서 소단 상단부 경사면과 수평면이 이루는 각도.
• 소단배수구	소단부 침식 방지 및 지표수의 원활한 배수를 위해 소단 전면에 배수구를 설치하는 공법
• 수목제거	비탈면 및 상부자연비탈면내 존재하는 수목이 붕괴 및 지지력 상실로 인해 전도위험이 존재하는 경우 위험 수목을 제거하여 안정성을 확보하는 공법
• 습곡	수평으로 퇴적된 지층이 횡압력을 받아 물결처럼 굴곡된 단면으로 배사와 향사로 구분됨
• 쌓기	흙을 쌓아 올리는 것으로 부지조성, 제방쌓기 등을 위해 다른 지역의 흙을 운반하여 원지반위에 쌓는 것으로 급경사지의 경우 쌓기비탈면 생성 시 사용
• 쌓기비탈면	기존 지반위에 흙이나 암을 쌓아서 형성된 비탈면.
• 쐐기파괴	두 방향의 불연속면에 의해 이루어진 쐐기모양의 활동면을 따라 붕괴되는 현상
• 안전율	① 구조물의 극한 저항 강도의 설계 하중에 대한 비. ② 지반전단파괴를 일으키려는 힘, 응력 또는 모멘트에 대한 저항력, 전단강도 또는 저항모멘트의 비

【지반조사】	
• 암맥	기준암석의 틈을 따라 판상으로 관입된 화성암체
• 연암	풍화암과 경암 중간의 공학적 성질을 보이며, 고유의 열화특성으로 인해 정확한 물성 평가 시에는 강도와 변형특성 이외에도 함수상태나 불연속면의 조건들을 충분히 고려하여 종합적으로 평가할 필요가 있음
• 열화	구조물 등이 외부적인 영향이나 내부적인 영향에 따라 화학적 및 물리적 성질이 나빠지는 현상, 자연력 및 인위적인 작용을 받은 급경사지와 그 시설이 시간이 경과함에 따라 물리적·화학적으로 변질·변형 되어가는 현상
• 엽리	주로 변성암에서 구성입자들의 배열이 판상인 구조 또는 조직
• 원호파괴	최소 안전율을 보이는 지점을 따라 원호형태로 발생하는 붕괴형태, 주로 토사비탈면이나 풍화대 및 불연속면 발달빈도가 높은 파쇄대에서 발생
• 유지관리	급경사지와 그 시설의 기능을 보존하고 이용자의 편익과 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 또는 정기적으로 기능 상태를 조사하고 손상부에 대한 조치를 취하는 일련의 행위
• 응력	단위 면적에 작용하는 힘으로 표시되는 물리량
• 이격거리	붕괴산물이 도로이용자에게 직접적인 영향을 미치는 거리로서 비탈면 끝에서 길 어깨까지의 거리
• 이격부	비탈면 끝에서 도로어깨까지의 공간, 포획거리와 이격거리로 구성
• 이완암제거	과발파나, 붕괴 등으로 인해 비탈면내 국부적으로 이완 암블록이 존재하여 낙석발생 가능성이 높은 경우에 위험 이완암을 제거하여 안정성을 확보하는 적용되는 공법
• 인공비탈면	구조물을 위한 부지확보와 건설시 필요한 재료의 확보 등의 목적으로 조성되는 비탈면, 깎기 비탈면과 쌓기비탈면으로 구분
• 인장균열	지반내 인장응력이 발생하여 이로 인해 발생된 균열, 지표면으로부터 일정한 깊이까지 받는 인장(引張) 때문에, 점착력이 있는 흙에 발생되는 균열
• 자연비탈면	인위적인 건설공사 없이 자연적으로 생성된 원지반 비탈면
• 재해복구	풍수해, 설해, 지진 및 화재 등에 의하여 산사태, 둑 유실 및 붕괴, 교량의 거더, 교각, 교대의 유실 및 침하 등을 인원, 재료 및 장비를 동원하여 복구하는 것을 말함
• 저부파괴	토사비탈면 중에서 단순 유한비탈면의 활동면은 일반적으로 원호에 가까운 곡면으로 가정하며 점쌓기 비탈면경사가 완만하고 암반 또는 견고한 지층이 비교적 깊은 곳에 있으면 원호활동 파괴면이 깊게 형성되는데 이를 저부파괴라 하며, 보통 연약점토층 위에 쌓기할 경우에 발생함
• 전단대	전단응력의 영향으로 암석이 부스러지면서 형성된 작은 틈들이 나란하게 배열되어있는 구조
• 전도파괴	암반비탈면에서 암블록이 특정 지점을 중심으로 회전하면서 발생되는 붕괴현상
• 절리	암반이 응력 변화나 변형을 받으면서 발생되어지는 균열
• 점착력	흙이 다른 물체에 부착되는 힘. 지반의 수분장력에 의 해 발생, 토양 수분장력 등에 의해 흙 또는 다른 물질과 잡아당기는 힘
• 지하배수구	급경사지를 통해 흘러 노면 속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며, 측구 되메우기 시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물
• 집수시설	계곡부나 집수 지형을 따라 내려온 유수를 모아 하류로 내려보내는 시설
• 차별풍화	지하수, 단층, 절리, 변질작용 등의 원인에 의해 주위와 풍화정도가 상이하게 진행된 현상

【지반조사】	
• 최상부	급경사지 깎기부의 최대 수직고를 이루는 지점
• 층리	퇴적암에서 입자의 모양과 크기에 따라 만들어지는 층 모양의 배열.
• 테일러스	동결융해 등의 기계적인 풍화작용이나 기타 지질학적인 요인 등에 의해 암석부스러기가 비탈면에 쌓여 이루어진 돌밭형태의 지반
• 토석	급경사지 붕괴 시 생성되는 토사와 암이 혼재된 붕괴더미.
• 파쇄대	단층에 따르는 폭 수 cm~수십 m의 암석이 파쇄된 대상부 또는 암석의 파쇄·압쇄된 폭 수백~수천m의 대상부를 말함. 전자의 소규모 파쇄대는 댐 등 구조물기초의 지지력, 힘 전달, 또는 깎기의 안정 등에 문제가 발생되며, 후자의 대규모 파쇄대는 산사태, 유송토사, 깎기, 쌓기의 안정성 등에 문제가 발생되며 파쇄대의 크기가 일정하지 않고 파쇄대 내의 각 부에서 상이한 특성을 나타냄
• 팽창성지반	공기 또는 물과 접촉하여 화학반응을 하든가 팽창현상 등에 잘 부상(浮上)되는 지반을 말함. 팽창성지반은 물을 흡수하여 결정되는 광물, 산화되기 쉬운 광물 그리고 팽창성을 갖는 점토광물을 함유하는 경우가 많음. 일반적으로 팽창성을 나타내는 암종으로는 혈암, 이암, 온천여토, 장석, 운모, 휘석 등을 함유한 풍화암, 사문암으로서 그 팽창성의 크기와 방향은 다양함
• 평면파괴	비탈면 방향쪽으로 기울어진 한 개의 면을 따라 일어나는 파괴. 암반비탈면에서 주로 관찰됨
• 포행	지표 부근의 흙, 표토, 응고하지 않은 퇴적물 등이 몹시 느리게 비탈면을 미끄러져 내려오는 운동
• 표층유실	비탈면 구성 지반의 풍화 진행이나 지표수에 의해 비탈면이 넓게 벗겨지는 현상
• 풍화	지표 부근의 암석이나 토양이 물리적, 화학적 및 생물학적 작용에 의해 변질되는 과정을 총칭하는 말
• 핵석지반	신선했던 암반의 풍화진행으로 구성요소의 이동 없이 일부는 완전풍화되어 토사화되고 일부는 바위형태로 남아 혼재되어 있는 지반
• 활동파괴	암반비탈면과 토사비탈면에서 다양한 활동면 형상으로 연속체적 거동을 보이면서 발생되는 붕괴

【암반비탈면】	
• 낙석	암반비탈면의 불연속면이 이완되어 암편이 모암으로부터 분리되어 낙하하는 현상
• 뜬돌(부석)	자연적·인위적 요인에 의해 낙석될 위험성을 내포하고 있는 깎기부와 상부자연비탈면내의 암괴
• 블록파괴	암반비탈면에서 불연속면에 의한 특정 파괴형상을 가지는 붕괴양상으로 쐐기파괴, 평면파괴, 전도파괴로 구성
• 평면파괴	비탈면방향 쪽으로 기울어진 한 개의 면을 따라 일어나는 붕괴되는 현상
• 쐐기파괴	2방향의 불연속면에 의해 이루어진 쐐기모양의 활동면을 따라 붕괴되는 현상
• 전도파괴	암반비탈면에서 암블록이 특정 지점을 중심으로 회전하면서 발생되는 붕괴현상
• 불연속면	암석의 절리, 엽리, 균열 및 단층대를 포함한 일체의 결함을 통틀어 지칭하는 말, 암반이 연속체가 아닌 불연속체로 거동하도록 만드는 균열, 절리, 단층, 층리, 엽리, 편리, 파쇄대 등의 연약면에 대한 총칭
• 차별풍화	지하수, 단층, 절리, 변질작용 등의 원인에 의해 주위와 풍화정도가 상이하게 진행된 현상

【옹벽 또는 석축】	
• 침하	옹벽이나 석축이 내려앉거나 꺼져 내려간 정도
• 활동	옹벽이나 석축이 전방으로 이동된 정도
• 세굴	유수에 의해 도로표면에서 기초저면까지 깎여나가는 현상
• 헌치(haunch)	옹벽의 연속판.중간판 등에 있어서 벽체전면에서 두께를 크게 한 부분
• 파손 및 손상	옹벽이나 석축의 구조물 하단부의 손상 발생 정도
• 균열	건조수축 또는 구조적인 문제로 옹벽이나 석축(전면부)에 발생한 벌어진 틈
• 박리(scaling)	옹벽이나 석축(전면부) 콘크리트 표면의 모르타르가 점진적으로 손실되는 현상, 콘크리트 표면의 모르터가 점진적으로 손실되는 현상
• 박락(spalling)	옹벽이나 석축(전면부) 콘크리트가 균열을 따라서 원형으로 떨어져 나가는 층분리 현상, 콘크리트가 균열을 따라서 떨어져 나가는 층분리의 진전된 현상

【안전점검】	
• 안전점검	관계전문가가 육안 또는 기구 등으로 조사 및 분석하여 급경사지의 위험요인을 조사하는 행위이며, 정기 안전점검(정기점검)과 정밀점검, 긴급 안전점검(긴급점검)으로 구분
• 정기점검	급경사지에 대한 경험과 기술을 갖춘 사람에 의한 세심한 외관조사 수준의 점검
• 정밀점검	급경사지의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사와 간단한 측정· 시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시하는 수준의 점검

【대책공법】	
• 대책공법	급경사지의 유지관리상의 보수·보강방안으로 적용되는 억제공법 및 억지공법으로 경사도 완화공법, 보강공법, 낙석방호공법, 표면보호공법, 배수공법 등으로 구성
• 의지식옹벽	자립하지 않고 원지반에 기댄 자중에 의해 토압에 저항하는 공법으로 급경사지 하부 지지력 상실 공간의 채움과 급경사지 표면에 대한 보호기능을 수행
• 낙석방지옹벽	붕괴지역의 충격완화와 도로 유입 방지를 위해 설치하는 옹벽
• 계단식옹벽	급경사지가 어느 정도의 이격을 확보하고 있을 경우, 계단형으로 제작하여 깎기비탈면 하부 지지력 상실 공간의 채움과 깎기비탈면 표면에 대한 보호기능을 수행하는 공법
• 경사도 완화공법	활동하려는 토사나 암블록을 제거하기 위해 전반적인 경사를 조절함으로써 활동하중을 경감시켜 깎기비탈면의 안정성을 확보하는 공법

【대책공법】	
• 표면보호공	급경사지 표층의 침식, 유실, 붕괴를 방지하고 미관을 향상시키기 위해 식생이나 구조물을 이용하여 실시하는 대책공법
• 상부절취	급경사지 상부로 암블록 이완, 연약대 형성 등의 취약부가 집중된 경우, 급경사지 상부 위험구간에 국한하여 경사를 조절함으로써 급경사지의 안정성을 확보하는 공법
• 라운딩	깎기비탈면 상단 표토층의 유실이 발생하여 상부자연비탈면 내 수목의 전도가 발생될 우려가 있거나, 지속적인 상부 표층붕괴로 이어질 경우에 적용되는 공법으로 깎기비탈면 경계부의 단면을 원호모양으로 완만하게 만드는 절취공법
• 식생공	식생을 이용한 표면보호공으로 파종공법, 식재공법, 기반재공법 등으로 구성
• 돌쌓기	채석해서 다듬은 돌(또는 콘크리트 블록)을 포개어 쌓는 방법으로써, 돌의 틈새에 모르터나 그라우트로 채운 찰쌓기와 채우지 않은 메쌓기가 있음
• 돌붙임	채석해서 다듬은 돌(또는 콘크리트 블록)을 비탈면 표면에 균일하게 붙이는 방법으로써 깔기(Pitching)라고도 한다. 돌의 틈새에 모르터나 그라우트로 채운 찰깔기와 채우지 않은 메깔기가 있음
• 콘크리트 뿜어붙이기 공법	압축공기에 의해 콘크리트를 고압호스 또는 파이프로 소정의 위치까지 옮겨, 비탈면에 뿌림으로써 자력으로 단단히 고정되는 공법
• 록볼트	지반 중에 정착되어 단독 또는 다른 지보재와 함께 지반을 보강하거나 변위를 구속하여 지반의 지내력을 증가시키는 봉상의 부재
• 앵커	지반내에 앵커체를 삽입하고 지표면에서 하중을 가하여 가상활동면의 연직응력과 전단저항력을 증가시킴으로써 불안정한 비탈면의 안정성을 높여주는 공법
• 네일	비탈면 보강을 위해 사용하는 부재로써 벽체와 일체가 되게 형성하여 지반을 보강함
• 억지말뚝	파괴토체를 관통하여 지지층까지 말뚝을 일열로 설치함으로써 말뚝의 수평저항력으로 비탈면의 활동력을 지지층에 전달시키는 공법
• 기대기 옹벽	깎기비탈면에서 표면의 탈락으로 불안정해진 구간이나 장기적으로 불안정해질 가능성이 있는 비탈면 표면에 콘크리트를 타설하여 자중으로 비탈면을 안정화시키는 옹벽
• 보강토 옹벽	금속 또는 섬유 보강재를 이용하여 층층이 쌓아올린 옹벽
• 돌망태 옹벽	아연도철선, 또는 PVC융착 철선을 사용해 그물형 망태로 제작하고 내부에 돌을 넣어서 여러 단의 돌망태를 쌓아 올려 형성하는 옹벽
• 낙석방지시설	도로 비탈면의 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통장애, 도로 구조물의 손상, 재산 및 인명상의 손실을 예방하기 위해 설치하는 구조물
• 낙석보강공법	비탈면 자체의 안전율이 확보되지 않아 위험성이 내포된 상태에서 낙석 발생을 사전에 막기 위하여 비탈면에 특수한 재료를 사용하여 안정화 시키는 공법
• 낙석보호공법	비탈면 자체의 안전율이 확보된 상태에서 예상치 못한 소규모의 낙석에 대비하여 낙석의 운동을 멈추게 하거나 도로 유입을 차단시켜 피해를 최소화하기 위한 공법
• 피암터널	강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로위에 처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법

【상시 계측관리】	
• 강우강도(mm/hr)	누적강우량을 시간으로 나눈 평균값으로 정의한다.
• 체적함수비(%)	흙의 체적 중에 차지하는 간극수의 체적의 비율이며, 백분율로 표시한다.
• 모관흡수력(kPa)	모관흡수력은 간극공기압(ua)과 간극수압(uw)의 차(ua-uw)로 정의되며, 간극공기압이 대기압과 같다면 불포화토의 부(-)간극수압으로 작용하게 된다.
• 흡입응력(kPa)	모관흡수력과 유효포화도의 곱으로 정의되며, 불포화토의 응력상태를 나타낸다.
• 변위(mm)	단면에서 원래 인접해 있다가 분리된 두 개의 점사이의 거리를 말한다.
• 경사(°)	지층면이 주향에 대해 직각방향으로 경사진 각도를 말한다.
• 계측	장치를 사용하여 물리량(길이, 질량, 온도, 압력 등)을 수치로 나타내는 작업, 측정의 대상이 되는 양을 측정함을 말한다.
• 계측센서	외부의 물리적인 자극을 특정한 신호로 변환해 주는 감지 장치를 의미한다.
• 분해능	계측기의 측정 최소 읽음 눈금을 나타낸다.
• 정확도	측정된 양이 참값에 얼마나 가까운가를 나타내는 것이다. 정확도의 표현은 "±숫자"로 표시하며, 센서 사양서에는 정확도 표시를 오차 개념으로 표시하기도 한다. "FS"란 "Full scale"의 줄임말로 계측센서가 측정 가능한 최댓값과 최솟값의 차이를 말한다.
• 측정범위	계측기기가 측정할 수 있는 최소 및 최댓값의 범위를 의미한다.
• 관심	우기철, 해빙기 등 급경사지 붕괴 빈발 시기 등 급경사지 붕괴에 관한 관심이 필요한 경우
• 주의	낮은 수준의 급경사지 붕괴가 발생할 수 있는 단계로 경보에 주의를 기울이는 단계이다.
• 경계	단기간에 급경사지 붕괴가 발생할 수 있는 단계로 대피를 준비하는 단계이다.
• 심각	높은 확률로 급경사지 붕괴가 발생할 수 있는 단계로 경보 즉시 해당 지역을 벗어나거나 안전한 지역으로 대피를 권고한다.

【공간정보】	
• CSMS	CSMS(Cut Slope Management System) 도로비탈면유지관리시스템은 GIS에 기반한 국도변 모든 비탈면에 대한 기초자료 관리 시스템으로 위험비탈면에 대한 전문가 정밀조사 및 효율적인 대책공법 선정 및 실시설계 관리 프로그램, 위험비탈면에 대한 선제적 예방시스템을 통한 도로 비탈면 붕괴 및 산사태 대응 전략을 마련하기 위하여 전문기관(한국건설기술연구원, 국토안전관리원)에 위탁하여 CSMS 운영 중
• 산사태취약지역	산사태(토석류 포함)로 인하여 인명 및 재산 피해가 우려되는 지역으로 「산림보호법」 제45조의8에 따라 지정·고시한 지역을 말한다.
• 산사태위험지도	과거 전국 산림의 산사태 발생 이력자료(2천 개소)를 활용하여 로지스틱회귀분석을 통해 인자별 영향력에 따라 가중치를 부여하여 산출된 산사태 발생확률을 5등급으로 구분하여 제작한 지도
• 수치지형도	측량 결과에 따라 지표면 상의 위치와 지형 및 지명 등 여러 공간정보를 일정한 축척에 따라 기호나 문자, 속성 등으로 표시하여 정보시스템에서 분석, 편집 및 입력·출력할 수 있도록 제작된 것(정사영상지도는 제외한다)을 말한다.
• GIS	GIS(Geographic Information System) 란 인간생활에 필요한 지리정보를 컴퓨터 데이터로 변환하여 효율적으로 활용하기 위한 정보시스템이다.
• 급경사지 재해 민감도 지도	국립재난안전연구원에서 제작한 지도로 재해이력지역에 대해 통계적으로 영향인자를 도출하여 전국을 4단계(1단계 낮음, 2단계 보통, 3단계 높음, 4단계 매우높음) 위험등급으로 구분한 고해상도의 재해지도

부록 2 국내외 계측 사례 및 시장조사

2.1 국토교통부

국토교통부는 국도 주변의 비탈면 관리업무를 위험 비탈면 관리업무로 명명하여 수행하고 있으며 도로비탈면관리시스템(CSMS; Cut Slope Management System)을 전국 범위로 구축하여 비탈면 관리업무의 효율적인 운영을 지원하고 있다. CSMS는 GIS를 기반으로 하여 국도 주변 비탈면의 기초자료를 관리하며 과학적인 투자우선순위에 근거한 국가 예산의 효율적인 집행을 지원한다.

〈부도 2-1〉 국토교통부의 도로비탈면 관리업무 수행 절차

상기 그림의 절차에 따른 점검·조사의 과정을 거쳐 위험성이 식별된 비탈면에 대해서는 대책공법을 적용한 정비작업 실시를 하되 문화재 관리구역 내 현장, 우회도로의 활용이 불가한 위험 현장 등에 대해서는 아래 그림에 나타낸 바와 같이 실시간 모니터링 시스템을 설치·운영하여 낙석, 산사태 등이 발생하는 위험 상황에서의 지역 경보발령 기능을 수행하고 도로관리기관과 비탈면상황실에 해당 정보를 전송하는 기능을 수행한다.

〈부도 2-2〉 국토교통부 도로비탈면 모니터링시스템의 구성

국토교통부의 도로 비탈면 관리업무는 한국건설기술연구원과 국토안전관리원에서 수행하고 있으며 기관별 관리대상지역과 관리 프로세스를 정리하면 다음과 같다.

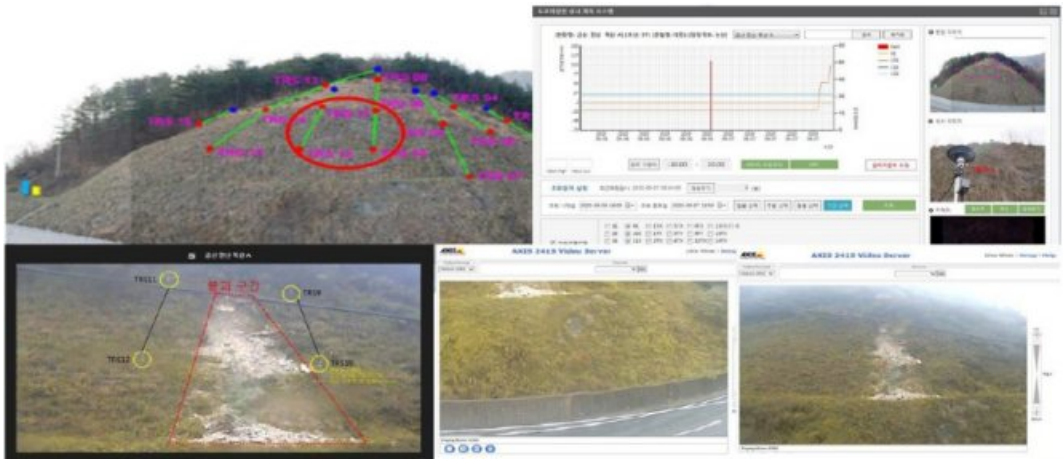
〈부표 2-1〉 기관별 도로 비탈면 관리대상 지역

구분	한국건설기술연구원		국토안전관리원	
	국토교통부	지방자치단체	국토교통부	지방자치단체
서울·경기지역	수원, 의정부	경기도	-	-
강원지역	홍천, 정선, 강릉	강원본소, 북부, 태백, 강릉지소	-	-
충청지역	논산, 충주, 보은, 예산	충청남도, 충청북도	-	-
전라지역	-	-	광주, 전주, 남원, 순천	전라남도, 전라북도
경상지역	-	-	대구, 포항, 진주, 영주, 진영	경상북도, 경상남도

2022년 1월을 기준으로 할 때 국토교통부의 도로비탈면 상시계측시스템 운영현황을 요약하면 다음과 같다.

- 상시계측시스템 114개소, 계측기기, 1,970개, 강우량계 111개, CCTV 102개 운영
- 데이터 로거 98.2%, 계측기기 91.7%, 강우량계 82.9%, CCTV 84.3% 가동 중

- 집중호우기 기간 중 한국건설기술연구원의 비탈면상황실을 운영 : 이상 징후 발생 시 도로관리기관 업무협조 요청(유선 및 문자 연락)
- 고장기기의 수리 : (과거) 도로관리기관 → (현재, 2018년 국토교통부 감사 지적 이후) 한국건설기술연구원이 일괄 관리함



〈부도 2-3〉 한국건설기술연구원의 도로비탈면 상황실 운영 예시

2.2 산림청

산림청은 빈번해지고 있는 산지토사재해를 경감시키고자 산사태, 토석류 및 땅밀림 등의 위험현상에 대한 대응체계를 구축하고 있다. 산림청은 비교적 완만한 경사지에서 발생하는 토사재해인 땅밀림(land creep)으로 인한 재해 발생에 대응하고자 해당 위험지역을 대상으로 계측장비를 설치하고 상시 모니터링을 수행하고 있으며 그 현황(2022년 2월 기준)은 다음과 같다.

〈부도 2-4〉 산림청의 땅밀림 상시 모니터링 지역(40개소)

〈부표 2-2〉 산림청의 지역별 땅밀림 상시 모니터링 체계 구축 현황

구분	계	부산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
개소	40	3	3	9	4	1	1	4	5	10

〈부표 2-3〉 산림청의 지역별 땅밀림 상시 모니터링 체계 설치 지역(40개소)

순번	위치					
	시·도	시·군	읍·면	동·리	지번	비고
1	부산	-	남	대연	산24-1	18년 구축
2	부산	-	사하	다대	929	18년 구축
3	부산	-	사하	장림	528-6	18년 구축
4	경기	안양	만안	석수	산11-1	18년 구축
5	경기	양평	양평	백안	산12-1	18년 구축
6	경기	양평	청운	용두	138-1	19년 구축
7	강원	삼척	근덕	초곡	산4	18년 구축
8	강원	삼척	도계	흥전	산92-3	19년 구축
9	강원	삼척	원덕	임원	630	19년 구축
10	강원	양구	남	야촌	산148	19년 구축
11	강원	양양	현북	기사문	산75	19년 구축
12	강원	정선	북	구절	산1	18년 구축
13	강원	정선	북평	숙암	산400	18년 구축
14	강원	평창	봉평	원길	산366-2	19년 구축
15	강원	홍천	두촌	괘석	산76-2	19년 구축
16	충북	단양	영춘	상	산46-1	18년 구축
17	충북	옥천	옥천	문정	산13-2	19년 구축
18	충북	청주	문의	신대	산12	18년 구축
19	충북	충주	-	목벌	산42-7	19년 구축
20	충남	태안	근흥	신진도	4-22	18년 구축
21	전북	완주	봉동	장구	산54-5	18년 구축
22	전남	담양	금성	금성	산16-4	19년 구축
23	전남	장흥	장동	북교	산18	19년 구축
24	전남	해남	송지	금강	산9-2	19년 구축
25	전남	화순	동	북암	산102-6	19년 구축
26	경북	영덕	축산	칠성	산78-2	18년 구축
27	경북	칠곡	지천	금호	산8-2	18년 구축
28	경북	포항	대송	홍계	산73	18년 구축
29	경북	포항	북	양덕	산96-1	18년 구축
30	경북	포항	북	학산	산33-1	18년 구축
31	경남	김해	주촌	내삼	1082-1	18년 구축
32	경남	사천	곤명	삼정	산33	18년 구축
33	경남	사천	곤명	작팔	산58	18년 구축
34	경남	사천	곤명	추천	581-9	18년 구축
35	경남	진주	문산	상문	산270	19년 구축
36	경남	진주	집현	덕오	산182	18년 구축
37	경남	진주	징성	상촌	산195-2	19년 구축
38	경남	하동	악양	평사	산80-1	18년 구축
39	경남	합천	가회	월계	732	18년 구축
40	경남	합천	쌍책	상신	387	18년 구축

2.3 국립공원공단

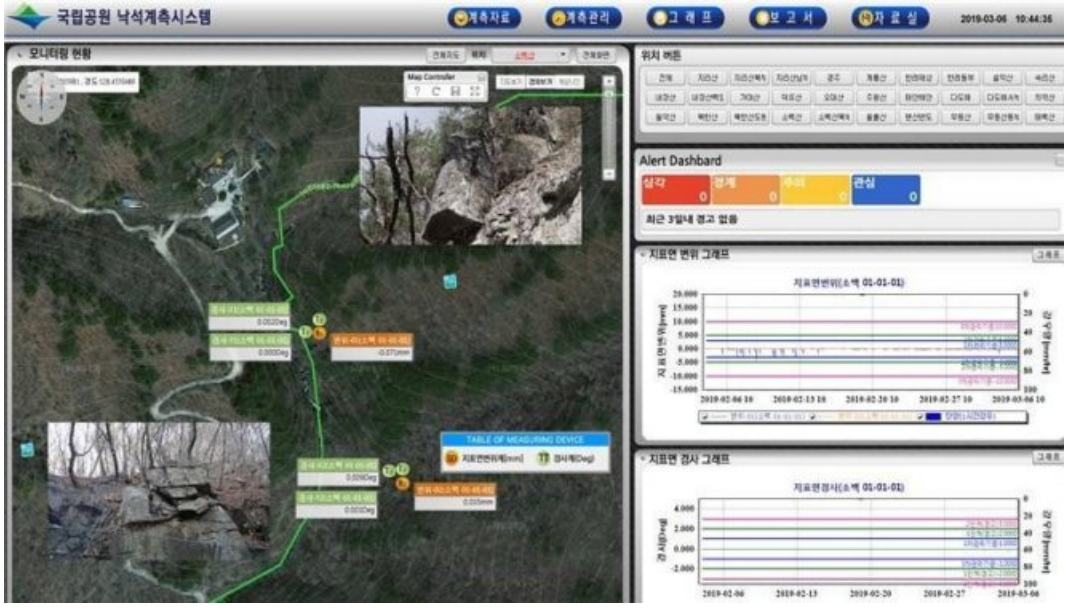
국립공원공단은 2013년부터 낙석사고 예방을 위해 국립공원 174곳에 자동으로 암반변위를 측정할 수 있는 낙석계측시스템 681대를 설치하여 실시간 모니터링을 실시하고 있다.(2022년 1월 기준)

〈부표 2-4〉 국립공원공단의 낙석계측시스템 설치 지역(174개소)

사무소	자동 계측기				수동 계측기		
	신축계	경사계	경보기	lidar	디지털크렉게이지(신축)	신축계	경사계
지리	15	16	9	0	0	0	0
지북	3	5	3	0	0	0	0
지남	1	1	1	0	0	0	0
경주	2	2	2	0	0	0	0
계룡	5	5	5	0	0	0	0
설악	42	99	39	0	13	0	0
속리	11	15	5	0	0	0	0
내장	2	2	2	0	0	0	0
내백	2	2	2	0	0	1	0
가야	2	2	2	0	0	0	0
덕유	7	13	6	0	0	0	0
오대	22	37	18	0	0	2	2
주왕	12	28	15	0	0	0	0
치악	18	28	12	2	0	0	0
월악	7	15	6	0	0	0	0
북한	2	2	2	1	0	0	0
북도	8	8	13	0	0	0	0
소백	4	4	3	0	0	0	0
소북	2	2	2	0	0	0	0
월출	10	10	5	0	0	0	0
무등	2	2	1	0	0	0	0
무동	3	3	2	0	0	0	0
태백	0	0	0	0	21	0	0
(총계) 681대	182	301	155	3	34	3	2

국립공원공단의 시스템은 주로 암반의 경사와 균열을 실시간으로 측정하여 기준치인 5mm를 초과하는 변위가 발생하는 경우 위험을 알리는 것을 목적으로 구축되었다. 지역별로 설치된 계측시스템과 관련 정보를 종합적으로 관리하기 위하여 「국립공원 낙석계측시스템」을 구축하여 운영하고 있다.

〈부도 2-5〉 낙석 위험지역 대상 계측시스템 설치 사례



〈부도 2-6〉 국립공원공단의 낙석계측시스템 운영 화면

2.3.1 실측 사례를 통한 강우와 변위의 관계 분석

1) 1지역 : 중부지역(단양 가곡 사평지구 A, B)

본 현장은 2002년 태풍 루사 내습으로 인하여 비탈면의 붕괴 및 도로가 유실되는 피해가 발생하였다. 일부 보강공사를 완료 후 보강공사의 적정성과 비탈면의 자립화 양상을 파악하기 위하여 상시계측시스템을 설치 운용하였다.

2006년 7월 중 중부지역의 일반적인 강우특성인 집중호우로 인하여 이상거동에 의한 변위가 발생되어 붕괴 예고시스템이 가동된 현장이다. 강우는 2006.7.13~18일(6일)간 발생되었으며 누적강우량은 315.5mm가 발생하였다. 강우기간 중 최대 강우는 2006.7.16 160.0mm가 발생되었다.(현장 설치 자동강우량 데이터)

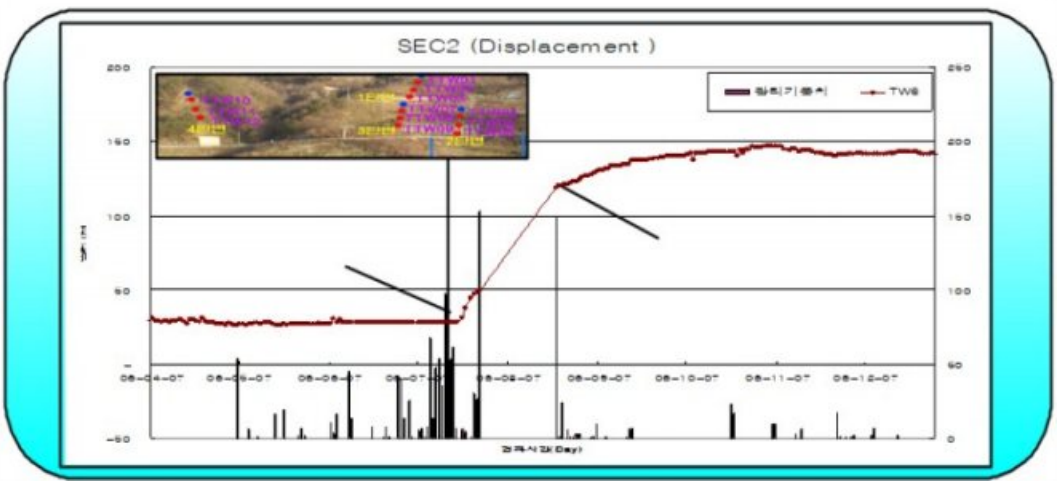
강우에 발생된 최대 변위는 354.0mm, 최소변위 구간은 92.0mm 로 측정되었으며, 변위의 양상은 6일간의 강우가 발생되는 기간에서는 수십mm의 변위가 발생되었다. 강우기간이 끝난 이후 급속한 변위가 발생되는 양상을 나타내고 있어 중부지역의 강우와 변위의 상관관계는 누적강우와 연관성이 깊은 것으로 분석된다.

최소변위를 나타낸 구간은 하부에 어스앵커가 보강되어있는 상황이었으며, 최대변위 구역은 보강이 없는 구역이다. 연간 변위속도는 다음의 표와 같다.

〈부표 2-5〉 변위 속도(보강 격자블록 – 비탈면 내 최소변위 지역

구분	2004년 12월 (1년)	2005년 12월 (2년)	2006년 12월 (3년)	2007년 8월 (3년 8개월)
누적 변위량	22.17mm	36.07mm	141.67mm	149.54mm
누적 변위속도	22.17mm/y	18.04mm/y	47.22mm/y	40.42mm/y
연간 변위량	22.17mm	13.9mm	105.6mm	7.82mm
연간 변위속도	22.17mm/y (0.061mm/day)	13.9mm/y (0.038mm/day)	105.6mm/y (0.289mm/day)	11.24mm/y (0.031mm/day)

상기의 내용과 도표에서 유추 가능한 것은 누적변위와 관계된 연간 변위 속도에 따른 관리는 11.24mm/Y, 일일 변위 속도 0.031mm/DAY의 한계치를 가지는 것으로 나타났다. 하지만 붕괴예고를 실제 가능하게 했던 강우영향에 의한 변위의 일일 속도는 2.64mm/DAY 이다.



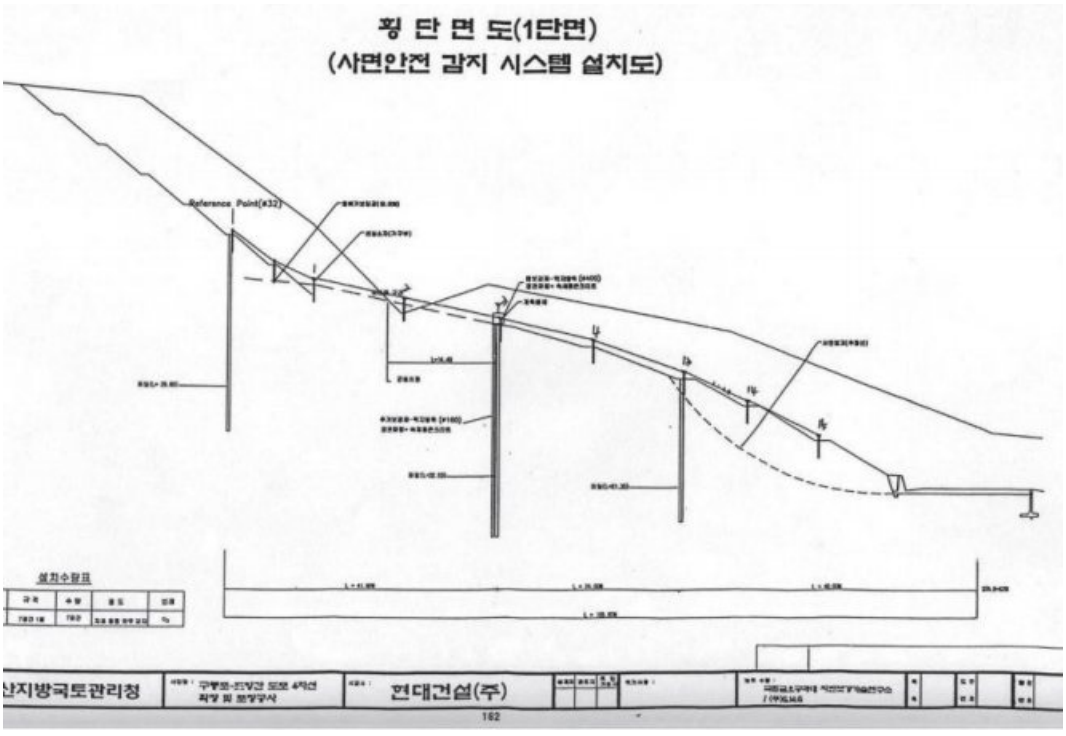
〈부도 2-7〉 강우 및 변위에 따른 파괴 그래프

2) 2지역 : 영·호남 지역(포항 구룡포 석리지구)

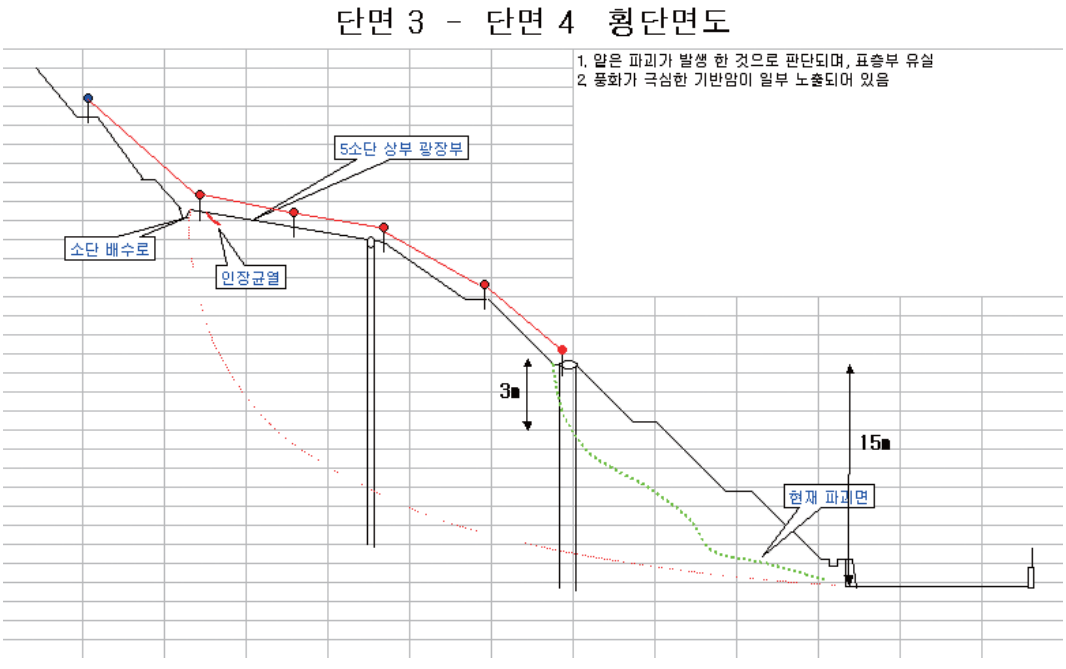
본 현장은 2001년 국도확포장 공사 중 대규모의 붕괴가 발생되었다. 현장의 지질학적 특징은 경상누층군의 제3기 이암층으로 미 고결암층이 다수 존재하는 지역과 인접하여 있다. 대규모의 붕괴로 인하여 대구경 억지말뚝과 표면은 그린무어공법을 채택하여 이완된 붕괴토의 유실을 최대한 억제하는 형태를 취하였다. 또한 비탈면의 자립화 양상과정을 감지하기 위하여 계측기기를 설치하고 실시간 자동화 계측시스템을 통하여 관측하였다.

2005년 태풍의 내습으로 인하여 비탈면이 붕괴되면서 5차선(1차선 오르막 차선)도로 중 구룡포 방향의 3개 차로와 포항방향의 1개 차로가 토사로 차단되어 도로 차단 및 비상조치가 이루어졌다. 실제 비탈면의 붕괴 감지는 도로의 붕괴 직전인 2003년 거동에 따른 보강공사를 건의하였던 현장이다. 2005.9.3일부터 9.9일까지 7일간의 누적강우량은 320.0mm였으며, 붕괴일인 2005.9.6일 강우량은 265.0mm였다.(현장 설치 자동 강우량계 자료)

이는 태풍에 의한 당일 강우량에 영향을 받아 발생한 산사태로 판단된다. 특히, 최대 시간 강우강도가 매우 크게 나타나는 상황에서 산사태가 발생하여 강우강도가 산사태 발생에 중요한 인자로 작용되었음을 알 수 있다.

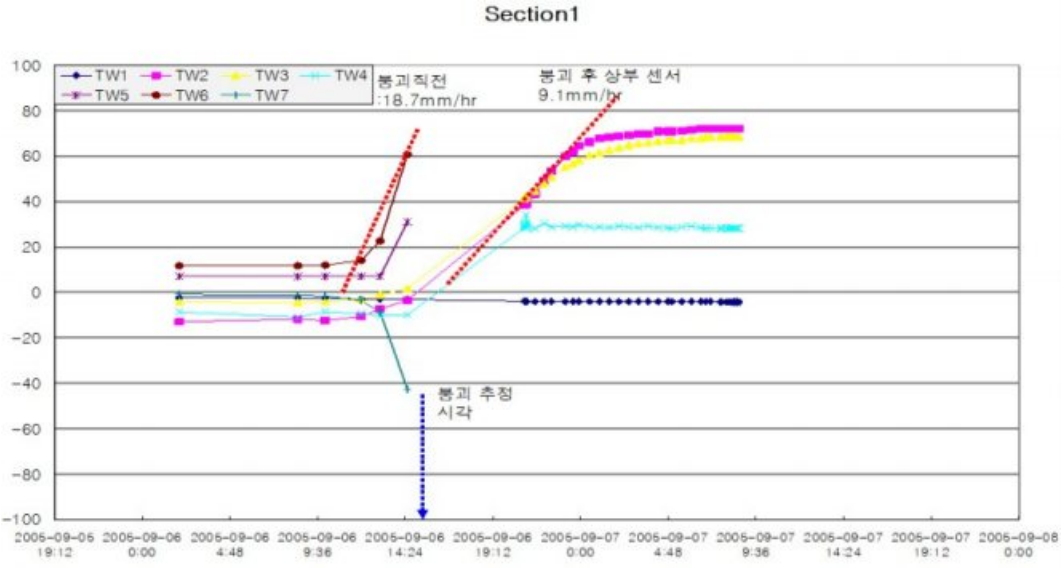


〈부도 2-8〉 비탈면 내 센서 설치도 및 하부 파괴선 추정보고서(2003)



〈부도 2-9〉 파괴 후 보고서 파괴면(2005)

2005년 9월 1일부터 파괴가 발생된 9월 5일까지의 변위속도 및 변위량은 다음과 같다.



〈부도 2-10〉 붕괴 시 관측된 변위 그래프

상기의 〈부도 2-10〉과 같이 2005.9.6. 14:00시 붕괴 발생 이전까지의 변위는 극히 미소하게 측정되고 있는 상황이다. 따라서 급작스런 붕괴로 진전되는 주원인은 강우로 판단되며, 붕괴 시의 변위량 이전에 비탈면의 거동 양상을 판단할 수 있는 자료로서 2004년 9월부터 2005년 9월까지의 연간 변위속도는 아래의 표와 같다.

〈부표 2-6〉 2004년 9월 ~ 2005년 9월(붕괴 전)까지의 연간 변위속도

구분	2005년 9월 5일(1년)	
	1단면(TW5+TW6 Sensor)	2단면(TW13 Sensor)
누적 변위량	19.09mm	10.9mm
누적 변위속도	10.09mm/y	10.9mm/y

상기의 내용과 도표에서 유추 가능한 것은 누적변위와 관계된 연간변위 속도에 따른 관리는 10.90mm/Y로 정리되었다. 실제 붕괴의 전조 현상으로 관측된 2005. 9. 6. 11:00의 시간당 변위 속도는 5.24mm/h이었다. 산사태 발생의 주원인 중 강우강도에 지배되는 산사태 예·경보의 관리기준 및 비탈면의 거동을 논할 수 있는 변위의 평균속도 및 붕괴속도는 아래의 표 9-34와 같다.

〈부표 2-7〉 2004.11.22.~2008.7월 현재까지 평균변위 속도

일자	2005년 9월 6일			
시간	11:00~12:00 (1hour)	~13:00 (2hour)	~14:00 (3hour)	~14:30 (3.5hour)
누적 변위량	5.24mm	13.39mm	32.33mm	82.75mm
누적 변위속도	5.24mm/h	6.70mm/h	10.78mm/h	23.64mm/h
연간 변위량	5.24mm	8.15mm	18.94mm	50.42mm
연간 변위속도	5.24mm/h	8.15mm/h	18.94mm/h	100.84mm/h

3) 3지역 : 영동지역(화천 상서면 부촌리 지구)

본 현장은 기반암을 붕적토가 두께 1~2.0m 정도로 피복하고 있고, 구간별 차별풍화가 진행되어 비탈면 내 소규모의 계곡부가 다수의 장소에 존재하고 있는 비탈면이다. 따라서 비탈면 변상의 규모가 크게 발생될 가능성이 다분하여 2004년 11월에 상시계측시스템을 설치하여 운용한 현장이었으며, 2007년 8월중 강우에 의하여 비탈면의 변상이 뚜렷이 감지되어 산사태 예보가 발령된 곳이다.

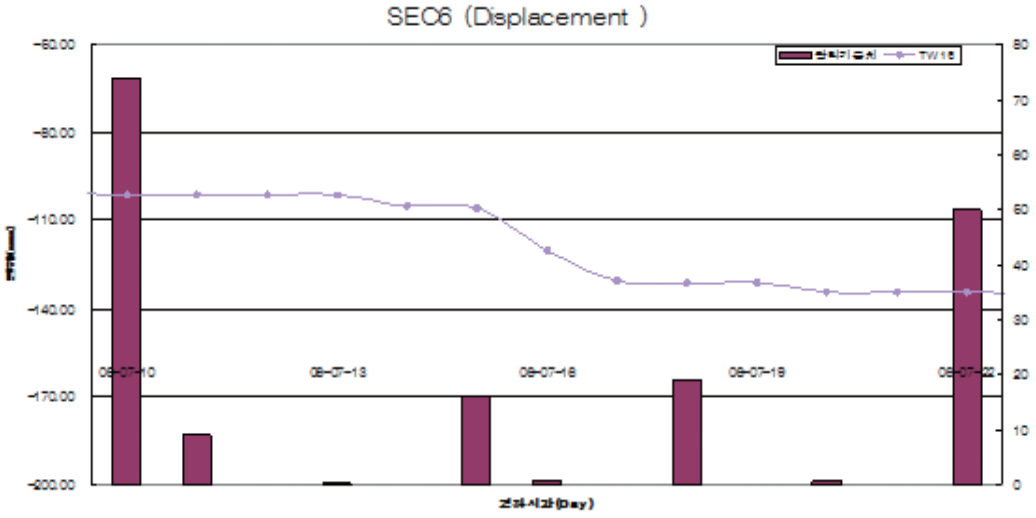
2007.8.1.~8.12까지 발생된 총 누적강우량은 371.5mm, 8월 8일 발생 강우 87.5mm, 8월 9일 발생 강우 96.5mm, 8.1~8.9까지 발생한 누적강우량은 313.5mm로 관측되었다. 비탈면 내 변상의 뚜렷한 변위의 관측은 2008.8.9. 발생되었으며, 최대 변위량은 218.0mm, 최소 변위량은 25.0mm가 관측되었다.

연평균 강우량이 타 지역과 비교하여 상대적으로 적은 영동지역의 강우와 산사태 붕괴의 특징은 주로 영남지역과 비슷한 시간강도와 상관관계가 있는 것으로 판단되며 누적강우와도 다소의 연관성이 있는 것으로 보여진다.

아래의 〈부표 2-8〉은 비탈면의 변위를 유발하는 유인(강우량)이 내포된 상황에서 발생된 변위량을 기준으로 강원도 화천 지역에서 제시될 수 있는 비탈면의 거동검지 연간 평균 변위속도를 유추한 것이다. 연간 평균 변위속도는 5.61mm/y이고, 일간 변위속도는 0.015mm/day로 정리되었다. 현재 비탈면이 붕괴되지 않아 변위발생부터 붕괴에 이르는 변위속도는 유추되지 않았다.

〈부표 2-8〉 2004.11.22.~2008.7월 현재까지 평균변위 속도

구분	2005년 11월 (1년)	2006년 11월 (2년)	2007년 11월 (3년)	2008년 7월 (3년 8개월)
누적 변위량	10.48mm	71.16mm	153.61mm	157.37mm
누적 변위속도	10.48mm/y	35.58mm/y	51.20mm/y	42.79mm/y
연간 변위량	10.48mm	60.68mm	82.45mm	3.76mm
연간 변위속도	10.48mm/y (0.029mm/day)	60.68mm/y (0.166mm/day)	82.45mm/y (0.226mm/day)	5.61mm/y (0.015mm/day)



〈부도 2-11〉 강우와 변위 이력 그래프

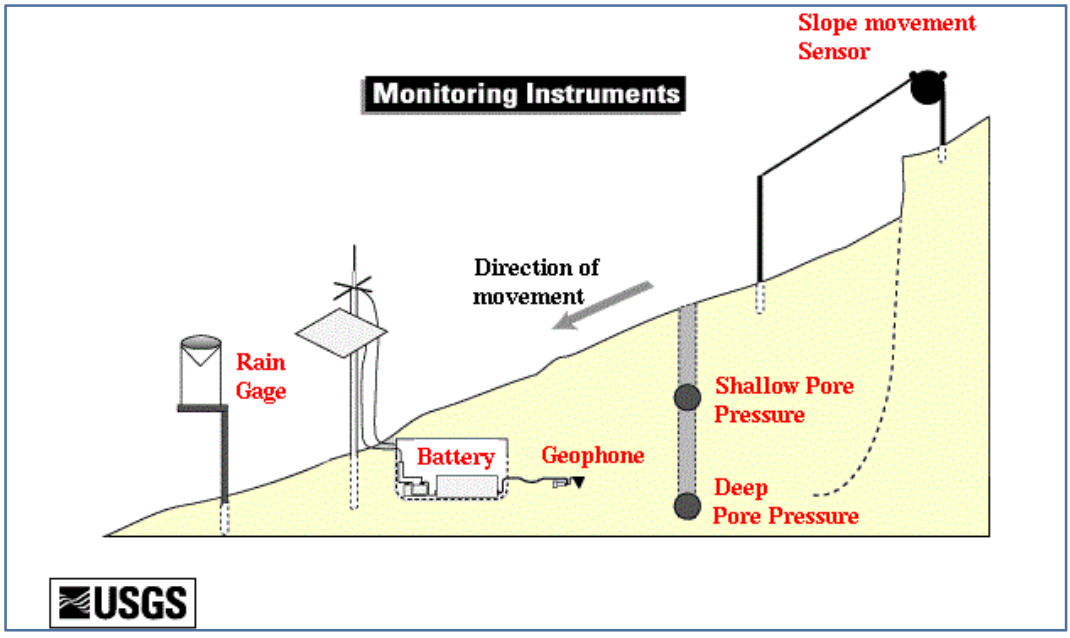
2.4 국외 사례

2.4.1 미국

미국의 급경사지 재해 모니터링은 민간영역에서 여러 기업들이 다양한 목적으로 진행하고 있다. 미국지질조사국에서는 민간회사가 모니터링 하는 것을 제한하지 못하도록 법에 규정되어 있으나, 미국 민간회사는 급경사지 재해 예·경보 시스템을 개발하는 공공기능에 대하여는 관심이 없다. 이에 따라 미국 지질조사국(USGS)이 법에 의하여 재해위험지역에 대한 모니터링을 실시하게 되며, 산사태 등에 대한 위험예보를 하여야 하는 책무를 지니고 있다. 그러나 미국 지질조사국에서는 대피경보를 발령하지 않으며 이는 오직 지방정부의 몫이다.

미국 지질조사국은 1999년부터 현재까지 급경사지 재해정보 네트워크 구축 프로그램 개발, 산사태 재해 프로그램 그리고 산사태 피해저감공법 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 캘리포니아 남부를 대상으로 한 연구사례와 같이 강우와 급경사지 재해의 관련성을 규명하고 관련 기준을 설정하기 위한 연구를 수행하는 등 급경사지 재해인자를 정의하기 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

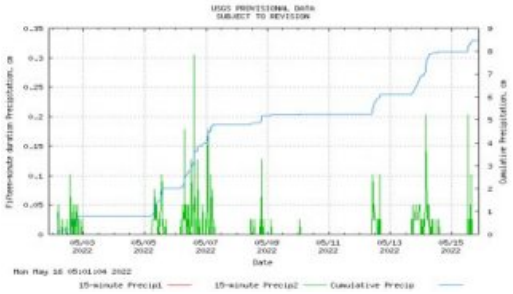
USGS는 급경사지 재해위험지역 감시 및 재해와 재해유발인자와의 관련성을 규명하기 위한 연구를 수행하기 위하여 급경사지 계측시스템을 운영한다. USGS가 급경사지 재해 연구를 위해 제시하고 있는 일반적인 급경사지 계측장비의 구성은 다음 그림과 같다. 비탈면의 움직임과 진동 측정, 표층과 심층의 간극수압 측정 및 강우량 측정에 필요한 장비들로 구성된 것을 확인할 수 있다.



〈부도 2-12〉 일반적인 연구목적의 급경사지 계측장비 구성

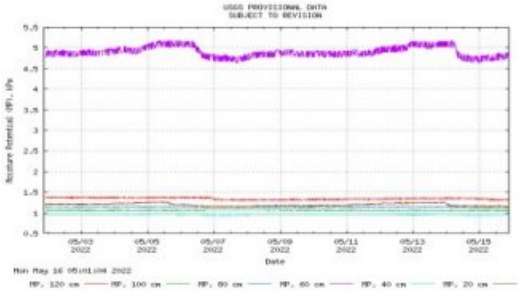
출처 : USGS

미국 오레곤주 포틀랜드시에 소재하고 있는 급경사지에는 USGS가 상시적으로 운영하는 급경사지 계측시스템이 설치되어 있다. 이 지역은 1996년에 발생한 대형 태풍과 호우로 인해 수백 건의 산사태가 유발된 급경사지 재해위험지역으로 급경사지 재해의 발생을 유발하는 수문학적 인자를 분석하기 위하여 상시계측시스템이 설치되었다. 현장에서 동작하고 있는 7개 종류의 센서들이 실시간 수집하는 데이터의 종류를 예시하면 다음과 같다.



강우량계

간극수압계(Tensiometer)

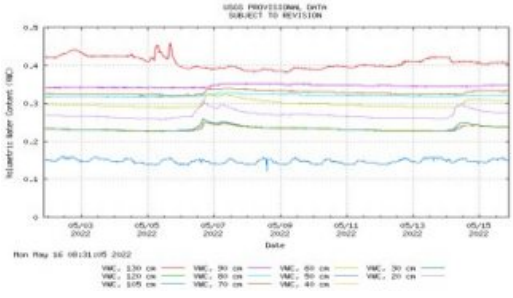


간극수압계(Water Potential Sensor)

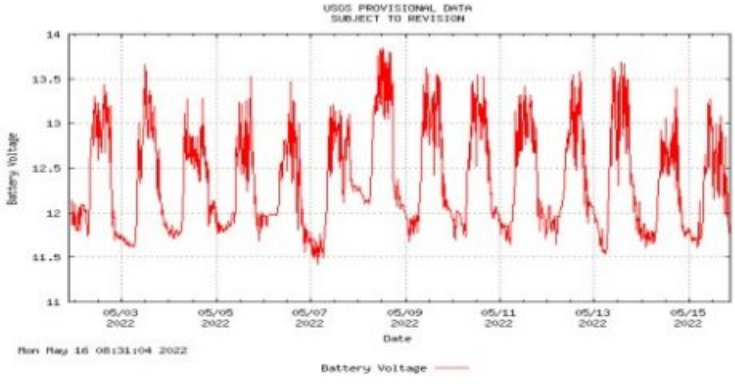
〈장비고장〉

간극수압계(Piezometer)

지중온도계



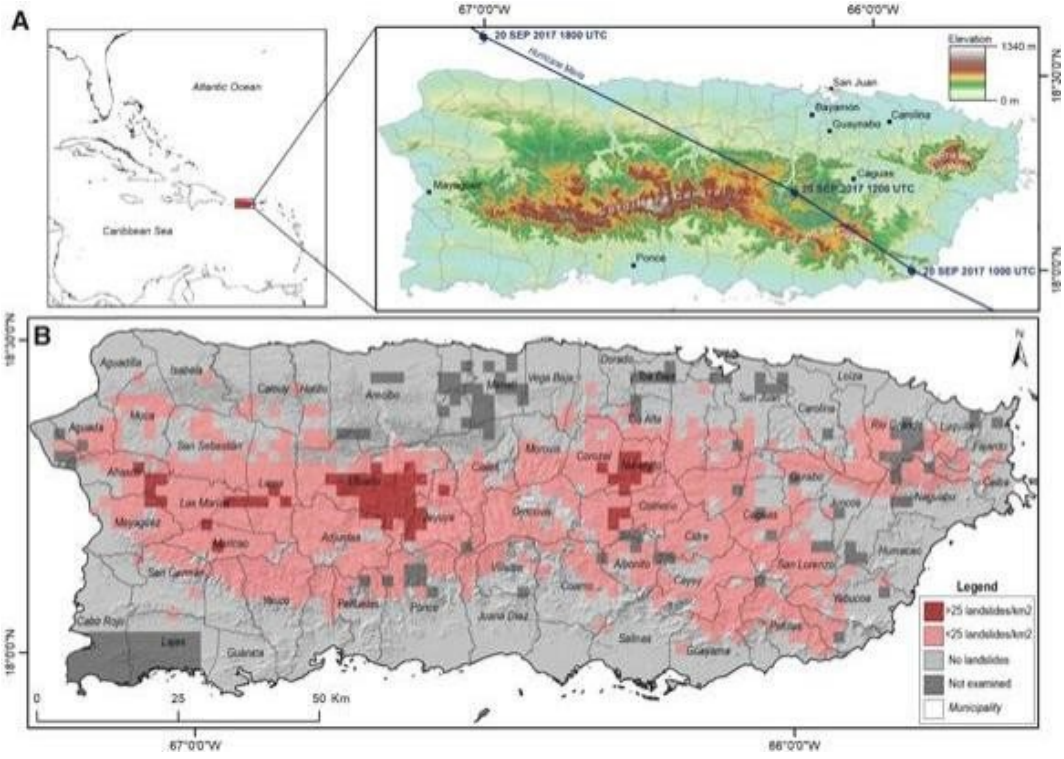
토양수분측정센서



배터리 전압

〈부도 2-13〉 USGS에서 운영하는 포틀랜드시 소재 급경사지 상시계측센서별 실시간 관측데이터

USGS는 다양한 공간정보를 탑재하고 있는 GIS와 기상관측정보 및 각종 재해인자를 연계하여 광역을 대상으로 한 급경사지 재해위험도를 분석하여 활용하기 위한 연구를 활발하게 진행하고 있다. 급경사지 재해의 원인이 되는 각종 자연현상별로 각기 다른 재해위험도를 지도화하여 제작하는 방안을 연구하고 있으며 다음 그림은 2017년 푸에르토리코에 상륙한 허리케인 마리아의 통과지역을 중심으로 급경사지 재해발생 위험도를 표출한 결과이다. 허리케인 마리아는 푸에르토리코 지역에 4만회 이상의 산사태를 발생시켰으며 허리케인으로 인한 급경사지 재해발생 연구의 중요한 사례라고 할 수 있다.



〈부도 2-14〉 (A) 허리케인 마리아(Maria)의 폭풍 경로를 보여주는 푸에르토리코의 지형도. (B) 위성영상과 항공사진 및 현장조사결과를 이용하여 신속하게 제작한, 허리케인 마리아(Maria)에 따른 산사태의 상대적 위험도 매핑 결과

출처 : USGS

2.4.2 일본

일본의 급경사지 재해 관리는 국토교통성이 총괄하는 “토사재해방지법(정식 명칭은 토사재해 경계구역 등에 있어서의 토사재해 방지대책의 추진에 관한 법률)”에 의해 관리된다. 토사재해 방지법은 토사재해로부터 국민의 생명을 보호하기 위하여 토사재해의 우려가 있는 구역에 대한 위험 식별, 경계 피난 태세의 정비, 주택 등의 신규 입지 억제, 기존 주택의 이전 촉진 등의 비구조적 대책을 추진하는 법률이다. 토사재해방지법의 주요 내용을 요약하여 정리하면 다음 그림과 같다.

〈부도 2-15〉 일본 토사재해방지법의 주요 내용

〈부도 2-16〉 토사재해의 종류와 토사재해 경계구역(노란색) 및 특별경계구역(붉은색)

일본의 급경사지 계측시스템은 급경사지 재해의 종류에 따라 센서의 종류와 센서 부착방법을 다르게 구성하는 것이 일반적이며 여러 민간 기업에서 관련 제품을 개발하여 사업화하고 있다. 대표적인 제품으로 사카타전기주식회사에서 제공하는 시스템을 보면 다음 그림과 같다.

〈부도 2-17〉 사카타전기(주)의 급경사지 재해 유형별 계측시스템

최근 들어 일본의 상용 계측시스템은 간단한 구조를 가지면서도 설치와 통신망 연계 등의 작업을 용이하게 하는 창의적인 제품들이 다수 출시된 것을 확인할 수 있다. 아래 그림은 비탈면 붕괴 시 설치된 제품에 발생하는 기울기 변화를 통해 위험을 감지하는 제품을 나타낸 것으로 센서들 사이에 무선연결을 지원하는 메시(mesh) 네트워크를 구성하여 현장에서의 통신공사를 간소화 시킬 수 있는 구조를 가지고 있다.

〈부도 2-18〉 경사측정 방식의 메시(mesh) 네트워크 기반 급경사지 계측시스템

〈부도 2-19〉 경사측정 방식의 발광형 급경사지 계측시스템

상기 그림에 정리한 제품은 말뚝형으로 현장에 설치는 급경사지 계측 장비로써 금경사지 붕괴를 나타내는 경사변화 발생 시 발광하도록 구성하여 현장에서의 시인성을 향상시킨 것을 확인할 수 있다.

이 외에도 국내와 유사하게 멀티 GNSS 기술을 이용하여 급경사지의 변화를 모니터링하는 다수의 제품들이 출시되고 있으며 이 외에도 광센서, 간급수압계, 지중경사계 등 매우 다양한 종류의 급경사지 계측센서들이 제품화되어 비탈면관리에 사용되고 있다.

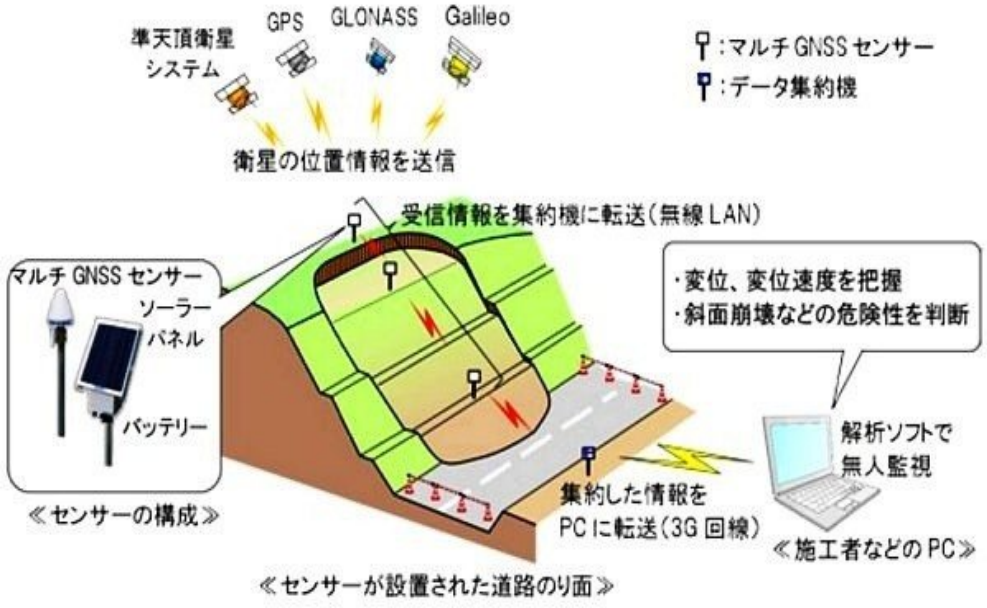


写真-1　土木計測専用GPSセンサー

写真-2　新機種センサー

〈부도 2-20〉 멀티 GNSS 기술을 이용한 급경사지 계측시스템

2.4.3 홍콩

1) 홍콩의 급경사지 재해위험과 정부의 노력

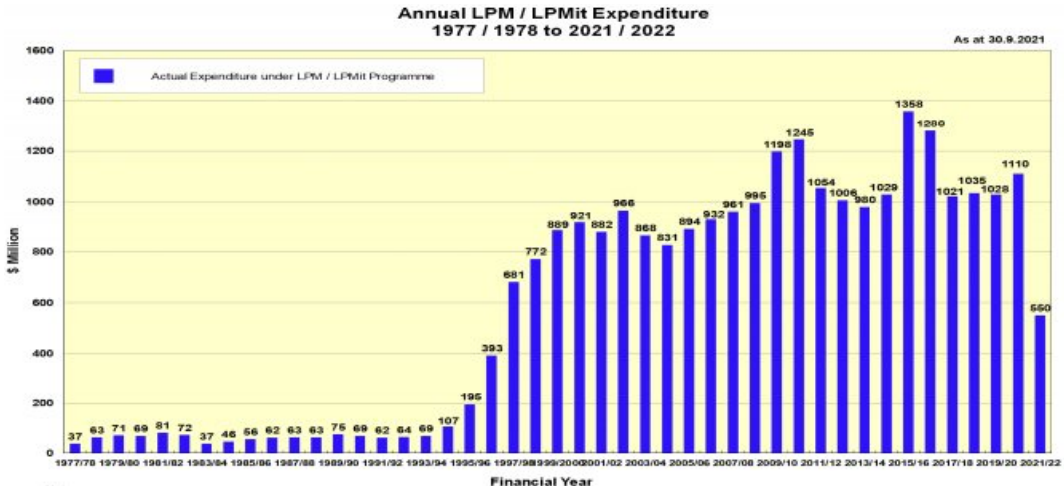
홍콩의 인구밀도는 제곱킬로미터 당 6,544명으로서 세계에서 인구밀도가 가장 높은 곳의 하나이다. 홍콩의 면적은 1,104㎢이고 그러한 영토의 60%는 언덕 지형으로 구성되어 있기 때문에 도시개발의 실질적인 부문이 급경사지(가파른 언덕)에서 이루어지고 있거나 급경사지 인근에서 전개되고 있다. 현재 홍콩 정부에 등록된 인공비탈면의 수가 6만 여개에 이르는 실정은 이러한 홍콩의 지리적인 특성을 잘 나타내고 있다.

홍콩에서 가장 빈번하게 발생하고 있는 재해는 폭우와 더불어 산사태이며, 연간 300건 이상의 산사태가 발생하고 있다.

홍콩은 1977년도에 토력공정부(Geotechnical Engineering Office)를 설립하였고, 홍콩 특별행정구역 정부(Hong Kong SAR Government)가 산사태 위기를 줄이는 기능을 총체적으로 수행하고 있다.

홍콩 정부의 공식발표에 의하면, 토력공정부 설립이후 인명피해는 2000년까지 50%, 2010년까지 25%를 줄인 것으로 집계되었다.

종합적인 비탈면안전체제(Slope Safety System) 프로그램이 지난 40년간 홍콩의 비탈면안전 표준을 향상시키기 위하여 다양한 활동을 전개하고 있으며, 매년 붕괴위험지역의 정비사업(년 250개소, 소요예산은 년 1,500억 : 10억불 : HK dollar)을 추진해오고 있다.



〈부도 2-21〉 홍콩 정비사업 예산 규모

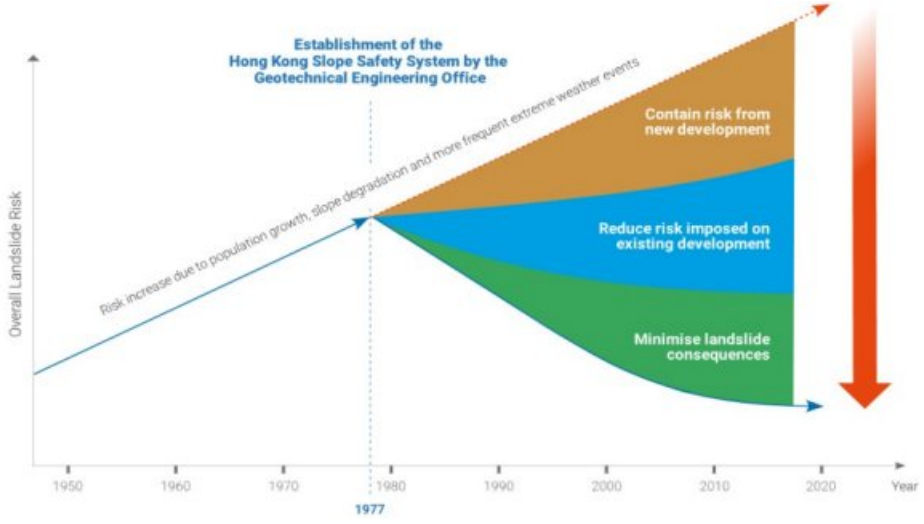
참조 : 홍콩은 제주도 보다 작은 지역

2) 40년간의 노력에 의한 급경사지 재해위험도 경감

토력공정부는 설립된 이후 급경사지 재해 문제의 해결을 위해 다양한 노력을 기울여 왔으며, 다방면의 전략으로 산사태의 잠재적 위험을 줄이기 위한 종합적인 급경사지 안전시스템을 개발해왔다. 홍콩의 급경사지 안전관리 시스템의 위험도 저감 전략은 다음의 세 가지 이다.

- 새로운 개발로 인한 위험을 억제
- 기존 개발에 부과되어 있는 위험을 경감
- 급경사지 재해로 인한 피해를 최소화

홍콩의 급경사지 재해위험도는 인구의 증가와 기상이변으로 인해 자연적으로는 점차 증가할 수밖에 없으나 홍콩정부는 상기한 세 가지 전략을 적용하여 점차적으로 경감시키는 것을 목표로 하고 있다.



〈부도 2-22〉 홍콩의 급경사지 위험 경감 전략과 목표

상기 전략과 목표를 달성하기 위하여 홍콩 정보는 전국적으로 분포된 120개의 강우량 관측 네트워크 기반의 급경사지 재해경보 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 실시간 강우량 정보와 향후 수 시간 동안의 강우량 예측 결과 및 급경사지의 공간적 분포를 활용하고 강우량과 급경사지 재해 간의 상관 모델을 적용하여 급경사지 재해위험도를 평가하여 경보발령 여부를 결정하는 체계를 구축하였다. 또한 급경사지 위험지수를 개발하고 급경사지 재해 주의보가 발효되었을 경우의 예방조치 행정을 수행하는 등의 재해경감·대비 활동을 수행함으로써 급경사지 재해위험을 조정하고 있다.

3) 급경사지 계측시스템 운영 사례

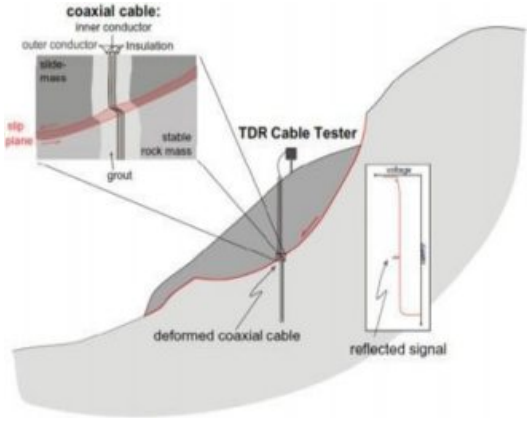
1 운영하는 계측기기의 종류

홍콩에서 급경사지 계측에 주로 사용하는 계측기는 다음과 같은 5개 종류로 구성되며 특이사항은 센서를 활용하여 대책공정의 수립을 위한 품질검사까지 수행한다는 점이다.(쏘일네일링 길이 및 그라우팅 품질검사)

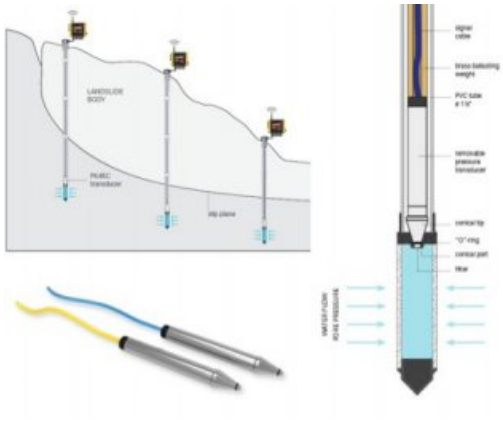
- 지표변위계(Surface Movements) : 주로 신축계 타입과 GNSS 사용
- 지중변위계(Sub-surface Movements) : 수평지중경사계와 TDR 사용
- 지하수위(Groundwater) 측정 : 다지점 간극수압계 사용
- 지반함수비(Soil Suction/Moisture Contents) : 표면 수분장력계 및 TDR 사용
- 강우측정(Rainfall) : 강우량계 사용

신축계 형식의 지표변위계

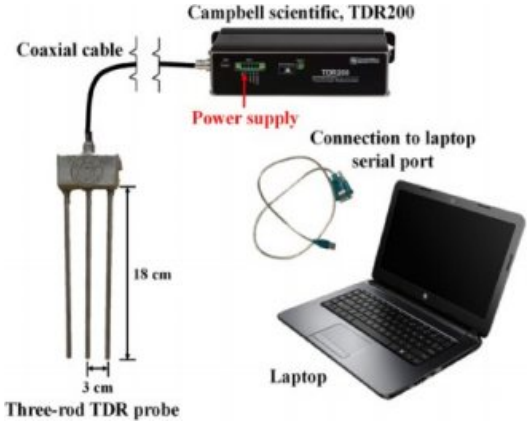
지표변위 측정용 GNSS 시스템



TDR 방식의 지중변위계



지하수위 측정



TDR 방식의 지반함수비 측정

강우량계

2 관제체계 및 통합정보시스템

홍콩의 경사면 관제는 새로운 경사면이나 기존 경사면에 대한 개선작업의 설계 지원을 위한 정보 취득 및 기존 경사지의 안정성 평가, 그리고 급경사지의 안정성 개선을 위한 특별 조치들의 효과를 평가하기 위해 수행된다. 관제체계는 지표면이나 토양 심부 혹은 지하수위면에 발생할 수 있는 진행성 거동의 관측에 적용될 수 있다. 또한 토양의 간급수압이나 암석 이음부의 수압 측정에도 적용될 수 있다. 경사면 관제는 수동 혹은 자동 방식으로 수행될 수 있으며 자동 관제 결과는 즉시 토력공정부로 전송된다.

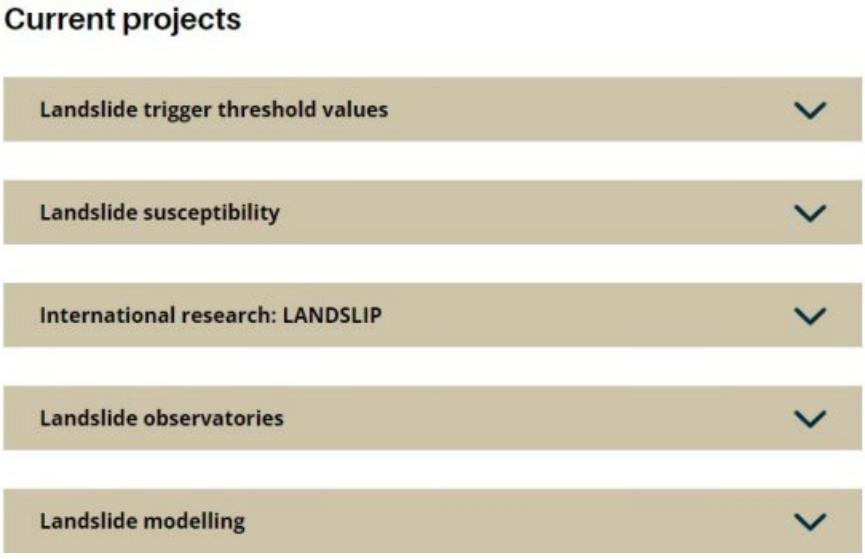
〈부도 2-23〉 홍콩 토력공정부의 급경사지 재난 관제실(출처 : BBC 뉴스)

큰 규모로 느리게 진행하는 산사태가 위험으로 작용하는 일부 해외 지역에서는 임박한 위험을 긴급하게 경고하기 위하여 관제체계가 사용될 수 있다. 하지만 홍콩의 대부분의 산사태는 매우 짧은 시간 내에 발생하거나 아무런 경고도 없이 발생하기 때문에 이러한 상황에서 경사면 모니터링은 상대적으로 효과적이지 않기 때문에 일부 특정 우려지역이나 비정상적인 상황에만 적용된다.

- 신규 경사면 또는 경사면 개선공사의 설계 지원 및 기존 경사면의 안정성 평가를 위한 관제 : 지하수 관제는 새로운 경사면이나 경사면 개선공사의 설계 및 기존 경사면의 안정성 평가에 매우 중요하다. 지하수 수위에 대한 정보를 얻기 위해 사용되는 일반적인 방법은 보어홀에 설치된 피에조미터를 사용하여 수동으로 측정하는 것이며 때때로 자동 기록 장치를 사용하여 일정 기간 동안의 수위 변화에 대한 전체적인 기록을 수집한다.
- 안정성 향상을 위한 특별대책의 실효성 평가를 위한 관제 : 경사면의 장기 안정성이 사전 응력 접지 앵커 혹은 수평 배수구와 같은 특수한 조치에 의존하는 경우 정기적인 과제가 필요할 수 있다. 급경사지를 대상으로 한 특수한 조치들은 적절하게 유지보수되지 않으면 시간이 지남에 따라 그 효과가 경감될 수 있기 때문에, 그 효과에 대한 정기적인 관제가 중요하다.
- 특정 우려지역 혹은 특이 상황 발생지역에 대한 관제 : 붕괴 직전의 경사면 상부나 인근에 산사태 위험의 시각적 징후가 가끔 발생할 수 있지만, 정부가 임박한 위험을 경고하기 위해 모든 경사면을 감시하는 것은 비현실적이고 비효율적이다. 하지만 일부 경사면이 과거에 심각한 변동 또는 지속적인 이동의 증거를 나타내어 위험 상황을 나타내는 되는 경우, 토력공정부나 경사지 소유자는 지표면의 거동이나 지하수 수위와 같은 중요 사항들을 관제할 수 있다.

2.4.4 영국

영국은 지진학적으로 안정되어 있고 활화산이 없는 등 비교적 자연재난으로 인한 피해가 적은 국가에 해당한다. 산사태의 경우 타 국가에 비해 심각하지는 않으나 1970년대 이후 증가하는 추세를 보이고 있으며 1980년대 중반부터 국가산사태 데이터베이스를 구축하여 활용하고 있다. 영국의 급경사지 재난에 대한 조사와 연구는 영국 지질조사국(BGS; British Geological Survey)이 주도하고 있으며 2022년을 기준으로 영국 지질조사국의 급경사지 재난분야 주요 연구 주제는 다음 그림과 같다.



〈부도 2-24〉 영국 지질조사국의 급경사지 재난분야 주요 연구 프로젝트

상기한 연구 프로젝트 분야들 중 급경사지 재해 관측소 부분을 보면 영국에서는 주로 해안침식과 관련된 해안 절벽의 붕괴 문제를 연구하고 있는 것을 확인할 수 있다. 영국 요크셔의 앨드브로에 위치한 관측소는 유럽에서 가장 빠르게 침식되는 해안선 지역을 관측하고 있으며 이 지역의 주요 지층 구조와 급경사지 붕괴 모델은 다음과 같다.

〈부도 2-25〉 영국 앨드브로시 해안지역의 지층구조와 급경사지 붕괴 모델

앨드브로 지역 해안의 급경사지 붕괴를 모델링하기 위하여 관측소가 수행하고 있는 조사와 모니터링 및 기타 연구수단의 종류를 나열하면 다음과 같다.

- geophysics(지구물리학적 모델링을 위한 PRIME 시스템)
- inclinometers(경사계 계측)
- piezometers(압전계 계측)
- terrestrial LiDAR scanning(지상 LiDAR 스캐닝)
- UAV photogrammetry(UAV를 이용한 사진측량)
- wave buoy data(파도 부표 데이터)
- weather station(기상 관측소)

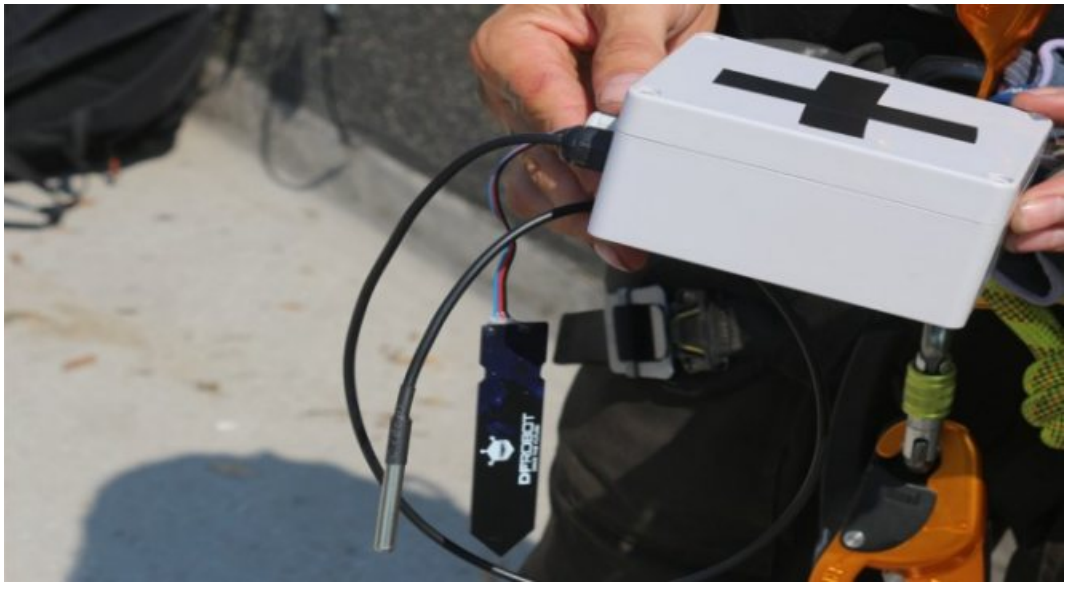
상기한 도구들 중 PRIME 시스템은 지질계측 결과를 바탕으로 지질공학적 구조물들의 위험도를 원격으로 모니터링하고 분석할 수 있는 시스템으로 의료 물리학에서 일반적으로 사용되는 진단 방법을 사용하여 인프라 토공 구조물의 내부 물리적 상태를 형상화할 수 있는 차세대 스마트 토공 기술의 결과물이라 할 수 있다.

〈부도 2-26〉 영국의 원격 토공구조물 위험도 모니터링 시스템인 PRIME 시스템

해안절벽에서 발생하는 급경사지 재해에 대처하기 위한 첨단 기술을 개발하기 위한 프로젝트도 수행되고 있다. 영국의 도싯(dorset) 주는 5G 기술을 활용하여 지역을 혁신하기 위한 프로젝트인 "5G RuralDorset"프로젝트를 수행하고 있으며 이 프로젝트에서 수행하는 5개 연구분야 중의 하나가 해안절벽 재해를 경감하는 연구이다.

〈부도 2-27〉 영국 도싯주의 5G 통신망 기반 지역 혁신 프로그램 중의 하나인 해안절벽 재해경감 연구

이번 연구는 5G 기반 IoT 통신, 엣지 컴퓨팅, 인공지능을 접목하여 급경사지 재해 모니터링 시스템을 개발하여 시험한다. 이 시스템은 지반 이동, 지하수 함량, 온도 등의 모니터링을 위한 센서 제품군을 갖춘 일련의 IoT 통신망 연계형 센서들로 구성될 것이다. 각 센서가 수집한 데이터는 빅데이터 분석과 머신러닝(machine learning)을 통해 분석·처리되어 급경사지 재해발생을 인지할 수 있는 인공지능 개발에 활용된다.

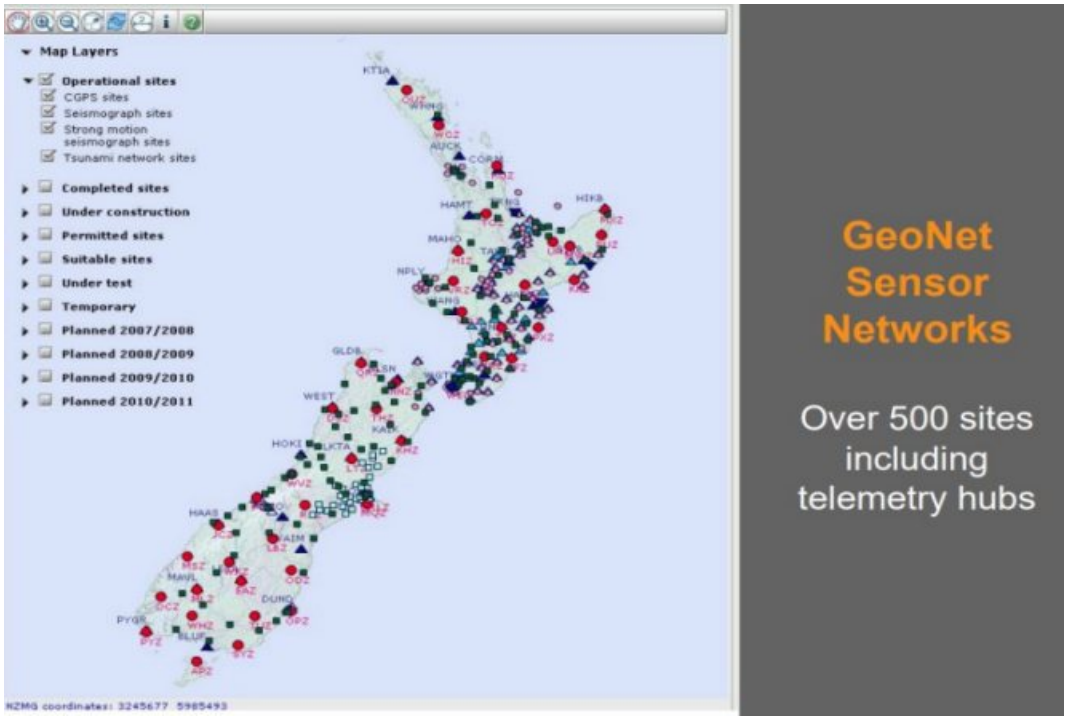


〈부도 2-28〉 영국 본머스대학 연구팀이 사용하는 토양 온도·습도 측정 센서

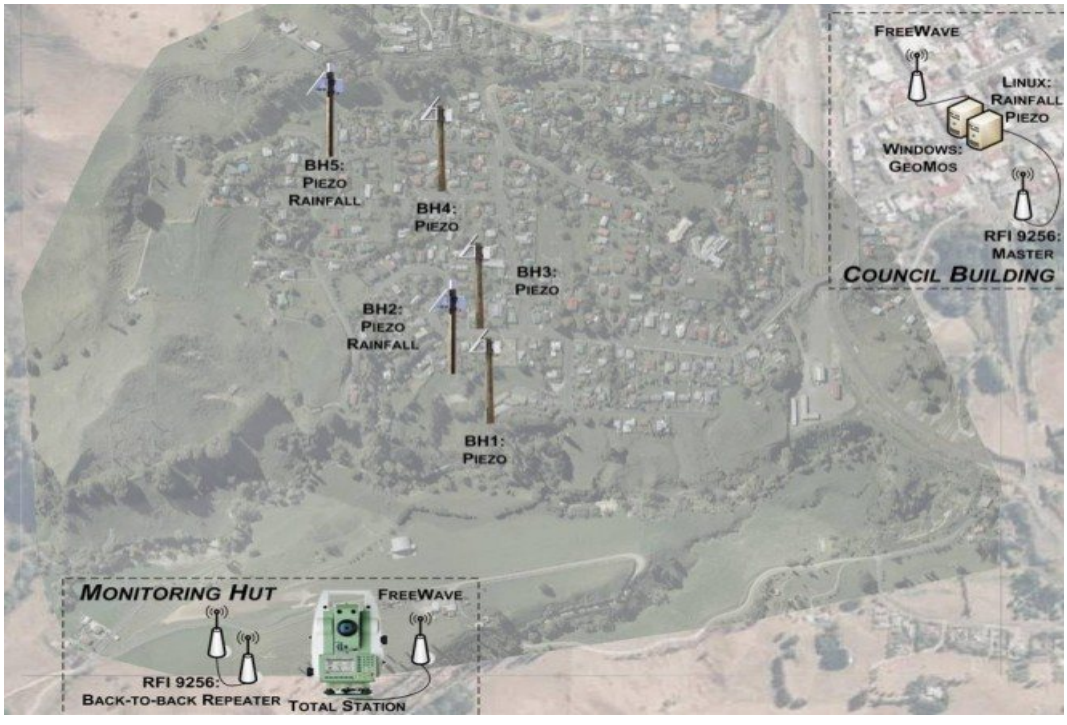
이번 학제간 작업에는 영국에서 통신망을 운영하는 보다폰(vodafone)과 5G 통신 산업주체, 본머스대학의 전문가, 영국 지질조사국 등이 협력체계를 운영한다. 본머스대학이 개발한 센서들이 수집한 다양한 계측데이터들은 보다폰의 유니버설 장치를 통해 전송되며 축적된 데이터는 영국 지질조사국 전문가가 해석한다.

2.4.5 뉴질랜드

GeoNet 프로젝트를 수행하여 산사태는 물론, 전체 재난에 대한 계측을 실시간으로 수행하고 있다. 국가 지반위험 모니터링 센터(NGMC, National Geohazards Monitoring Centre)는 2018년 12월부터 운영되어 GeoNET을 운영중이다. 국가 지반위험 모니터링 센터의 재난 대응 시 의사결정권자에게 즉각 정보를 제공한다. GNS Science가 지진위원회 및 토지 정보 뉴질랜드와 함께 수행한 수십 년간의 작업을 기반으로 하며 국가 비상사태 관리국의 지원을 통해 운영되고 있다.



〈부도 2-29〉 뉴질랜드 산사태 등 재난 계측체계 운용 지역



〈부도 2-30〉 계측기 네트워크 구성도

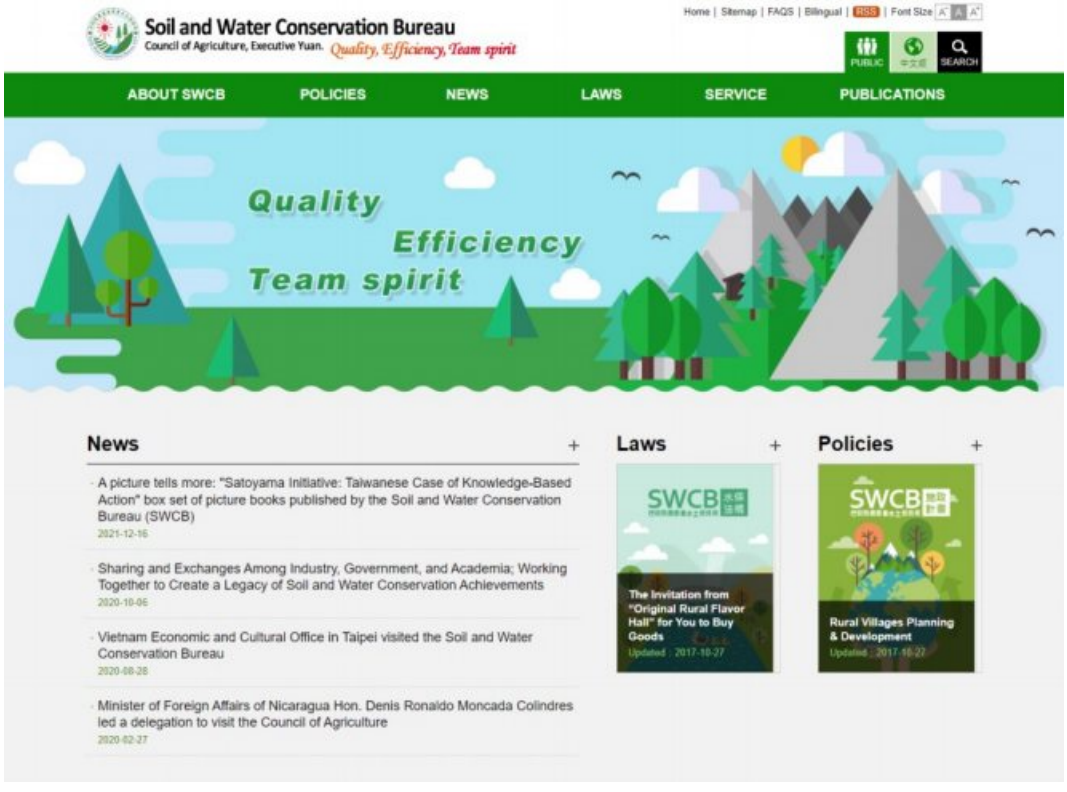
계측기기의 종류는 아래와 같으며, 지진계를 제외하고는 각국에서 사용하는 것과 동일하다.

- Surface movement rate - half hourly/hourly
- Rainfall - as/when it occurs
- River levels - as/when changes occur
- Groundwater - 5 minute intervals
- Ground shaking - as/when earthquakes occur

〈부도 2-31〉 지진가속도계, 토털스테이션, 전원공급장치, 영상계측, 강우량계

2.4.6 대만

대만의 토양 및 수자원 보전국(SWCB, Soil and Water Conservation Bureau)은 지속가능한 환경 조성을 위하여 토석류 재난대응 능력을 향상하기 위하여 재난보안 네트워크를 구축하고 경사지의 모니터링 및 관리를 수행하는 부서이다. 피해 대피를 위하여 모바일 기반의 긴급 대응 시스템을 운영하여 10분마다 강우모니터링을 통해 실시간 알람 체계를 갖추고 있다. 강우예측시스템(QPESUMS, Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors)과 연동하여 향후 강우예측을 통해 대피 시간을 확보하고 있다. 2004년부터 이동형 모니터링 스테이션을 운영하였으며, 2009년 고정형 모니터링 스테이션, 2010부터 그리드 스테이션(Grid station)을 운영하고 있다. 이후 무인항공기를 이용기를 접목하여 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 고정형 스테이션은 강우측정소, CCD 카메라, 수면 높이 측정, 케이블 센서, 진동계로 구성되어 있으며, 위성통신을 통해 플랫폼을 통하여 실시간 상황관제를 수행한다.



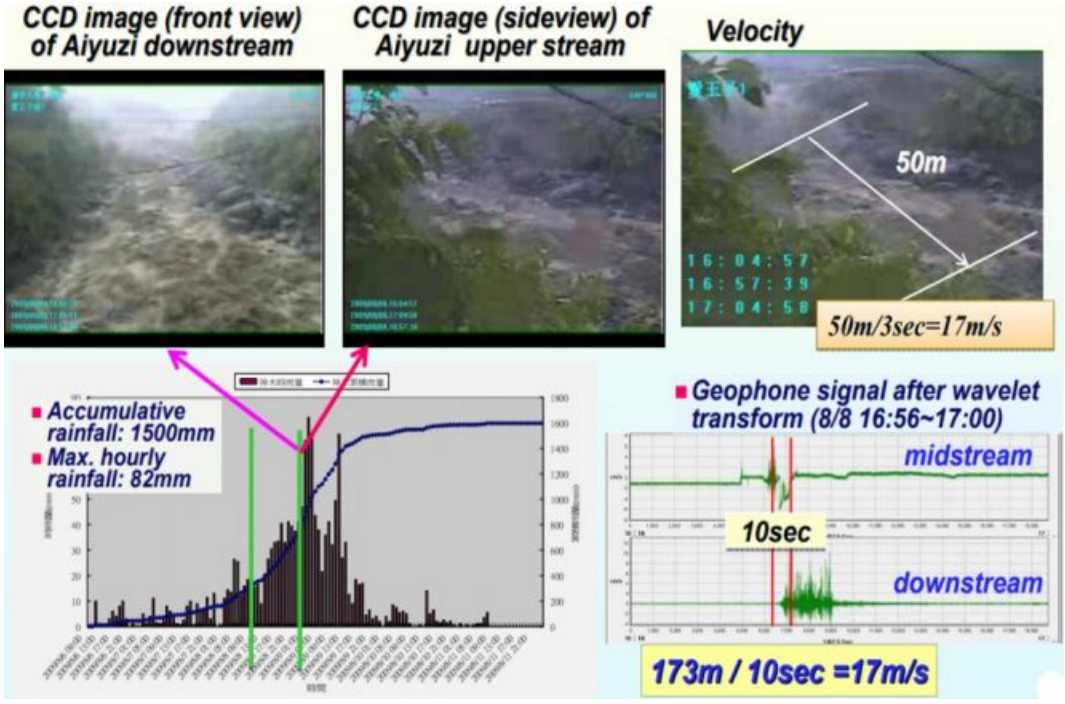
〈부도 2-32〉 대만의 토양 및 수자원 보전국

〈부도 2-33〉 토양 및 수자원 보전국의 실시간 대피 시스템

〈부도 2-34〉 대만 토양 및 수자원 보전국에서 운영한 이동형 스테이션 (since 2004)

〈부도 2-35〉 대만 토양 및 수자원 보전국에서 운영한 그리드 스테이션 (since 2010)

〈부도 2-36〉 대만 토양 및 수자원 보전국에서 운영하는 고정형 스테이션 (since 2009)

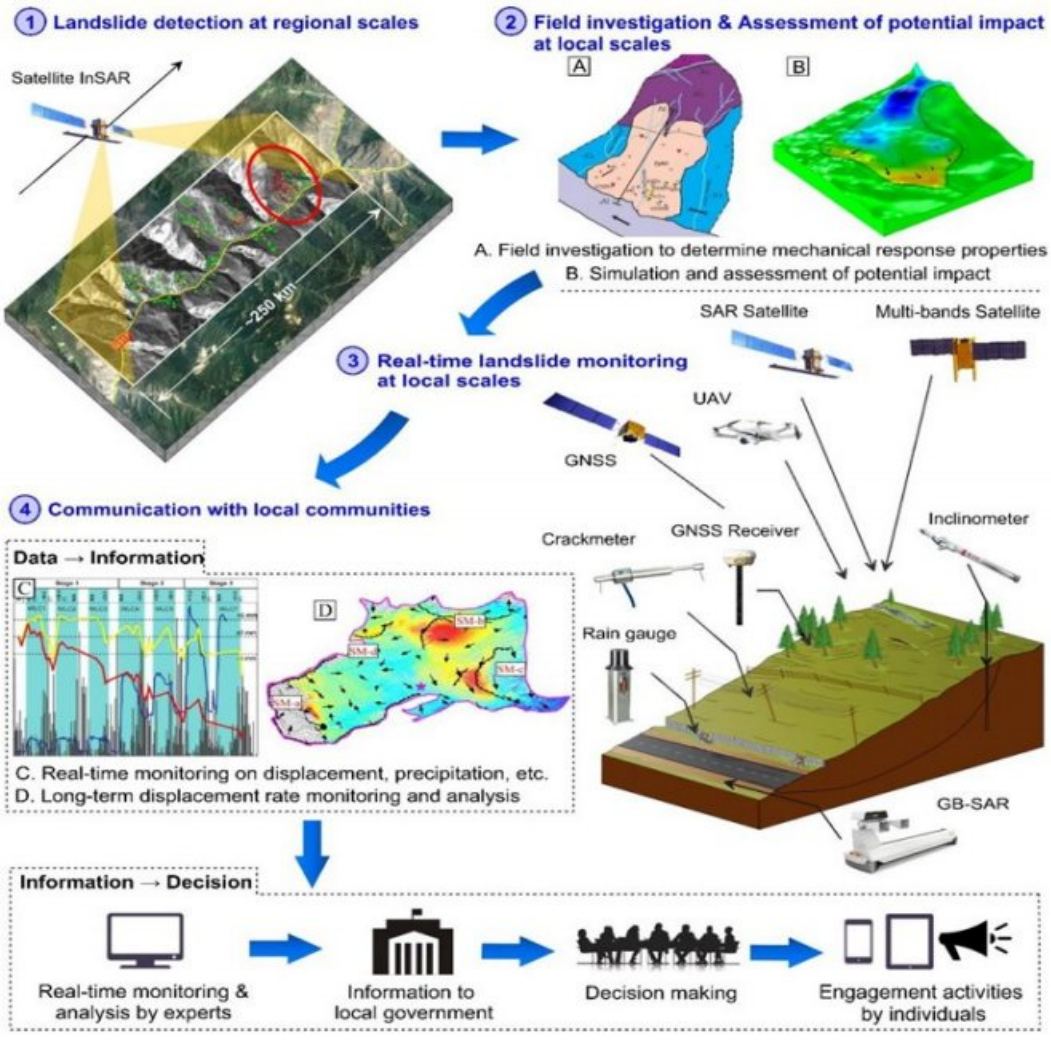


〈부도 2-37〉 Shenmu Station의 2009년 재난발생 중 CCD 카메라, 우량계, 진동측정기 실시간 분석 화면

〈부도 2-38〉 무인항공기를 통한 재난 정보 수집 및 분석

2.4.7 중국

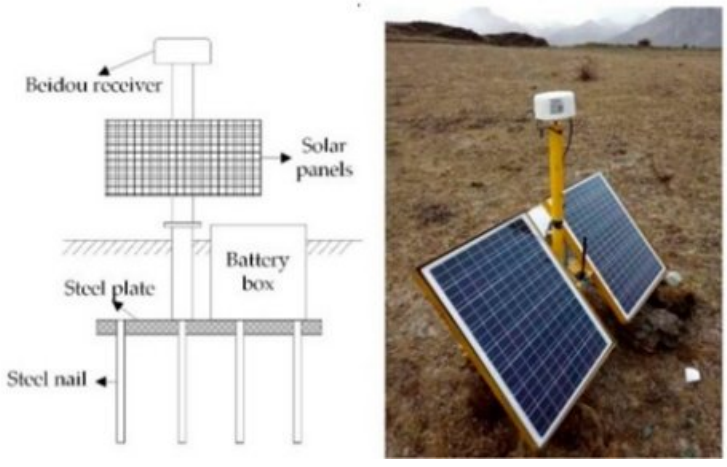
중국은 급경사지 재해위험이 가장 높은 국가 중의 하나이다. 1980년부터 2018년까지 치명적인 산사태 발생 횟수는 645회에 달하며 이로 인한 사망자는 34,174명에 달한다(CRED, 2019). 2017년 6월 말에 쓰촨성 마오시안현에 발생한 산사태의 경우도 최소 10명이 숨지고 73명이 실종되었으며 당시 중국과 영국의 과학자들로 구성된 연구진은 중국 전역에 적용할 수 있는 위성영상 정보 기반 급경사지 재해 조기경보시스템의 필요성을 제시하였다. 중국에 발생하는 급경사지 재해는 주로 호우나 지진이 원인이 되어 발생하며 다양한 형태의 계측 시스템과 조기경보시스템이 개발되고 있다.



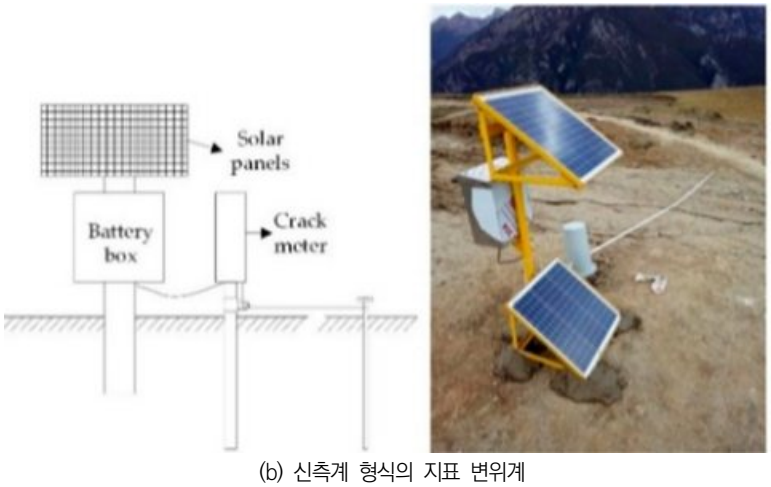
〈부도 2-39〉 청두대학 연구진이 제시한 지구관측정보 중심의 조기경보체계 구현

중국 청두대학(Chengdu University)의 연구진은 상기 그림에 예시한 바와 같이 광범위한 영역을 대상으로 촬영한 위성정보를 기반으로 급경사지 재해위험지역을 검출하여 현장 조사를 통해 위험도를 확인한 이후 계측시스템 기반의 조기경보체계를 구축하는 것의 필요성을 제시하고 있다. 중국 대륙의 광활한 면적과 호우나 지진이 발생한 지역에서 산사태들이 수일에 걸쳐서 연속적으로 발생하는 특성을 감안한다면 위성영상을 이용하여 1차적으로 급경사지 재해 발생지역을 검출하는 방안이 필요함을 알 수 있다.

중국에서 재해발생 위험이 높은 급경사지에 설치하여 운영하는 계측시스템의 종류는 매우 다양하다. 다음 그림은 티벳 지역의 급경사지에 설치된 지표변위계의 설치·운영 사례이다.



(a) GNSS 기반의 지표 변위계

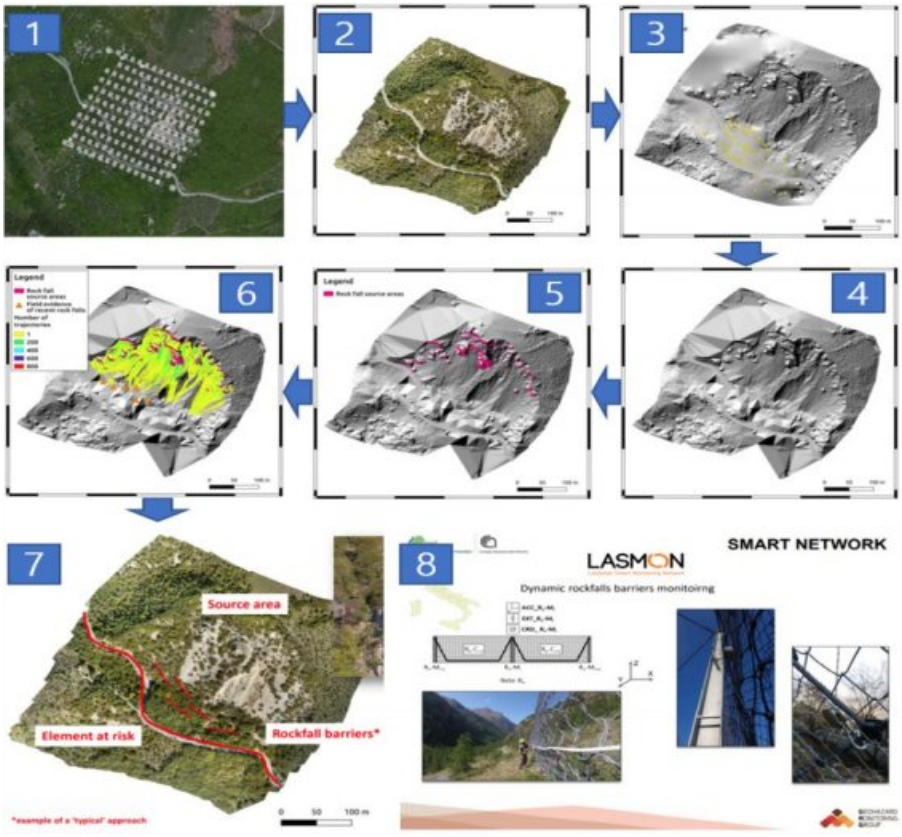


(b) 신측계 형식의 지표 변위계

〈부도 2-40〉 중국 티벳 지역의 급경사지 계측에 사용된 장치들

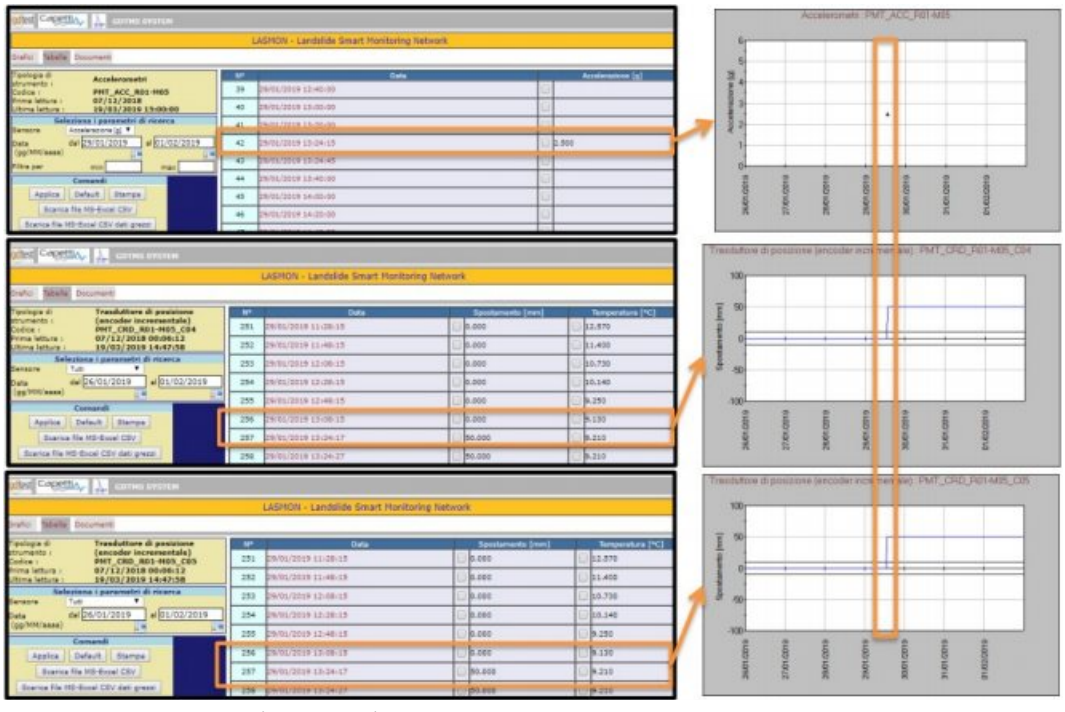
2.4.8 이탈리아

2021년 이탈리아의 IRPI(investigative reporting project Italy)에서 주최한 산사태 모니터링 시스템에 관한 워크숍에 이탈리아의 지반위험 모니터링 그룹(geohazard monitoring group)은 낙석이 발생하기 쉬운 지역에 대한 혁신적인 특성을 가진 모니터링 솔루션을 제안하였다. 발생을 예측하기 어려운 곳을 모니터링 하는 것도 중요하지만 낙석 발생이 빈번하게 이루어지는 지역의 사고 규모, 볼륨에 대한 예측의 중요성은 언급하였다. 또한 리스크관리 관점에서 계측을 수행하기 전 평가가 이루어져야 함을 언급하며 방법을 제시하고 있다. 카메라를 통한 샘플링이후 정사영상 획득, DTM구축, GPS-RTK 조사를 오차 해결, 수치해석, 낙석발생 지역 인식, 잠재적 낙석 발생지역 수치해석, 수치해석 결과에 따른 스마트 네트워크(낙석방지책 및 감지센서) 구축의 단계로 이루어진다. 최근 UAV는 초고해상도의 디지털 모델을 생성하는 강력한 시스템으로 인지하고 있으며, 정확한 조사가 필요한 위험한 지역에 접근이 가능하게 하기에 아래 사진에서 제시한 방법을 훌륭한 해결책으로 제안하고 있다.



〈부도 2-41〉 이탈리아 지반위험 모니터링 그룹이 제안한 스마트 네트워크 계측 방법

〈부도 2-42〉 이탈리아 지반위험 모니터링 그룹이 설치한 스마트 네트워크



〈부도 2-43〉 스마트 네트워크를 통한 낙석 감지 시스템

2.5 국내 계측기기 시장조사

2.5.1 주요 계측센서 현황

현재 국내에서 급경사지 계측관리에 활용되는 센서는 약 12종류의 센서가 있고, 계측방식을 고려할 경우 40종류 이상이 있다. 유무선 방식까지 고려할 경우 60종류 이상의 계측방식이 존재한다. 국내 시장에서는 모든 종류의 센서가 이용되고 있으나, 1개 현장에 활용되는 센서는 1종류~5종류 정도의 센서가 이용되고 있다.

급경사지 계측 및 지반계측에 가장 보편적으로 활용되는 센서는 지표변위계, 지중변위계 및 지중경사계, 지하수위계, 크랙센서, 신축계, 강우량계, 하중계 및 응력계 등으로 판단된다. 진동센서의 경우 급경사지 자체의 안정성 계측에 활용되기 보다는 인접구조물의 안정성을 판단하기 위하여 주로 사용되고 있다.

1) 계측기기별 시장조사 현황

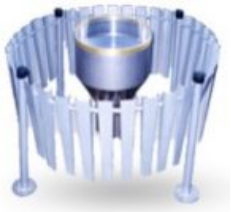
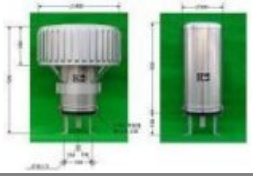
급경사지 상시계측관리에 활용되는 대표적인 센서인 강우량계, 지표변위계, 지표균열측정기, 지중경사계, 구조물 경사계, 간극수압계, 함수비센서, GPS 등에 대하여 제품 모델, 측정방식, 측정범위, 분해능 및 정확도 등에 관하여 조사하여 정리하였으며, 조사한 계측기기는 아래와 같다.

최근 시장동향은 기존의 아날로그 센서에서 디지털 센서로 전환중이고, 건설현장에서는 다른 산업의 계측과는 달리 진동형식의 센서가 많이 이용되고 있는 것으로 조사되었다.

2) 강우량계

기상청 고시에서는 강우량계의 측정범위를 시간당 700mm 수준으로 요구하고 있으나, 국내 기후를 고려할 때 시간당 500mm 정도로 한정하는 것이 적당한 것으로 판단되고, 시장조사 결과 시간당 강우량이 성능을 만족시키는 것으로 조사되었다.

강우량계의 분해능은 기상청의 고시 요구수준인 0.5mm를 대부분 만족하고, 정확도는 0.5% FS 이하 정도로 요구되며, 이는 시간당 100mm의 강우 시 0.5mm 정도의 오차가 발생하는 것으로, 급경사지 계측 시 충분한 정확도로 판단된다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
강우량 감지기 (JY100097-2)		Tipping Bucket	∞	0.1mm	1% FS	
우량 감지기 (JY100097-2A)		Tipping Bucket	∞	0.5mm	1% FS	
강우량계		Tipping Bucket	∞	0.5mm (at 380mm/h)	1% FS	
강우량계		Tipping Bucket	∞	0.5mm	1% FS (100mm/h)	정확도의 기상청 검정기준은 ±3%임

3) 지표변위계

비탈면에서 발생하는 지표변위의 경우 1,000mm~2,000mm 정도의 변위가 발생하여도 파괴되지 않는 경우가 발생하므로 지표변위계의 경우 1,000mm~2,000mm의 측정범위가 요구된다.

지표변위계의 경우 토사비탈면과 암반비탈면에 따라 지반변위가 달라지므로 비탈면의 특성에 따라 계측기기를 적절하게 선택하여야 한다.

암반비탈면의 경우 10mm 이내의 변위가 발생하여도 붕괴가 발생할 수 있으므로 측정범위 보다는 분해능이 중요하며, 토사비탈면의 경우 1,000mm~2,000mm의 변위가 발생하는 경우가 있으므로 분해능 보다는 측정범위 및 변위 발생 속도가 중요하다.

토사비탈면의 경우 1,000mm 이상의 측정범위가 필요하고, 암반비탈면의 경우 측정범위는 작아도 되나 분해능은 최소 1mm 이하의 분해능이 필요하다.

대부분의 지표변위계는 2,000mm 까지 측정할 수 있고, 분해능은 1mm 이하까지 측정이 가능해야 하므로 0.05% FS 이하로 정의하는 것이 합리적이다.

토사비탈면의 지표변위계에 대한 정확도는 0.5% FS 이하로 정하는 것이 합리적이다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
광섬유 비탈면 수평, 수직변위계		광섬유 센서	0~1000mm 이상	0.1% FS	1% FS	
신축계		전기식	0~200mm	-	-	
신축계		전기식	0~300mm	0.03%F.S.	0.21%F.S	와이어
와이어변위계		전기식	0~2000	-	-	
와이어식 변위 계측 센서		전기식	0~1000mm	Essentially infinite	-	
TRS센서		전기식	0~200mm	-	-	
TTW센서		진동현식	-	-	-	

4) 지표균열측정기

지표균열측정기의 원리는 지표변위계와 동일하나, 토사비탈면 보다는 암반이나 콘크리트 옹벽의 균열의 진전을 계측하는데 이용되므로, 지표변위계보다 측정범위가 작다.

암반비탈면의 경우 10mm 이내의 변위가 발생하여도 붕괴가 발생할 수 있으므로 측정범위 보다는 분해능이 중요하며, 대부분의 균열 크기는 50mm 이내이고, 50mm 이상의 경우 균열 진전에 대한 계측은 의미가 없는 것으로 판단된다.

지표균열측정기는 0.1mm 이하의 균열계측이 필요하므로 분해능이 우수하여야 하며, 분해능은 0.05% FS 이하이어야 한다.

정확도는 측정값의 평균이 1.0% FS 이하이어야 하며, 시장조사 결과 대부분 위 기준을 만족하는 것으로 판단된다.

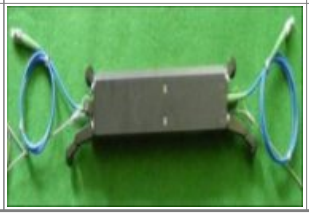
제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
진동현식 균열 측정계		진동현식	0~50mm	0.01mm (0.025% FSR)	0.5% FS	
전기식 균열 측정계		전기식	0~300mm	0.01mm	0.1% FS	
진동현식 균열계		진동현식	0~40mm 0~50mm 0~100mm	0.01mm 0.01mm 0.02mm	0.5% FS	
진동현식 균열계		진동현식	0~60mm	0.015mm	0.025% FS	
전기저항식 균열계		전기식	0~60mm	0.03mm	0.25% FS	

5) 지중경사계

지중경사계의 가장 중요한 요소는 측정범위인 각도와 분해능이다. 시장조사 결과 대부분의 센서가 10°내외의 측정범위를 제공하고 있고, 분해능은 10arcsecond(10초)로 1/360 ≒ 0.003° 정도에 해당된다. 따라서 분해능은 0.05°이내는 충분히 만족시키는 것으로 분석된다.

시장조사에서 통용되고 있는 것과는 달리 '계측기기 성능검사 기준에 관한 규정'에서는 측정범위가 ±30°이내로 규정하고 있으므로 분해능은 0.5% FS 이하, 지중경사계의 정확도는 측정값의 평균이 3.0% FS 이하로 제한을 두어야 한다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
지중경사계		전기식	0~10°	10 arcseconds	3% FS	2축
지중경사계		전기식	0~10°	18 arcsecond	-	2축
지중경사계		전기식	0~10°	18 arcsecond	3% FS	
지중경사계		전기식	0~10°	7.2 arcseconds	-	-
지중경사계		진동현식	0~5° 0~10°	5arc seconds 10arc seconds	0.1% FS	

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
지중경사계		전기식	0~10°	0.9 arcsecond	-	
광섬유 지중 경사계		광섬유 센서	0~10°	7.2 arcseconds	-	-

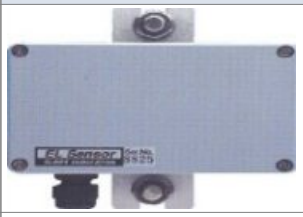
6) 구조물·지표경사계

구조물경사계와 지중경사계는 동일한 계측원리이나, 지중경사계의 경우 여러 개의 경사계를 배열(array) 형태로 제작된 점이 다르고 구조물경사계의 경우 지중경사계보다 측정범위는 작아도 되나 분해능은 높아야 한다.

시장조사 결과 대부분의 센서가 10°내외의 측정범위를 제공하고 있고, 분해능도 1arcsecond (1초)로 1/3600 ≒ 0.0003°정도에 해당하며, 분해능은 0.1% FS 이하로 정할 경우 충분한 성능을 가질 수 있다.

정확도는 측정값의 평균이 1.0% FS 이하로 제한을 두는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
경사계		전기식	0~10°	0.9 arcsecond	-	
경사계		전기식	0~10°	0.9 arcsecond	-	

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
경사계		전기식	0~0.6°	-	-	고정밀 구조물 부착형
경사계		전기식	0~10°	0.9 arcsecond	-	
경사계		전기식	1~70°	-	-	
경사계		전기식	1~5°	-	0.5% FS	
경사계		전기식	±10°	0.1%F.S.	0.9%F.S.	
FBG 경사계		광섬유 격자 센서	0~15°	11 arcsecond	0.2 FS	
FBG 경사계		광섬유 격자 센서	0~3° 0~10°	-	-	

7) 간극수압계

간극수압계의 경우 수압과 관련이 있으므로 급경사지에 발생할 수 있는 과잉간극수압의 범위와 관련이 있다.

급경사지의 경우 반드시 주변의 수압과 일치하지 않을 수 있고, 집중호우 시 과잉 간극수압이나 피압을 받는 피압대 수압이 있을 수 있으므로 적당한 측정범위를 확보하여야 한다.

시장조사 결과 대부분의 센서가 700kPa(약 7기압) 정도까지는 충분히 측정할 수 있고, 이는 수심으로 환산할 경우 약 70m 정도의 수압에 해당된다.

급경사지 특성상 그 이상의 수압을 받는 경우는 극히 드문 것으로 판단되며, 분해능은 Full Scale의 크기를 고려하여 0.1% FS 이하로 정하는 것이 합리적이다.

정확도는 급경사지 계측에 활용되는 것으로 고려하면 측정값의 평균이 0.5% FS 이하로 제한을 두는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정 범위	분해능	정확도	비고
초정밀 간극수압 측정용 센서		전기식	30Kpa 50Kpa	-	0.1% FS	
진동형식 간극 수압계		진동형식	690Kpa	0.025% FS	0.1% FS	
SPP series		전기저항식	200~2000 kg/cm^2	-	-	
LPP series		전기저항식	100Kpa	0.3% FS	0.1 FS	

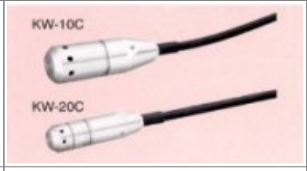
제품명	제품외형	측정 Type	측정 범위	분해능	정확도	비고
VPM series		진동현식	350Kpa 490Kpa 690Kpa 980Kpa	0.025% FS	0.1 FS	
진동현식 표준형 간극 수압계		진동현식	350Kpa 700Kpa 1700Kpa 3500Kpa	0.025% FS	0.1% FS (350Kpa, 700Kpa) 0.3% FSR (1700Kpa, 3500Kpa)	
진동형식 압입형 간극 수압계		진동현식	350Kpa 700Kpa 1700Kpa 3500Kpa	0.025% FS	0.1% FS (350Kpa, 700Kpa) 0.3% FS (1700Kpa, 3500Kpa)	
SJ-4500		진동현식	350Kpa	0.025% FS	0.1% FS	
광섬유 센서		광섬유 센서	1034Kpa	0.02% FS	0.2% FS	

8) 지하수위계

지하수위계는 간극수압계와 비슷한 역할을 하나, 수압이 아닌 지하수면의 위치를 확인할 수 있는 점이 다르다.

일반적으로 건설현장에서 150m의 범위를 기준으로 두고 있는 점을 참고하여 측정범위를 150m로 정하는 것이 합리적이고, 수위는 대부분 1cm 단위까지 측정하므로 분해능은 1cm 정도로 정하는 것이 합리적이다.

정확도는 급경사지 계측특성을 고려하여 0.5% FS 이하로 제한을 두는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

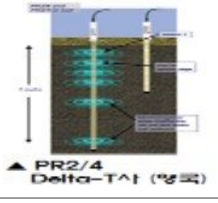
제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
지하수위계		전기식	KW10C : 0~10m KW10C : 0~20m	-	-	
지하수위계		전기식	0~9m 0~30m 0~76m	-	-	
지하수위계		전기식	0~10m 0~20m 0~30m 0~50m 0~100m 0~200m	-	-	

9) 함수비센서

함수비센서는 토양의 수분 함량을 측정하는 센서로서 주문진 표준사로 시험을 했을 경우 37% 이상 함수비를 포함하는 경우가 불가능한 것으로 조사되었다. 따라서 함수비의 경우 측정범위를 40% 이내로 정하는 것이 합리적이다.

일부 점토지반에서는 40% 이상 함수비를 포함할 수 있으나, 급경사지 특성상 점토지반이 없는 점을 고려하고 시장조사 결과를 반영하여 40%로 한정하는 것이 합리적이다.

분해능은 0.5% 이하이면 충분한 것으로 판단되며, 함수비센서의 특성상 정확한 계측이 불가능하므로 정확도는 3.0% FS 이하로 제한을 두는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
함수비센서		전기식	0~100%	-	3%	경사 및 온도 겸용
함수비센서		전기식	0~60%	-	3%	
함수비센서		전기식	0~99.9%	-	1%	온도겸용
함수비센서		전기식	8~42%	10%	-	
함수비센서		전기식	-	0.025%	-	
함수비센서		전기식	7~40%	0.1%	4%	
함수비센서		고주파 정전식	0~40%	1%	6%	

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
함수비센서		전기식	0~40%	0.1	2%	다측점 센서
함수비센서		전기식	0~100%	-	±3%F.S.	

10) GNSS 수신기

GNSS 수신기의 경우 센서의 특성상 측정범위를 한정지을 수 없고, 분해능과 정확도의 경우 국토지리정보원의 고시에서 정한 성능검사 기준을 따르는 것이 합리적이다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
GPS 측량시스템		L1	-		5mm~2cm	GPS
GPS		RTK	-	-	수평 5mm 수직 10mm	GNSS
GPS		RTK	-	-	수평 10mm 수직 20mm	GNSS
GPS		RTK	-	-	수평:8.0mm 수직:15mm	GNSS

11) 진동센서

진동을 측정할 때 사용하게 되는 가속도센서(Accelerometer)는 측정방향이 정해져 있으므로 측정할 때 원하는 방향으로 센서를 배치하여 측정하여야 한다. 상향인지 하향인지는 크게 중요하지 않다. 진동은 반복하고 상대적인 움직임을 알기 위한다면 동시에 측정하는 2개 이상의 센서를 이용해야 하기 때문이다. 이때 위상(phase)의 개념이 추가로 요구될 뿐이다. 그러나 단축진동센서(single axis)에 비해서 3축 진동센서(triaxial)는 말 그대로 3축의 진동크기를 동시에 측정할 수 있는 능력을 가진 센서를 의미한다. 측정이 용이하고 빠른 시간에 모든 방향의 진동을 파악할 수 있을 것이다.

반면에 3축 진동가속도센서는 우선 단축센서의 3개를 모두 합친 가격보다 최소 2배 이상 높고 단축센서의 평균 고장확률기간(MTBF)의 제조사 권장 3년에 비해 3축의 경우 1년으로 단축되어 권장된다. 그러나 사실 Piezo타입 가속도센서는 생각보다 견고하고 내구성이 낮지 않아서 쉽게 고장 난 상태를 확인하긴 쉽지 않다. 자이로센서처럼 6축 진동측정이 가능한 센서의 출현도 멀지 않은 것 같다.

급경사지 적용 진동센서의 경우 2축도 가능하고 ±5g 이하의 정도면 사용 가능할 것으로 판단된다.

제품명	제품외형	측정 Type	측정범위	분해능	정확도	비고
GPS		전기식	±5g	0.001g		GNSS

〈부표 2-9〉 급경사지 상시계측관리 설치 센서 종류

계측 항목	센서 종류	계측방식	유무선	중요도
지표변위	지표변위계	전기저항식	유선	상
		진동현식	유선	하
		디지털	유선	상
		디지털	유무선	상
	지표면신축계	전기저항식	유선	중
		디지털	무선	상

계측 항목	센서 종류	계측방식	유무선	중요도
	GPS RKT	디지털	유무선	중
	GPS 후처리	디지털	유무선	중
	GNSS RTK	디지털	유무선	상
	GNSS 후처리	디지털	유무선	중
	영상계측 (이미지프로세싱)	디지털	유무선	하
지표활동 복합	TTW 감지기	디지털	무선	상
	TRS센서	디지털	유선	중
		디지털	유무선	상
	u-이동형감지기	디지털	유무선	중
	매설형 LED 지표감지기	디지털	무선	하
지중변위	지중변위계	전기저항식	유선	상
		진동현식	유선	중
변위 계측 크랙 계측	LVDT	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
	크랙게이지	전기저항식	유선	상
	신축계	전기저항식	유선	상
		진동현식	유선	하
		디지털	유선	상
		디지털	유무선	상
지하수위	지하수위계	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
		수동식	수동식	하
간극수압	간극수압계	전기저항식	유선	상
		진동현식	유선	상
		디지털	유선	상
		디지털	유무선	상

계측 항목	센서 종류	계측방식	유무선	중요도
함수비센서	함수비센서	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
강우, 강설	강우량계	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
	적설량계	전기저항식	유선	중
경사	지중경사계	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
	경사계	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
구조물 거동계측 응력계	구조물경사계 (틸트미터)	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
	변형률계	전기저항식	유선	상
		진동현식	유선	상
	벽면토압계	전기저항식	유선	하
		진동현식	유선	하
	앵커하중계	전기저항식	유선	중
		진동현식	유선	중
	철근응력계	전기저항식	유선	중
		진동현식	유선	하
	로드셀	전기저항식	유선	상
낙석감지 관측	와이어단선식 센서	전기저항식	유선	중
		디지털	유무선	중
	음향센서	디지털	유무선	중
영상계측	CCTV	디지털	유무선	상
	웹캠	디지털	유무선	하

계측 항목	센서 종류	계측방식	유무선	중요도
광섬유계측	FBG 변형률 센서	디지털	무선	상
	FBG 온도 센서	디지털	무선	중
	OTDR	디지털	무선	중
	BOTDR	디지털	무선	상
진동센서	가속도센서	전기저항식	유선	중
		진동현식	유선	중
		디지털	유선	중
		디지털	유무선	중
	속도센서	전기저항식	유선	중
		진동현식	유선	중
		디지털	유선	중
		디지털	유무선	중
경보방송국	경보방송장치	디지털	유무선	상
기타	온도계	전기저항식	유선	상
		디지털	유무선	상
	유량계	전기저항식	유선	중
		디지털	유무선	중
	침하판	전기저항식	유선	중
		진동현식	유선	중

2.6 국외 계측기기 시장조사

우리나라에서 계측을 다루는 대부분의 회사는 기술이 취약하고 영세하며, 재래기술과 외국 수입제품에 크게 의존하고 있다. 따라서 국외 시장현황은 아래 표와 같이 국내에서 사용되는 계측기기와 거의 동일한 것으로 판단된다.

〈부표 2-10〉 국내외 계측기기 시장조사 내역

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
지중 경사계	심도별 지중의 수평변위 측정	IPI Sensor(EL Type) • Calibrated Range : ±10 degrees • Repeatability : ±22 arc seconds or ±0.1 mm/m • Max Gauge Length : 3 meters	외산에 비해 단가 저렴, 측정간격 조절 가능, 1축 측정, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
			장기적으로 내구성 강함, 측정간격 조절 가능, 1축 측정, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		다점경사계(차동트랜스 Type) • Range : 600분 (-300분 ~ +300분) • 비직선성 : 0.5% F.S 이내 • Operating Temperature : -30도 ~ +80도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 측정간격 조절 가능, 1축 측정, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)
		SAA (MEMS Type) • 3축(X,Y,Z)측정 • 3D 계측범위 : ±60도 • 해상도 : 2arc sencond	국산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 강함, 3차원(축) 측정 가능, 50CM 간격 측정, (측정간격 조정 불가)	외산 (MEASURAND)
	수평 수직변위 자동 측정	• 0.01° / Digit	간편 설치, 내구성 및 신뢰성 높음	호승이앤씨
구조물 경사계	암반비탈면의 기울기 측정용	차동트랜스 Type • Range : ±100분 • Accuracy : 0.5% F.S 이내 • Operating Temperature : -30도 ~ +80도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)
		EL Type • Range : ±40 arc minutes • Repeatability : ± 3 arc seconds • Operating Temperature : -20 to +50°C	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
			장기적으로 내구성 강함 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
	기울기 측정	• 0.01° / Digit	간편 설치, 내구성 및 신뢰성 높음 자동계측, 현장 출력 및 경보기능	호승이앤씨
	급경사지 지표변위 측정용	지표경사계(TM Sensor) • 측정범위 – Degree : ±30°(TM) • 분해능 – Degree : 0.01°(TM) • 인터페이스 : RS-485 • 구동전압 : 9V~28V(권장전압:24V) • 소비전력 : 0.96W(24V, Max 50mA) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃	• 측정항목 : Tilt Meter – 구조물 기울기 측정 • 측정방법 : 자동화 계측 – TCP-IP 실시간 계측 가능 – CDMA, M2M 이동통신망 연동 가능 • 운용방법 – 센서 간 원거리 유선, 무선(옵션) – 태양전지 시스템 연동 • 장점 – 내구성 강함	주)디피에스 글로벌
	지표변위 암반 기울기	경사계 • 측정범위 – Degree:±30도 • Resolution: 0.02도 • 통신 : RS485 • 재질 : 알루미늄바디(다이캐스트) • 무선 RoLa통신 가능	• 유/무선 통신 가능 • 설치 간편성 • 저전력 • 내구성 강함	주)에스티알
지중 경사계	암반비탈면의 기울기 측정용	EL Type • Range : ±40 arc minutes • Repeatability : ± 3 arc seconds • Operating Temperature : -20 to +50°C	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
		MEMS Type • Range : ±15 • Resolution : ± 2 arc seconds(digital) ± 5 arc seconds(analog) • Non-linearity : ± 0.0125% F.S(digital) ± 0.05% F.S(analog) • Operating Temperature : -40 to +85°C • 제조사 : RST (외산)	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		차동트랜스 Type • Range : ±100분 • Accuracy : 0.5% F.S 이내 • Operating Temperature : -30도 ~ +80도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산(SAKATA DENKI)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		전기저항 Type • Range : ±5 ~ ±10 • Resolution : 0.0018~0.0036 degree • Sensitivity : 280 ~ 560mV/degree • Operating Temperature : -20 to +60°C • 제조사 : KMTL (외산)	장기적으로 내구성 강함	
신축계	경사면 지표변위 측정용	EL Type (Wire Type) • Range : 0 ~ 1,000mm • Resolution : 1mm 이하 • Accuracy : ±0.1% FS	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
			장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		접동저항 Type (Wire Type) • Range : 0~2,000m • Resolution : 0.1mm • Accuracy : ±0.5% FS • Operating Temperature : -30도 ~ +80도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)
		지표변위계(TW Sensor) • 측정범위 - Tension Wire : 0 ~ 600mm (Range 확장 가능) • 분해능 - Tension Wire : 0.01mm • 인터페이스 : RS-485 • 구동전압 : 9V~28V(권장전압:24V) • 소비전력 : 0.96W(24V, Max 50mA) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃	• 측정항목 : Tension Wire - 구조물 균열 및 변위 측정 • 측정방법 : 자동화계측 - TCP-IP 실시간 계측 - CDMA, M2M 이동 통신망 연동 가능 • 운용방법 - 센서 간 원거리 유선, 무선(옵션) - 태양전지 시스템 연동 • 장점 - 내구성 강함	주)디피에스 글로벌
신축계	경사면 지표변위 측정용	지표변위경사계(TTW Sensor) • 측정범위 - Degree : ±30° - Tension Wire : 0 ~ 600mm (Range 확장 가능) • 분해능 - Degree : 0.01° - Tension Wire : 0.01mm • 인터페이스 : RS-485 • 구동전압 : 9V~28V(권장전압:24V)	• 측정항목 :Tilt Meter, Tension Wire - 구조물 기울기측정 - 구조물 균열 및 변위 측정 • 측정방법 : 자동화계측 - TCP-IP 실시간 계측 - CDMA, M2M 이동통신망 연동 가능 • 운용방법 - 센서간 원거리 유선,	주)디피에스 글로벌

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		• 소비전력 : 1.2W(24V, Max 50mA) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃	무선(옵션) – 태양전지 시스템 연동 • 장점 – 내구성 강함.	
		지표변위경사계(TRS-2 Sensor) • 측정범위 – Degree : ±30° – Tension Wire : 0 ~ 600mm (Range 확장 가능) • 분해능 – Degree : 0.01° – Tension Wire : 0.01mm • 인터페이스 : RS-485 • 구동전압 : 9V~28V(권장전압:24V) • 소비전력 : 1.2W(24V, Max 50mA) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃	• 측정항목 : Tension Wire, Tilt Meter – 디바이스 확장 기능 (함수비계, GPS 옵션) – 구조물 기울기 측정 – 구조물 균열 및 변위 • 측정방법 : 자동화 계측 – TCP-IP 실시간 계측 – 센서 간 원거리유선, 무선 가능 • 운용방법 – 센서 간 원거리 유선, 무선(옵션) – 태양전지 시스템 연동 • 장점 : 내구성 강함.	주)디피에스 글로벌
		비쥬얼 센서(VS Sensor) • 측정범위 – Degree : ±30° – Tension Wire : 0 ~ 600mm (Range 확장 가능) • 분해능 – Degree : 0.01° – Tension Wire : 0.01mm • 인터페이스 : RS-485, RF(UHF, 옵션) – 구동전압 : 24V, 30mA(센서), LED 점등시 55mA • 소비전력 : 12W(24V, Max 500mA) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃ • 관리기준치 이상 시 LED 불빛 점등 (안정: 파란색, 위험: 붉은색)	• 측정항목 : Tension Wire, Tilt Meter, LED – 위험 감지 시 LED 연동 – 구조물 기울기 측정 – 구조물 균열 및 변위 측정 • 운용방법 – 센서 간 원거리 유선, 무선(옵션) – 태양전지 시스템 연동 • 장점 – 내구성 강함.	주)디피에스 글로벌
		스마트 DPS 센서(SMT DPS Sensor) • 측정범위 – Degree : ±30° – Tension Wire : 0 ~ 600mm (Range 확장가능, 옵션) • 분해능 – Degree : 0.01° – Tension Wire : 0.01mm – 모션센서 : ±5CM	• 측정항목 : Tension Wire(옵션), 모션센서 Tilt Meter, Camera – 실시간 영상 – G.P.S 좌표, 구글맵-연동 – 침하 측정 – 지반 기울기, 수평변위 – 구조물 기울기 측정 – 구조물 균열 및 변위 • 운용방법	주)디피에스 글로벌

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		- G.P.S : ±10M - Camera : 20~41만 화소 • 인터페이스 : RS-485 • 구동전압 : 9V~28V(권장전압:24V) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃ • 관리기준치 이상 시 Camera 영상 전송(평상시: 사용자 요구 시 전송)	- 센서 간 무선 - 태양전지 시스템 • 장점 - 내구성 강함. - 간편 설치 및 이동 설치 가능	
신축계	경사면 지표변위 측정용	EL Type (Wire Type) • Range : 0 ~ 1,000mm • Resolution : 1mm 이하 • Accuracy : ±0.1% FS	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
			장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		Potentiometer Type (Wire Type) • Range : 0-2 to 0-100 inches (2540mm) • Repeatability : ±0.05% full stroke • Operating Temperature : -40도~+90도 • 제조사 : Celesco (외산)	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (Celesco)
GNSS 수신기	비탈면지표감시 측정용	• Channels : GPS L1,L1C / SBAS • Update rate : 1Hz • Horizontal accuracy : 0.4m(DGPS)/1.2m • Initialization time : 〈 10S • Initialization reliability : 〉 99.9%	실시간 비탈면지표 관리, 시준제안 없음, 외부환경 영향 없음	외산 (UTOP)
하중계	진동현식 Load Cell, 하중측정	• 하중 측정, 0~140t, 75Φ,100Φ	경제적, 수입품에 비해 내구성 신뢰성 낮음	시대이엔지
			내구성 신뢰성 높음, 상대적 고가	카나다 rst
	진동현식 Strain Gauge, 응력측정	• 응력 측정(매설형)	경제적, 수입품에 비해 내구성 신뢰성 낮음	시대이엔지
			내구성 신뢰성 높음, 상대적 고가	카나다 rst
		• 응력 측정(스팟용접형)	경제, 수입품에 비해 내구성 신뢰성 낮음	시대이엔지
		• 응력 측정(아크용접형)	경제적, 수입품에 비해 내구성 신뢰성 낮음	시대이엔지

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
균열계	지표면 및 암반비탈면의 균열 측정용	V/W Type • Range : 60 mm or 100 mm • Resolution : 0.025% FS • Repeatability : ±0.5% of Full Scale	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아등)
			간편 설치, 내구성 및 신뢰성 높음	호승이앤씨
디지털 균열계		V/W Type • Range : 60 mm or 100 mm • Resolution : 0.025% FS • Repeatability : ±0.5% of Full Scale	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
			장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산(SAKATA DENKI)
균열계		차동트랜스 Type • Range : ±50mm • Accuracy : 0.5% F.S 이내 • Operating Temperature : -30도~80도	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (Celesco)
		Potentiometer Type (Wire Type) • Range : 0-2 to 0-100 inches (2540mm) • Repeatability : ±0.05% full stroke • Operating Temperature : -40도~+90도 • 제조사 : Celesco (외산)	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	
지하 수위계	지반의 지하수위 변화 측정용	Strain Gauge(전기저항) Type • Range : 1, 2, 3.5, 7, 21 bar (15, 30,100, 300 psi) • Resolution : 0.01%FS • Accuracy : ±0.05% FS	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 대기압 보정 기능, 온도센서 포함하여 온도 보상 적용, 현장 설치 및 유지보수 용이, 외산에 비해 단가 저렴	국산 (하이드로넷)
		V/W Type • Range : 3.5, 7 bar(50, 100 psi) • Resolution : 0.025%FS • Accuracy : ±0.1% FS	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아 등)
		V/W Type • Range : 3.5, 7, 17, 35 bar (50, 100, 250, 500 psi) • Resolution : 0.025%FS • Accuracy : ±0.1% FS	장기적으로 내구성 강함	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		차동트랜스 Type • Range : 0~100m(1 Mpa) • Accuracy : 0.5% F.S 이내	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 대기압보정 기능, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		• Operating Temperature : -30도~+80도	장기적으로 내구성 강함(부식등) 노이즈 및 낙뢰에 영향이 없음, 원거리통신(1km 이상) 가능	국산 (아이세스)
간극 수압계	간극수압측정	V/W Type • Range : 3.5, 7 bar(50, 100 psi) • Resolution : 0.025%FS • Accuracy : ±0.1% FS	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (GTC, 성진, 지오코리아등)
		V/W Type • Range: 3.5, 7, 17, 35 bar (50, 100, 250, 500 psi) • Resolution: 0.025%FS • Accuracy: ±0.1% FS	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		차동트랜스 Type • Range : 0~100m(1 Mpa) • Accuracy : 0.5% F.S 이내 • Operating Temperature : -30도~+80도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)
		• 3.5Kg/cm², 7.0Kg/cm²	경제적이며 수입품에 비해 내구성·신뢰성 낮음	시대이엔지
		• 3.5Kg/cm², 7.0Kg/cm²	내구성·신뢰성 높음, 상대적 고가	카나다 rst
		V/W Type • Range: 3.5, 7, 17, 35 bar (50, 100, 250, 500 psi) • Resolution: 0.025%FS • Accuracy: ±0.1% FS	장기적으로 내구성 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SINCO, RST, GEOKON)
		FBG Optic Type • Range : 0~150 psi(용도에 따라 정함) • Resolution : 0.02% F.S • Accuracy : ±0.2% F.S • 제조사 : 아이세스 (국산)	장기적으로 내구성 강함 (부식 등) 노이즈 및 낙뢰에 영향이 없음. 원거리통신(1km 이상) 가능	국산 (아이세스)
함수 비계	지반 함수비 측정용	• 5TM(Water Content and Temperature Sensors) • Operating Temperature : -40℃~+60℃ • Rage : Apparent dielectric permittivity(εa) : 1 (air) to 80 (water) • Measurement Time : 150 ms (milliseconds)	함수비 측정 가능	외산 (DECAGON DEVICES)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		• Power requirements : 3.6 to 15 VDC, 0.3 mA quiescent, 10 mA dur-ing 150 ms measurement • Output: RS232 (TTL) or SDI-12		
		정전전압식 • 정밀도 : ±3% • Operating Temperature : +0도~+70도 • 센서구동전압 : +5V	다층함수비 측정 가능	국산 (바이텍코리아)
		• Range : 1 to 80 where 1 = air 80 = distilled water • Accuracy : ±1.5% • Temperature : -10도 ~ +55도		외산 (Stevens)
		• 측정 범위 - 0% ~ 100% Volumetric Water Contents • 정 확 도 - ±2% (30% 미만 시) - ±3%(40% 미만 시) • 온 도 - 측정 범위 : 0 ~ +50°C - 정 확 도 : ± 1.0 °C • 전 원 - DC2.9 ~ 12V / 6.8mA(Max) - Low Power Consumption • 출 력 - 전압 DC 0~2.5V • 통신 Uart(RS-232,TTL Level)	• 유/무선 통신 가능 • 설치 간편성 • 저전력 • 내구성 강함	TSE (국산)
온도계	대기중 및 지반의 온도변화 측정용	열전대 Type	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산(범용)
		코일저항 Type • Range : -20도 ~ +80도 • 정도 : ±1도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)
		Thermometer (RTD) Type	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산 (코닉스)
		열전대 Type	외산에 비해 단가 저렴, 장기적으로 내구성 약함	국산(범용)
		코일저항 Type • Range : -20도 ~ +80도 • 정도 : ±1도	장기적으로 내구성 강함, 낙뢰에 강함, 국산에 비해 단가 고가	외산 (SAKATA DENKI)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
우량계	강우량 측정용	펄스카운트 Type	기상청 인증제품	국산 (위덴기업)
	Weighting type	펄스카운트 Type	기상청 인증제품	국산 (위덴기업)
		± 0.1mm	국내 다수 현장 적용, 신뢰성 내구성 높음	독일 OTT
	강우 측정용	• 펄스카운트 Type, 0.5mm/ 1mm • 강우 강도 카운트 기판	기상청 인증제품	위댄기업 주)디피에스글로벌
다기능 지표 변위계 (스마트 폴*)	지표변위/ 함수비/ 진동계/ 영상감시	• 지반함수비 0.1% • IMU변위 3cm/ 경사정밀도 0.01° • Image sensor CMOS(640x480) • View angle:73°	설치/수거/재설치 용이 ※ 저비용 고효율 계측 시스템(R/D 우수연구개발품	국산 (엑스톤 등)
급경사지 위험 감지 신호등	급경사지 낙석 및 지반 감시 경보용	• 신호등 연동(경고사이렌, 표지판등)	실시간 계측시스템 연동, 신호등 제어	주)디피에스 글로벌
낙석감지 영상 시스템	비탈면의 낙석 영상감지 및 경보용	CCTV(프로그램 포함)	실시간 낙석의 영상감지 및 경보 알람 기능	국산 (바이텍코리아)
급경사지 영상감지 시스템	급경사지 낙석 및 지반 감시용	CCTV(프로그램 포함)	실시간 영상감지 및 센서 연동 경보 알람 기능	주)디피에스 글로벌
토석류 감지계	계곡부 토석류 흐름 및 속도감지 측정용	• 접점 출력방식 • Operating Temperature : -30도~+50도 • 센서 와이어 길이 : 최대 30m • 와이어 당김 : 최대 60kg	장기적으로 내구성 강함 낙뢰에 강함	외산 (SAKATA DENKI)
가속도계	지진동 측정용	• 성분 : 3성분 • 주파수범위 : DC~200Hz • 측정범위 : ±4 g, ±2 g, ±1 g, ±0.5 g, and ±0.25 g (사용자 선택 가능) • 동적범위 : 155dB • 성분간 감도오차 : 1% 이내 • 출력전압선형비 : 0.1% 이내 • 감쇠율 : 70% • 소비전력 : 0.12W 이하	• 전 세계에서 가장 많이 사용하며, 가장 좋은 성능을 보유 • 뛰어난 내구성 및 안정성 • 155dB 동적범위 보유 • 넓은 주파수 대역 보유 • 저전력 소모 • 국민안전처 성능시험 성적서 보유 장비	Kinemetrics社 (미국)
		• 성분 : 3성분 • 주파수범위 : DC~100Hz	• 뛰어난 성능 보유 • 뛰어난 내구성 보유	Guralp社 (영국)

계 측 기기명	용 도	세부사양	장·단점	비 고 (제조회사 등)
		• 측정범위 : ±4 g, ±2 g, ±1 g, ±0.5g, ±0.1 g • 동적범위 : 145dB • 성분간 감도오차 : 0.1% 이내 • 출력전압선형비 : 0.1% 이내 • 감쇠율 : 70% • 소비전력 : 0.5W	• 사용자 설치가 용이 • 국내 다수기관에 설치하여 장비 안정성 확인 • 타 외산장비에 비해 저렴 • 국민안전처 성능시험 성적서 보유 장비	
		• 주파수 범위 : 0(DC) ~ 200Hz • 동적범위 : ±2g, 165dB • 성분간 감도오차 0.5% 이내 • 시용온도범위 : -2.0 ~ +70도 • 제조사 : GeoSIG (외산)	열악한 외부환경에 우수	외산 (GeoSIG)
GNSS	변위/침하 측정	• GNSS Channels - 432 • GNSS Feature - GPS: L1, L2, L5 GLONASS: L1, L2, L3 BDS: B1, B2, B3 • Positioning - 8 mm + 1 ppm RMS (H) , 15 mm + 1 ppm RMS (V) • Data Format - Static data: GNS, RINEX RTK correction format: RTCM3.0, RTCM3.2 NMEA-0183		하이-타겟 (외산)
데이터 로거	데이터 수집장치	• CR-1000	국내 다수 현장 적용, 신뢰성 내구성 높음	미국 캠벨
		데이터로거(Data Logger) • 사용온도 : -30℃ ~ +80℃ • 소비전력 : 24V, 150mA • 통신방식 : RS485, CDMA • 센서 입력채널수 : 128ch(확장 255ch) • 센서 입력 타입: 485타입, VW타입 적용 가능(지중경사계, 지하수위계. 변형률계, 함수비계,	• 측정항목 : 485타입, VW타입 적용 가능 - 실시간 Monitoring - 지중경사계, 지하수위계, 변형률계, 함수비계, 강우량계, 지표변위계 등 • 운용방법 - 센서 간 선·무선(옵션) - 태양전지 시스템 연동 • 장점 - 내구성 강함. - 외산에 비해 저렴	주)디피에스 글로벌

부록 3 웹 기반 급경사지 통합관리 사례

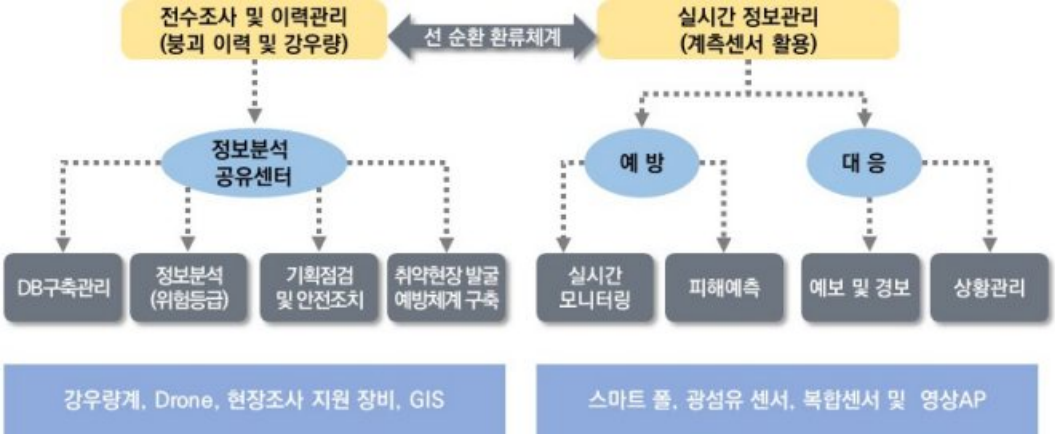
3.1 웹기반 통합 D/B를 활용한 급경사지 이력관리

국내에서 급경사지 관리는 지방자치단체, 지방산림청, 한국농어촌공사, 한국토지주택공사, 국가철도공단, 도시철도공사, 국립공원공단 등의 여러 기관에서 관리 중이며 다양한 기관에서 분산된 형태로 정보를 관리하고 있다.

이러한 파편화된 정보관리는 "데이터 중심시대"와 "국가 디지털 전환의 시대"로 진입할 수 없다. 현재 정부에서는 급경사지 관련 자료를 주기적으로 지자체 및 관련 유관기관에서 수집·관리하고 있으나 각 지자체에 분산되어 있고, 관련 기초자료 수집 및 행정업무 지원에는 한계가 있다.

급경사지 데이터 통합관리의 일환으로 구축된 Web 기반 통합관리 시스템은 국내에 분산되어 있는 급경사지와 관련된 모든 정보들을(전수조사에 기반한 이력관리 정보, 상시계측을 통한 실시간 정보) 통합D/B화하고, 공간정보 및 속성정보와 결합하여 다차원 지도화할 수 있도록 구성되어 있다.

※ 급경사지 관련 업무는 크게 전수조사(이력관리) 업무와 상시계측에 의한 실시간 정보 관리 업무로 구분될 수 있다.



〈부도 3-1〉 급경사지 유지관리 업무 흐름도

급경사지 데이터 통합관리를 위해 활용된 자료들은 물리적으로는 분산 관리하되 논리적으로는 하나로 모아서 서비스하는 정보기반이며, 이러한 통합 환경의 구축을 통해 급경사지 '이력관리/실시간 정보관리' 빅데이터의 토대를 조성하고, 시·도, 시·군·구가 함께 협업하는 네트워크를 구축한다.

즉, 급경사지 통합 DB는 중앙정부와 지방자치단체가 함께 공유하며 협업하는 형태로 구성되어 상급기관(광역 지자체, 중앙정부)의 자료는 행정력을 통해 공유하고, 일선 시·군·구는 해당 지역의 전수조사 자료들을 관리하고 갱신하는 형태의 협업 구조이다.

공간정보 및 속성정보를 활용하여 구축하는 웹 지도는 이제 모든 서비스의 기본 플랫폼으로 자리 잡고 있다. 따라서 급경사지 데이터 통합관리적인 관점에서 웹서비스나 모바일 서비스에서는 국토교통부의 오픈플랫폼(V-world)을 주 배경지도로 선정하였으며, 현장성이 강조되는 정보자료의 현행화는 해당 정보들만을 갱신(드론 활용, 현장조사 지원장비)하도록 하였다.

또한 급경사지 현장조사 시 활용할 수 있는 기본 공간정보(수치표고모델, 급경사지 수치지형도등)의 경우는 급경사지 데이터 유지관리 프레임워크기반으로 주기적으로 갱신하여 모든 통합 정보들이 최신성을 유지할 수 있도록 하였다.

우리나라는 전체면적 10만㎢ 중 6.3만㎢가 산지일 정도로 자연 및 인공적으로 급경사지가 형성될 수 있는 가능성이 높은 지역이다.

이와 같이 '급경사지'는 국민들의 일상생활 및 안전에 직접적인 영향을 주는 생활 가까이에 위치하는 밀착형 공공재로 볼 수 있다.

그럼에도 불구하고 이에 대한 국민들의 인식수준은 낮은 편이다. 이들 생활 밀착형 공공재의 정보가 일반 국민들에게 친숙하게 다가갈 수 없음은 실제 상황의 先 경험이 없기 때문으로 보여 진다.

따라서 공간정보 및 속성정보를 기반으로 구축된 통합관리 시스템(지능형급경사지 상황관제 플랫폼)은 아래의 그림과 같은 특징을 가지고 있으며 시설물 관리자의 급경사지 관리 실무를 개선시키고 사용자 친화적인 경험을 만들 수 있는 최적의 솔루션으로 판단되며, 지리적 위치 및 조직의 경계를 허물어뜨리면서 다양한 행위주체들의 협력과 협업을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 이전에 개별소관청, 유관기관, 중앙정부의 개별 업무로만 인식되어 동력이 실리지

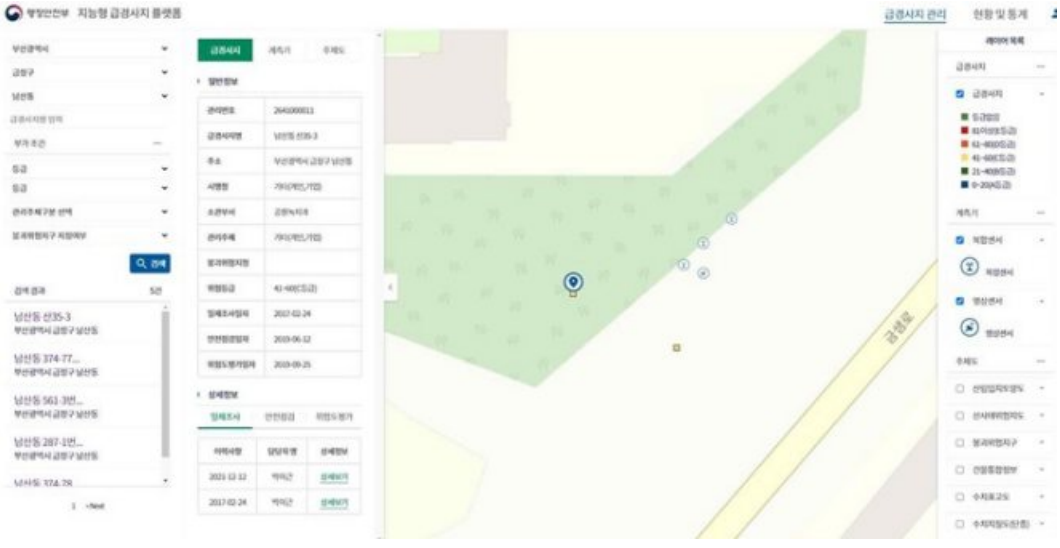
않았던 급경사지에 대한 유지관리의 통합성과 공익성을 회복할 수 있는 매개체가 될 것으로 기대한다.

급경사지 통합관리 시스템(지능형 급경사지 상황관제 플랫폼) 특징

- 급경사지 붕괴위험지구의 재난을 사전에 예방하고 신속한 대응을 위해 실시간 계측정보의 모니터링과 동시에 관련 자료의 분석을 통해 재난을 탐지하고 경보발령 의사 지원까지 단시간 내에 이루어지는 체계 구축
- 계측지역의 현장정보, 상태정보, GIS 정보 등 다양한 정보를 실시간 계측정보와 통합 분석하여 알람 발송 및 경보발령 의사결정 지원

〈부도 3-2〉 지능형 상황관제 플랫폼 개발 및 적용 방향성

〈부도 3-3〉 지능형 상황관제 플랫폼 메인페이지



〈부도 3-4〉 지능형 상황관제 플랫폼 메뉴 중 급경사지 관리 메뉴

3.2 웹기반 상시계측시스템 “실시간 정보관리”

복합센서 및 영상AP을 활용한 웹기반 상시 계측 시스템(지능형 급경사지 상황관제 플랫폼)을 통해 급경사지 현장의 붕괴조짐을 지자체 관리자, 재난재해 발생 시 피해대상 주민들에게 신속하게 알리고, 스마트폰(Mobile 및 SMS)을 활용하여 위험상황의 실시간 영상 및 위치정보 등을 실시간으로 제공하는 “피해대상지역 수요자를 위한 통합 안전관리 시스템”이다.

급경사지 붕괴 위험상황을 인지하고 판단하기 위하여 활용되는 복합센서와 영상AP는 별도의 정보 공유서비스(API)를 통해 웹기반 상시 계측 시스템과 실시간으로 정보 교환가능 하다.

복합센서는 단일 장비 내에서 토양함수비, 경사각, 습도 등의 다양한 계측을 실시할 수 있는 장비이고 영상AP와 RF통신으로 실시간 계측정보를 주고받는다,

영상AP는 급경사지 계측정보를 복합센서로부터 수신하여 LTE 망을 통하여 웹기반 상시 계측 시스템으로 정보를 전송한다.

또한 영상 AP내에 설치된 CCTV는 자연 및 인공비탈면 등의 붕괴 조짐 파악하고 인지하기 위해 AI기반 영상분석 및 처리 시스템을 통해 주기적으로 웹기반 상시계측시스템으로 전송한다.

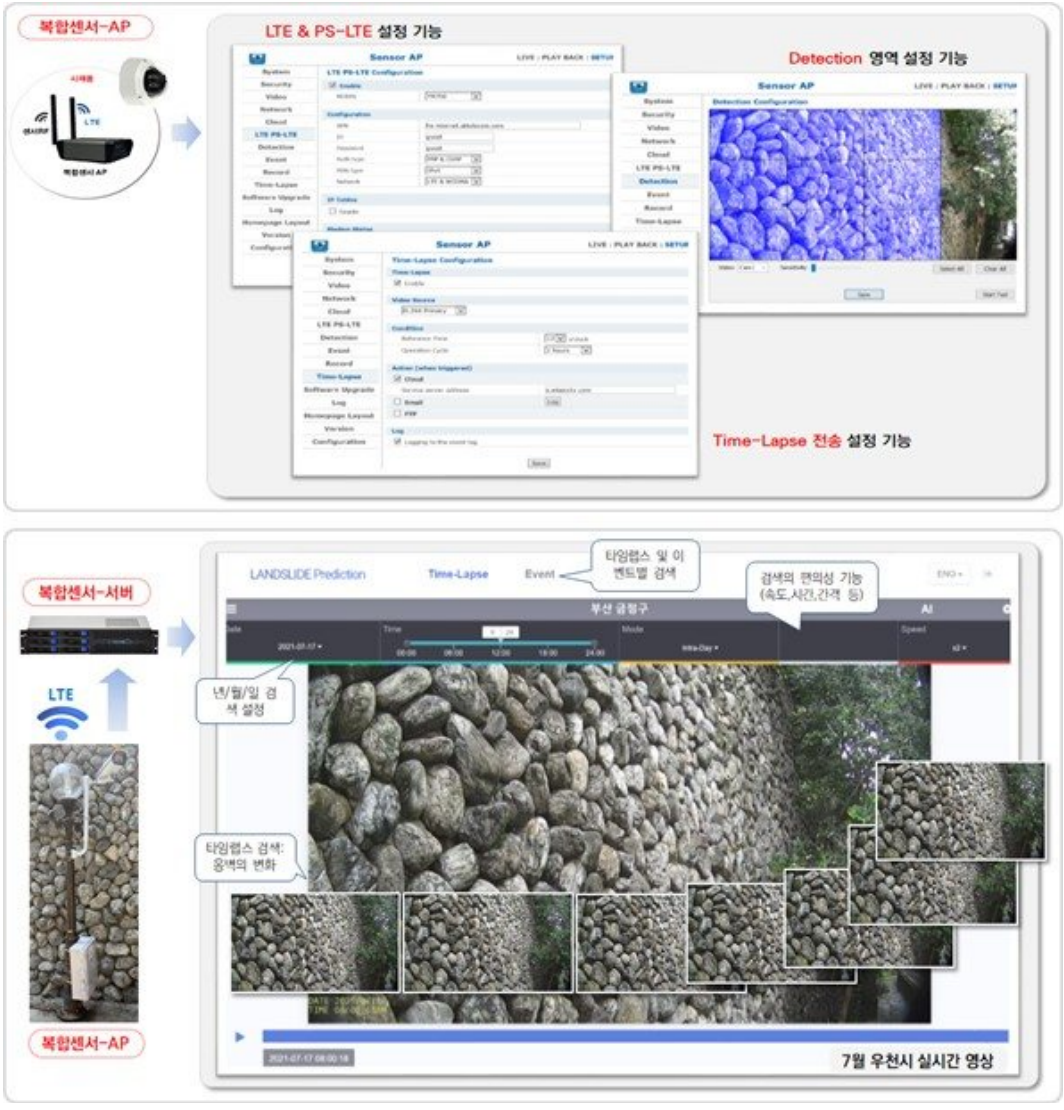
다음 아래 그림은 복합센서 및 영상AP활용 웹기반 상시계측시스템의 구성도 이다.

〈부도 3-5〉 복합센서 및 영상AP활용 웹기반 상시계측 시스템 구성도

1) 복합센서 및 영상AP를 활용한 웹기반 상시계측 구현 실례

- 급경사지 붕괴 위험지역에 복합센서을 설치하고 계측데이터를 수집하여 분석하고 설정된 기준치를 초과하는 상황 발생 시, 현장의 영상AP(CCTV)가 발생지점의 영상을 자동으로 저장하여 상황실 모니터 및 웹기반 상황관제 시스템으로 해당위치의 영상을 전송하므로서 상황실과 지자체 담당자는 현장상황을 빠르고 정확하게 파악하는 것이 가능하다.

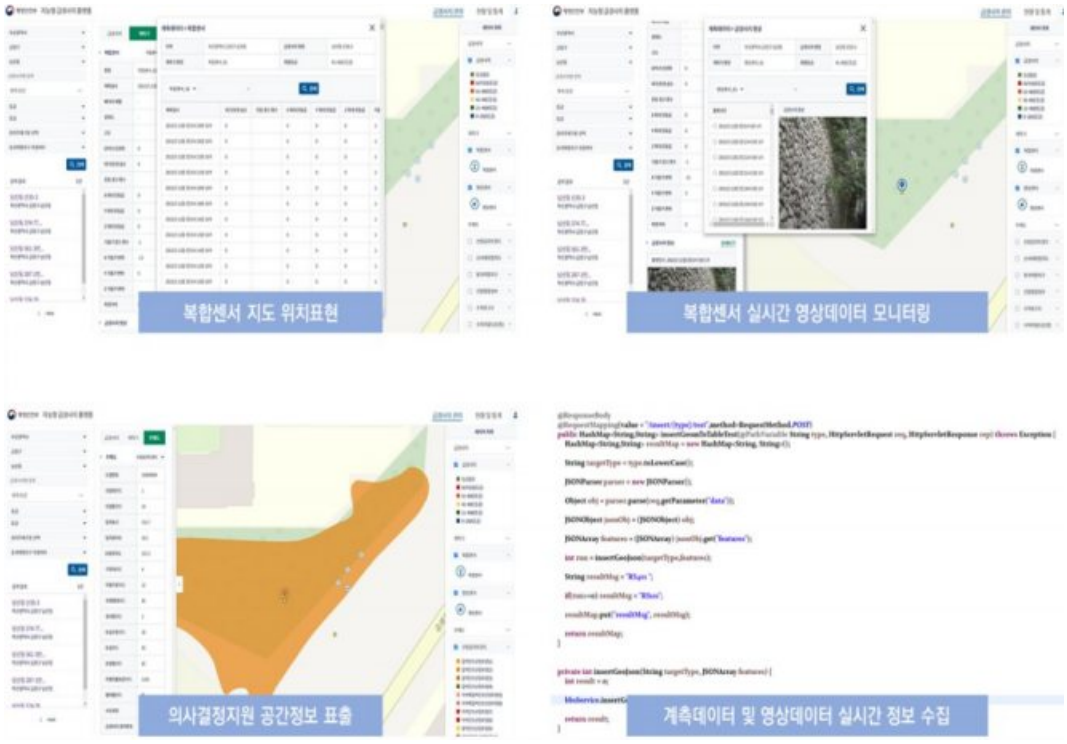
- 추가적으로 급경사지 붕괴발생가능위치와 실시간 영상정보를 DB화하여 일반 사용자들도 스마트 기기를 활용해 위험현장의 위치와 영상정보를 파악할 수 있다. 또한 급경사지 붕괴 현장에 있을 때 경보문자를 송신해서 위험에 노출되기 이전에 피해 예방이 가능하다.



〈부도 3-6〉 복합센서 및 영상AP활용 웹기반 상시계측 시스템 구성도

2) 웹기반 상시계측 시스템(지능형 급경사지 상황관제 플랫폼) 특징

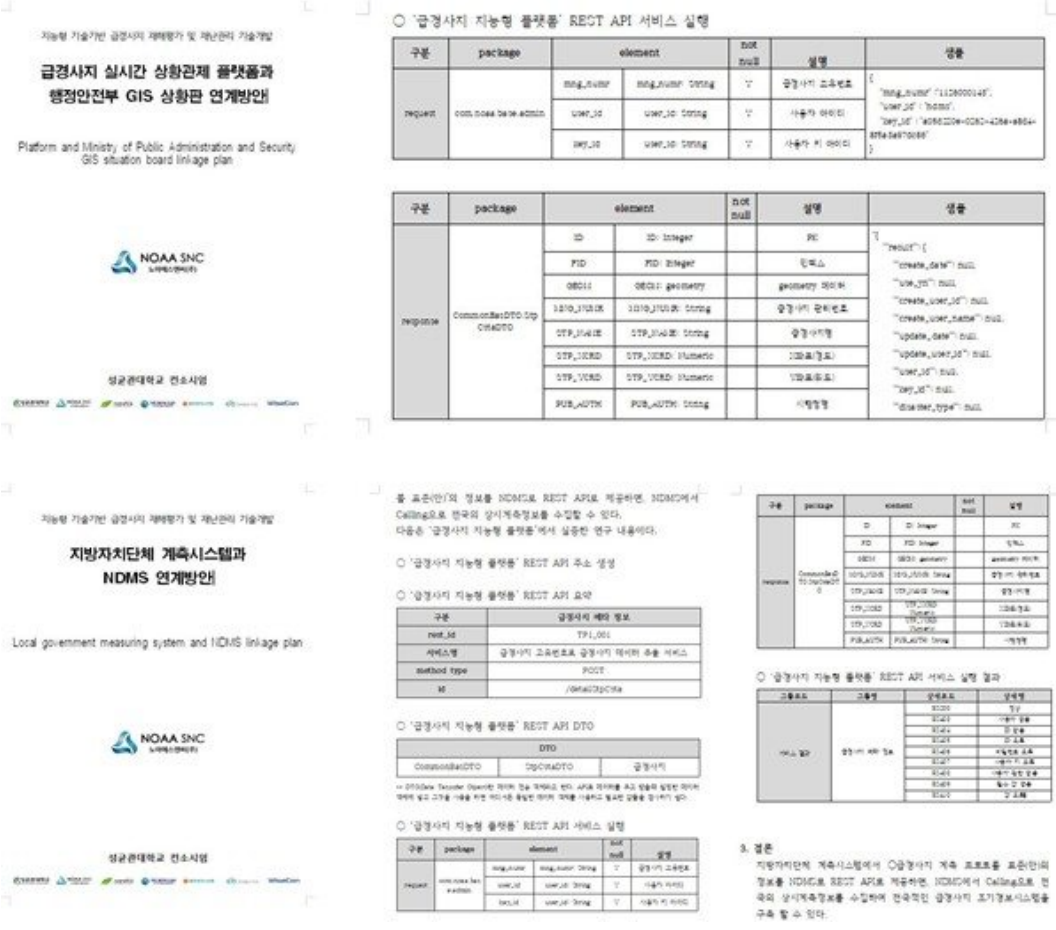
- 복합센서 및 영상AP에서 송신한 실시간 계측정보를 수집하는 웹기반 상시 계측 시스템은 급경사지 현장 모니터링 및 의사결정지원을 하는 시스템으로 계측된 정보를 지도 기반 가시화 시키고 인터페이스를 고려하여 스토리 보드개념을 적용하였다.
- 복합센서 및 영상AP와의 정보교환방식은 RESTFUL 방식의 API를 적용하였으며 주기적으로 급경사지 붕괴조짐을 파악하기 위하여 계측정보를 수집한다.
- 아래 그림은 웹기반 상시계측 시스템에 관한 계측정보 모니터링 체계 구축 및 정보 교환에 관한 설명이다.



〈부도 3-7〉 복합센서 및 영상AP활용 웹기반 상시계측 시스템 구성도

3) 지자체 계측시스템 및 NDMS 연계

- 웹기반 상시계측 시스템을 지자체 및 행정안전부 상황판, NDMS와 연계는 RESTFUL API 기반의 정보교환 방식을 적용하였다.
- 상호연계방식으로 지자체 급경사지 계측시스템에서 정보를 요구하고 웹기반 상시계측 시스템에서 정보를 제공하는 형식으로 정보교환이 이뤄진다.
- 아래 그림은 지자체 및 행정안전부 상황판, NDMS 정보 연계에 관한 표준API 도입에 관한 테이블 설명서이다.



〈부도 3-8〉 지자체 계측시스템 및 NDMS 연계방안

3.3 급경사지 정보 DB 구축

3.3.1 급경사지 현황관리

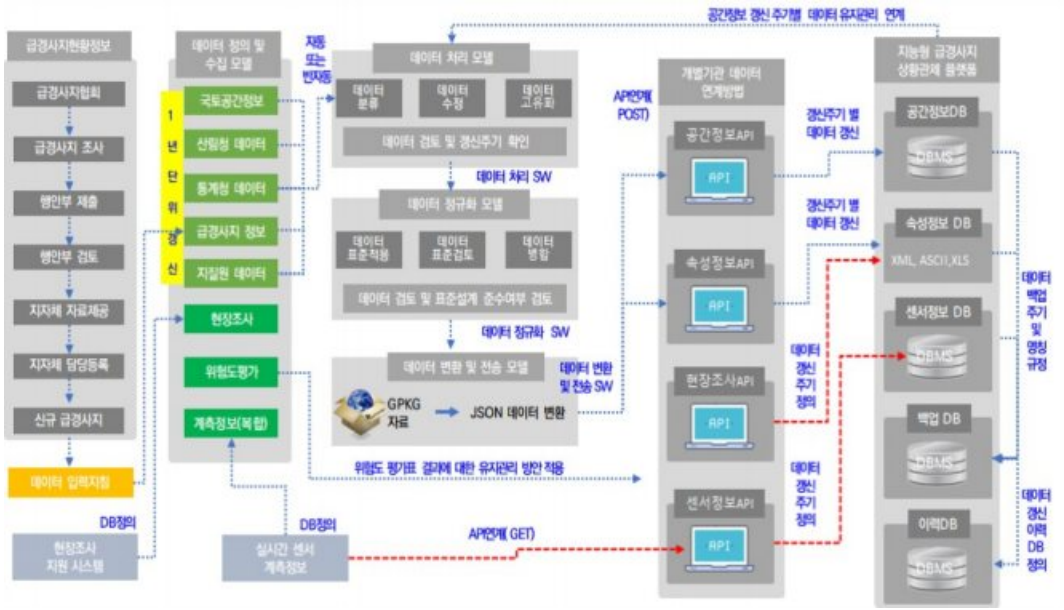
급경사지 관리기관은 급경사지 현황정보 관리를 위해서 실태조사서의 항목을 기본으로 사용하고 있다. 실태조사서의 관리항목은 일반정보, 지반정보, 기타 정보(영향성 및 위험요소) 등으로 나눌 수 있다.

일반정보 중 위치정보는 경·위도 좌표를 사용하는 방법과 국가 격자체계를 적용하는 방법으로 구분하여 공간정보로 작성한다. 작성된 공간정보는 지능형 급경사지 상황 관제 플랫폼에 정기적으로 업데이트하여 관리하도록 하고 있다.

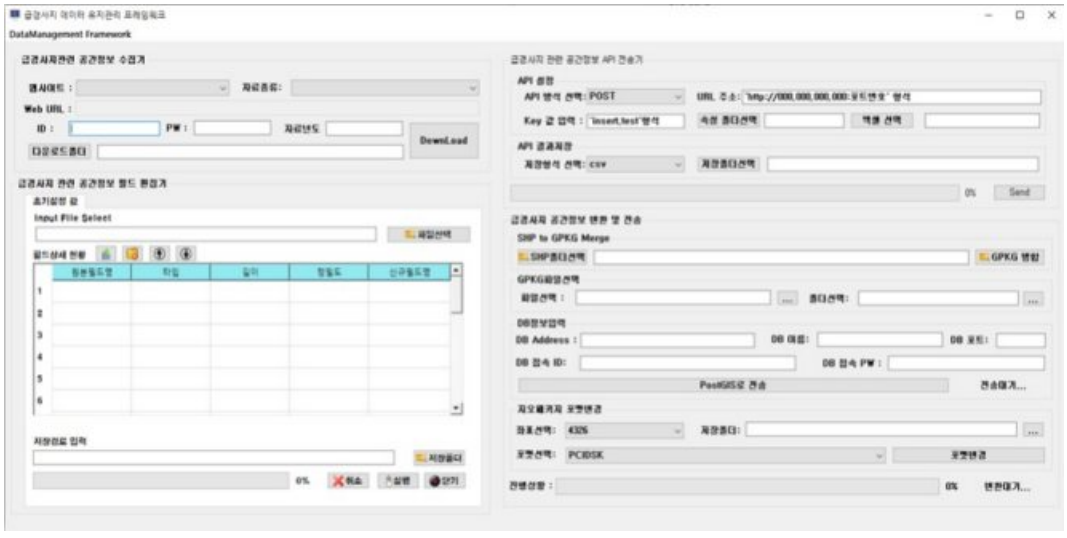
지반정보는 결함인자, 피해인자 등으로 구분하고 기타정보인 영향성 평가와 위험도 평가와 연계하여 급경사지 현황관리에 적용하고 있다.

또한 지능형 급경사지 상황관제 플랫폼에서는 급경사지에 대한 이력관리 기능을 제공하고 있는데 주요 이력 정보로는 급경사지 위험등급, 관리주체, 관리제외 등이 있고, 이력관리를 위해 실태조사서를 이용해 관리하고 있다.

따라서 각 이력을 관리하기 위해 각 정보들이 변경될 경우 즉시 현행화하기 위하여 아래와 같은 데이터 유지관리 프레임워크와 이를 기반으로 개발된 통합SW를 적용하여 공간정보(수치지형도, 수치표고도, 산사태정보, 토지피복도, 경사도, 사면향등), 급경사지 현황정보, 속성정보, 비속성정보 등을 수집하고 처리하여 DB를 최신화하여야 한다.(단, 위험등급은 재해위험도 평가, 붕괴위험지역 지정·해지 등으로도 관리된다).



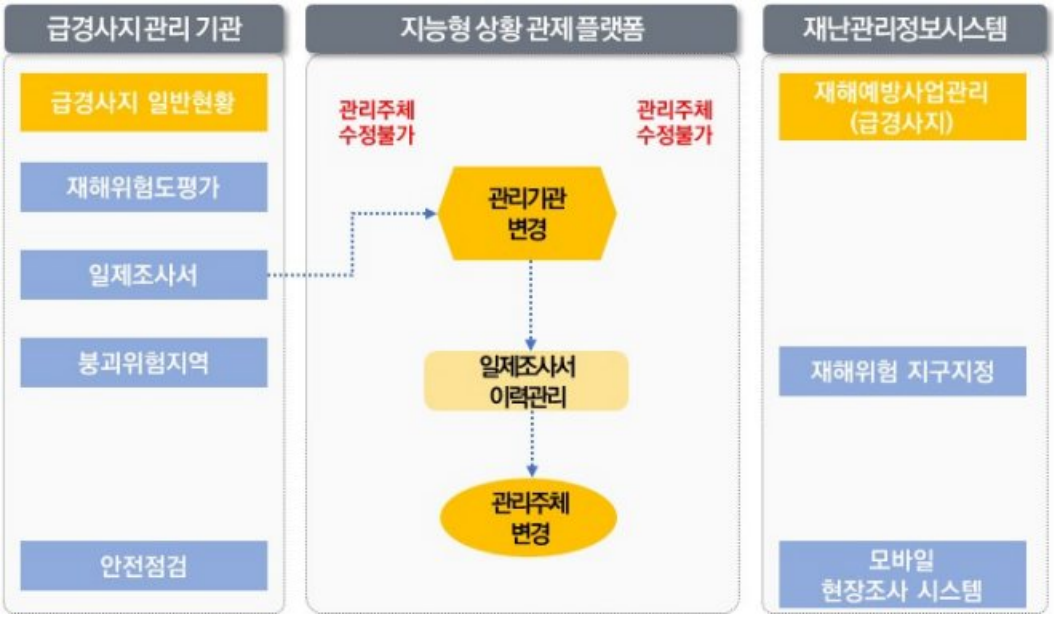
〈부도 3-9〉 급경사지 데이터 유지관리 프레임워크



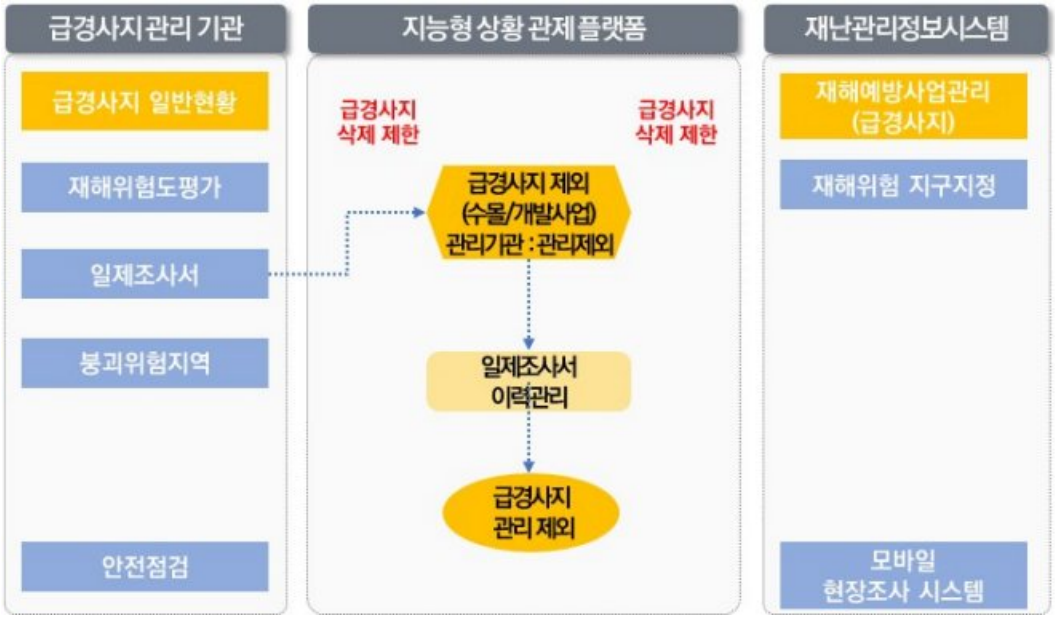
〈부도 3-10〉 급경사지 데이터 유지관리 프레임워크 기반 통합SW

데이터 유지관리 프레임워크를 적용하여 처리하는 급경사지 주요 정보에 대한 관리 절차 흐름은 다음과 같다.

〈부도 3-11〉 급경사지 주요 정보 관리절차



〈부도 3-12〉 급경사지 관리기관 변경



〈부도 3-13〉 급경사지 관리 제외

3.3.2 안전점검, 재해위험도 평가(모바일 현장조사 지원)

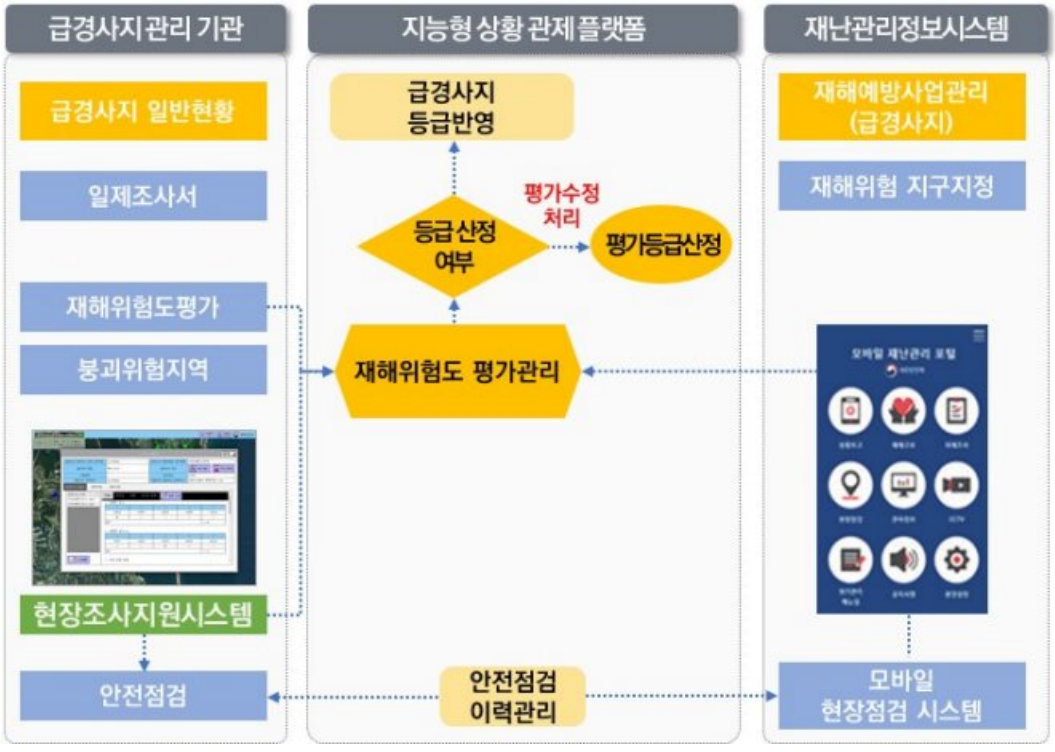
급경사지 관리주체는 급경사지법률을 기준으로 연 2회 이상(제5조 1항'20.10.20) 안전점검을 실시하고 그 결과를 통보하여야 한다.

안전점검은 급경사지 현장에서 실시하고 드론을 활용한 현장조사, 태블릿을 활용한 현장조사지원 시스템 등의 다양한 방법을 도입할 수 있다. 드론을 활용한 급경사지 안전점검은 별도의 현장조사 지침서를 참조하여 실시한다.

태블릿을 활용한 현장조사지원 시스템은 재해위험도 평가표 항목을 기준으로 설계되었으며 급경사지 데이터 유지관리 프레임워크가 적용된 기본공간정보, 급경사지 현황정보, 속성정보, 비속성정보 등을 활용하여 현장에서 급경사지 위치조회, 현장조사서 조회, 관련자료 열람, 급경사지 내역조회, 현장사진 정보 등을 관리할 수 있다.

다양한 방법을 적용(드론, 현장조사 시스템)하여 실시한 현장 조사 결과는 지능형 급경사지 상황관제 플랫폼과 API 방식 및 직접적인 DB 연계를 통해 재해위험도 평가/자동 등급 산정에 적용되고 개별 담당 관리주체, 전문가 검토 등의 과정을 거쳐 정상적인 DB로 저장되고 관리된다.

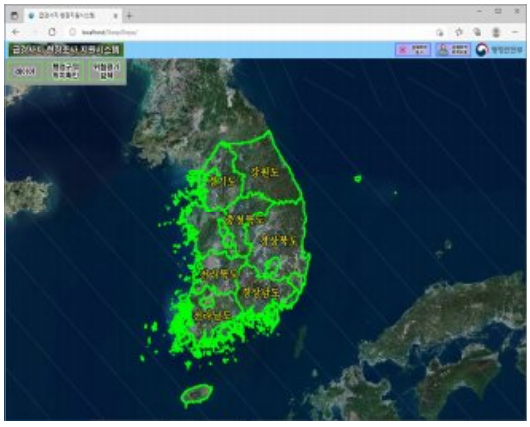
다음은 다양한 방법(드론, 현장조사 시스템)등을 활용하여 현장조사와 재해위험도 평가 절차에 관한 그림이다.



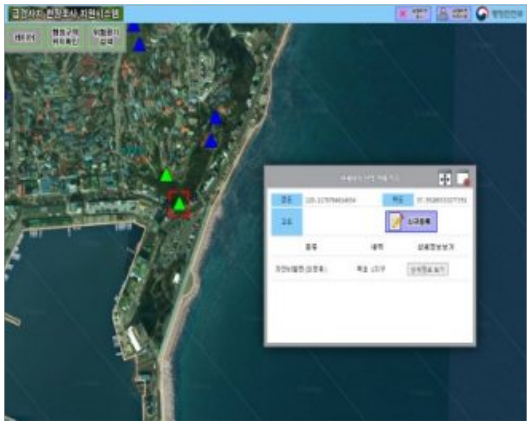
〈부도 3-14〉 급경사지 안전점검 및 재해위험도 평가 절차

급경사지 안전 점검에 활용되는 현장조사지원 시스템은 급경사지 재해위험도 평가표(안)에 대하여 현장에서 체계적인 평가 결과를 수집 및 관리에 활용한다.

이를 통해 현장 평가자는 현장에서 쉽게 평가항목별 기준을 검토함으로써 평가 결과를 현장에서 직접 정리할 수 있으며 공간정보 및 관련 참고자료를 참조함으로써 합리적이고 과학적인 방법으로 급경사지 위험도를 평가할 수 있다. 다음은 현장조사지원 시스템에 관한 그림이다.

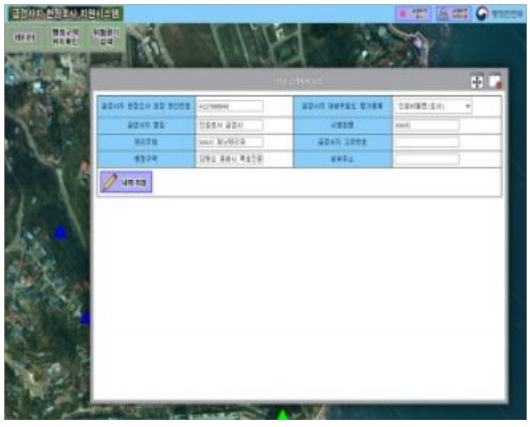


〈부도 3-15〉 메인화면



〈부도 3-16〉 지도상 특정 급경사지 현황 화면

〈부도 3-17〉 현장평가 결과 목록 조회 화면



〈부도 3-18〉 신규 급경사지 등록 화면

부록 4 주요 응답 사례

01

- 붕괴위험지역으로 지정된 사유지에 대하여 관리기관인 해당 지자체장이 토지 소유자의 동의 없이 안전점검이 가능한지?

- 안전점검은 붕괴위험성이 확인된 이후 관리기관에 의한 관리 활동으로서 '계측관리 등'에 해당하는 행위이므로 「급경사지법」 제7조를 근거로 소유자의 동의가 필요하다고 할 수 없음
- 따라서, 관리기관인 지자체장은 이미 붕괴위험지역으로 지정된 급경사지의 관리를 위해 소유자의 동의가 없더라도 안전점검을 할 수 있음

02

- 붕괴위험지역으로 지정된 사유지에 대하여 토지 소유주의 자력 정비가 가능한 경우에도 안전에 필요 조치 및 정비사업을 관리기관(관할 지자체장)이 실시하여야 하는지?
- 아니면 관계인(소유자 또는 관리자)으로 하여금 안전조치 명령을 통해 필요한 안전조치와 보수·보강 및 정비사업을 실시토록 하고 안전조치 명령 불이행 시 관리기관이 행정대집행을 준용하여 정비를 실시하고 비용을 청구할 수 있는지?

- 「급경사지법」 제17조에 따라 붕괴위험이 있는 급경사지에서 재해가 발생하였거나 발생의 우려가 있는 때에 관할 지자체장이 관계인에게 관련 시설의 사용 제한, 보수·보강, 제거 등의 안전조치를 명할 수 있고, 그 명령의 불이행이 있는 경우 관할 지자체장이 행정대집행도 할 수 있음.
- 다만, "정비사업"과 "안전에 필요한 조치"는 별개의 개념으로, 붕괴위험지역의 정비사업은 관리기관인 관할 지자체장이 실시하여야 함

03

- 도시계획시설(학교)로 지정된 사유지인 급경사지에 대한 관리기관은 어디인지?
- 재난예방을 위하여 보강공사가 반드시 필요한 급경사지의 토지 소유주가 해당 급경사지의 토지 보상 또는 토지사용승낙을 거부하는 경우 보강공사는 누가 시행해야 하는지?

- 해당 급경사지가 사유지이고, 붕괴위험지역으로 지정·고시되지 않은 경우, 「급경사지법」에 따른 관리기관은 없음
- 다만, 「급경사지법」 제17조제1항에 따라 시장·군수·구청장은 안전점검 결과 붕괴위험이 있는 급경사지에서 재해가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 때에는 관계인(토지의 소유자·점유자 또는 관리인)에게 보수·보강 등의 안전조치를 명령할 수 있음
- 참고로, 「급경사지법」 제17조제3항에 따라 시장·군수·구청장으로부터 안전조치 명령을 받은 자가 그 명령을 이행하지 아니하는 경우에는 시장·군수·구청장이 그에 대신하여 필요한 안전조치를 취할 수 있으며 이 경우 행정대집행법을 준용함

04

- A광역시로부터 일부지역이 붕괴위험지역으로 지정된 B공원의 관리를 위탁받은 A광역시 산하 지방공기업인 OO시설공단을 해당 급경사지의 관리기관으로 볼 수 있는지?

- 「급경사지법」에 따른 "관리기관"이란 급경사지를 소유하거나 관리하는 다음 각 목의 행정기관 및 공공기관을 말함
  ① 지방자치단체
  ② 지방산림청
  ③ 「한국농어촌공사 및 농지관리기금법」에 따른 한국농어촌공사
  ④ 「한국토지주택공사법」에 따른 한국토지주택공사
  ⑤ 「국가철도공단법」에 따른 국가철도공단
  ⑥ 「도시철도법」에 따른 도시철도공사
  ⑦ 「국립공원공단법」에 따른 국립공원공단
- 따라서, 해당 붕괴위험지역의 관리기관은 A광역시로 볼 수 있음

05

- 급경사지를 관리하고 있는 A광역시의 요청에 따라 해당 급경사지를 관할 지자체장인 B구청에서 붕괴위험지역으로 지정·고시한 경우 해당 급경사지의 관리·정비기관은 어디인지?

- 해당 급경사지의 관리기관은 A광역시이므로 관리·정비기관은 A광역시가 됨

계측업 등록 및 계측기기 성능검사 관련 분야

- A사는 계측업 등록을 위하여 계측장비를 마련하던 중 일부 계측기기를 B사로부터 구매하였음(중고)
  - 해당 기기는 B사에서 성능검사서(합격)를 받았고, 유효기간도 경과되지 않음
- 해당 계측기기에 대한 성능검사 의뢰자(B사)와 계측업 등록 신청자(A사)가 다른 경우에도 계측업 등록이 가능한지?

- 계측업 등록을 위한 보유장비 기준은「급경사지법」시행령 [별표1]에 명기된 장비를 모두 보유하고, 같은 법 시행규칙 제8조제1항제3호에 따라 계측장비 성능검사서 사본을 시·도지사에게 제출해야 하는 것으로,
- 소유자와 관계없이 계측기기 자체의 안전성을 검증하기 위한 취지로, 계측기기가 양도되더라도 성능검사에 합격하였다는 사실에는 변함이 없으므로,
- 이를 양수받은 A사는 별도의 성능검사를 받을 필요 없이 계측업 등록이 가능함

부록 5 급경사지 조사 비용 산정표(참고)

5.1 급경사지 안전점검 비용 산정표

〈부표 5-1〉 급경사지 안전점검 비용 산정표

급경사지 안전점검 비용 산정표						
※ 본 산정표는 급경사지 안전점검 사례를 참고하여 작성한 것으로, 지자체에서는 현장 여건 등을 반영하여 수정 활용 가능						
〈개소당〉						
구 분	소 요 기 술 자(인)					
	기술사	특급기술자	고급기술자	중급기술자	초급기술자	보조원
1. 계획수립 및 현지조사	0.0000	0.0040	0.0050	0.1050	0.1050	0.0180
2. 보고서 작성 및 업무협의	0.0000	0.0070	0.0180	0.0900	0.0900	0.0350
계	0.0000	0.0110	0.0230	0.1950	0.1950	0.0530

구 분	수량(인)	단가(원)	금액(원)	비 고
가. 직접인건비 (엔지니어링사업대가의 기준 제7조)				
1) 기 술 사	0.000			• 당해 연도 인건비 적용
2) 특급기술자	0.011			
3) 고급기술자	0.023			
4) 중급기술자	0.195			
5) 초급기술자	0.195			
6) 보 조 원	0.053			
나. 직접경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제8조)				
1) 교통비(공무원여비규정)	0.210			• 현장조사 2인 (중급, 초급)적용 • 100km 기준
2) 식비, 일비(공무원여비규정)	0.210			
다. 제경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제9조)				• 직접인건비의 110-120%
라. 기 술 료 (엔지니어링사업대가의 기준 제10조)				• 직접인건비+제경비의 20-40%(위탁수수료 10~15% 포함)
마. 계 (직접인전비+직접경비+제경비+기술료)				
바. 부가가치세	10%			
사. 합 계				• 천원단위 절사

5.2 급경사지 재해위험도평가 비용 산정표

〈부표 5-2〉 급경사지 재해위험도평가 비용 산정표

급경사지 안전점검 비용 산정표							
※ 본 산정표는 급경사지 안전점검 사례를 참고하여 작성한 것으로, 지자체에서는 현장 여건 등을 반영하여 수정 활용 가능							
〈개소당〉							
구 분	소 요 기 술 자(인)						
	기술사	특급기술자	고급기술자	중급기술자	초급기술자	보조원	
1. 계획수립 및 현지조사	0.0000	0.0100	0.0100	1.0000	1.0000	0.0100	
2. 보고서 작성 및 업무협의	0.0000	0.0100	0.0100	0.1000	0.0800	0.0100	
계	0.0000	0.0200	0.0200	1.1000	1.0800	0.0200	
구 분	수량(인)	단가(원)	금액(원)	비 고			
가. 직접인건비 (엔지니어링사업대가의 기준 제7조)							
1) 기 술 사	0.000			• 당해 연도 인건비 적용			
2) 특급기술자	0.020						
3) 고급기술자	0.020						
4) 중급기술자	1.100						
5) 초급기술자	1.080						
6) 보 조 원	0.020						
나. 직접경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제8조)							
1) 교통비(공무원여비규정)	2.000			• 현장조사 2인 (중급, 초급)적용 • 100km 기준			
2) 식비,일비(공무원여비규정)	2.000						
3) 지형도면 고시				• 추가 시 별도 비용 발생 • 지형도면 고시는 견적서로 계상			
다. 제경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제9조)				• 직접인건비의 110-120%			
라. 기 술 료 (엔지니어링사업대가의 기준 제10조)				• 직접인건비+제경비의 20-40%(위탁수수료 10~15% 포함)			
마. 계 (직접인전비+직접경비+제경비+기술료)							
바. 부가가치세	10%						
사. 합 계				• 천원단위 절사			

5.3 급경사지 붕괴위험지역 해제 평가 비용 산정표

〈부표 5-3〉 급경사지 붕괴위험지역 해제 평가 비용 산정표

급경사지 안전점검 비용 산정표

※ 본 산정표는 급경사지 안전점검 사례를 참고하여 작성한 것으로, 지자체에서는 현장 여건 등을 반영하여 수정 활용 가능

〈개소당〉

구 분	소 요 기 술 자(인)					
	기술사	특급기술자	고급기술자	중급기술자	초급기술자	보조원
1. 계획수립 및 현지조사	0.0000	0.0100	0.0100	1.0000	1.0000	0.0100
2. 보고서 작성 및 업무협의	0.0000	0.0100	0.0100	0.1000	0.0800	0.0100
3. 전문가 의견 작성	0.0000	0.5750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
계	0.0000	0.5950	0.0200	1.1000	1.0800	0.0200

구 분	수량(인)	단가(원)	금액(원)	비 고
가. 직접인건비 (엔지니어링사업대가의 기준 제7조)				
1) 기 술 사	0.000			• 당해 연도 인건비 적용
2) 특급기술자	0.595			
3) 고급기술자	0.020			
4) 중급기술자	1.100			
5) 초급기술자	1.080			
6) 보 조 원	0.020			
나. 직접경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제8조)				
1) 교통비(공무원여비규정)	2.000			• 현장조사 2인 (중급, 초급)적용 • 100km 기준
2) 식비,일비(공무원여비규정)	2.000			
3) 지형도면 고시				• 추가 시 별도 비용 발생 • 지형도면 고시는 견적서로 계상
다. 제경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제9조)				• 직접인건비의 110-120%
라. 기 술 료 (엔지니어링사업대가의 기준 제10조)				• 직접인건비+제경비의 20-40%(위탁수수료 10~15% 포함)
마. 계 (직접인전비+직접경비+제경비+기술료)				
바. 부가가치세	10%			
사. 합 계				• 천원단위 절사

5.4 급경사지 정밀조사 비용 산정표

〈부표 5-4〉 급경사지 정밀조사 비용 산정표

급경사지 안전점검 비용 산정표					
※ 본 산정표는 급경사지 안전점검 사례를 참고하여 작성한 것으로, 지자체에서는 현장 여건 등을 반영하여 수정 활용 가능					
〈개소당〉					
구 분	소 요 기 술 자(인)				
	기술사	특급기술자	고급기술자	중급기술자	초급기술자
1. 계획·준비	0.0000	0.3000	1.0000	0.0000	0.0000
2. 현지조사	0.0000	0.0000	1.8300	2.0000	0.0000
3. 사면안정해석	0.0000	0.0000	2.0000	3.6700	0.0000
4. 사면안정재해석	0.0000	1.0000	1.0000	1.1300	3.0000
5. 대책공법 수립 및 예산 산출	0.0000	1.0000	1.0000	2.5900	3.0000
6. 보고서 작성	0.0000	0.0000	1.9300	2.0000	0.0000
계	0.0000	2.3000	8.7600	11.3900	6.0000

구 분	수량(인)	단가(원)	금액(원)	비 고
가. 직접인건비 (엔지니어링사업대가의 기준 제7조)				
1) 기 술 사	0.000			• 당해 연도 인건비 적용
2) 특급기술자	2.300			
3) 고급기술자	8.760			
4) 중급기술자	11.390			
5) 초급기술자	6.000			
나. 직접경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제8조)				
1) 소모품비	1%			• 현지조사 인건비의 1%
2) 여비·일당·숙박비	3.830			• 공무원 여비규정 적용
3) 토질실험				• 추가 시 별도 비용 발생 • 토질실험은 견적서로 계상 • 물리탐사 및 시추조사는 지반조사 표준품셈에 따라 산정
4) 물리탐사				
5) 시추조사				
다. 제경비 (엔지니어링사업대가의 기준 제9조)				• 직접인건비의 110-120%
라. 기 술 료 (엔지니어링사업대가의 기준 제10조)				• 직접인건비+제경비의 20-40%(위탁수수료 10~15% 포함)
마. 계 (직접인전비+직접경비+제경비+기술료)				
바. 부가가치세	10%			
사. 합 계				• 천원단위 절사

급경사지 관리 실무편람

발 행 일 2025년 1월

발 행 처 행정안전부

주 소 세종특별자치시 도움6로 42, 재난경감과
전화: 044-205-5142

디 자 인 새롬출판
전화: 02-2272-3662

인 쇄 사단법인 대한민국공무원공상유공자회