

발 간 등 록 번 호

11-1500000-000480-14

터널 설계기준

2007

건설교통부

설계기준 개정에 따른 경과조치

이 터널설계기준 발간 시점에서 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

머 리 말

우리나라는 지형특성상 산지가 많아 국토의 효율적인 이용 및 환경 친화적인 사회기반시설 구축을 위하여 터널 수요가 매년 증가하고 있습니다. 특히 도로터널의 경우만 하더라도 1996년 170개소에 불과하였으나, 2006년에는 932개소로 연평균 84%가 증가하였으며, 국내 터널건설의 기술 수준도 날로 향상되고 있는 실정입니다.

본 터널설계기준은 1999년 처음으로 터널표준시방서와 분리하여 제정한 이후 8년이라는 세월이 흘렀으며 그동안 제·개정된 각종 관련법, 기준, 지침과의 연계성을 확보하고, 향상된 국내 터널기술 수준을 반영하며, 최근 현안문제 등을 개선하기 위하여 설계기준을 새롭게 개정하게 되었습니다.

본 터널설계기준은 재난에 대비하여 내진설계기준을 보완하고 터널공사의 안전성을 제고하였으며, 국제적인 추세에 맞추어 기계화 시공을 활성화하고 환경 친화적인 설계가 되도록 설계기준을 개선하였습니다.

이번 개정작업을 통하여 터널설계 기술을 한 단계 더 발전시키기 위하여 많은 노력을 기울였지만, 일부 미흡한 부분이 있을 수 있으리라 생각합니다. 향후 터널건설 기술의 발전과 국가 기술경쟁력의 확보에 밑거름이 되도록 지속적으로 보완할 계획이오니 건설기술자 여러분의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

끝으로, 이번 개정작업에 참여하신 (사)한국터널공학회의 집필진과 자문위원, 중앙건설심의위원, 관계공무원의 노고에 마음깊이 감사드립니다.

2007년 12월

검설교통부 도로기획관

김 명 국 김명국

목 차

제1장 총 칙	1
1.1 적용범위	1
1.2 참조 법규 및 관련 기준	1
1.3 용어의 정의	2
제2장 계 획	15
2.1 계획일반	15
2.2 터널의 계획	16
제3장 조 사	23
3.1 조사일반	23
3.2 입지환경조사	24
3.3 지반조사	28
3.4 시험	32
3.5 시공 중 보완조사	34
3.6 지반조사 성과의 정리	34
제4장 설계일반	37
4.1 설계의 기본방향	37
4.2 설계방법의 선정	39
4.3 설계내용의 변경	39
4.4 터널 내진설계	40
4.5 품질보증에 대한 기본사항	45
제5장 터널지보재	47
5.1 설계일반	47
5.2 강지보재	48
5.3 슛크리트	50
5.4 록볼트	53

제6장 콘크리트라이닝	57
6.1 설계일반	57
6.2 재료 및 강도	57
6.3 형상 및 두께	58
6.4 설계하중	59
6.5 구조설계	60
6.6 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치	61
6.7 균열 방지대책	61
6.8 천장부 채움	62
제7장 터널안정성 해석	63
7.1 해석일반	63
7.2 해석 입력자료	64
7.3 하중	65
7.4 해석방법	65
7.5 해석 결과의 평가	66
제8장 배수 및 방수	67
8.1 설계일반	67
8.2 배수형식의 선정	67
8.3 배수방법의 세부 사항	69
8.4 방수방법의 세부 사항	70
8.5 허용 누수량	71
8.6 하저 및 해저 터널의 방수형식	72
제9장 굴착 및 계측	73
9.1 굴착방법	73
9.2 굴착공법	76
9.3 계측	77

제10장 갯구부	81
10.1 설계일반	81
10.2 갯구부의 설계	82
10.3 갯문의 설계	84
제11장 단면확폭부 및 접속부	87
11.1 설계일반	87
11.2 단면확폭부의 설계	88
11.3 접속부의 설계	88
제12장 연직갱 및 경사갱	91
12.1 설계일반	91
12.2 연직갱의 설계	92
12.3 경사갱의 설계	95
제13장 TBM 터널	99
13.1 TBM 적용일반	99
13.2 계획	99
13.3 조사	103
13.4 설계일반	104
13.5 TBM의 선정	105
13.6 TBM의 제작	106
13.7 터널지보재 및 보조공법	111
13.8 세그먼트라이닝	112
13.9 작업장 및 작업구	114
13.10 발진기지	115
13.11 터널 내 운반 시스템의 설계	116
13.12 기타 설비	117
13.13 뒤채움 주입재의 설계	120
13.14 방수설계	121
13.15 콘크리트라이닝	122

제14장 환기, 조명, 방재 설비	123
14.1 설계일반	123
14.2 환기설비	123
14.3 조명설비	125
14.4 방재설비	129
14.5 공사 중 설비	130
14.6 수방설비	132
14.7 하·해저터널	133
단위환산표	135

제1장 총 칙

1.1 적용범위

1.1.1 이 설계기준은 지반을 개착하지 않고 시공하는 터널공사(mined tunnel)의 계획, 조사, 설계에 대한 기준이다.

1.1.2 설계를 위한 조사의 제한성 및 실제 지반 변화의 다양성 등 터널설계의 특성으로 인하여 설계내용을 현장 여건에 적합하도록 변경하는 경우에도 본 기준을 적용하여야 한다.

1.1.3 터널공사와 관련되는 사항으로서 본 기준에서 규정하지 않은 사항은 다른 관련 설계기준에서 정하는 바에 따라야 한다.

1.2 참조 법규 및 관련 기준

1.2.1 터널건설 시 준수하여야 하는 관련 법규 및 기준을 모두 검토하여 해당 내용에 위배되지 않도록 설계하여야 한다. 조사대상이 되는 주된 법규 및 관련 지침 등은 다음과 같다.

- (1) 환경오염 방지 및 환경보전 관계 : 대기환경보전법, 자연환경보전법, 자연공원법, 산림법, 조수보호및수렵에관한법률, 소음·진동규제법, 수질환경보전법, 해양오염방지법, 수도법, 하수도법, 광업법, 지하수법, 철도건설법, 폐기물관리법, 토양환경보전법, 환경정책기본법, 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법 등
- (2) 재해방지 관계 : 사방사업법, 택지개발촉진법, 농어업재해대책법, 자연재해대책법 등
- (3) 국토개발 관계 : 국토기본법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 등

제1장 총 칙

- (4) 하천 관계 : 하천법, 공유수면관리법, 지하수법, 온천법 등
- (5) 도시계획 관계 : 도시계획법, 도시공원법 등
- (6) 도로 및 교통 관계 : 도로법, 철도건설법, 도시철도법 등
- (7) 군사 관계 : 군사기밀보호법, 군사시설보호법 등
- (8) 문화재 관계 : 문화재보호법 등
- (9) 안전 관계 : 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 건설기술관리법, 산업안전보건법, 철도안전법 등
- (10) 총포·도검·화약류 등 단속법 등
- (11) 관련 기준 및 지침 : 건설공사 비탈면설계기준 및 유지관리지침, 도로설계기준, 도로안전시설 설치 및 관리지침, 도로포장설계 시공지침, 도로터널 방재시설 설치지침, 도로터널 조명시설 설계기준, 도시철도 건설규칙, 시설물 유지관리지침, 철도건설규칙, 철도설계기준, 고속철도설계기준, 철도시설 안전기준에 관한 규칙, 철도시설안전 세부 기준, 콘크리트구조설계기준, 토목공사 설계기준, 도로의 구조·시설에 관한 규칙 등
- (12) 관련 시방서 : 가설공사 표준시방서, 건설공사 비탈면 표준시방서, 고속도로공사 전문시방서, 도로공사 표준시방서, 도시철도(지하철)공사 표준시방서, 콘크리트 표준시방서 등

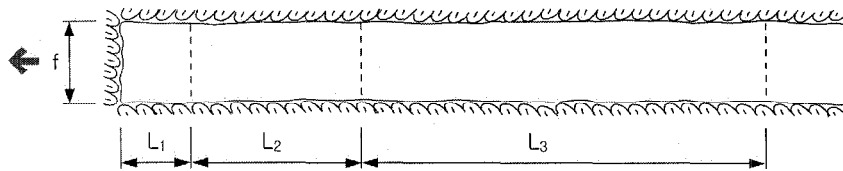
1.3 용어의 정의

1.3.1 본 설계기준에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- 가동률(operation ratio) : 기계식 굴착장비에서 장비 유지 및 커터 교체 등에 소요되는 시간을 제외한 전체 시간에 대한 장비의 가동시간 비율을 의미한다.
- 강섬유 보강 슛크리트(steel fiber reinforced shotcrete) : 슛크리트의 강도 특성을 보완하기 위하여 강섬유를 혼합하여 타설하는 슛크리트를 말한다.
- 개방형 쉘드 TBM : 터널 굴진면과 맞닿는 커터헤드부의 전부 또는 대부분이 개방되어 있는 쉘드 TBM을 말한다.
- 경사 : 층리면(지층면), 단층면, 절리면 등의 지질 불연속면이 수평면에 대하여 최대 기울어진 각도를 말하며, 경사방향은 주향과 항상 직교하게

나타나며, 진북을 기준으로 측정한다.

- 계측 : 터널굴착에 따른 주변 지반, 주변 구조물 및 각 지보재의 변위 및 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위를 말한다.
- 교통환기력 : 터널을 주행하는 차량의 피스톤효과에 의하여 발생하는 환기력을 말한다.
- 굴진면(또는 막장면) : 터널굴진방향에 대한 굴착면을 말하며 거의 연직에 가까운 것이 대부분이다. 또한 굴진면 후방의 20~30m 구간의 굴착작업이 주체적으로 실시되는 영역을 굴착부(막장부)라고도 한다.



(f : 굴진면, L₁ : 굴진구역,
L₂ : 굴착구역, L₃ : 후방구역)

<그림 1.3.1> 굴진면과 굴착부

- 굴진율(advance ratio) : 기계식 굴착장비의 단위시간당 굴진장을 의미하며, 단위시간의 계산 시 작업시간과 휴식시간을 모두 고려한다.
- 굴착공법 : 굴진면 또는 터널굴착방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로서 전단면굴착공법, 분할굴착공법, 선진도갱굴착공법 등이 있다.

<표 1.3.1> 굴착공법의 종류

공 법		굴 진 도	
전단면굴착(full face cut)		횡 단 면	종 단 면
수 평 분 할 굴 착	롱벤치 컷 (long bench)		
	숏벤치 컷 (short bench)		
	미니벤치 컷 (mini bench)		
	다단벤치 컷 (multi bench)		
연직분할굴착			
선진도갱굴착			

제1장 총 칙

- 굴착방법 : 굴진면의 지반을 굴착하는 수단을 말하며 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착방법 등이 있다.
- 기계굴착 : 브레이커(핸드, 소형, 대형), 굴착기, 전단면 터널굴착기계(TBM) 등을 이용하여 터널을 굴착하는 방식이며, 전단면 터널굴착은 연암 이상의 암반에서 전단면을 굴착하는 open TBM 방식과 연암 이하의 지반에서 전단면을 굴착하는 쉴드(shield) TBM 방식이 있다.

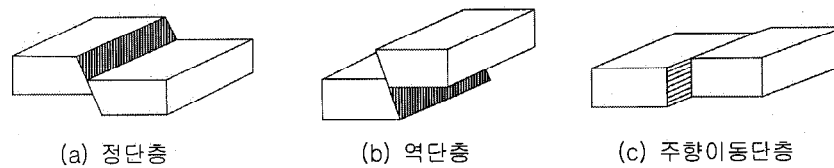
<표 1.3.2> 기계굴착 시공법의 분류

쉴드의 유무	지보시스템	반 력	명칭 및 종류	
무쉴드	None	자 중	로드헤더(road header) (In line cutter, Transverse cutter)	
			디거(digger type) (Backhoe, Ripper, Hydraulic hammer)	
		그리퍼 (gripper)	Open TBM	
			터널확공기 (Tunnel Rearming Machine)	
쉴드	주면지보 (전면개방형)	그리퍼	싱글 (single) 쉴드TBM	그리퍼쉴드 TBM
		추진잭		세그먼트(segmental) 쉴드 TBM
		그리퍼 + 추진잭	더블(Double)쉴드 TBM	
	주면 및 막장지보 (전면밀폐형)	추진잭	기계식 지보(Mechanical support) 쉴드TBM	
			이수식(Slurry) 쉴드 TBM	
			토압식(Earth pressure balance) 쉴드 TBM	
			혼합식 쉴드 TBM	개방형 + 토압식
				개방형 + 이수식
				토압식 + 이수식

- 기본부조명 : 터널 전체에 걸쳐 원칙적으로 조명기구를 일정 간격으로 배치하여 조명하는 것으로 터널 외부로부터 터널에 진입한 운전자가 입구부 조명구간을 통과하여 정상적 시각 상태에 도달한 후의 조명을 말한다.

1.3 용어의 정의

- 기본수준면 : 물높이를 측량할 때, 기준이 되는 높이로서 일반적으로 가장 낮은 간조의 평균 수면으로 정한다.
- 내공변위량 : 터널굴착으로 발생하는 터널 내공의 변화량으로 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 한다.
- 단면확폭부 : 일반구간보다 단면이 확폭 변화된 단면구간을 말한다.
- 단층 : 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다.



<그림 1.3.2> 단층의 종류

- 대피로 : 터널 내의 화재 시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 터널과 평행한 서비스터널이나 사갱 및 수직갱 등을 말한다.
- WGS-84(world geodetic system, 1984) : 지구중심기준의 지심좌표계(geocentric coordinate system)로 표현된다. 각 국가 간의 좌표에 관한 정보일치성을 고려하여 현재 범세계적으로 통용되고 있으며, 우리나라에서도 현재 군사용 표준으로 채택하여 1996년 7월 1일 이후부터 사용하고 있다.
- 동상방지층 : 노상의 동결에 따른 동상피해를 억제하기 위하여 동결깊이만큼의 노상을 동상방지 재료로 치환하는 층을 말한다.
- 동적해석법 : 지반 및 구조물의 거동을 동적으로 산정하는 해석법으로 가속도의 시간이력을 사용하는 시간이력 응답해석법과 응답스펙트럼에 기초한 설계 스펙트럼을 사용하는 해석법이 있다.
- 디스크커터 : TBM 등 각종 기계굴착기에 부착되는 원반형의 커터로 회전력과 압축력에 의하여 암반을 압쇄시켜 굴착한다.
- DGPS(differential global positioning system) : 기지국이 필요 없는 정밀 위성위치확인시스템으로 이미 알고 있는 기지점 좌표를 이용하여, 기존 GPS의 오차를 보정한 신호를 받는 GPS를 말한다.
- 록볼트(rock bolt) : 굴착암반면의 안정보강을 위하여 삽입하는 볼트이며,

제1장 총 칙

암반을 일체화함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착 방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식이 있다.

- 록볼트 인발시험 : 록볼트의 인발내력을 평가하기 위한 시험을 말한다.
- 록볼트 축력 : 지반에 설치된 록볼트에 발생하는 축방향 하중을 말한다.
- 마모도(abrasivity) : 커터의 마모 비율을 의미하며, 일반적으로 단위 절삭부 피당 커터의 무게감소량을 의미한다.
- 물리탐사 : 물리적 수단에 의하여 지질이나 암체의 종류, 성상 및 구조를 조사하는 방법으로서 탄성파탐사, 전기탐사, 중력탐사, 자기탐사, 전자탐사 및 방사능탐사 등이 있다.
- 미기압파(micro pressure wave) : 열차의 터널 진입으로 인하여 발생된 압축파가 터널을 따라 열차진행 방향으로 전파되어 출구에서 급격히 방출 팽창됨으로써 생성되는 큰 음압레벨의 충격파(impulsive wave)를 말한다.
- 밀폐형 쉘드 TBM : 격벽을 갖고 있으며 굴진면과 격벽 사이의 챔버(chamber) 내를 토사 또는 이수로 채우고, 토사 또는 이수에 충분한 압력을 유지시켜 굴진면의 안정을 도모하는 구조의 쉘드 TBM을 말한다.
- 바닥부 : 터널단면의 바닥 부분을 말한다.
- 발진터널 : TBM의 초기 굴착 시 TBM 본체의 발진을 위한 터널로서 발파 공법에 의하여 굴착하며, 일반적으로 TBM 본체길이 정도의 터널이 필요하다.
- 발파굴착 : 착암기나 점보드릴 등 천공장비에 의하여 천공된 공에 화약을 장약함으로써 그 폭발력을 이용하여 암반을 굴착하는 방법을 말한다.
- 배연(smoke exhaust) : 화재 시 발생하는 연기 및 열기류를 화재지점으로 부터 외부로 배출하는 것을 말한다.
- 버력 : 터널굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭이다.
- 벤치(bench) : 터널단면을 상·하로 분할하여 굴착하는 경우 분할면을 벤치(bench)라 한다.
- 벤치길이 : 분할굴착 시 상부 굴진면과 하부 굴진면 간의 터널 축방향 이격거리를 말한다.
- 변형여유량 : 굴착에 따른 지반변형이 있더라도 계획 내공단면이 확보될

1.3 용어의 정의

수 있도록 미리 예상되는 지반변형량만큼 여유를 두어 굴착하는 내공 반경방향의 여유량을 말한다.

- 보조지보재 : 굴착 시 지반의 지지능력을 보완해 주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭이다.
- 불연속면(discontinuities in rock mass) : 모든 암반 내에 존재하는 절리, 퇴적암에 존재하는 층리, 변성암에 존재하는 엽리, 대규모 지질구조와 관련된 단층과 파쇄대 등 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄하여 일컫는 말이다.
- 비상전원 : 상시전원(정상적인 상태에서 외부로부터 전력을 공급받아 사용하고 있는 전력공급원)이 사고나 고장에 의하여 공급되지 못할 경우에 사용하기 위한 전력공급원을 말한다.
- 비상조명 : 화재 등 사고로 인한 갑작스런 정전 시 이차사고를 방지하고 안전하고 원활한 피난활동을 할 수 있도록 설치하는 예비조명을 말한다.
- 섬유보강 쏫크리트(fiber reinforced shotcrete) : 쏫크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강 또는 기타 재료의 섬유를 혼합하여 타설하는 쏫크리트를 말한다.
- 세그먼트(segments) : 터널, 특히 쉴드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위조각으로, 재질에 따라 강판을 용접한 강제 세그먼트, 철근콘크리트제의 콘크리트 세그먼트, 주조에 의하여 제조된 주철 세그먼트 및 콘크리트 세그먼트의 단면에 지멘이 붙은 강판을 배치한 합성 세그먼트 등이 있다.
- 쏫크리트(shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어 내어 소정의 위치에 부착시켜 시공하는 콘크리트이다.
- 수격압(water hammering pressure) : 펌프의 급작스러운 가동 및 정지, 밸브의 급작스러운 개·폐 등에 의하여 관내 수류가 급작스러운 변화를 일으켜 발생하는 압력을 말한다.
- 쉴드 TBM(shield TBM) : 주변 지반을 지지할 수 있는 보호강관(shield)이 부착되어 있는 TBM을 말한다.
- 스킵(skip) : 수직갱을 통하여 버력 등을 운반하는 데 사용되는 운반용구를 말한다.

제1장 총 칙

- 스프링 라인(spring line) : 터널의 상반 아치의 시작선 또는 터널단면 중 최대폭을 형성하는 점을 중방향으로 연결하는 선을 말한다.
- 습곡(fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 의하여 물결처럼 굽어 있는 구조를 말한다.
- 시설한계 : 터널이용 목적을 원활하게 유지하기 위한 공간적 한계이며, 시설한계 내에는 시설물을 설치할 수 없도록 규제하고 있다.
- 시스템 록볼트(system rock bolt) : 일정한 간격과 길이로 규칙적으로 배열하는 록볼트 설치형식을 말한다.
- 신호기 : 운행 중인 차량이나 열차에 통행의 우선권 등 포괄적인 지시를 하는 장치를 말한다.
- 안전영역(safety zone) : 터널의 안전에 영향을 미치는 정도를 규정한 터널 주변의 영역으로서 각 영역별로 터널안전을 위한 대책을 강구하도록 규제하는 영역을 말한다.
- RMR(rock mass rating) 분류 : Bieniawski가 제안한 정량적인 암반 분류방법이며 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법을 말한다.
- RQD(rock quality designation) : 시추코아 중 10cm 이상되는 코아편 길이의 합을 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는 데 사용한다. 이때 코아의 직경은 NX 규격 이상이어야 한다.
- 압입깊이(penetration depth) : 기계식 굴착장비에서 사용되는 커터가 1회 진행할 때 암석 내부로 압입되는 깊이를 의미하며, 추력과 회전력에 따라 변화하는 값으로 비에너지양을 산정할 때 사용된다.
- 압착성 지반 : 시간의존성 전단변위를 나타내는 성질을 가지는 지반으로 스퀴징 록(squeezing rock)을 의미한다.
- 애추(talus) : 식생피복이 되어 있지 않은 급한 기울기의 비탈면 아래에 풍화암 부스러기가 풍화작용 및 중력작용에 의하여 낙하함으로써 군집 형성된 돌무더기의 퇴적물을 말한다.
- 어깨(shoulder) : 터널의 천장과 스프링 라인의 중간점을 말한다.
- 언더피닝(underpinning) : 기존 구조물이나 기초를 변경 혹은 확대하거나 인접공사 등으로 보완이 필요한 경우 기존 구조물을 보강 또는 지지하는 공법을 말한다.

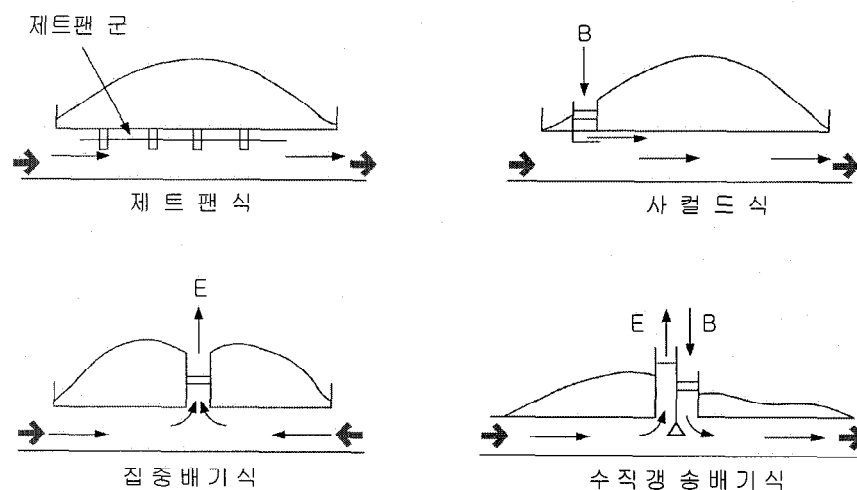
1.3 용어의 정의

- 여굴 : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 것을 말한다.
- 엽리 : 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상으로 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조를 말한다.
- open TBM : 무지보 상태에서 기기전면에 장착된 커터의 회전과 주변 압반으로부터 추진력을 얻어 터널 전단면을 절삭 또는 파쇄하여 굴진하는 터널굴착기를 말한다.
- 외판(skin plate) : 쉘드 TBM에서 굴진장치, 세그먼트 조립장치 등을 감싸고 있는 원통형의 판을 말한다.
- 용출수 : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수를 말한다.
- 응답변위법 : 표층지반의 전단진동에 따른 변위를 지반 속에 위치한 터널에 입력함에 따라 터널의 변형과 응력을 산정하는 내진설계의 한 방법을 말하며, 지진 시 지층지반의 변위는 일반적으로 수평변위를 대상으로 하고 응답스펙트럼에서 계산식으로 구하는 방법과 유한요소법 등의 진동모델에서 진동파형을 입력하여 구하는 방법이 있다.
- 이렉터(erector) : 쉘드 TBM의 구성요소로 세그먼트를 들어올려 링으로 조립하는 데 사용하는 장치를 말한다.
- 이수식(슬러리) 쉘드 TBM : 이수에 소정의 압력을 가하여 굴진면의 안정을 유지하며, 이수의 순환에 의하여 굴착토의 액상수송을 시행하는 방식의 쉘드 TBM이다. 지반을 굴착하는 굴착기구, 이수를 순환시켜 이수에 일정한 압력을 가하기 위한 설비, 굴착 수송된 이수를 분리하여 이수를 소정의 소성 상태로 조정하기 위한 설비, 이수처리설비 등으로 구성된다.
- 이완영역 : 터널굴착으로 인하여 터널주변의 지반응력이 재분배되어 다소 느슨한 상태로 되는 범위를 말한다.
- 인버트(invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90° 구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥부분을 지칭한다. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며, 인버트 부분의 콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류한다.
- 일상계측 : 일상적인 시공관리를 위하여 실시하는 계측으로서 지표침하, 천단침하, 내공변위 측정 등이 포함된 계측이다.
- 임구부조명 : 운전자가 터널 진입 후 터널 내부의 조명에 순응하지 못하여

제1장 총 칙

암흑으로 보이는 일시적인 현상을 경감하기 위하여 터널 입구부에 설치한 조명설비를 말한다.

- 자가발전설비 : 외부 전원의 정전에 대비하여 전기 수용자가 별도로 설치한 발전전원설비를 말한다.
- 잭 스트로크 : 쉴드 TBM의 추진과 세그먼트의 조립을 위한 잭의 유효 길이를 말한다.
- 절리 : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며 이 성인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것이 있다.
- 접속부 : 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간을 말한다.
- 정밀계측 : 정밀한 지반거동 측정을 위하여 실시하는 계측으로서 계측항목이 일상계측보다 많고 주로 종합적인 지반거동 평가와 설계의 개선 등을 목적으로 수행한다.
- 제연(smoke control) : 화재 시 연기 및 열기류의 흐름방향을 제어하는 것을 말한다.
- 종류식 환기방식 : 터널의 종방향으로 작용하는 교통환기력 및 자연환기력을 보충하는 환기용 송풍기의 분류효과에 의한 승압력을 발생시켜 소요 환기량을 확보하게 하는 방식을 말한다.



<그림 1.3.3> 종류식 환기방식의 종류

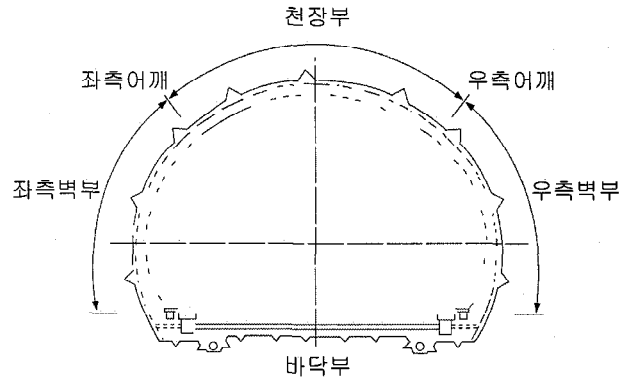
1.3 용어의 정의

- 주지보재 : 굴착 후 시공하는 지보재로서 보조지보재 및 콘크리트라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며 강지보재, 슛크리트 및 록볼트 등으로 구성된다.
- 주향 : 불연속면(층리면, 단층면, 절리면 등)과 수평면의 교선방향을 진북 방향 기준으로 측정한 방위를 말한다.
- 지구물리검층 : 지질단면 또는 시추공에 대하여 조사를 할 때 암석의 지질학적 내용과 물리적 성질을 기록하는 일을 말한다.
- 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분이다.
- 지반 조건(ground condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등을 말한다.
- 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- 지보패턴 : 터널굴진면의 지반 상태와 터널 천단부 및 그 상부의 지반 상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 미리 설정해 놓은 지보 형태를 말하며, 터널굴착 후 조기에 설치하여 터널의 안정을 꾀하기 위하여 설치하는 슛크리트, 록볼트, 강지보공과 보조공법 등을 조합한 것이다.
- 지중변위 : 터널굴착으로 인하여 발생하는 굴착면 주변 지반의 변위로서 터널반경방향의 변위를 말한다.
- 지중침하 : 터널을 굴착할 때 인접지반은 침하를 일으키며 터널 천장부를 기점으로 하여 지표로 갈수록 각 지층의 침하량은 깊이별로 서로 다르게 나타나는데 이때의 깊이별 침하를 말한다.
- 지표침하 : 터널굴착으로 인하여 지표면이 침하되는 형상을 말한다. 지표침하는 터널의 종단 및 횡단방향으로 여러 곳에 침하판을 설치하여 터널굴착 시 변화되지 않는 기준점에 대한 상대적인 침하량을 측정하여야 한다.
- 지하매설물 : 지표하부에 묻혀 있는 인공구조물로서 지장물이라고도 말한다.
- 질소산화물(NOx) : 엔진 내에서 연료의 연소 시 고온에 의하여 공기 중의 질소와 산소가 열반응하여 생성되는 물질을 말한다.
- 천단침하 : 터널굴착으로 인하여 발생하는 터널 천장의 연직방향 침하를

제1장 총 칙

말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단침하량으로 정의한다.

- 천장부(crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.



<그림 1.3.4> 터널 내 위치별 명칭

- 초기응력 : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력을 말한다.
- 추력(thrust force) : 커터헤드의 굴착면으로의 추진력을 의미한다.
- 출구부조명 : 운전자가 주간에 터널 출구부를 보았을 때 출구부가 밝은 배경이 되어 식별이 곤란하므로 출구 부근에 있는 물체를 구분하기 위하여 터널 출구부를 밝게 하는 조명을 말한다.
- 측벽부(wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말한다.
- 측선 : 계측을 위하여 설정한 측점 사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선을 말한다.
- 층리 : 퇴적암이 생성될 때 퇴적 조건의 변화에 따라 퇴적물 속에 생기는 층을 이루는 구조를 말한다.
- 카피커터(copy cutter) : 곡선부에서 쉘드 TBM의 원활한 추진을 위하여 내측곡선 부분에서 곡선반경방향으로 확대 굴착하기 위하여 쉘드 TBM 커터헤드의 측면에 설치한 커터를 말한다.
- 커터(cutter) : TBM의 커터헤드에 토사 또는 암반의 굴착을 위하여 부착하는 금속으로 디스크커터, 커터비트, 카피커터 등이 있다.
- 커터비트(cutter bit) : 쉘드 TBM의 커터헤드에 부착하는 칼날형의 고정식

1.3 용어의 정의

비트로 본체와 팁으로 구성되어 있다. 크롬몰리브덴강, 니켈크롬몰리브덴강 등의 내마모강으로 만든 본체의 끝부분에 텅스텐, 코발트, 탄소로 만든 초경합금인 팁을 용접하여 사용한다.

- 커터숍(cutter shop) : TBM 작업 시, 특히 암반부 굴착 시 다량 소요되는 예비 커터를 보관하고, 커터를 정비하는 창고를 말한다.
- 커터헤드(cutter head) : TBM의 맨 앞부분에 배열 장착되는 디스크커터 또는 커터비트 등 각종 커터를 부착하여 회전·굴착하는 부분을 말한다.
- 케이지(cage) : 수직갱을 통하여 버력이나 작업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.
- K형 세그먼트 : 쉘드 TBM 작업에서 세그먼트 조립 시 마지막으로 끼워 넣는 세그먼트를 말한다.
- 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재를 말한다.
- Q-시스템 : 바톤(Barton) 등이 제안한 정량적인 암반 분류의 하나이며 RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화 정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법을 말한다.
- 테이퍼링(taper ring) : 곡선부의 시공 및 선형수정에 사용하는 테이퍼처리한 링을 말한다. 특히, 폭이 좁은 판상은 테이퍼 플레이트링(taper plate ring)이라 한다.
- 테이퍼량 : 테이퍼링에 있어서 최대폭과 최소폭과의 차이를 말한다.
- 테일 보이드(tail void) : 세그먼트로 형성된 링의 외경과 쉘드 TBM 외판의 바깥 직경 사이의 원통형의 공극을 말한다. 즉, 테일 스킨 플레이트의 두께와 테일 클리어런스의 두께의 합을 말한다.
- 테일 스킨 플레이트(tail skin plate) : 쉘드 TBM 테일부의 외판(skin plate)을 말하며 일반적으로 외판보다 약간 두껍다.
- 테일 실(tail seal) : 쉘드 TBM의 외판 내경과 세그먼트 간의 틈이 생기는 데 이곳으로 지하수의 유입 또는 뒤채움 주입제의 역류를 막기 위하여 쉘드 TBM 후단에 부착하는 것을 말한다.
- 테일 클리어런스(tail clearance) : 테일 스킨 플레이트의 내면과 세그먼트 외면 사이의 간격을 말한다.

제1장 총 칙

- 토압식 쉴드 TBM : 회전 커터헤드로 굴착 · 교반한 토사를 굴진면과 격벽 사이에 충전시켜 쉴드 TBM의 추진력에 의하여 굴착토를 가압함으로써 굴진면 전체에 작용시켜 굴진면의 안정을 유지하면서 스크류컨베이어 등으로 배토하는 쉴드 TBM을 말한다.
- 토포 : 터널 천장으로부터 지표면까지의 연직높이를 말한다.
- 틸트 : 불연속면에 대하여 수직한 방향으로 벌어진 거리를 말한다.
- TBM(tunnel boring machine) : 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화 · 시스템화되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 open TBM과 쉴드 TBM으로 구분한다.
- TCR(total core recovery) : 시추길이에 대하여 회수된 코아의 길이 비를 백분율로 표시한 값을 말한다.
- 파쇄굴착 : 유압가스, 팽창성 모르터, 특수저폭속화약 등을 이용하여 암반을 파쇄시켜 굴착하는 방법을 말한다.
- 팽창성 지반 : 터널굴착에서 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등을 말한다.
- 편압 : 터널의 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.
- 표준지보패턴 : 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴을 지칭한다.
- PIARC (permanent international association of road congresses) : 국제상설도로회의의 약칭을 말한다.
- 필러(pillar) : 굴착면 사이에 남아 있는 기둥이나 벽 모양의 지반을 말한다.
- 함수미고결지반 : 신생대 3기 말부터 제4기에 형성된 퇴적물, 암석의 풍화대, 파쇄대 등의 미고결 또는 물을 포함하고 있어 고결도가 낮은 지반을 말한다.
- 허용편차 : 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값을 말한다.
- 환기설비 : 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 유입 또는 급기하거나 오염공기를 배출하기 위한 설비를 말한다.
- 회전력(torque) : 커터헤드를 회전시키는 힘의 크기를 말한다.
- 후드부 : 쉴드강관의 일부로 선단부에 있어서 굴진면의 안전을 유지하고 작업공간의 확보와 안전을 꾀하기 위하여 정상부를 보호하는 부분을 말한다.

제2장 계 획

2.1 계획일반

2.1.1 터널계획은 지역 여건, 지형 상태, 지반 조건, 토지이용 현황 및 장래 전망 등 사전조사 성과를 기초로 하여 수립하여야 한다.

2.1.2 터널계획은 터널건설의 목적과 기능의 적합성, 공사의 안전성과 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비와 유지관리비 등을 포함하여 경제성이 있도록 하여야 한다.

2.1.3 터널계획 시 운영 중 유지관리도 고려하여야 한다.

2.1.4 터널계획은 공사 중은 물론 유지관리 시에도 주변 환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 하여야 하고, 환경보전에 대하여도 배려하여야 하며, 건설폐기물의 저감, 재활용, 적정한 처리 및 처분에 대한 계획을 수립하여야 한다.

2.1.5 터널의 구조와 형상은 사용 목적, 지형, 지반, 시공법 및 하중 조건 등을 고려하여 결정하여야 한다.

2.1.6 터널단면은 도로, 철도 및 도시철도 등의 표준단면을 기본으로 소단면, 중단면, 대단면 및 특수단면으로 구분한다. 여기서, 소단면은 1차로(단선), 중단면은 2차로(복선), 대단면은 3차로(삼선) 이상 또는 아치가 2개 이상, 특수단면은 표준단면 외의 형상을 갖는 단면을 말한다. 또한, 표준단면이 아닌 경우에는 유사한 크기의 단면적을 기준으로 구분하여야 하며 터널의 기능과 목적에 따라 내공단면의 크기를 계획하여야 한다.

2.1.7 터널은 일반적으로 길이에 따라 1,000m 미만을 짧은터널, 1,000m 이상을

제2장 계 획

장대터널이라고 하며, 경우에 따라 5,000m 이상의 터널을 초장대터널로 구분할 수 있다.

2.1.8 터널의 환기, 방재, 부속설비, 유지관리계획과 조사, 안정성 해석 및 계측 등의 설계 적용은 터널단면의 크기, 길이, 교통량, 기울기 및 사용 목적에 따라 적용할 수 있다. 또한, 대단면 및 특수단면이나 장대터널 이상에서 설치 위치나 단면형상이 특수 조건인 경우에는 사전에 별도의 설계기준을 마련하여 적용하는 것을 원칙으로 한다.

2.1.9 터널의 계획은 터널 입구부와 출구부에 연결되는 시설물(도로, 철도 등)을 포함하는 종합적인 검토를 통하여 수립하여야 한다. 또한, 터널구조계획에 있어서는 터널의 부속설비와의 연관성을 고려하여야 한다.

2.2 터널의 계획

2.2.1 터널의 선형은 평면선형과 종단선형으로 구분하며 터널의 사용 목적과 사용 조건 등의 계획적인 요건뿐만 아니라 입지 조건, 지반 조건, 지상물, 민원 및 환경영향 등을 포함한 시공상의 요건을 고려하여야 한다. 또한, 터널을 하저 또는 해저에 시공할 경우에는 수심영향도 고려하여야 한다.

2.2.2 평면선형계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널노선은 가능한 한 지반 조건과 시공성이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변 환경에 미치는 영향이 적은 곳을 통과하도록 결정하여야 한다. 특히, 편압이 예상되는 비탈면과 습곡지역, 애추(talus) 분포지역, 용출수나 지표수가 많은 것으로 판단되거나 조사된 지역, 안정성이 우려되는 단층 및 파쇄대지역 등은 기급적 피하도록 계획하여야 한다.
- (2) 평면선형은 가능한 직선으로 계획하되 주변 여건, 지형 현황, 지반 조건 및 터널길이 등을 감안하여 곡선으로 계획할 경우에는 이용자 측면을

- 고려하여 곡선반경을 크게 하여야 한다.
- (3) 평면선형과 종단선형은 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다.
- (4) 터널의 갱구위치는 안정된 지반으로 지형 조건이 좋은 위치에 선정하도록 하여야 하며, 토지이용 현황과 토피 등을 감안하고 환경성과 시공성을 우선하여 결정하되 비탈면에 가급적 직교하도록 선정하여야 한다.
- (5) 터널을 2개 이상 병렬 또는 인접하여 계획하는 경우에는 터널단면의 크기, 굴착대상 지반의 공학적 특성, 발파진동영향, 터널 전·후 구간의 용지보상 규모, 지장물 및 민원물건 등을 감안하여 터널굴착공사로 인한 주변 지반거동 및 발파진동이 인접터널에 나쁜 영향을 미치지 않도록 상호 충분히 이격시켜야 한다. 터널 간 이격거리를 줄여야 할 경우에는 안정성을 확보할 수 있도록 굴착방법, 굴착공법 및 보강공법 등 적절한 대책을 수립하여야 한다.
- (6) 계획된 터널이 지상구조물, 지하구조물, 터널 등 기존 시설물에 근접하여 통과하는 경우에는 기존 시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널굴착공사로 인한 상호 영향을 검토하여야 하며 장래 지상 및 지하 개발계획을 감안하여 필요 시 방호공 등의 사전대책을 수립하여야 한다.
- (7) 선형계획 시 제반 제약 조건으로 인하여 편압이 작용하는 곳에 갱구를 설치하거나 갱구주변 지반에서 비탈면활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 등이 예상되는 조건을 가질 경우에는 갱문의 구조 선정에 유의하여야 하고, 방호설비 등을 추가적으로 검토하여야 한다.
- (8) 터널의 부속설비인 환기터널, 피난터널, 장대터널의 작업터널, 사토장, 진입로 및 기타 터널외부설비 등의 입지 조건도 검토하여야 한다.
- (9) 환경친화적인 터널계획을 위하여 보전가치가 있는 지형 및 지질유산의 보전과 대규모 지형 변화를 가져오는 땅깍기와 흙쌓기가 최소화되도록 평면선형 및 종단선형을 계획하여야 한다.
- (10) 선형계획 시에는 부대설비와 공사용설비의 설치도 고려하여야 한다.
- (11) 조사 결과에 따라 여러 노선을 선정하여 비교검토한 후 예정노선을 결정하고, 예정노선에 대하여 지형도를 작성하며, 터널 예정위치를 상세히 검토하여야 한다.

제2장 계 획

2.2.3 종단선형계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 철도, 도시철도 및 도로, 터널의 기울기는 자연배수와 환기에 지장이 없는 범위 내에서 가급적 완만하게 계획하여야 하며, 각 시설별 기능적인 요구 조건을 만족하여야 한다.
- (2) 수로터널의 기울기는 터널의 목적 및 기능에 따라 계획 통수량을 우선하여 결정함을 원칙으로 하되, 내공단면과 수압, 수격압(water hammering pressure) 및 유속의 상관관계를 고려하여야 한다.
- (3) 계획 기울기는 터널입구에서 진행방향으로 가능한 한 오르막기울기가 되도록 하여 자연배수가 원활히 이루어지도록 하는 것을 원칙으로 하되, 현장 조건이나 터널 목적 및 시공계획과 환기계획 등의 조건상 터널중앙부가 입구부보다 낮은 내리막기울기가 불가피할 경우에는 배수설비를 계획하여야 한다.
- (4) 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 지표와 지하구조물의 현황, 지반 조건, 시공방법 및 굴착단면의 크기 등을 고려하여 결정하여야 하며, 최소 토피에는 장래 예상되는 토지이용한계심도를 반영하여야 한다.
- (5) 교통시설터널의 종단선형은 환기 등을 감안하여 가급적 일방향 기울기로 계획하여야 한다.

2.2.4 내공단면계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 내공단면은 터널의 목적과 기능을 고려하여야 하고, 평면선형이 곡선인 구간은 편경사를 고려하여 시설한계를 설정하여야 하며, 터널 내 제반설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 반영하여야 한다.
- (2) 도로, 철도 및 도시철도 등 교통과 관련된 터널의 내공단면은 사용 목적과 시설기준에 맞도록 계획하여야 한다.
- (3) 시설한계는 도로, 철도 및 도시철도 등 사용 목적과 관련하여 각 시설별로 별도 제시하는 규정에 따라 선정하여야 한다.
- (4) 터널의 내공단면계획 시에는 지형, 지반 조건 및 토피 정도에 따라 2개

2.2 터널의 계획

이상의 소·중단면 병렬터널이나 1개의 대단면 터널 또는 특수단면터널의 채택 여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보하여야 한다.

- (5) 지반 조건이 열악하고 주변 여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역인 경우나 터널길이가 내공단면의 크기를 결정하는 데 주요 인자로 적용되는 경우에는 가급적 소·중단면 병렬터널로 계획하여야 한다.
- (6) 터널의 굴착단면계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총 두께와 콘크리트라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하되 구조적으로 유리한 형상으로 결정하여야 한다.
- (7) 동일 작업구간 내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격과 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획하여야 한다.
- (8) 내공단면이 소단면보다 작은 터널을 계획할 경우에는 작업환경과 시공성을 고려하여 내공단면을 결정하여야 한다.
- (9) 철도용 터널의 내공단면계획 시에는 열차의 고속주행에 의하여 터널 내에 발생하는 공기저항 및 공기압의 변화와 차량 밀폐도, 승차감 및 미기압파의 영향을 고려하여야 한다.
- (10) 수로터널의 내공단면은 계획 통수량을 기준으로 통수단면적, 터널 마감재료의 거칠기(roughness), 수압, 수격압 및 유속 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

2.2.5 부속설비계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 환기, 조명 및 비상용 시설 등의 터널 부속설비는 터널의 선형으로부터 영향을 받는 경우가 있으므로 시설의 계획, 시공성 및 유지관리 등과의 관계를 종합적으로 검토하여 계획하여야 한다.
- (2) 부속설비계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립하여야 한다.
- (3) 터널의 부속설비는 운영 시의 유지관리용 영구설비와 공사 중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획하여야 한다.
- (4) 일반적인 영구설비에는 환기설비, 급수와 배수설비, 대피설비, 방재설비, 점검설비, 전기설비, 통신설비, 보안설비 등이 있으며 터널의 목적과 기

제2장 계 획

능에 따라 설비의 종류 및 규모를 결정하여야 한다.

- (5) 공사용 임시설비에는 자재 반입과 저장설비, 버력처리설비, 슛크리트 배합과 다설설비, 급수와 배수설비, 오수와 폐수 정화설비, 환기와 집진 설비, 비상 급기설비, 전기설비, 통신과 보안 설비, 방음과 방진 설비 등이 있으며 설비의 종류와 규모 결정은 공사규모, 공사기간, 공법 및 현장 여건 등을 고려하여 결정하여야 한다.

2.2.6 조사계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널조사는 지반 조건과 입지 조건의 조사로 이루어진다. 이 조사에서는 노선 선정, 설계, 시공 및 운영 중 유지관리 등 각 단계에 필요한 지반 조건과 입지 조건 등의 기초자료를 얻도록 계획하여야 한다.
- (2) 조사의 계획에 있어서 공사의 각 단계에 적합한 목적, 터널의 연장 및 단면적 등을 최대한 고려하여 조사사항, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량, 기간 및 정리방법 등을 결정하여야 한다.
- (3) 도시부에서는 주변 현황 및 지장물을 세밀하게 조사하여 주변 환경에 유해한 영향과 민원을 최소화하여야 한다.

2.2.7 계측계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널의 계측관리계획은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안정성과 경제성을 확보하여야 하는 공사 중 계측계획과 터널준공 후 운영 중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리계측계획으로 구분하여 수립하여야 한다.
- (2) 공사 중 계측계획 수립 시에는 터널의 기능, 중요도 및 지반 조건에 적합하도록 계측의 항목, 설치위치 및 측정빈도 등을 계획하여야 한다.
- (3) 운영 중 시행하는 유지관리계측은 터널의 기능과 중요도에 따라 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하여야 하며, 가능한 한 시공 중 계측계획과 연계하여 관리될 수 있도록 계획한다.

2.2 터널의 계획

2.2.8 터널 갱구부와 작업구의 계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널 갱구부와 작업구의 계획 시에는 우수유입으로 인한 침수피해가 발생되지 않도록 하여야 하며, 유사시에 대비한 배수대책을 세워야 한다.
- (2) 작업구의 계획에 있어서는 용도, 공정, 공구 구분, 설치위치, 단면, 공사 중 설비, 공사완료 후의 조치 및 활용성 등에 대하여 지반 조건과 입지 조건을 고려하여야 한다.

2.2.9 방수형식계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 방수형식은 터널 전체 주위 벽면 중 일부분에 지하수의 배수경로를 만들어 지속적으로 지하수를 배수하여 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 하는 배수형 방수형식과 터널 전체 주위 벽면에 방수재를 설치하여 지하수가 터널 내부로 유입되는 것을 차단하여 콘크리트라이닝이 수압을 받도록 하는 비배수형 방수형식으로 구분한다.
- (2) 방수형식은 지형, 지상 토지이용 현황, 토피 정도, 지하수의 특성과 수위, 주변 지반의 상태 등 현장지반 조건과 터널형상 및 규모 등의 조건을 감안하여 시공성, 경제성 및 유지관리성 등을 종합 검토한 후 결정하여야 한다.
- (3) 비배수형 터널에는 시공특성에 부합되는 방수 형식 및 재료를 선정하고 작용수압에 안전하게 견딜 수 있는 콘크리트라이닝을 계획하여야 하며, 유사시 또는 과도한 누수에 대비하여 적정 용량 배수시설의 설치를 검토하여야 한다.
- (4) 배수형 방수형식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보하여야 하며, 유지관리상 배수계통의 기능 확인과 보수가 용이하도록 계획하여야 한다.

2.2.10 환기계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널의 환기설비는 터널 내 오염물질의 농도가 허용 수준 이하로 유지

될 수 있도록 터널길리와 교통량 등 시설물의 목적에 적합한 형식으로 계획하여 충분한 기능이 발휘될 수 있도록 하여야 한다.

- (2) 터널의 환기계획은 교통, 기상, 환경, 지형, 지물 및 관련 법규를 바탕으로 소요 환기량을 산정하여 자연환기와 기계환기 중 적합한 방법을 선정하여야 한다.
- (3) 기계환기 선정 시에는 구조설계, 배치 및 환기장소를 고려하여 설비제원을 결정하여야 한다.
- (4) 환기설비는 화재 등 비상시 안전 확보를 위한 배연이나 제연시설로 운용되므로 환기방식의 선정은 비상시 안정성을 고려하여 검토되어야 한다.

2.2.11 터널계획 단계에서는 재난을 유발할 수 있는 주요 위험요인을 파악하여 근본원인을 제거하여야 하며, 제거가 불가능한 경우에는 재난발생 시 피해를 최소화할 수 있는 방재설비를 계획하여야 한다.

제3장 조 사

3.1 조사일반

3.1.1 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조사는 터널의 노선 선정, 설계, 시공 및 완성 후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항으로 충분한 기초자료를 얻을 수 있도록 실시하여야 한다.
- (2) 터널의 목적, 규모 및 위치 등을 고려하여 조사의 내용, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량 및 기간 등을 결정하여야 하며, 터널의 설계 및 시공 시 활용방법 등을 고려하여 조사 성과를 정리하여야 한다.
- (3) 터널공사는 설계 시의 조사 결과만으로 토질 및 암반 조건, 지질 조건, 지하수 등 지반 조건을 정확하게 파악하기 어려우므로, 시공 단계에서도 계속적인 조사를 실시하여야 한다. 또한, 계획 및 설계 단계에서 적용한 암반 분류기준이 시공 시 조사에도 일관성 있게 적용되도록 하여야 한다.

3.1.2 조사는 입지환경조사, 지반조사 및 시공 중 보완조사로 구분되며 각 조사는 다음 사항을 포함하여야 한다.

- (1) 입지환경조사는 터널의 건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리·수문특성, 공사용설비, 보상 및 관련 법규조사를 포함하여야 한다.
- (2) 지반조사는 터널건설의 기본계획 및 노선 선정을 위한 예비조사, 터널노선 결정 이후 공사 착공 전의 설계 및 시공계획을 위한 본조사, 그리고 보완조사로 단계를 구분하여 시행함을 원칙으로 한다.
- (3) 시공 중 보완조사는 조사 결과에서 나타난 지반의 문제점과 설계 당시

제3장 조 사

의 사회적 제약 또는 민원 발생으로 실시하지 못한 조사 및 시공 중 발생한 문제점에 대하여 추가조사를 계획하여 실시하여야 한다.

3.2 입지환경조사

3.2.1 지형의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널건설에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형은 지형도나 항공사진 및 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사하여야 한다.
- (2) 급경사, 편토압, 애추(talus), 붕괴지, 계곡 및 매몰된 수로 등 불안정한 지형이나 산사태, 눈사태 및 홍수 등 재해가 예상되는 지형에 대하여 자료조사, 현장답사, 측량 및 지반 조사 등을 병행함으로써 지형 현황과 특성을 파악하고 터널건설에 미치는 영향을 분석하여야 한다.

3.2.2 환경의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 환경조사는 기본계획 및 노선 선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 설계 단계에서 수행하는 터널주변 환경조사로 구분하여 실시하여야 한다.
- (2) 광역 환경조사는 터널 시공 및 운용으로 인하여 자연 및 사회 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 광범위하게 실시하여야 하며, 다음 사항을 포함하여야 한다.
 - ① 수리·수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물이용 상황, 지하수에 영향을 미치는 타공사의 유무, 대수층의 존재 여부.
 - ② 기상 : 기온, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황.
 - ③ 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해 정도.
 - ④ 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위.
 - ⑤ 교통 : 기존 철도, 도로의 규격, 구조, 수송력 등.

- ⑥ 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등의 공공 시설물의 위치 및 규모.
 - ⑦ 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 법지정 현황.
 - ⑧ 지하자원 : 권리설정 현황, 광산 현황 및 광물의 부존 상태 등.
 - ⑨ 광산개발 : 광산의 갱도나 폐갱도와 지하공동의 위치 및 규모.
 - ⑩ 동식물상 : 주변 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황조사.
 - ⑪ 기타 : 경관, 지역 개발계획 등.
- (3) 터널주변 환경조사는 터널건설로 인하여 발생하는 터널주변 환경의 변화 예측, 환경보전대책의 입안, 대책의 효과 확인 등을 위하여 실시하며, 다음 사항을 포함하여야 한다.
- ① 물이용 현황 : 지표수 및 지하수의 수질·수량 현황, 탁수 발생가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위 변화가능성.
 - ② 소음 및 진동 : 소음, 진동, 지형, 지질, 토지이용 현황.
 - ③ 지반 침하 및 변형 : 도로, 철도, 도시철도, 건물, 구조물, 지하매설물, 폐광, 토지이용 현황, 지형 및 지질, 인접공사 현황.
 - ④ 지반과 구조물의 변형 : 건물·구조물의 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사.
 - ⑤ 수질오염 : 하천, 배수, 수로, 법규제의 상태.
 - ⑥ 대기오염 : 대기 중의 유해물, 기상 현황.
 - ⑦ 교통장애 : 구조, 교통량 혼잡 상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등.
 - ⑧ 동식물상 : 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황조사.

3.2.3 지장물의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널공사 전에 지역 내에 기설치되어 있는 상수도 및 하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하통로, 인접터널 등 지하지장물의 종류, 평면상 위치 심도 및 크기 등을 파악하여 안전한 시공이 될 수 있도록 하여야 한다.

제3장 조 사

- (2) 터널굴착으로 인하여 영향을 받을 수 있는 주변 건물, 교량 및 기타 구조물 등 지상구조물의 종류, 용도, 특징 및 상태들을 조사하여 터널굴착으로 인한 영향 검토 시 자료로 활용하여야 한다.
- (3) 지장물조사 결과는 후속 공사 시 지장물 보호를 위하여 활용하여야 한다.

3.2.4 사토장의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 공사 중에 발생하는 버력을 처리하기 위하여 사토장이 필요할 때에는 지형, 운반방법, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반 조건, 사토장이 주변 환경에 미치는 영향, 사토 후의 토지의 형태 변화, 법규에 의한 규제 등에 대하여 사전에 조사하여야 한다.
- (2) 사토를 위한 용지 취득 및 사토에 따른 보상에 대하여 조사하여야 한다.
- (3) 사토장의 계획 시 사토에 따른 지반의 안정성, 토사 유출, 유해광물에 의한 환경오염 방지에 관한 조사를 실시하여야 한다.

3.2.5 수리·수문의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 수리·수문조사는 시공 중 발생하는 용출수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측하는 데 필요한 정보가 제공되도록 실시하여야 한다.
- (2) 터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대하여서는 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용 상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용하여야 한다.

3.2.6 공사용설비의 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

공사용설비로는 터널입구설비, 환기 및 집진 설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트설비, 수배전설비, 용배수설비, 임시건물설비 등이 있으며, 공사용설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음 사항을 조사하여야 한다.

- (1) 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험가능성이 있는 지형, 지질 및 기상.
- (2) 주변 환경 : 주변 환경에 영향을 미치는 공사용설비의 소음, 진동, 배수, 교통, 분진.
- (3) 전력의 사용 : 기가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요 시간, 개략산출비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비 운용 시의 소요 전력량.
- (4) 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체 조례 등.
- (5) 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음료수, 기타 잡용수의 취수 조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류 조건.
- (6) 자재 및 버력 운반 : 기계 및 반출입, 버력운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 교통규제의 현황 및 주변 도로이용 현황.
- (7) 노무자재 : 터널 외부설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황.
- (8) 법규, 기타에 의한 규제 : 인접지역의 공사 유무.

3.2.7 보상조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

터널공사에 있어서의 보상대상 사항은 용지취득에 수반되는 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리(지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 어업권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 및 어업 수익의 감소, 영업손실 등이 있고, 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 상세한 조사를 하여야 한다.

3.2.8 터널건설에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관한 관계법을 조사하여야 한다.

제3장 조 사

3.3 지반조사

3.3.1 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사로 구분하며 각 단계에서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 예비조사는 계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치 선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며, 기존 자료조사, 인공위성사진 분석, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 통하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하여야 하며, 필요할 경우 시추조사도 시행하여야 한다.
- (2) 본조사는 기본설계 단계에서의 개략조사와 실시설계 단계에서의 정밀조사로 구분되며 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 물리검층 및 현장시험, 실내시험 등을 포함하여야 하며, 터널 현황 등을 고려하여 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.
- (3) 설계 단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사 자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제 지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 소규모 공사의 경우에는 조사 단계의 일부를 생략할 수 있으나 장내터널 및 도심지터널 공사 등에서는 본조사 또는 보완조사 시에 정밀조사를 실시하여야 한다.
- (5) 유지관리 시 터널주변 환경의 변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행하여야 한다.

3.3.2 기존자료조사 시에는 항공사진, 인공위성사진, 지형도, 지질도, 토양도, 지하 매설물도, 기존 구조물 도면, 지하수 현황, 폐광 및 지반공동 현황, 터널 지역을 포함한 광역조사 자료 등을 이용하여 조사지역의 현황을 파악하여야 한다.

3.3.3 현장답사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반 상태를 확인하거나 지역 주민들과의 청문을 통하여 과거의 지형 변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사 자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하여야 하며, 조사 수행에 영향을 줄 수 있는 제반현장 여건을 확인하여 원활한 본조사계획을 수립할 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 현장답사는 반드시 경험 있는 관련 기술자에 의하여 이루어져야 한다.
- (3) 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하여야 하며 이미 계획된 사항에 대하여는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 현장답사 시 조사하여야 할 주요 내용은 지형, 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근 구조물 유지 상태, 지하매설물, 조사위치, 장비 이동통로 등이며, 필요 시에는 삼 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역 전반에 걸쳐 개략적인 지반 조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다.

3.3.4 지표지질조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 일반적으로 지표지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1:10,000 이상의 축적으로 촬영된 항공사진의 이용을 원칙으로 하며, 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.
- (2) 지표지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1:5,000을 기본지형도로 함을 원칙으로 하되, 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.
- (3) 지표지질조사는 터널공시에 제한 조건으로 작용하는 층리, 절리, 습곡, 단층 및 파쇄대 등과 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암종분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요 시 물리탐사 결과와 비교분석하여 큰 축적의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획 수립에 반영하여야 한다.

제3장 조 사

- (4) 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험 결과 및 물리탐사 결과와 비교분석하여 지질구조의 특성을 보완하고 표층지반, 암질, 지하 공동, 암종경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널설계에 반영하여야 한다.

3.3.5 시추조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널시공 구간 내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시하여야 한다.
- (2) 시추조사 위치는 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하 매설물의 유무를 확인한 후에 선정하여야 한다. 또한 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획하여야 한다.
- (3) 시추는 원칙적으로 NX 규격 이중 코아배럴을 사용하여 실시하여야 하며, 대심도 시추 시에는 NQ 규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
- (4) 시추는 수직으로 실시하는 것을 원칙으로 하되, 조사의 목적과 현장 조건을 고려하여 경사 및 수평시추를 할 수 있다.
- (5) 터널 갱구부 및 저토피 구간에서는 충분한 시추조사 및 물리탐사 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악하여야 한다.
- (6) 도심지 터널에서 시추공은 노선방향으로 50~200m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하며, 산악터널에서는 토피, 지형 조건 또는 장비의 접근성 등을 고려하여 증감시킬 수 있다.
- (7) 시추심도는 원칙적으로 터널 바닥부의 계획 심도에서 터널 최대 직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하는 것을 원칙으로 하되, 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인 시에는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.

3.3.6 시험터널조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 특수한 지반 상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.
- (2) 시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화하여야 한다.
- (3) 시험터널조사 시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고하여야 한다.

3.3.7 지구물리탐사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지구물리탐사를 적용할 때에는 암종의 특성, 불연속면의 위치 및 방향, 조성물질 등의 지질특성과 지하수, 지장물 등 주변 여건을 고려하여 목적에 맞는 탐사법을 적용하여야 한다.
- (2) 지구물리탐사의 결과는 현장측정자료, 자료의 전산처리 결과 및 최종 해석 결과로 나타내어야 하며, 사용장비명, 측선 및 측정의 위치도와 현장 탐사 시 특기사항의 자세한 서술이 포함되어야 한다.
- (3) 탐사 결과를 해석한 단면은 탐사자료를 기초로 해석한 기반암의 분포, 연약대 또는 파쇄대의 발달 정도 등 도식적 또는 서술적 해석 결과가 첨부되어 설계 및 시공에 유용한 정보를 제공할 수 있어야 하며, 시추 결과 또는 지질조사 결과와의 비교해석이 포함되어야 한다.
- (4) 물리탐사 결과의 해석은 실효성 있는 가탐심도 범위 내에서 시행되어야 하며, 해석 결과 이상대가 나타날 경우 보완조사를 시행하여 이상대의 특성과 규모를 파악한 후 암반 분류 및 지보패턴설계에 반영되도록 하여야 한다. 설계 단계에서 보완조사가 곤란할 경우 공사 중에 시행될 수 있는 조사방법을 제시하고 그 결과에 따라 지보패턴이 결정되도록 하여야 한다.

3.3.8 지구물리검층 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지구물리검층 시에는 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계

제3장 조 사

하여 구성암석, 균열 상태(fracturing), 지하수 요동과 물리·화학적 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

- (2) 지구물리검층자료는 해석에 용이할 수 있도록 조밀하게 측정하여야 한다.
- (3) 지구물리검층 시에는 측정 자료의 질을 유지할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용하여야 한다.

3.3.9 하·해저터널의 지반조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조수간만의 차이가 발생하는 경우 지반조사 자료의 품질 향상 및 안전을 고려하여 적절한 조사장비 및 자재를 선정하여야 한다.
- (2) 시추위치를 확인할 때 특별한 언급이 없을 경우는 DGPS를 이용하여야 한다.
- (3) 해상지층탐사는 고정밀 분해능을 갖는 탄성파 탐사장비를 이용하여 등심선에 직각으로 실시하는 것을 원칙으로 하며, 탐사의 원점은 WGS-84 등 국제공용 좌표계로 하여야 한다.
- (4) 탐사기는 기반암과 퇴적층을 명확히 기록할 수 있도록 최대한 일정 간격으로 기록하여야 하며, 암반의 심도는 기본수준면 하의 깊이(수심+퇴적층 두께)로 표기하여야 한다.

3.4 시험

3.4.1 현장시험 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 자연 상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.
- (2) 표준관입시험은 지층이 변할 때마다 또는 동일층이라도 1.0m 깊이마다 1회씩 실시하여야 하며, 관입깊이가 30cm 미만이라도 타격횟수가 50회에 도달할 시에는 타격을 중지하고 그때의 관입깊이와 타격횟수를 기록하여야 한다.

- (3) 토사층에서의 투수계수를 파악하기 위하여 현장투수시험(시험방법을 제안할 필요가 없음)을 시행하여야 하며, 주입수는 탁한 정도가 낮은 맑은 물을 사용하여야 한다.
- (4) 암반층에서 투수계수를 측정하기 위하여 팩커를 사용한 수압시험을 수행하여야 한다.
- (5) 공내재하시험은 지반강성에 적합한 허용압력을 가지는 시험기로 수행하여야 하며, 압력 조건은 다단계로 하여 반복 시험하는 것을 원칙으로 한다.
- (6) 공사의 규모나 지역 및 지질구조의 특성상 초기 지압응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반 상태를 감안하여 적절한 방법을 선정하여야 한다.
- (7) 시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장 여건 등 제반사항을 감안하여 선정하여야 하며, 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

3.4.2 실내시험 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행하여야 한다.
- (2) 실내시험은 지반 조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다.
- (3) 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설교통부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- (4) 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며, 시료의 제작 및 시험방법은 국·내외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.
- (5) 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 공진주시험, 비틀전단시험, 자유단공진주시험, 진동삼축압축시험 등과 물리탐사인 다운홀(downhole)탐사, 크로스홀(crosshole)탐사, S-PS검층, 음파검층, 밀도검층 등을 설계 목적에 적합하게 선정하여 수행하여야 한다.

제3장 조 사

3.5 시공 중 보완조사

3.5.1 시공 중 보완조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 시공 중 보완조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원 등 부득이한 이유나 기술적 한계 등으로 인하여 충분한 조사가 시행되지 못한 경우, 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시하여야 하며, 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목을 선정하여야 한다.
- (2) 시공 중 보완조사의 목적은 굴진면 전방과 굴진면주변의 지반 상태를 파악하는 데 있으며 시공 중 관찰되는 노출된 지반 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공 중의 계측 결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가 조사 및 시험을 실시하여야 한다.
- (3) 시공 중 보완조사는 일상적으로 굴진면 지질매핑(geological mapping)이 시행되어야 하며, 필요한 경우 감지공 천공(feeler hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 굴진면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다. 경암반터널의 록볼트를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 보완조사 결과에 근거하여야 하며, 필요시 굴진면 전방조사를 통하여 보조공법 적용 여부를 판단하는 등 사전공사 준비를 위한 자료로 제공되어야 한다.

3.6 지반조사 성과의 정리

3.6.1 지반 분류 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사 목적에 부합되도록 지반을 분류하여야 한다.
- (2) 토사층은 '흙의 통일분류법(USCS)' 등에 따라서 세분하여야 한다.
- (3) 암반 분류 시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류하여야 한다.

- ① 압축강도.
 - ② 탄성파속도.
 - ③ 변형계수.
 - ④ RQD.
 - ⑤ 불연속면의 간격 또는 빈도.
 - ⑥ 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등).
 - ⑦ 불연속면의 주향 및 경사.
 - ⑧ 지하수 상태.
 - ⑨ 초기응력 상태.
 - ⑩ 암석 종류, 풍화도, 수침 시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성.
- (4) 지보재설계를 위한 암반 분류는 RMR, Q-시스템 등을 적용할 수 있으며, 특히 RMR의 경우 일축압축강도나 RQD 등 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다. RMR에 의한 암반 분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다. 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반 조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류하여야 한다.
- (5) 가능한 현장 시추자료를 근거로 각각의 암반 분류를 수행한 후 상관관계를 적용하는 것을 원칙으로 하되, 자료가 부족할 경우를 대비하여 Bieniawski가 1976년에 제시한 $RMR=9\ln Q + 44$ 와 Barton이 1995년에 제시한 $RMR=15\log Q+50$ 을 활용하여 상호 보완할 수 있다.

3.6.2 조사 결과의 정리 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리하여야 하며, 응용지질도는 터널 구간을 포함하는 광역지질도(1:25,000)와 정밀응용지질도(1:5,000)로 구분하여 작성하여야 한다.
- (2) 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 하며, 지층설명은 색조, N 값, 강도, 풍화도, 균열 상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포

제3장 조 사

함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련 자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성하여야 한다.

- (3) 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리하여야 한다.
- (4) 시료상자에 정리된 시추코아는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며, 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.
- (5) 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 하며, 조사의도가 명확하여야 한다.

3.6.3 조사 결과에 대한 수량은 반드시 확인·기록하여야 하며, 조사 자료는 추후 유지관리 시에 활용가능하도록 조치하여야 한다.

제4장 설계일반

4.1 설계의 기본방향

4.1.1 터널설계는 지반의 불확실성, 지반조사의 기술적 한계 및 지하공간에서의 제한적 작업특성 등이 고려되어야 한다.

4.1.2 터널설계는 조사 결과를 이용하여 안정성, 시공성, 내구성, 경제성이 확보되고 유지관리가 편리한 시설이 되도록 하는 것을 원칙으로 하되, 실제 시공 조건이 설계 당시에 예측한 조건과 상이한 경우에 대비한 변경방법 및 조치사항 등을 포함하여야 한다. 이를 위하여 설계 시에 적용한 제반적용자료와 분석 및 예측사항을 명확하게 제시하여야 한다.

4.1.3 터널설계는 제반조사 자료들을 근거로 지반특성을 고려하여 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있도록 단면형상, 굴착공법과 방법, 지보재형식, 라이닝, 터널 입구와 출구부, 방재 및 부대시설 등을 계획 선정하여야 한다.

4.1.4 터널안정성을 확보하기 위하여 터널구조물의 안전뿐만 아니라 주변 위험영향도 최소화되도록 하여야 하며, 터널 주위에 미치는 영향에 대하여는 필요 시 합리적인 대책을 강구하여야 한다.

4.1.5 터널설계는 환기, 조명, 방재시설 등의 제반설비 사항들도 고려하여야 하며 이들의 역할이 잘 발휘되도록 하여야 한다.

4.1.6 터널설계는 굴착 시 원지반의 손상이나 여굴 발생이 최소화되도록 하여야 하며, 원지반의 손상이나 여굴 발생 시 그 처리방안을 제시하여야 한다.

4.1.7 터널설계는 계획 터널노선에 대하여 시공성을 고려한 경제성 분석을 실시하여야 한다.

제4장 설계일반

4.1.8 터널설계는 안정성 확보를 우선으로 하되 지보재의 최적화를 도모하여야 한다. 이 경우 해석적인 방법에만 너무 의존하여서는 안 된다.

4.1.9 콘크리트라이닝은 터널이 신선한 경암반을 통과하는 경우 지보재와 콘크리트라이닝의 역할에 따라 라이닝의 설치 여부를 검토할 수 있다.

4.1.10 터널설계는 관계 법령이 정하는 바에 따라 제반 안전성 분석 및 피난계획을 수립하고, 터널 내 부착물 및 시설물은 화재 시를 고려하여 적절한 재료를 선정하여야 한다.

4.1.11 터널설계에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- (1) 평면 및 종단선형.
- (2) 굴착대상지반의 분석 및 분류.
- (3) 터널단면의 형상.
- (4) 굴착 공법 및 방법.
- (5) 지보패턴 선정.
- (6) 각종 지보재의 규격 및 시공순서도.
- (7) 필요한 보조공법.
- (8) 방수 및 배수 방법.
- (9) 콘크리트라이닝의 타설시기 검토 및 시공도.
- (10) 계측계획 및 수행방법.
- (11) 갱구 및 갱문 계획.
- (12) 환기, 조명, 방재 계획.
- (13) 터널시공에 따른 환경영향분석.
- (14) 공사시방서.

4.1.12 향후 운영 시의 유지관리에 필요한 사항을 고려하여야 한다.

4.2 설계방법의 선정

4.2.1 설계방법의 선정에 있어서는 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 일체로 거동하여 터널의 안전성이 유지될 수 있는 방법을 선정하여야 한다. 단, 지반의 거동특성상 지반의 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 시행하거나 지보재가 지반하중을 모두 지지하도록 하는 설계방법을 채택하여야 한다.

4.2.2 암반 분류 후 해당 등급에 적용할 표준적인 지보패턴과 굴착방법을 정하여 설계할 수 있다. 이 경우 유사암반 조건에서의 시공실적 또는 RMR 방법 및 Q-시스템 등에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정하는 것을 원칙으로 한다.

4.2.3 선정된 굴착계획과 지보패턴은 해석적인 방법을 통하여 그 안정성을 검증하여야 하며, 안정성의 검증과정에서는 작용하중, 사용되는 제반공학적 특성치, 해석기법 및 경계 조건 등을 충실하게 검토하여 합리적인 검증이 되도록 하여야 한다.

4.2.4 설계 조건이 특수하거나 유사 조건에서의 시공사례도 없는 경우에는 예상되는 제반문제를 면밀히 검토한 후 굴착방법, 굴착공법, 지보패턴 및 인버트 시공을 포함한 보조공법 등을 선정하고 해석적인 검증을 통하여 확정하여야 한다.

4.3 설계내용의 변경

4.3.1 시공 시의 제반 여건이 설계 시의 조건과 상이하여 예상되는 문제점에 대하여서는 <표 4.3.1>과 같은 사항들에 대하여 설계내용을 변경할 수 있도록 하여야 한다.

제4장 설계일반

<표 4.3.1> 설계내용의 변경사항

주요 항목	주요 내용
지반의 재분류	· 적용지반의 분류
설계단면 변경	· 지보재 · 변형 여유량, · 단면형상
적용지보패턴의 변경	· 숏크리트의 두께, · 숏크리트의 재질 · 록볼트의 길이, 본수, · 강지보재 설치간격 및 규격
굴착공법의 변경	· 벤치커트 공법 (코아(core) 남김, 링커트 포함) · 선진도강공법, · 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	· 굴진면 안정화 대책, · 지반보강 대책 · 용출수대책, · 지표면 침하 대책, · 근접 구조물 대책
단면의 폐합	· 인버트 부분 콘크리트 타설(조기시공), · 인버트 부분 숏크리트 타설(가폐합) · 콘크리트라이닝 강성증대 · 이중라이닝(임시라이닝)
터널공법 변경	· 개착터널공법으로 전환 · 토공구간으로 전환
기 타	· 상기내용 외에 시공 시 제반 여건이 설계 시의 조건과 상이하여 변경이 요구되는 사항

4.4 터널 내진설계

4.4.1 터널의 내진설계기준은 별도의 요구 조건이 없을 시에는 다음의 기본개념에 기초를 두어야 한다.

- (1) 지진 시 구조물의 기능 마비로 인한 사회적 간접피해 및 재산피해를 최소화하여야 한다.
- (2) 지진 시 구조물의 부분적인 피해는 허용하나, 내부 시설물의 피해는 방지하여 터널의 기본 기능은 발휘할 수 있도록 하여야 한다.

4.4.2 지중구조물인 터널의 동적 특성은 지반 속에서의 지반운동에 순응하여 구조물이 진동하기 때문에 지상구조물과는 상이한 내진설계를 실시하여야 한다.

- (1) 내진설계는 일반하중을 고려하여 기 설계된 시설물에 대하여 내진안전

4.4 터널 내진설계

성을 검토하여야 하고, 필요한 경우 단면 및 세부 설계내용을 수정·보완하는 방법으로 수행하여야 한다.

- (2) 터널의 내진에 대하여는 각 공종별 형태 및 지반의 특성, 지진파의 형태와 터널방향에 따른 터널의 변형 양상 등에 따라 지진의 영향이 클 것으로 예상되는 대표구조물 혹은 대표단면에 적용함으로써, 전 구간에 대한 내진안전성을 평가할 수 있어야 한다.
- (3) 터널 내진등급의 적용은 파괴 시 심각한 인명피해를 유발할 가능성이 높은 것으로 판정되는 터널과 활성단층대와 인접지역에 한하여 내진 1등급으로 한다.
- (4) 터널 종류별 내진등급 적용은 <표 4.4.1>의 규정에 따른다.

<표 4.4.1> 터널의 내진등급(붕괴방지 수준)

내진등급	터널	평균 재현주기
내진1등급	- 고속철도 및 도시철도 터널 - 고속국도, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도상의 터널 - 지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재 및 국방계획상 필요한 도로상에 건설된 터널 - 내진1등급으로 건설되는 구조물에 영향을 줄 수 있는 터널	1000년
내진2등급	내진 1등급에 속하지 않는 터널	500년

- (5) 터널의 내진 설계거동의 한계는 각호와 같은 수준을 만족하여야 한다.
 - ① 터널 내부의 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 터널 라이닝 변형이 탄성한계를 초과하는 소성거동은 허용되나 취성 파괴나 좌굴이 발생하지 않아야 한다.
 - ② 터널 내 기초지반의 과도한 침하가 발생하지 않아야 한다.
 - ③ 액상화로 인하여 터널구조체가 수리불능의 피해를 입지 않아야 한다.

4.4.3 터널의 내진설계대상 지역 및 구조물은 각호와 같다.

- (1) 지반이 취약한 터널의 갱구부 및 주요 접속부.
- (2) 대규모 단층대 및 파쇄대 통과구간.

제4장 설계일반

- (3) 천층터널 및 비대칭 지형구간.
- (4) 액상화가 우려되는 연약지반 내 터널구간 등.

4.4.4 터널 내진설계방법

- (1) 터널 내진설계절차는 각호와 같은 주요 절차를 따라야 한다.
 - ① 터널 설치구간의 중요도에 따른 내진등급 결정.
 - ② 건설지점의 지반조사 및 액상화 가능성 평가.
 - ③ 등급에 따른 내진안정성 해석법 결정.
 - ④ 설계지진계수의 산정.
 - ⑤ 내진안정성 검토.
 - ⑥ 난면설계.
- (2) 터널의 내진설계에 필요한 지반물성은 제반 동적 지반조사 및 실내시험 결과와 기존 자료를 종합적으로 분석하여 선정하여야 한다.
- (3) 지진입력의 기준점이 되는 기반면은 건설지점에 대한 지반조사 결과를 이용하여 터널의 바닥면보다 깊은 위치에 정하여야 한다.
- (4) 기반면은 상부 30m에 대한 평균 전단파속도가 760m/sec 이상인 견고한 암반으로 하는 것을 원칙으로 하되, 기반면이 터널위치보다 상당히 깊이 발달되어 있을 경우는 지반 종류에 대한 표준설계 응답스펙트럼을 이용하여 사용할 수 있다.
- (5) 터널건설지점의 지진재해도와 지진 재현주기에 따른 지진구역계수(Z)와 위험도계수(I)는 <표 4.4.2> 및 <표 4.4.3>에 따르는 것을 원칙으로 한다.

<표 4.4.2> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	지진구역 계수 (Z)	행정구역	
		시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주
I	0.11g	도	경기, 강원 남부, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남 북동부
II	0.07g	도	강원 북부, 전남 남서부, 제주

4.4 터널 내진설계

<표 4.4.3> 위험도계수 I(평균재현주기 500년 지진을 기준)

재현주기 (년)	500	1000
위험도 계수(I)	1.00	1.40

- (6) 터널의 내진설계에 있어서 지진하중의 산정을 위한 설계 응답스펙트럼은 기반지반 종류와 지진구역에 따른 지진계수에 따라 결정하여야 한다.

4.4.5 터널에 대한 내진설계방법으로는 응답변위법, 동적해석법을 다음 각호와 같이 적용하여야 한다.

- (1) 터널은 그 내공부를 포함한 단위체적중량이 주변 지반의 단위체적중량과 비교하여 일반적으로 가벼우므로 주변 지반에 발생하는 변위, 변형 등이 중요하게 되어 응답변위법을 적용하는 것이 적절하다.
- (2) 내진1등급 동적해석법에서의 입력지진파는 건설지점, 지반특성, 구조물의 고유주기 등을 고려하여 유추한 인공 지진이력곡선을 적용하여야 한다.
- (3) 내진1등급의 설계 시에는 지반에 대한 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석방법을 사용한다.
- (4) 내진2등급의 설계 시에는 선형해석법을 이용하여 설계할 수 있다.

4.4.6 터널의 내진설계 시 주의사항은 다음 각호에 따라야 한다.

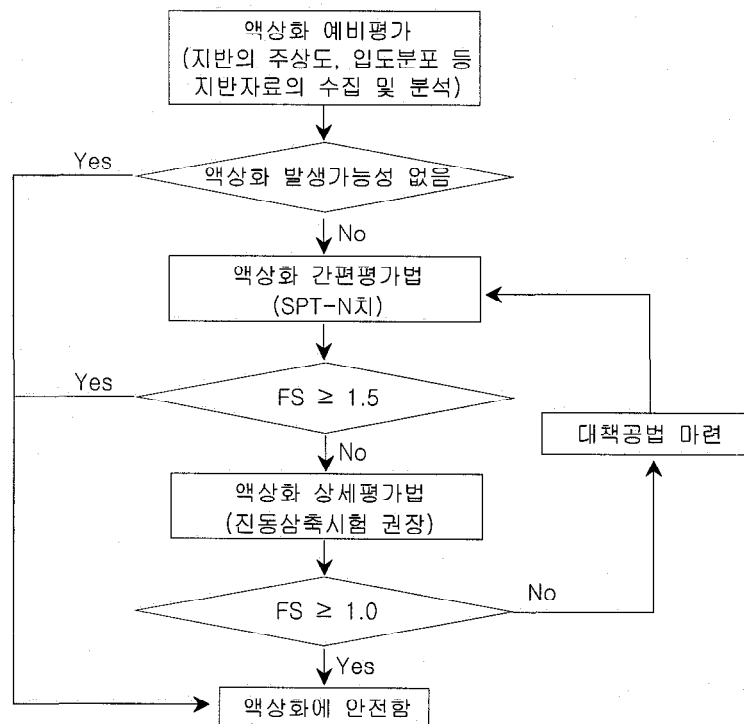
- (1) 콘크리트라이닝에 대하여 지진력에 저항하도록 두께를 증가시키는 것은 지진력을 증대시키는 역효과를 가져올 수 있으므로 콘크리트라이닝의 두께를 증가시키는 대신에 철근을 넣어 인성을 증가시키도록 하여야 한다.
- (2) 기둥단면의 내진설계는 지진에 의한 수평력에 의하여 기둥단면의 압축파괴나 전단파괴, 휨인장파괴가 발생하지 않도록 보강하는 것으로, 압축파괴나 전단파괴보다 휨인장파괴가 먼저 발생하도록 설계하여야 한다.
- (3) 갱구부에 대하여서는 표토의 활동붕괴를 방지하기 위하여 입구부의 깎기면에 적절한 기울기를 확보하여 토류공을 설치하여야 한다.

제4장 설계일반

- (4) 신축 이음부는 터널의 이음부에 강성이 작은 이음장치를 설치하여 구조물에 작용하는 지진력을 감소시킬 수 있도록 하여야 하며, 강성이 작은 이음장치의 설치에 따른 구조적인 약점에 대하여 검토하여야 한다.
- (5) 액상화 방지에 대하여는 지반개량을 통하여 지반 액상화를 방지 또는 억제시키도록 하여야 한다.

4.4.7 터널 내진설계 시 액상화 평가는 터널의 입출구부 및 연약지반 터널에 있어서 지하수의 영향을 받는 구간에 대하여 실시하는 것을 원칙으로 한다.

- (1) 액상화 가능성 평가는 예비평가, 간편평가 및 상세평가의 3단계로 구분하여 <그림 4.4.1>과 같은 과정에 따라 실시하는 것을 원칙으로 한다.



<그림 4.4.1> 국내 액상화 평가방법의 흐름도

4.5 품질보증에 대한 기본사항

(2) 토사터널의 경우 다음의 각호의 경우에는 액상화 평가를 생략할 수 있다.

- ① 지하수위 위의 지반.
- ② 주상도상의 표준관입 저항치(N 값)가 20 이상인 지반.
- ③ 대상지반 심도가 20m 이상인 지반.
- ④ 소성지수(PI)가 10 이상이고 점토성분이 20% 이상인 지반.
- ⑤ 세립토 함유량이 35% 이상인 경우.
- ⑥ 상대밀도가 80% 이상인 지반.

4.5 품질보증에 대한 기본사항

4.5.1 활단층지역에는 구조물을 건설하지 않는 것이 바람직하다. 단, 이를 피하기 어려운 경우에는 지진 발생에 따른 손상이 최소화되도록 설계하여야 한다. 또한 기능 손상이 발생할 경우에 대비하여 보수·보강이 용이하도록 설계하여야 한다.

4.5.2 중요 구조물의 경우, 설계 요구사항의 만족성, 설계 기법 및 가정사항의 적절성, 법규요건에 대한 만족성, 설계 결과의 시공성 등의 검증을 위하여 터널전문기술자에 의한 검토가 실시되어야 한다.

빈 면

제5장 터널지보재

5.1 설계일반

5.1.1 터널의 지보는 원지반의 지보능력을 적극적으로 활용함을 원칙으로 하며, 터널지보재는 터널주변의 지반거동 특성에 부합되도록 설계하여 시공 중이나 완공 후에도 터널의 안정을 유지할 수 있도록 하여야 한다.

5.1.2 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계하여야 한다.

5.1.3 지보재는 굴착지반을 조기에 안정시키며, 지반굴착에 의한 영향이 인접구조물의 안정을 해치지 않도록 설계되어야 한다.

5.1.4 터널지보재는 강지보재, 록볼트, 슛크리트 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 강봉, 굴진면 슛크리트, 굴진면 록볼트, 주입재, 강관 등의 보조지보재로 구분하여 설계하여야 한다.

5.1.5 지보재의 설계에 있어서는 지반의 분류등급과 해당 지보재의 선정에 대한 기준을 제시함으로써, 시공 시 실제 지반 조건이 설계 시의 예측 조건과 상이할 경우 적합한 지보재의 종류와 물량으로 변경할 수 있도록 하여야 한다.

5.1.6 지보재의 설계에 있어 암반 분류에 의한 표준 지보패턴설계를 원칙으로 하며, 대규모 단층대, 함수 미고결층, 3차로 이상의 대단면, 석회암층 통과부 및 기타 풍화가 용이한 암반층 등의 구간에서는 별도의 지보패턴을 설계하여야 한다.

5.2 강지보재

5.2.1 강지보재의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 다음의 기능이 요구될 때 강지보재를 사용하여야 하며, 강지보재의 역할이 필요 없는 경우에는 생략할 수 있다.
 - ① 슛크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기까지 굴착면의 안정을 도모.
 - ② 굴진면 휘폴링 등 보조공법의 반력지지점.
 - ③ 큰 지압으로 인한 지보재의 강성 증가 필요.
 - ④ 지표침하 등 지반변위의 억제 필요.
- (2) 강지보재는 슛크리트, 록볼트 등의 지보재와 일체가 되어 소요의 지보기능을 발휘하도록 규격과 배치간격을 정하여야 한다.
- (3) 강지보재의 이음은 시공순서 및 시공성을 고려하여 이음개소가 최소가 되도록 정하되 제거와 추가이음이 요구되는 곳에는 시공이 가능하도록 설계에 반영하여야 한다.

5.2.2 강지보재의 형상 및 치수는 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 강지보재의 단면은 강지보재의 설치 후에도 슛크리트의 타설이 용이하고, 슛크리트와 일체화되기 쉬운 형상을 가진 것이어야 하며, H형강, U형강 및 격자지보(lattice girder) 등을 사용할 수 있다.
- (2) 강지보재의 치수는 작용하중 외에 슛크리트의 두께, 강지보재의 최소덮개, 굴착공법 및 굴착방법 등을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 소요의 강성이 발휘되고, 좌굴 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.

5.2.3 강지보재의 재질은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 강지보재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호하여야 한다.

5.2 강지보재

- (2) H형강, U형강의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 400, 격자지보의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다.
- (3) 강재 대신 고강도 플라스틱, 복합부재 등을 지보재로 사용할 경우 강지보재와 동등 이상의 성능을 발휘하여야 한다.

5.2.4 강지보재의 이음 및 설치 간격은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하는 것을 원칙으로 하되, 이음개소를 최소화하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계하여야 한다. 특히, 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 하여야 한다.
- (2) 팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축 변형이 허용되는 조인트구조로 할 수 있다.
- (3) 강지보재의 설치간격은 지반특성, 사용 목적, 시공법 등을 고려하여 정하여야 한다.
- (4) 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반 조건에 따라 상부 강지보재의 수직 지지점 확보가 가능하도록 조치한 후 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있다.

5.2.5 강지보재의 간격재와 바닥판 받침은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 숏크리트에 의하여 강지보재가 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정 간격으로 설치하여야 한다. 이때 간격재의 형상은 숏크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안 되며, 그 설치간격은 1.5~2.0m를 표준으로 함을 원칙으로 한다.
- (2) 강지보재하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 충분한 지지력을 확보할 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 강지보재 바닥판 받침에는 목재, 철근콘크리트 블록, 강판 등을 사용할

수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용하여야 한다.

5.3 숏크리트

5.3.1 숏크리트의 설계는 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 지보재로서 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 숏크리트는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트로 구분할 수 있다.
- (2) 지반과의 부착 및 자체전단 저항효과로 숏크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴착면 가까이에서 지반아치가 형성될 수 있어야 한다.
- (3) 휨압축 또는 축력에 의한 저항효과로 주변 원지반에 내압을 가함으로써, 굴착면주변 지반을 3축응력 상태로 유지시켜 지반강도 저하를 방지할 수 있어야 한다.
- (4) 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘할 수 있어야 한다.
- (5) 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중현상을 피할 수 있어야 한다.
- (6) 굴착면을 피복하여 풍화방지, 지하수 및 세립자 유출 등을 억제할 수 있어야 한다.

5.3.2 숏크리트는 다음의 특성을 보유한 것이어야 한다.

- (1) 설계 목적과 기준에 부합하는 충분한 강도를 확보하여야 한다.
- (2) 조기에 필요한 강도를 발휘할 수 있어야 한다.
- (3) 지반과 충분한 부착성을 확보하여야 한다.
- (4) 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요의 기능을 발휘할 수 있어야 한다.

- (5) 반발률(rebound) 및 분진 발생량을 최소화하여야 한다.
- (6) 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공이 용이하여야 한다.

5.3.3 일반 슛크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 슛크리트는 설계 목적에 적합한 조기 및 장기 강도를 발휘하여야 하며, 다음 사항을 고려하여 설계강도를 결정하여야 한다.
 - ① 지반강도 및 지보재로서의 기능.
 - ② 배합재료의 품질 및 조달의 용이도.
 - ③ 시공성 및 슛크리트 타설작업의 숙련도.
- (2) 슛크리트용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 잔골재에는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고, 굵은 골재의 최대 치수는 10mm 이하가 되어야 한다.
- (3) 슛크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 되도록 배합하여야 한다.
- (4) 슛크리트 사용 수의 혼합방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강 또는 기타 재질의 섬유(fiber)도 혼합하여 사용할 수 있다.
- (5) 강섬유는 인장강도 700MPa 이상, 직경 0.3~0.6mm, 길이 30~40mm를 표준으로 하며, 슛크리트와의 부착성능이 양호하게 발현되고 슛크리트 타설 시 뭉침현상이나 막힘현상이 발생하지 않아야 한다.
- (6) 실제 벽면에 타설된 강섬유 혼입량은 30kg/m^3 이상이 되어야 하며, 설계 휨강도와 휨인성을 만족하여야 한다. 이때 재령 28일의 강섬유 보강 슛크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa 이상이어야 한다. 강섬유 이외의 기타 섬유를 적용할 경우에는 상기 강섬유 보강 슛크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (7) 슛크리트의 조기강도 발현을 위하여 급결제를 사용할 수 있다. 이때 사용되는 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 다음의 특성을 보유한 것이어야 한다.
 - ① 콘크리트의 응결경화를 촉진하여야 함.

제5장 터널지보재

- ② 장기강도의 저하가 적어야 함.
 - ③ 부착성이 우수하여야 함.
 - ④ 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 말아야 함.
 - ⑤ 사용상의 안전성이 확보되어 있어야 함.
- (8) 장대터널에서는 콘크리트 배합부터 슛크리트 타설까지 상당한 시간이 소요되어 작업성이 저하될 수 있으므로 감수제의 사용을 검토하여야 한다.

5.3.4 고강도 슛크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 고강도 슛크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하여야 하며, 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상이 되도록 배합하여야 한다.
- (2) 다음과 같은 경우에는 고강도 슛크리트를 사용할 수 있다.
 - ① 콘크리트라이닝을 설치하지 않는 경우.
 - ② 터널의 조기 안정화가 요구되는 경우.
 - ③ 장기내구성이 요구되는 목적구조물로서 활용되는 경우.
 - ④ 대단면 터널에서 슛크리트 두께 축소를 목적으로 하는 경우.
 - ⑤ 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우.
- (3) 슛크리트의 강도 증진을 위하여 혼화재를 사용할 경우는 실리카 흙, 메타카올린, 플라이애쉬 등과 같은 미분말 혼화재를 사용할 수 있다.
- (4) 기타 사항은 일반 슛크리트에 대하여 제시된 내용에 따르는 것을 원칙으로 한다.

5.3.5 터널의 지보재로 사용되는 슛크리트의 최소 두께는 사용 목적, 지반 조건, 단면의 크기, 지보재 안정성 및 시공성 등을 고려하여야 하며, 50mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

5.3.6 타설된 슛크리트가 자중으로 인하여 박리될 가능성이 있는 경우 또는 슛크리트의 인장강도 및 전단강도 등 인성을 향상시키기 위하여 철망을 사용할 수 있다. 단, 강섬유 또는 기타 재료의 섬유를 혼합한 슛크리트의 경우에는

철망을 생략할 수 있다. 철망의 재질 및 규격은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 철망은 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용하여야 하며, 철망의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100×100mm 또는 150×150mm인 철망을 표준으로 하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 굴착면의 자립이 어렵고 숯크리트 타설 시 숯크리트 박리가 발생하는 경우에는 숯크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름이 작은 철망을 사용할 수 있다.
- (3) 철망은 종방향 및 횡방향으로 겹이음을 실시하되 터널 종방향으로는 100mm, 횡방향으로는 200mm 이상의 이음장을 표준으로 하는 것을 원칙으로 한다.

5.4 록볼트

5.4.1 록볼트의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 록볼트의 설계 시에는 록볼트 소재와 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토하여야 한다.
- (2) 록볼트의 설계에 있어서는 지반 상태, 불연속면의 분포, 용출수 등을 고려하여 다음에 언급한 효과가 사용 목적에 적합하게 발휘되도록 설계하여야 한다.
 - ① 봉합작용 : 발파 등에 의하여 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 기능이다.
 - ② 보형성작용 : 터널주변의 충을 이루고 있는 지반의 절리면 사이를 조여 줌으로써 절리면에서의 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과이다.
 - ③ 내압작용 : 록볼트의 인장력과 동등한 힘이 내압으로 터널 벽면에 작용하면 2축응력 상태에 있던 터널주변 지반이 3축응력 상태로 되는 효과가 있으며, 이것은 3축 시험 시 구속력(측압)의 증대와 같은 의미

를 가지며 지반의 강도 혹은 내하력 저하를 억제하는 작용을 한다.

- ④ 아치형성작용 : 시스템 록볼트의 내압효과로 인하여 굴착면주변의 지반이 내공 측으로 일정하게 변형하는 것에 의하여 내하력이 큰 아치를 형성한다.
 - ⑤ 지반보강작용 : 지반 내에 록볼트를 설치하면 지반의 전단 저항능력이 증대하여 지반의 내하력을 증대시키고 지반의 항복 후에도 잔류강도 향상을 도모한다.
- (3) 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생하는 경우는 소요의 인발내력에 대하여 충분한 안전율을 갖는 재질과 형상의 록볼트를 채택하여야 한다.
- (4) 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료 등을 선정할 경우에는 그 시공성을 고려하여야 한다.
- (5) 굴착으로 인한 응력해방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반 조건이어야 하며, 프리스트레싱에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내가 되도록 하여야 한다.
- (6) 대단면 터널, 터널 교차부 등과 같이 8m 이상의 긴 록볼트를 설치할 필요가 있는 경우에는 시공성 등을 고려하여 짧은 록볼트와 함께 긴 케이블볼트를 조합하여 설계할 수 있다. 이때, 사용하는 케이블볼트의 재질 및 형상은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 정하여야 하며, 배치 및 길이 선정은 록볼트의 설계기준을 준용하되 충전재 미채움으로 인한 공극을 고려하여 록볼트 설계기준에 준하여 결정된 길이에 최소 2m를 추가하여야 한다.

5.4.2 록볼트 재질 및 형상은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 원칙으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP) 등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.

5.4 록볼트

- (2) 록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용 목적을 고려하여 정하여야 하며, 영구지보재로 사용하는 경우는 장기 내구성이 우수한 것이어야 한다. 일반적으로 SD 350 이상의 강재로서 재질 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 한다. KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 기계적 성질은 <표 5.4.1>과 같다.

<표 5.4.1> 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질

종 류	재질 기호	기계적 성질		
		항복점 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율(%) (시험편 2호 기준)
이형봉강	SD 350	350 이상	490 이상	18 이상
	SD 400	400 이상	560 이상	16 이상

- (3) 케이블볼트의 재질 및 형상은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 정하여야 하며, 일반적으로 재질은 공칭지름 12.7mm 이상의 7연선으로 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 하고, 1본의 케이블볼트가 지탱하는 소요 강도에 따라 다양한 형상의 케이블볼트를 사용할 수 있다.
- (4) 지압판은 록볼트와 슛크리트를 일체화시키는 역할을 담당하며, 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 강도를 갖는 것이어야 한다. 지압판 두께는 6mm를 표준으로 하되 팽창성 지반의 경우는 9mm 이상을 사용하여야 한다.

5.4.3 록볼트 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 록볼트의 정착방법으로는 선단정착형, 전면접착형, 혼합형 등이 있으며 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정하여야 한다.
- (2) 정착재료는 시멘트계와 수지계를 현장 여건에 따라 사용할 수 있다. 설치위치에 따라 정착재료의 흘러내림을 최대한 방지하도록 조치하여야 한다.
- (3) 지반이 연약하여 록볼트 천공의 자립이 어려운 경우에는 자천공형 록볼

트를 사용할 수 있다.

- (4) 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우에는 마찰력을 즉시 발휘시킬 수 있는 구조의 록볼트를 사용하여야 한다.
- (5) 록볼트의 정착재료는 보통 포트랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 사용하는 모래는 최대 직경이 2mm 이하의 입도가 양호한 모래를 사용하여야 한다.

5.4.4 록볼트의 배치 및 길이 선정은 다음 사항을 따라야 한다.

- (1) 록볼트는 원칙적으로 굴착에 의하여 영향을 받는 영역을 보강하도록 배치하여야 한다.
- (2) 록볼트의 배치 및 길이는 그 사용 목적, 지반 조건, 터널단면의 크기 및 형상, 굴착공법, 절리의 간격 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 록볼트를 일정한 간격으로 배치할 필요가 있는 경우에는 터널단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 타설하는 것을 원칙으로 하고, 절리가 발달하였으나 암질이 양호한 불연속면을 관통하는 경우에는 절리면을 고려한 방향으로 록볼트를 설치하여야 하며, 인접한 록볼트 간에는 상호 작용 발휘가 가능하도록 록볼트를 배치하여야 한다. 단, 록볼트를 초기에 타설할 필요가 있는 경우에는 터널진행방향으로 경사진 경사록볼트 배치형식을 적용할 수 있다.
- (4) 록볼트의 길이는 굴착단면의 크기와 이완영역의 발달깊이에 따라 조정하여야 하며, 설치간격의 2배 정도를 표준으로 함을 원칙으로 하고, 1회 굴진장 및 암반의 절리 상태에 따라 조정하여야 하며, 지반 자체의 지보 능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치하여야 한다.
- (5) 록볼트의 직경은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단 보강력에 의하여 결정할 수 있으나 일반적으로 D25 규격을 표준으로 하는 것을 원칙으로 한다.
- (6) 터널 상부에 강관보강공법이 적용된 구간에서 록볼트에 의한 보강효과를 얻을 수 없거나 매우 저감되는 경우에는 지반 조건을 면밀히 검토한 후 록볼트를 생략할 수 있다.

제6장 콘크리트라이닝

6.1 설계일반

6.1.1 콘크리트라이닝은 터널의 사용 목적 및 사용 조건에 적합하도록 설계하여야 한다.

6.1.2 콘크리트라이닝은 터널이 계획된 지역주변의 지반 상태, 환경 조건 및 주 지보재의 지보능력을 고려하여야 하며, 안전성 확보와 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구성을 가지도록 설계하여야 한다.

6.1.3 콘크리트라이닝은 다음과 같은 기능을 보유하도록 설계하여야 한다.

- (1) 내구연한 동안 구조체로서의 역학적 기능.
- (2) 터널 내장재로서 미관유지기능.
- (3) 터널 내부 시설물 보호 및 보존 기능.
- (4) 점검 및 보수 관리기능.

6.1.4 콘크리트라이닝의 타설시기는 굴착 후 지반 및 지보재의 지지능력 저감을 감안하여 가능한 조속히 시공하도록 계획하여야 한다.

6.2 재료 및 강도

6.2.1 콘크리트라이닝에 사용되는 재료는 터널의 기능에 적합한 것이어야 한다. 일반적으로 현장타설 콘크리트를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 콘크리트라이닝의 역할에 따라 무근 또는 철근콘크리트를 사용할 수 있으며, 현장 여건에 따라 프리캐스트라이닝도 적용할 수 있다.

제6장 콘크리트라이닝

6.2.2 콘크리트라이닝의 균열 억제 및 내구성 증진 등을 위하여 철근 이외에 강 섬유 또는 유리섬유를 사용할 수 있다.

6.2.3 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성이 얻어질 수 있도록 결정하여야 한다. 사용골재는 양질이며 내구성이 우수하여야 하고, 염분 및 유기물 등의 유해성분이 허용기준치 이하여야 한다.

6.2.4 콘크리트라이닝의 소요 강도는 지반특성, 콘크리트라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중 등에 적합하도록 설정하여야 한다. 일반적으로, 재령 28일 강도가 21~24MPa인 콘크리트를 표준강도로 하는 것을 원칙으로 하되, 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.

6.2.5 비배수형 터널에서는 방수 목적상 수밀콘크리트를 사용하여야 하며, 이 경우 재령 28일 강도는 27MPa 이상이 되도록 하여야 한다.

6.3 형상 및 두께

6.3.1 콘크리트라이닝의 형상은 소요 내공단면을 포함하며 국부적으로 발생되는 과도한 응력집중을 방지하고 휨모멘트가 작게 발생하도록 급격한 만곡, 모서리, 요철 등을 피하여야 한다.

6.3.2 동일한 노선 내의 공사에서는 특별한 경우를 제외하고 시공성과 완성 후의 유지관리를 고려하여 가급적 동일한 단면형상이 되도록 설계하여야 한다.

6.3.3 콘크리트라이닝의 형상설계 시 환기, 조명 등의 부속설비와의 관계를 고려하여 계획하여야 한다.

6.3.4 지반 조건이 불량한 경우에는 인버트 설치가 요구되며 심한 편토압을 받

6.4 설계하중

는 경우에는 두께를 증가시키거나 철근 등으로 콘크리트라이닝의 강성을 증대시키는 방안을 검토하여야 한다.

6.3.5 콘크리트라이닝의 두께는 터널단면의 크기와 형상, 지반 조건, 작용하중, 수압, 사용재료, 시공법 등을 고려하여 결정하여야 한다.

6.3.6 콘크리트라이닝의 두께는 소단면터널을 기준으로 300mm를 표준으로 하는 것을 원칙으로 하고, 단면적과 지반 조건 등 현장 여건을 감안하여 증감할 수 있다.

6.3.7 철근으로 보강하여야 할 경우에는 시공성을 고려하여 두께를 산정하고 작용하중에 대하여 충분한 구조적 안전성을 보유하도록 설계하여야 한다. 이 경우 시공이음부에 타설된 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키도록 하는 방안을 강구하여야 한다. 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취하여야 한다.

6.3.8 철근으로 보강하여 콘크리트라이닝을 타설할 경우 철근 처짐 방지대책을 수립하여 소요 피복두께와 시설한계를 확보하여야 한다.

6.3.9 콘크리트라이닝의 기부집 계획 시 1회의 콘크리트 타설량, 타설길이, 타설속도 등을 고려하여 타설된 콘크리트의 압력에 견딜 수 있도록 설계하여야 하며, 콘크리트 타설이 용이한 구조로써 터널 내에서의 이동 등 시공성도 고려하여야 한다.

6.4 설계하중

6.4.1 콘크리트라이닝의 설계 시에 고려하는 하중은 다음과 같으며, 지형 및 지반 조건 및 용도 등에 따라 적용하여야 한다.

제6장 콘크리트라이닝

- (1) 고정하중.
- (2) 활하중.
- (3) 토압하중.
- (4) 지반이완하중.
- (5) 수압.
- (6) 온도하중.
- (7) 지진하중.
- (8) 터널 내 설비하중.
- (9) 기타 콘크리트라이닝에 영향을 미치는 하중 등.

6.4.2 콘크리트라이닝의 구조설계 시에는 발생가능한 다양한 하중조합을 적용하여 상황에 가장 근접한 결과를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

6.4.3 배수형 터널의 경우 배수시설의 배수능력이 충분하지 않거나 시간이 경과하면서 배수능력이 저하되는 경우에는 콘크리트라이닝에 수압이 작용될 수 있으므로 이에 대한 영향을 고려하여야 한다.

6.4.4 비배수형 터널은 지하수 배출이 차단됨으로써 발생하는 수압을 콘크리트라이닝이 견디도록 설계하여야 한다.

6.5 구조설계

6.5.1 콘크리트라이닝의 구조설계는 구조해석과 단면설계의 순서로 이루어지며, 작용하중으로 인하여 발생하는 응력과 변형을 구조해석으로부터 구하고, 부재단면의 안전을 검토하여 적합한 단면설계를 하여야 한다.

6.5.2 콘크리트라이닝의 해석은 2차원 해석을 원칙으로 하며, 응력집중이 예상되는 접속부 등은 필요 시 3차원 해석을 실시하여야 한다.

6.5.3 콘크리트라이닝의 설계는 강도설계법, 허용응력설계법, 하중저항계수

6.7 균열 방지대책

(LRFD:load and resistance factor design)설계법 등 가운데 적합한 방법을 선정하여 적용하여야 한다.

6.6 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치

6.6.1 원지반의 특성에 따라 터널단면의 형상과 인버트 부분에 콘크리트라이닝 설치 여부를 결정하여야 한다.

6.6.2 팽창성 지반, 압축성 지반 및 함수미고결층 지반 등 인버트 부분에 콘크리트라이닝의 설치가 요구되는 지반에서는 인버트 콘크리트라이닝의 설치시기를 추가로 검토하여야 하며, 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트 부분의 보강도 고려하여야 한다.

6.6.3 지형 조건상 편압으로 인하여 터널의 안정성에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우 인버트 부분의 형상을 곡선형으로 적용하는 것을 원칙으로 한다.

6.6.4 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 하여야 한다.

6.6.5 곡선형 인버트의 곡선 부분 깊이는 지형 및 지반 조건에 따라 정하여야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토하여야 한다.

6.6.6 직선형 인버트를 적용하는 터널의 경우도 터널의 용도, 유지관리 등을 고려하여 인버트 부분에 콘크리트라이닝을 타설할 수 있다.

6.7 균열 방지대책

6.7.1 콘크리트라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에는 균열 방지 대책을 강구하여야 하며, 외기온도의 영향을 많이 받는 구간은 콘크리트 타설 시 신축 이음부를 설치하여야 한다.

제6장 콘크리트라이닝

6.7.2 콘크리트라이닝 균열의 요인은 콘크리트 경화온도 강하에 의한 온도 신축, 터널 내 온도 변화에 의한 온도 신축, 터널 내 습도 저하에 의한 건조 수축 등이 있으며 균열 방지대책으로 다음 사항을 검토하여야 한다.

- (1) 숏크리트와 콘크리트라이닝의 평활한 접속
- (2) 콘크리트 배합 시 팽창제, 혼화제, 유동화제 등을 첨가하여 수화열과 건조 수축량을 감소
- (3) 콘크리트라이닝의 타설순서 조정
- (4) 필요 시 누수대책이 고려된 균열유발 줄눈의 설치
- (5) 철근이나 철망 배치 및 섬유보강 콘크리트 사용
- (6) 습윤양생 실시

6.8 천장부 채움

6.8.1 콘크리트라이닝의 천장부 채움설계 시 주입재의 재료, 배합, 주입구의 구조 및 배열 등을 계획하여야 한다.

6.8.2 주입재료로 사용되는 모르터는 주입작업 시의 분리, 특히 고형물의 침전이 적고 주입 후의 체적 신축이 작아야 한다.

6.8.3 콘크리트라이닝 천장부 채움 시 주입관과 배기관을 설치하여 공극 채움이 원활히 되도록 하여야 한다.

6.8.4 주입작업 시 배수체계의 회손 및 구조물 2차 손상이 발생하지 않도록 주입압에 대하여 검토하여야 한다.

제7장 터널안정성 해석

7.1 해석일반

7.1.1 터널안정성 해석의 목적은 터널건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변 시설물에 미치는 영향 및 지보재를 포함한 터널구조물의 안정성을 사전에 검토하기 위함이다. 특히, 해석 결과의 분석과 적용에 있어서는 단순히 해석 결과에만 의존하는 설계가 되지 않도록 주의하여야 한다.

7.1.2 해석 시에는 지형 및 지반 조건, 지하수 조건, 터널의 형상 및 위치, 시공 방법 및 터널주변 지반의 지보특성을 고려하여야 하며, 해석기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있다. 2차원 해석을 실시할 경우에는 3차원적 실제 지반거동을 고려하여야 한다.

7.1.3 해석 수행 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 해석영역은 터널의 규모와 지반 조건 등을 고려하여 터널굴착에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위로 설정하여야 한다.
- (2) 해석모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 경계요소, 무한요소 등의 탄성경계 조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 좌·우는 터널 굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널높이의 2배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 하여야 한다. 단, 상부토피가 매우 큰 경우에는 상부 지반 조건의 영향이 포함될 수 있는 별도의 모델을 적용할 수 있다.
- (3) 해석 시 사용하는 지반특성치들은 해당 지반의 시험 결과를 토대로 추정된 값을 사용하여야 한다. 단, 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 의하여 유사지반의 특성치를 제한적으로 준용할 수 있다.

제7장 터널안정성 해석

7.1.4 해석에 사용되는 모든 프로그램은 그 적합성이 확인되고 지반의 거동을 적절하게 모사(simulation)할 수 있는 기능을 보유하여야 하며, 터널의 단계별 굴착을 재현할 수 있는 기능과 지반, 지보재의 변위, 응력 그리고 모멘트 등을 계산하여 터널설계 및 안정해석에 이용할 수 있어야 한다.

7.1.5 해석은 사전조사, 모형화, 수학적 계산, 결과 출력 및 종합평가 순으로 진행하는 것을 원칙으로 한다.

- (1) 사전조사 : 지반 및 지하수위 조사, 터널설계단면, 시공단계, 굴착공법, 표준지보패턴 등의 자료수집.
- (2) 모형화 : 지반과 지보재의 특성, 해석영역, 크기 및 순서, 경계 조건, 구성모델 등의 결정.
- (3) 수학적 계산 수행.
- (4) 결과 출력 : 지반 및 지보재의 변위, 응력, 및 변형률 등의 수치 또는 분포도, 소성영역 등의 출력.
- (5) 종합평가 : 터널의 내공변위 및 지보재의 부재력에 근거한 터널안정성 평가 및 주변 구조물의 거동 평가.

7.2 해석 입력자료

7.2.1 해석에 필요한 입력자료는 지반특성치, 지반의 초기응력, 지하수위, 지보재특성치, 사용되는 보조공법재의 특성치 등이다.

7.2.2 지반특성치는 터널거동을 나타낼 수 있어야 하며, 지반의 초기응력은 터널거동에 큰 영향을 미치므로 현장에서 측정한 값, 경험식 또는 추정식으로 부터 산정하여야 한다.

7.2.3 보조공법 중 지반보강을 목적으로 주입한 경우에는 보강된 지반특성치가 필요하며, 기계적 보강을 실시한 경우에는 각각의 재료를 지보재로 보고, 지

7.4 해석방법

보재의 특성치를 입력하거나, 보강지반으로 환산하여 보강된 지반특성치를 사용하여야 한다.

7.3 하중

7.3.1 해석에 사용되는 하중의 종류로는 지반의 초기응력과 지하수위에 의한 수압이며, 필요 시 관련 외부하중을 고려할 수 있다.

7.3.2 하중 선정 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 원지반의 초기응력은 지반의 단위중량, 터널심도, 측압계수 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (2) 수압은 지하수위를 고려하여 결정하여야 한다. 비배수형 터널의 경우에는 지하수위를 고정하여 정수압으로 하고, 배수형 터널의 경우에는 지하수위의 변화를 고려하여 수압을 정하여야 한다.
- (3) 터널 상부에 구조물이나 도로 및 철도의 교통하중이 작용하는 경우에는 외부하중으로 고려하여야 한다.
- (4) 지형 및 지반 조건 등의 이유로 터널에 편압이 작용할 우려가 있는 경우에는 편압의 영향을 고려하여야 한다.
- (5) 갱구부에 대하여는 지역적 특성, 터널 상부의 지층두께, 지형, 지반 조건 등에 따라 지진의 영향이 예상되는 경우에는 이의 영향을 설계에 반영하여야 한다.
- (6) 장기간에 걸쳐 시간 의존적인 지반의 크리프(creep)현상이 예상되는 경우에는 크리프하중을 고려하여야 하며, 일시적인 지보인 경우에는 이를 고려하지 않아도 된다.

7.4 해석방법

7.4.1 터널안정성 해석방법에는 수치해석적 방법, 이론해를 이용하는 방법, 경험적

제7장 터널안정성 해석

방법 등이 있으므로 필요에 따라 적절한 방법을 선택하여 사용하여야 한다.

7.4.2 수치해석적 방법을 이용할 경우에는 공학적으로 공인되어 널리 사용되고 있으며, 대상 지반 및 설계 조건들을 적절히 모사할 수 있고, 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 해석 프로그램을 이용하여야 한다.

7.4.3 이론해를 이용하는 방법은 계산이 간편하여 시간을 절약할 수 있으나 한정된 가정 조건하에서만 해석이 가능하기 때문에 수치해석, 계측 결과 등의 설계, 시공사례의 분석을 통하여 유사한 결과를 보일 경우에 한하여 사용하는 것을 원칙으로 한다.

7.5 해석 결과의 평가

7.5.1 해석 결과는 다음과 같은 적절한 평가를 거쳐 설계에 반영하여야 한다.

- (1) 터널의 안정성 평가.
- (2) 유사터널의 계측 결과와 검증 평가.
- (3) 인접 구조물과 상호 영향 평가.

7.5.2 터널은 굴착 단계별로 터널주변의 지반 및 지보재에 대한 응력, 변위, 발생 소성영역 등을 검토하여 구조적인 안정성을 평가하여야 한다.

7.5.3 해석 결과는 유사터널의 응력 및 내공변위, 지표침하, 지중변위 등의 계측 결과와 비교·검증하여 평가하여야 한다.

7.5.4 터널굴착의 영향범위 내에 위치한 인접 구조물에 대하여는 영향 정도와 상호 안전성을 평가하여야 한다.

제8장 배수 및 방수

8.1 설계일반

8.1.1 터널은 지하수의 처리방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분할 수 있다.

8.1.2 배수형 방수형식 터널은 유입되는 지하수를 배수하는 터널로서 배수방법에 따라 다음과 같은 세 가지 형식으로 구분할 수 있다.

- (1) 완전 배수형 : 터널부의 전 주면으로 배수를 허용하는 형식.
- (2) 부분 배수형 : 터널 천장과 측벽에만 방수막을 설치하여 유입수를 한곳으로 유도하여 배수하는 형식.
- (3) 외부 배수형 : 터널 내부 시설물이나 콘크리트라이닝을 보호하기 위하여 콘크리트라이닝 외부 전체를 방수막으로 둘러싸고 터널 외부에 별도의 배수로를 설치하여 터널로 흘러들어오는 지하수를 차집하여 외부로 배수하는 형식.

8.1.3 비배수형 방수형식 터널은 배수 시스템을 설치하지 않고, 지하수가 터널 내부로 유입될 수 없도록 차단하는 방수형식으로서 라이닝에 지하수위 조건에 따른 수압을 고려하여야 한다.

8.2 배수형식의 선정

8.2.1 배수형식의 선정은 터널의 용도, 지반 조건, 지하수 조건, 유지관리의 용이성, 환경성, 안정성, 경제성, 시공성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

8.2.2 배수형 방수형식 터널 선정 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

제8장 배수 및 방수

- (1) 지반 조건이 양호하여 유입수가 적은 반면 지하수위가 비교적 높은 지역에 대하여는 배수형 방수형식을 채택할 수 있다.
- (2) 지하수위가 높은 경우에는(수압 약 0.6MPa 이상) 터널의 단면형상 및 재료의 구조적 저항능력을 고려하여 배수형 방수형식을 채택할 수 있다.
- (3) 터널을 통한 배수가 주변 구조물이나 시설에 구조적 영향을 미치지 않도록 대책 수립이 가능하여야 한다.
- (4) 배수형 터널은 배수를 통하여 수압을 저감시키는 개념이 설계수명 동안 유지되도록 하여야 하며, 배수와 수압을 배분한 부분배수형 방수형식을 채택할 수 있다.
- (5) 이중구조 라이닝의 경우 배수 시스템 안쪽의 내부 라이닝은 장기적으로 배수기능 저하에 따른 영향을 고려하여야 하며, 계측관리와 연계하여 별도의 내구연한을 갖는 비구조체로 설계할 수 있다.
- (6) 배수 시스템은 자연흐름이 가능하도록 0.2% 이상의 기울기를 유지하여야 한다.
- (7) 주변 지반 여건상 과다한 유입수가 예상되는 지역에 터널을 구축하여야 하는 경우 유입수의 양수를 위한 유지관리비용의 절감을 위하여 터널 주위 지반에 차수 그라우팅을 실시하여 유입수를 최대한 줄인 후에 배수형 방수형식을 채택할 수 있다.

8.2.3 비배수형 방수형식 터널 선정 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지하수의 저하로 인하여 터널주변 지반에 침하가 발생되고 인근 시설물에 영향을 미쳐 사회·경제적인 손실 발생이 우려되거나, 터널 내부에서 유입수의 처리가 곤란한 경우 또는 지하수 환경을 보전하여야 하는 경우에는 비배수형 방수형식 터널을 채택하여야 한다.
- (2) 차수공법으로는 지하수의 유입량을 감소시킬 수 없어 배수형으로서 고가의 유지비를 장기간 지불하여야 할 경우에도 비배수형 방수형식 터널을 채택할 수 있다.
- (3) 비배수형 터널은 방수기술상의 제한 때문에 작용수압이 0.6MPa 이하인 지역에서만 채택하는 것을 원칙으로 한다.

8.3 배수방법의 세부 사항

8.3.1 부분배수형 방수형식 터널의 경우 숏크리트와 콘크리트라이닝 외부에 설치되는 방수막 사이에 부직포를 설치하여 터널 측벽 하단으로 유입수를 유도하며, 사용 부직포는 유입 지하수를 충분히 배수시킬 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

8.3.2 세립분이 함유된 지반에서는 부직포의 막힘현상 발생가능성을 검토하고 필요에 따라 부직포의 두께를 증가시키거나 드레인 보드를 사용하여 터널의 내구연한 동안 충분한 통수능력을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

8.3.3 터널 내 유입수의 처리는 터널 사용 목적에 따라 적절히 처리되도록 하여야 하며, 중앙집수관 또는 측방배수관을 통하여 배수되는 것이 일반적이거나 동등 이상의 통수능력을 갖는 배수방법을 적용할 수 있다. 또한 배수 상태 점검이나 청소가 가능한 시설을 일정한 간격으로 설치하여야 한다.

8.3.4 배수재는 외부로부터의 압력에 의한 압착, 주변 지반 토립자의 유동에 의한 폐색 등에 의하여 장기적으로 동수능의 저하가능성이 있으므로 적절한 필터 조건 및 내구성을 고려하여 배수재를 선정하여야 하며, 경우에 따라 방수막과 일체형으로 시공할 수 있다.

8.3.5 배수재를 통하여 집수된 지하수를 배수하는 측방배수관은 직경 100mm 이상의 유공관을 사용하여야 하며, 측방배수관 설치로 라이닝의 구조적 안정성을 손상시키지 말아야 한다.

8.3.6 인버트의 중앙부 또는 측방에 설치하는 주배수관은 콘크리트관, 아연도강관, THP관 등을 사용할 수 있다. 이러한 주배수관의 직경은 200mm 이상이어야 하며, THP관을 주배수관으로 사용할 경우에는 외력으로부터 관을 보호할 수 있는 조치를 취하여야 한다.

제8장 배수 및 방수

8.3.7 콘크리트라이닝에 누수가 발생할 경우에 대비하여 적절한 배수처리시설을 갖추도록 하여야 한다.

8.3.8 시공 중에도 유입되는 지하수를 배수할 수 있는 적절한 배수시설을 갖추도록 하여야 한다.

8.3.9 터널 내 배수 시스템은 침전물의 퇴적 등에 의한 통수능력 저하를 고려하여 적정 거리로 배수 확인공 또는 맨홀을 설치하여 청소가 용이하도록 하여야 한다.

8.3.10 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다.

8.4 방수방법의 세부 사항

8.4.1 부분 배수형, 외부 배수형, 비배수형의 방수방법으로는 숏크리트와 콘크리트 라이닝 사이에 방수막을 설치하여 유입수를 차단하는 방법을 채택하여야 한다.

8.4.2 방수재료는 인장강도 16MPa 이상, 인열강도 6MPa 이상, 신도 600% 이상 가열신축량이 신장 및 수축 시 각각 2.0mm 이하 및 4.0mm 이하의 재질로서 두께 2mm 이상을 원칙으로 하되, 동등 이상의 재질인 경우 두께를 조정하여 사용할 수 있다.

8.4.3 콘크리트라이닝에 철근을 배근하는 경우, 철근의 이음부에는 방수막을 보호할 수 있는 조치를 취하여 방수막 파손을 방지하여야 한다.

8.4.4 터널 전 구간에 대한 배수계통도와 터널과 연직갱, 개착부, 연결부, 단면 확폭부 등과의 접합부에 대한 접합 및 방수 상세를 제시하여야 한다.

8.5 허용 누수량

8.4.5 비배수형 방수형식 터널의 경우, 방수막과 함께 콘크리트라이닝의 재료로서 수밀콘크리트를 사용하여 수밀성을 유지하여야 한다.

8.4.6 콘크리트라이닝의 시공 이음부, 수축 및 팽창 이음부에는 지수판을 설치하여야 한다.

8.5 허용 누수량

8.5.1 터널의 방수설계에 있어서는 터널의 용도에 적합한 방수등급을 정하고 각 방수등급별로 <표 8.5.1>과 같은 누수량을 허용할 수 있다. 단, 발주자의 의견에 따라 본 표에서 규정한 값을 조정하여 적용할 수 있다.

<표 8.5.1> 터널의 방수등급별 허용누수량

방수 등급	내부 상태	용 도	상 태 정 의	터널연장을 기준한 허용 누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도 의 누수 상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩 이 검출될 수 있는 정도, 수분얼룩을 건조 한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않 을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여 보아 도 붙여진 부분이 습기로 인하여 변색되 지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수 2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출 되는 정도, 수분얼룩에 흡수지 또는 신문 지를 붙였을 경우 습기로 인하여 변색되 지만 수분이 방울져 떨어지지 않을 정도 의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거 나 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

※ 주) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천 값을 참조한 것임.

8.6 하저 및 해저 터널의 방수형식

8.6.1 하·해저터널은 상시 수위가 터널 상부의 지반두께보다 현저히 높게 위치하는 경우로써 지반 조건과 재료의 구조적 성능을 감안하여 작용수압과 유입량의 상관관계를 고려하여야 한다.

8.6.2 하·해저터널을 배수형 방수형식 터널로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지반투수성(혹은 유입량).
- (2) 유입량 저감대책 시행의 용이성.
- (3) 배수 시스템(저류조 및 펌핑 시스템)의 설치가능성 및 유지관리의 경제성.

8.6.3 하·해저터널을 비배수형 방수형식으로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 단면형상.
- (2) 재료의 구조적 저항능력.
- (3) 허용누수량.

8.6.4 해저터널의 경우 해수 유입의 가능성을 고려하여 염해에 대한 내구성을 갖는 방수 및 배수 재료를 사용하여야 한다.

8.6.5 수압 및 유입량 저감을 위하여 8.2.2의 차수 그라우팅을 실시할 수 있다. 이 경우 장기 유입에 따른 그라우팅 차수효과의 내구성과 그라우트재의 열화 이동에 따른 배수기능의 저하 영향을 검토하여야 한다.

8.6.6 하·해저터널의 경우 정대 터널로 건설되어 유입량 규모가 상당하므로, 이를 저감시키기 위하여 8.2.2와 달리 비배수형 방수형식을 채용할 수 있으며, 배수형 방수형식 채용 시에는 배수 시스템의 규모, 유입수 배제방안 및 유지관리비에 대한 적절한 검토가 수행되어야 한다.

제9장 굴착 및 계측

9.1 굴착방법

9.1.1 굴착방법에는 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등이 있으며 굴착 방법의 선정에 있어서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 원지반이 본래 가지고 있는 지지능력을 최대한 보존할 수 있으며 안정성, 경제성 및 시공성이 우수한 굴착방법을 채택하여야 한다.
- (2) 지반 조건, 지하수 유입 정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접 구조물의 유무와 주변 환경영향(진동, 소음 및 지표침하 등), 보조공법의 적용성을 고려하여야 한다.

9.1.2 인력굴착은 착암기, 소형브레이커 등 간단한 굴착도구를 사용하여 굴착하는 방법으로 주로 다음과 같은 조건에서 적용할 수 있다.

- (1) 자립시간이 짧은 토사지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우.
- (2) 진동영향을 크게 받는 지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우.
- (3) TBM 굴진에 어려움이 발생한 경우.

9.1.3 기계굴착은 쇼벨(shovel), 브레이커, 로드헤더 등 중장비 혹은 TBM 등 터널굴진 장비를 사용하여 굴착하는 방법으로 설계 시에 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 중장비에 의한 기계굴착은 절리가 심하게 발달한 파쇄암이나 풍화암 등에서 지반이완을 최소화하고 여굴을 억제하는 데 적용할 수 있다.

제9장 굴착 및 계측

- (2) 굴착 중장비는 지반 조건, 주위 환경, 터널단면의 크기, 형상 및 연장, 버력처리방법 등을 고려해서 시공성과 경제성 있는 기종으로 선정하여야 한다.
- (3) TBM 터널의 설계는 제13장에서 정한 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.

9.1.4 발파굴착은 가장 일반적인 암반굴착방법으로 설계 시에 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 발파굴착은 경제성과 시공성은 양호하나 진동과 소음 등이 수반되기 때문에 지반 조건 또는 주변 여건에 따라서 적용 여부를 결정하여야 한다.
- (2) 발파설계는 지반 조건을 고려하여 발파진동으로 인한 터널주변 지반의 이완영역을 최소화하여 평활한 굴착면이 형성되고, 버력의 크기가 적재 및 운반에 적합하도록 수행되어야 하며, 다음 사항을 포함하여야 한다.
 - ① 굴착단면의 크기 및 형상.
 - ② 굴진장.
 - ③ 심발형식.
 - ④ 심발공, 발파공 및 주변공의 직경, 배치, 각도 및 천공깊이.
 - ⑤ 화약의 종류와 공당·지발당 장약량.
 - ⑥ 뇌관의 형식.
 - ⑦ 점화 및 기폭 순서.
 - ⑧ 현장 시험발파계획.
- (3) 발파설계 시에는 발파진동이나 소음이 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 대책을 수립하여야 한다. 엄격한 진동규제를 필요로 할 때에는 방진대책을 제시하거나 미진동굴착공법, 정밀진동제이발파 등을 검토하여, 진동소음 허용기준을 만족시켜야 하며, 터널 갱구부에서 발파소음으로 인한 환경영향이 우려되는 경우 방음시설(방음문, 방음둑, 방음벽 등)을 설치하는 등 적극적인 대책을 마련하여야 한다.
- (4) 주변에 발파진동으로부터 보호하여야 할 시설물이나 구조물이 있는 경우, 대상 시설물 위치에서의 발파진동 허용치는 입자속도를 기준으로 <표 9.1.1>에서 정한 값을 준용하여 설계하여야 한다.

<표 9.1.1> 구조물의 손상기준 발파진동 허용치

구 분	문화재 등 진동에민 구조물	조적식(벽돌, 석재 등)벽체와 목재로된 천장을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물	철근콘크리트, 철근골조 및 슬래브를 갖는 고층아파트 이상의 대형 건축물
허용입자 속도 (cm/sec)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

(5) 진동에 아주 민감한 특정 시설의 경우에는 해당 시설의 진동규제치를 기준으로 설계하여야 하고, <표 9.1.1>에 의한 구조물의 구분을 명확히 적용하기 어려운 경우에는 시험발파 등의 방법을 통하여 별도로 진동규제치를 정할 수 있다.

(6) 발파지점주변의 주민에 대한 생활공해방지를 위한 발파진동 허용치는 환경부 제정 “진동과 소음에 관한 규정”을 따라야 한다. 단, 가축사육장, 양식장, 정밀기계공장 등에 대한 인접공사의 경우에는 해당 전문가의 자문이나 기존 판례를 고려하여 발파진동 허용치를 정하여야 한다.

9.1.5 파쇄굴착은 암을 파쇄굴착하는 방법으로서 인력굴착방법을 적용할 수 없는 견고한 암반에서 기계 또는 저진동 발파굴착을 채택하기 어려운 경우나, 진동과 소음을 최소화할 필요가 있는 경우에 적용하여야 한다.

9.1.6 점착력이 적거나 파쇄 혹은 팽창성 등이 심하여 굴착면의 자립시간이 짧은 지반에서는 굴진면의 안정을 위한 보조공법을 다음과 같이 적용하여야 한다.

- (1) 굴진면 안정을 위한 보조공법에는 천장부 보강용으로 강봉 및 강관보강공법, 굴진면 보강용으로 굴진면 슛크리트, 굴진면 록볼트, 경사 록볼트, 주입재, 지지코어 등이 있으며 지반 조건, 지하수 유입 정도, 굴착단면의 크기 등을 고려하여 보조공법을 선정하여야 한다.
- (2) 보조공법은 터널표준시방서를 참조하여 시공방법과 잘 부합되도록 선정하여야 한다.

9.2 굴착공법

9.2.1 터널의 굴착공법은 일반적으로 다음 <표 9.2.1>과 같이 분류할 수 있으며, 굴진면의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면 침하의 허용 값 등을 조사하고 시공성과 경제성을 고려하여 다음 사항을 근간으로 선정하여야 한다.

- (1) 전단면굴착은 지반의 자립성과 지보능력이 충분한 경우에 적용하여야 하며, 주로 지반 상태가 양호한 중소단면의 터널에서 적용하여야 한다.
- (2) 수평분할굴착은 주로 지반 상태가 양호하고 단면적이 큰 경우에 시공성을 높이기 위하여 적용하거나, 지반 상태가 다소 불량한 경우에 굴진면의 자립성을 높이기 위하여 적용할 수 있다.
- (3) 연직분할굴착은 주로 지반 상태가 불량하거나 단면적이 큰 경우에 적용하여야 하며, 안정성 측면에서 임시지보재 설치를 검토하여야 한다.
- (4) 선진도갱굴착은 주로 단면적이 크거나 하저 및 해저 통과 등 특수한 조건하에서 굴진면 전방의 지반 및 지하수 상태를 확인할 목적으로 굴착하여야 하는 경우와 기계굴착공법을 적용하여 선진도갱하고, 발파공법으로 확장하여 굴착하는 경우에 적용할 수 있다.

<표 9.2.1> 굴착공법의 분류

굴 착 공 법			정 의	비 고
전단면 굴착			전단면을 1회에 굴착	
분 할 굴 착	수평분할굴착	통벤치	벤치길이 : 3D 이상	D:터널의직경
		쇼트벤치	벤치길이 : 1D~3D	
		미니벤치	벤치길이 : 1D 미만	
		다단벤치	벤치길이 : 3개 이상	
	연직분할굴착		연직방향으로 분할굴착	
	선진도갱굴착		단면의 일부분을 먼저 굴착	
	가인버트 굴착		벤치 상부에 숏크리트 타설 후 굴착	숏크리트로 가인버트형성

- (5) 지반이 연약하여, 굴착단면의 변형을 억제하거나 벤치의 길이를 길게 할 필요가 있을 경우에 가인버트 설치를 검토하여야 한다.

9.3 계측

9.3.1 터널의 계측설계는 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정과 설치시기, 측정 기간과 빈도, 결과정리 및 분석방법을 포함하여야 하며, 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 계측항목은 터널의 용도, 규모, 지반 조건, 육상, 하저 및 해저 등의 주변 환경, 시공방법 등을 고려하여 터널의 굴착에 따른 지반 및 주변 구조물의 거동을 파악하고 각종 지보재의 지보효과 및 품질을 확인하는데 적합하도록 선정하여야 한다.
- (2) 계측위치 및 배치간격은 터널의 규모, 지반 조건, 시공방법 등을 고려하여 계측 목적에 부합되어야 하며, 각 계측항목 사이의 상호 관련성을 파악할 수 있도록 선정하여야 한다.
- (3) 계측기기의 선정을 위하여 설계자는 터널의 안정관리상 요구되는 기기의 정도와 내구연한을 제시하여야 한다.
- (4) 계측기기의 설치시기, 측정빈도 및 측정기간은 터널굴착에 따른 지반 및 지보재의 거동을 충분히 파악할 수 있도록 인버트 굴착 및 라이닝 타설 시기를 감안하여 계획하여야 한다.
- (5) 측정 결과의 정리방법은 계측 결과를 확인할 수 있도록 계측치와 경시변화를 함께 제시하여야 하며, 분석방법은 계측항목별 측정치를 상호 비교하여, 지반거동과 지보재 효과의 상관성에 따른 터널의 안정성을 검토할 수 있도록 제시하여야 한다.
- (6) 3차원 변위 계측 시 결과는 기존 변위 분석방법과 아울러 터널의 3차원 거동 파악이 가능한 분석방법을 도입하여 터널 중단선상의 터널 변형거동 파악 및 굴진면 전방 선행변위 예측이 가능하도록 분석하여야 한다.

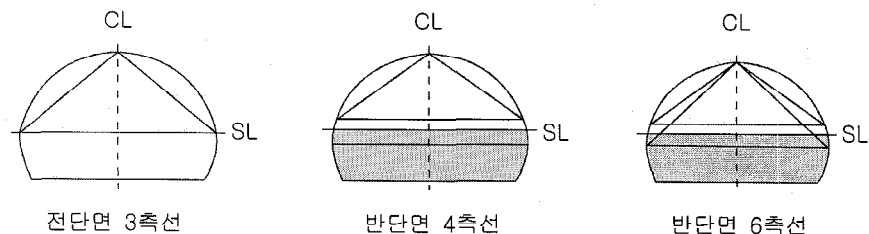
9.3.2 계측은 일상적인 시공관리를 위한 일상계측과 지반거동의 정밀분석을 위한 정밀계측으로 구분하여 계획을 수립하여야 한다.

9.3.3 일상계측은 일상적인 시공관리상 반드시 실시하여야 할 항목으로서, 터널

제9장 굴착 및 계측

내 관찰조사, 내공변위 측정, 천단침하 측정 등을 포함하며, 토피가 얇은 도심지에서는 지표침하 측정을 일상계측에 추가할 수 있으며, 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 터널 내 관찰조사는 매 굴진면마다 실시하는 것을 표준으로 하고, 지반 상태에 따라 유지관리 시의 기초자료인 터널지질도를 작성하는 데 필요한 최소한의 빈도로 조정할 수 있다.
- (2) 내공변위 및 천단침하 측정 시 측정단면은 20m 간격을 표준으로, 갱구 부 50m 구간과 토피가 터널직경의 2배 이하인 구간은 10m 간격을 표준으로 함을 원칙으로 한다.
- (3) 지반 조건이 불량한 구간이나 변화가 심한 구간에 대하여는 계측간격을 표준간격보다 좁혀야 하며, 지반 조건이 양호하고 구간 내에서 지반 변화가 적을 때에는 사전검토 결과를 토대로 계측간격을 표준보다 넓히거나 계측을 생략할 수 있다.
- (4) 내공변위의 측선 수는 <그림 9.3.1>을 기준으로 하여 배치하되 갱구 부근, 편압 예상구간, 단층 및 파쇄대, 과도한 지하수 용출이 예상되는 구간 등은 측선 수를 조정할 수 있으며, 필요한 경우 3차원 거동을 파악하도록 계측계획을 수립하여야 한다.



<그림 9.3.1> 내공변위 계측의 측선 배치 예

- (5) 천단침하는 내공변위 측정과 동일 단면에 배치하고 그 측점은 굴진면에 근접한 천단에 설치하여야 한다. 터널이 전체적으로 침하하는지를 확인할 필요성이 있는 경우 천단침하와 더불어 터널 하단부 침하를 측정하여야 한다.
- (6) 일상계측으로서 지표침하 측정이 필요한 경우에는 측점을 내공변위 측

정과 동일한 단면의 터널 중심선상의 지표면에 배치하고 터널 축에 직각방향으로 여러 개의 측점을 거리별로 배치하여야 한다. 이때 가장 바깥쪽의 측점은 가능하면 터널굴진의 영향을 받지 않는 부동점이 되도록 계획하여야 한다.

9.3.4 정밀계측은 지반 조건 또는 주변 여건에 따라 지반 및 구조물의 거동을 보다 상세히 관찰할 목적으로 일상계측에 추가하여 선정하는 항목으로서 현장 조건을 고려하여, 지중변위 측정, 록볼트 축력 측정, 슐크리트응력 측정, 강지보응력 측정, 지중침하 측정 등을 포함할 수 있으며 갱구부나 특정 구조물주변, 도심지 공공주택 또는 다중이용시설의 지하부에는 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 정밀계측 축선의 간격은 500m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 터널의 규모나 지반 및 주변 조건 등에 따라 조정할 수 있으며, 가능한 한 설계 시의 터널해석 구간에 설치하여 해석 결과와 시공 시의 계측 결과의 비교검토가 되도록 하여야 한다.
- (2) 지중침하 측정 위치는 터널 중심선상의 지표면 또는 측정이 요구되는 지점에 배치하고 깊이별로 여러 개의 측점을 계획하여야 한다.
- (3) 정밀계측의 여러 항목 중, 계기를 터널 내에 설치할 필요가 있는 항목(지중변위 측정, 록볼트 축력 측정, 슐크리트응력 측정 등)에 대하여 1단면마다 3~5점을 표준으로 터널의 설계패턴에 따라 효과적인 계측이 가능하도록 적절한 위치에 배치하여야 한다.
- (4) 설계자는 상기 항목 이외의 지반침하, 구조물 균열 및 경사도 등 터널공사에서 수반되는 제반영향을 검토할 필요가 있는 경우에는 관련 계측에 대한 계획을 제시하여야 한다.
- (5) 화폭부나 접속부 등의 특수 구간에는 정밀계측에 대한 계획을 제시할 수 있다.
- (6) 파쇄대, 습곡, 단층, 탄층 등의 연약지반이 예상되거나 정밀계측이 필요한 구간에는 가급적 터널의 3차원적 거동 파악이 가능한 계측기법을 도입하여야 하며, 필요 시 물리탐사나 선진수평보링을 함께 수행하여 계측

제9장 굴착 및 계측

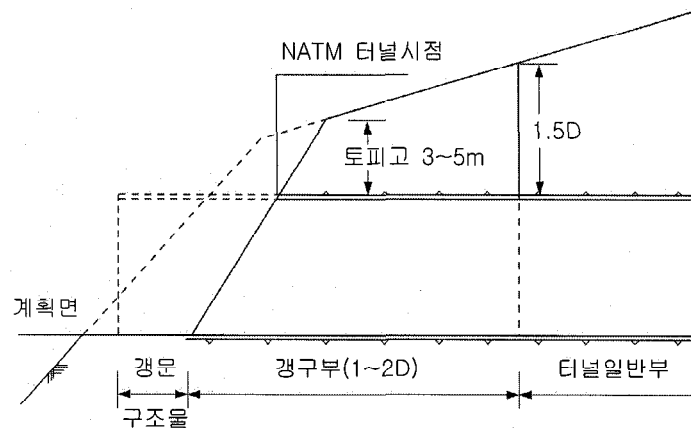
결과의 신뢰도를 향상시켜야 한다.

- (7) 터널공사로 인하여 환경 피해 및 생태계 변화가 우려되는 구간에는 발파 진동 및 소음, 지하수위 등의 환경영향 관련 계측계획을 수립하여야 한다.

9.3.5 설계자는 계측의 허용오차, 계측기기의 정도, 내구성, 설치시기, 측정기간 및 빈도, 계측기의 유지관리, 계측 결과의 정리 및 분석방안, 계측관리기준치 등 계측기기 선정, 계측수행 및 분석에 필요한 제반사항을 포함한 공사시방서를 작성하여야 한다.

9.3.6 터널시공이 인접 구조물에 영향을 미칠 가능성이 높은 경우, 특수한 구조의 터널, 산사태나 지반거동의 가능성이 있을 경우, 지하수위와 지질학적인 문제 예상지역 등 터널완공 후 주변 여건 및 지반 조건상 터널 및 주변에 악영향이 예상되는 경우에는 준공 후 유지관리 시의 안전성 확보를 위한 유지관리계측계획을 수립하여야 한다.

10.1.1 갯구부는 일반적으로 갯문구조물 배면으로부터 터널길이의 방향으로 터널직경의 1~2배 정도의 범위 또는 터널직경 1.5배 이상의 토피가 확보되는 범위까지로 정의함을 원칙으로 한다. 단, 원지반 조건이 양호한 암반층 또는 붕적층, 충적층 등의 미고결층에서는 별도의 구간을 갯구 범위로 정의할 수 있다.



<그림 10.1.1> 갯구부의 범위

10.1.2 갯구부는 일반부와는 달리 지형, 기상, 입지 조건, 근접시설물 등의 외적 조건 등을 고려하여 구조 및 시공방법을 선정하여야 한다.

10.1.3 갯구부설계 시에는 다음 사항들을 검토하여 안정성을 확보하고 환경훼손을 최소화할 수 있도록 하여야 한다.

- (1) 갯구의 위치 및 설치방법.
- (2) 갯구부로 시공되는 범위.
- (3) 갯구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트라이닝의 구조.

- (4) 갯구비탈면의 안정검토와 필요한 비탈면 보호 및 안정공법.
- (5) 갯구비탈면의 지표수 및 지하수 배수대책.
- (6) 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법.
- (7) 지표 침하 등 갯구주변의 구조물에 미치는 영향.

10.2 갯구부의 설계

10.2.1 갯구부의 위치는 지형이나 기상의 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심축선과의 위치 관계에서 다음 특성을 고려하여야 한다.

- (1) 터널 중심축선은 지형 경사면과 가급적 직교하도록 하여야 하며, 이 경우 경사면 하단보다 상부 지역에 갯구부가 계획될 때에는 공사용 진입로를 확보하도록 하여야 하고, 인접 구조물과의 관계 등도 고려하여야 한다.
- (2) 갯구부는 갯구부 깎기 최소화를 위하여 특수한 지형 및 지질 조건을 제외하고는 갯구부 상단 토피 3~5m 또는 암토피고 1~2m 확보되는 지점에 갯구부를 형성하는 것을 표준으로 한다.
- (3) 터널 중심축선이 지형 비탈면에 대하여 사각으로 진입하는 경우에는 비대칭의 깎기 비탈면이나 갯문이 형성되게 되므로 횡방향 토피 확보 여부와 편압에 대한 검토를 하여야 한다.
- (4) 터널 중심축선과 지형경사면이 평행한 경우는 가급적 피해야 하며, 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 경우가 있으므로 전구간에 걸쳐 편압에 대한 검토와 이에 대한 대책을 수립하여야 한다.
- (5) 골짜기에는 일반적으로 지질구조대가 발달하여 있고 지표수 유입과 지하수위가 높을 경우가 많으므로 터널 중심축선이 골짜기로 진입하는 경우는 최대한 피하여야 한다. 부득이하게 계획되었을 경우는 수리·수문학적인 검토를 하여 지표수와 갯문 배면의 침투수가 원활하게 배수처리되도록 하여야 하며, 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생가능성에 대비하여야 한다.

10.2 갱구부의 설계

- 10.2.2 갱구의 위치는 깎기 비탈면의 안정과 자연지형 보존을 위하여 깎기를 최소화할 수 있는 위치로 선정하여야 하며, 갱구 위치별 깎기량에 대한 경제성, 시공성, 경관성, 환경영향 등을 비교 검토하여야 한다.
- 10.2.3 갱구부의 설계에 있어서는 비탈면의 안정성, 지반의 지내력, 터널 중심축선과 비탈면의 관계, 갱구비탈면 깎기 및 터널의 안정성 등을 검토하여야 한다.
- 10.2.4 갱구비탈면의 기울기는 지반 조건에 따라 적절히 선정하여야 하며, 필요시 비탈면 안정성 확보를 위하여 표면 보호공법과 활동 방지대책 등의 적절한 보강공법을 적용하여야 한다.
- 10.2.5 갱구부는 일반적으로 지반의 강도와 고결도가 낮은 경우가 많고 암반층에서도 균열 발달이 심한 경우가 많으므로 지반의 자체 지보력 확보를 위하여 보다 적극적인 보강공법을 적용하여야 하며, 동일 지반 조건에서의 일반 구간보다 안전한 굴착공법과 지보패턴의 작용을 검토하여야 한다.
- 10.2.6 토피가 얇고, 지반 자체의 지보력 형성이 어려울 것으로 예상되는 경우에는 상재된 전토피 하중이 지보재로의 작용 여부를 검토하여야 한다.
- 10.2.7 갱구부는 누수, 결빙 등이 발생하기 쉽기 때문에 적절한 방수 및 배수 조치를 하여야 하며, 갱구부에 작용하는 하중 및 기상 조건에 따른 영향을 고려하여 콘크리트라이닝의 철근보강 여부, 동상방지층, 제설 시스템 및 방설시설의 적용 여부를 검토하여야 한다.
- 10.2.8 갱구부에서는 지진영향에 대한 거동특성이 일반구간과는 다를 수 있으므로 지진하중에 의한 영향을 검토하여야 한다.
- 10.2.9 갱구부 시공 시 지반이완과 비탈면 붕괴가 발생할 위험이 있는 경우에는 터널굴착에 앞서 낙석방지와 비탈면 안정대책을 수립하여야 한다.

제10장 갯구부

10.2.10 터널 중심축선과 비탈면의 위치 관계에서 3차원 거동이 예상되거나 편압이 작용되는 경우에는 터널안정성 해석 시 이에 대한 검토를 하여야 하며, 안정성이 확보되지 않는 경우에는 압성토와 깎기로서 지반압의 균형을 맞추도록 하거나 불균형의 응력 발생에 대비한 보강대책을 제시하여야 한다.

10.2.11 갯구부는 지표부에 과다한 침하와 지표 함몰의 가능성이 있으므로 지표부에 침하의 제한이 필요한 시설물이 있는 경우에는 이에 대한 충분한 대책을 검토하여야 하며, 필요에 따라 보강공법을 제시하여야 한다.

10.3 갯문의 설계

10.3.1 갯문의 위치 선정에 있어서는 기상 및 자연재해에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 갯문 배면의 지형, 지반 조건, 깎기 및 비탈면의 안정성 등을 검토하여야 하며, 갯구부 주변의 유지관리시설과의 관계와 터널 외부의 구조물형식을 고려하여야 한다.

10.3.2 갯문은 비탈면에서의 낙석, 토사붕락, 눈사태, 지표수 유입 등으로부터 갯구부를 보호할 수 있는 기능을 갖도록 하여야 하고, 지반 조건이 허용하는 한 최소 토피구간을 선정하여 자연환경 훼손을 최소화하여야 하며, 역학적으로 안정한 구조로 하여야 한다.

10.3.3 갯문의 외관과 형상은 터널의 사용 목적에 맞고 주변 경관과의 조화를 위한 조경계획과 유지관리상의 편의를 고려하여 선정하여야 한다.

10.3.4 갯문의 형식은 다양한 형식으로 적용할 수 있고 주로 면벽형과 돌출형으로 구분하며 갯구부의 지형, 지반 조건, 주변 여건을 고려하여 다음과 같이 선정하여야 한다.

(1) 면벽형은 구조적으로 중력식과 날개식 등으로 나눌 수 있고 갯문 배면

의 지반압을 받는 토류 옹벽구조로 하여야 한다.

- (2) 돌출형은 터널 본체와 동일한 내공단면이 터널 갯구부에 연속하여 지반으로부터 돌출한 형식으로서 그 형상에 따라 파라펫트식, 원통깎기식, 벨마우스식 등이 있으며 각 형식별로 장·단점을 고려하여 선정하여야 한다.
- (3) 해빙기와 집중호우 시 낙석, 눈사태, 산사태로부터 이용자의 안전을 확보할 수 있도록 갯문형식을 선정·설계하여야 한다.

10.3.5 갯문의 구조설계는 소요 하중 외에 지진, 온도 변화, 콘크리트의 건조수축 등의 영향을 고려하여야 하며, 갯문구조물의 기초안정성도 검토하여야 한다.

10.3.6 갯문구조물의 일부로서 터널과 연결된 복개식 터널구조물은 개착구조물로 간주하여 설계하여야 하며, 편압이 작용할 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여야 한다.

10.3.7 갯문구조물과 본선 터널의 접합부는 분리구조로 하고 적합한 조인트를 설치하여야 하며, 재질이 서로 다른 두 종류의 방수막이 접합되는 경우, 방수막 상호간 접합이 용이한 재료를 선정하여 사용한다. 특히, 접합부에는 누수에 대비하여 구조물 횡방향을 따라 도수로를 설치하여야 한다.

10.3.8 갯구부 개착구조물 설치 시 원지반의 특성을 감안하여 바닥 슬라브의 설치 여부를 검토하여야 한다.

빈 면

제11장 단면확폭부 및 접속부

11.1 설계일반

11.1.1 단면확폭부 및 접속부는 터널용도에 따라 다음 <표 11.1.1>과 같이 구분되며, 터널 일반부에 비하여 단면이 크고 복잡한 형상이므로 그 기능과 지반 조건을 감안하여 터널과 주변 지반의 안정을 확보할 수 있도록 설계하여야 한다.

<표 11.1.1> 단면확폭부와 접속부의 구분

구 분	단면확폭부	접속부
도로 터널	· 비상주차대 구간 · 오르막 차로 설치구간 · 갱구부 확폭구간 · 2-아치/3-아치 터널구간	· 피난연결통로 설치구간 · 환기용 터널 설치구간 · 수직구 설치구간 · 사갱 설치구간
철도 터널	· 분기기 설치구간 · 구난정거장 구간 · 단복선 변화구간 · 정거장 구간 · 신호장 구간	· 변압기 설치구간 · 대형대피소 설치구간 · 환기용 및 대피용 터널 설치구간 · 수직구 설치구간 · 단복선 연결구간 · 사갱 설치구간
도시 철도 터널	· 정거장 구간 · 유치선 구간 · 신호소 설치구간 · 단복선 변화구간	· 단복선 연결구간 · 변전실 설치구간 · 대피용 터널 설치구간
기 타	· 일반부보다 확폭된 단면이나, 터널 간 접속되는 구간	

11.1.2 단면확폭부와 접속부는 지반 조건이 양호한 구간에 설치하여야 하며, 지반 조건이 불량한 구간에 위치하는 경우에는 설치 목적에 위배되지 않는 범위 내에서 위치 변경이 가능하도록 계획하여야 한다.

11.1.3 단면확폭부와 접속부는 터널과 주변 지반이 역학적으로 충분히 안정하고 경제적인 시공이 되도록 확폭부와 접속부의 형상, 시공 방법 및 순서, 지보재, 콘크리트라이닝, 보강공법 등을 검토하여야 한다.

제11장 단면확폭부 및 접속부

11.2 단면확폭부의 설계

11.2.1 단면확폭부는 안정성과 경제성을 고려하여 단면계획을 하여야 하며, 시공과정에서 단면의 형상이 여러 형태로 변화하므로 이를 감안하여 변화된 터널단면의 안정성을 확보하여야 한다.

11.2.2 단면확폭의 범위가 크지 않을 경우에는 지반 조건을 파악하여 지보패턴의 변경으로 대처할 수 있으며, 이 경우 지보재 증가수량을 합리적으로 산정하여야 한다.

11.2.3 단면확폭부의 시공순서는 확폭단면의 크기, 확폭단부의 공간처리, 지반 조건, 공기 등을 고려하여 결정하여야 한다.

11.2.4 단면확폭부가 부득이 하게 지반 조건이 불량한 위치에 계획된 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 시행하여야 하며, 필요 시 3차원 해석을 통하여 안정성을 검토하여야 한다.

11.3 접속부의 설계

11.3.1 접속부는 터널단면들이 여러 형태로 연결되므로 이를 감안하여 접속된 터널단면들에 대하여 안정성을 검토하여야 한다.

11.3.2 접속부의 시공방법, 시공순서 및 시공 이격거리는 선행굴진 터널의 지보재 및 주변 지반에 미치는 영향을 충분히 고려하여 결정하여야 한다.

11.3.3 접속부는 터널의 크기와 지반 조건에 적합한 필러(pillar)의 폭을 유지하여야 한다.

11.3.4 접속부의 소요의 필러 폭 확보가 곤란하거나 지반 조건이 불량한 경우에

11.3 접속부의 설계

는 강성이 충분한 지보재로 필러를 보강하거나 단면확폭부를 이용한 분기를 적용할 수 있다.

11.3.5 접속부의 구조 및 형상은 안정성이 확보되도록 계획하여야 하며, 부득이하게 지반 조건이 불량한 위치에 계획되거나 형상이 특수한 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 시행하여야 하고, 필요 시 3차원 해석을 통한 안정성을 검토하여야 한다.

11.3.6 접속부의 보강범위는 접속각도 90° 인 경우 접속터널은 접속터널 최대폭(d)의 1d, 본선터널은 본선터널 최대폭(D)의 1D를 표준으로 하는 것을 원칙으로 하되, 상세검토를 통하여 보강범위를 별도로 선정할 수 있으며, 기타 접속각도의 경우 접속각도에 따른 응력 집중 및 증가를 검토하여 보강범위를 선정하여야 한다.

빈 면

제12장 연직갱 및 경사갱

12.1 설계일반

12.1.1 연직갱의 설계는 수직이거나 수직에 가까운 터널에 적용하여야 한다.

12.1.2 경사갱의 설계는 경사진 터널에 적용하여야 한다.

12.1.3 연직갱 및 경사갱의 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 연직갱 및 경사갱의 설계 시에는 사전에 충분한 지반조사를 실시하여 지반의 상태 및 특성을 파악하고 이를 설계에 반영하여야 한다.
- (2) 연직갱에서는 특수한 작업기계를 사용하게 되므로 지형 및 지반 조건에 적합한 장비를 선정하여 제시하여야 하고, 지하수 유입에 대비하여 안정성, 시공성을 충분히 고려한 계획을 세워야 한다. 특히, 동절기 시공 중 지표 부근의 누수로 인한 고드름 및 기타 낙하물에 대한 안전대책을 사전에 강구하여야 한다.
- (3) 연직갱을 작업용으로 사용하고 공사 완공 후 타복적으로 전용하지 않는 경우에는 터널 본체 및 지표에 영향을 미치지 않도록 보강, 폐쇄, 매립 등의 적절한 방안을 제시하여야 한다.
- (4) 경사갱의 설계 시에는 용도, 지반 조건, 버력 및 기자재의 반출입, 터널 내부설비, 측량, 시공, 유지보수, 점검 시의 안정성 등을 충분히 고려하여 위치, 유효단면, 기울기, 수평부의 연장, 수평분기점의 위치, 본 터널과의 교차각도 등을 정하여야 한다.
- (5) 경사갱의 수평부의 연장은 터널 내부설비 외에 측량의 정도, 버력설비, 차량의 교체작업 등을 고려하여 정하여야 한다.
- (6) 경사갱과 본 터널과의 교차각도는 직각을 표준으로 하되 연결부의 구조, 시공성, 차량의 선회반경 등 운행 조건을 고려하여 교차각도를 별도로 정할 수 있다.

제12장 연직갱 및 경사갱

- (7) 연직갱 및 경사갱의 위치는 용도, 지반 및 지형 조건, 유입 지하수, 연장 및 유지관리를 고려하여 경제적으로 유리한 장소를 선정하여야 한다. 유지 관리하여야 할 연직갱의 경우에는 인력 및 장비수송용 승강기를 연직갱 내에 설치하여야 하며, 심도에 따른 안전대책을 수립하여야 한다.
- (8) 연직갱 및 경사갱을 작업용으로 사용하는 경우에는 본 터널과 연결되는 갱저설비의 배치, 측량, 완성 후의 처리 등을 고려하여 위치를 선정하여야 한다.
- (9) 연직갱 및 경사갱을 환기, 배수, 비상용 통로 등 본 설비로 사용하는 경우에는 향후 지하시설의 확장에 대비하여 위치를 선정하여야 하며, 갱에서 배출되는 오염물질이 주변 환경에 미치는 영향을 검토하여야 한다.
- (10) 연직갱 및 경사갱의 굴착대상인 지층에 대수층이 있거나 유입 지하수가 많을 것으로 예상되는 경우에는 지하수위 저하, 지수, 지반 강화 등의 보조공법을 계획하여야 한다.

12.2 연직갱의 설계

12.2.1 연직갱의 단면 결정 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 연직갱의 단면은 용도에 따른 소요 내공단면, 시공방법, 연직갱 내에 설치될 모든 설비의 배치, 반입기자재의 크기, 지반 조건 등을 종합적으로 고려하여 그 크기와 형상을 정하여야 한다.
- (2) 도로터널의 환기용 연직갱은 터널 내의 소요 환기량을 충분히 확보할 수 있는 단면적을 확보하여야 한다. 연직갱의 단면은 연직갱 내 풍속이 20m/sec 이하로 되는 단면으로 결정하여야 한다.
- (3) 도로, 철도터널 등의 작업용 연직갱의 설계 시에는 케이지(cage), 스킵(skip) 등의 버력처리설비 및 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류, 비상계단 등의 설치와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 단면을 결정하여야 한다.
- (4) 지보설치 후의 연직갱 유효단면은 지하시설 건설공사를 가장 경제적으로

12.2 연직갱의 설계

로 수행하기 위한 시간당 버력, 인원, 소요 지재 운반량과 반입될 장비, 설비의 크기, 시간당 환기량과 각종 설비, 지반 조건을 고려하여 결정하여야 한다.

12.2.2 연직갱의 굴착설계는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 연직갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선진도갱 확대 굴착으로 구분되며 연직갱의 용도, 심도, 단면크기, 지반 조건, 입지 조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정하여야 한다.
- (2) 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.
- (3) 연직갱 내 발파계획 시 지반 조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립하여야 한다.

12.2.3 연직갱지보재의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 연직갱지보재는 지반 조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 시기 등을 고려하여 안전하고 능률적으로 터널 내부작업을 수행할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (2) 강지보재의 크기와 간격 결정 시 연직갱단면의 크기 및 지반 조건 등을 고려하여야 하며, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 슛크리트로 대체할 수 있다.
- (3) 연직갱지보재의 설계는 제5장 터널지보재 편에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하며, 지반의 급격한 변화, 지하수의 유동성 등을 감안하여 안전측으로 설계할 수 있다.
- (4) 슛크리트의 탈락방지를 위하여 철망이나 섬유보강 슛크리트를 사용하여야 한다.

12.2.4 연직갱의 라이닝설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

제12장 연직갱 및 경사갱

- (1) 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 사용을 기본으로 하고 지반 조건에 따라 콘크리트 블록(concrete block), 세그먼트(segment), 라이너플레이트(liner plate) 등을 사용할 수 있다.
- (2) 라이닝의 길이 및 두께의 설계 시에는 연직갱의 용도에 적합한 단면의 크기 및 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려하여야 한다.
- (3) 지질구조가 복잡하지 않은 경우 적용하중이 균등하게 작용하는 것으로 간주하여 설계할 수 있다. 그러나 지질구조의 변화가 급격히 변하거나 지형 및 지반 특성상 현저하게 비대칭인 경우 편하중이 작용하는 것으로 설계하여야 한다.
- (4) 내리막굴착 시 굴착, 발파, 버력처리 후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 라이닝이 지반압을 받는 것으로 설계하여야 하며, 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위하여 라이닝길이를 짧게 하고 강지보재를 추가하는 등 대책을 강구하여야 한다.
- (5) 굴착과 라이닝을 20~30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 시반변형을 숏크리트 등으로 억제하고, 지반 상태에 따라 일정 구간 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 라이닝의 설계 시 지반압은 라이닝이 받는 것으로 설계하여야 한다.
- (6) 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우 콘크리트라이닝의 두께는 시공성, 단면의 크기 등을 고려하여 설계하고, 단면의 증감을 고려하여 두께도 적합하도록 증감시켜야 한다.
- (7) 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.

12.2.5 연직갱의 터널바닥설비의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 연직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며 지반 조건, 본선 터널의 시공법, 연직갱의 운반방법, 굴진공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정하여야 한다.

- (2) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 배수설비설계 시 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널 내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료적치장 등에 대하여 검토하여야 한다.
- (4) 연직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반 조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정하여야 한다.
- (5) 안전설비로서 전화, 점멸장치, 사이렌 등의 비상용 경보장치와 소화기의 설치, 비상용 자재로서 가スマ스크 등이 계획되어야 한다.

12.2.6 연직갱의 터널외부설비의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 연직갱 내 과도한 지하수 유입으로 인하여 배수설비가 침수되는 경우에 대비하여, 인원탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도로 통으로 나누어 배선하여야 한다.

12.3 경사갱의 설계

12.3.1 경사갱의 기울기 및 단면 결정 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 경사갱의 기울기는 용도, 연장, 본 터널과의 위치 관계, 지반 조건, 시공법, 공기, 운반방법의 특성, 환기방법, 경제성 등에 대하여 검토를 하고 정하여야 하며, 버력반출용 경사갱의 경우에는 장비의 등판능력을 고려하여 계획하여야 한다.
- (2) 경사갱에서는 설치하는 설비의 반출입, 설치의 용이성, 유지보수, 점검시의 안전성 등을 충분히 고려하여 기울기 및 연장을 정하여야 한다.
- (3) 경사갱의 단면은 용도, 시공을 위한 운반설비, 작업용 통로 및 공사용 제설비의 배치 등을 종합적으로 고려하여 크기와 형태를 정하여야 한다.

제12장 연직갱 및 경사갱

- (4) 작업용 경사갱의 단면은 버력반출설비, 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 정하여야 한다.
- (5) 배수관은 지하수의 유입 상태에 따라 증설의 필요성이 발생하므로 여유를 갖는 배치가 되도록 내공단면을 확보하여야 한다.

12.3.2 경사갱의 굴착방법설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 기울기 및 유효단면에 적합한 굴착, 보강, 운반, 환기, 배수방법 등을 확립하여야 한다.
- (2) 경사갱의 굴착공법은 전단면내리막굴착, 전단면오르막굴착, 분할굴착, 선진도갱확대굴착 등으로 구분되며, 경사갱의 용도, 연장, 기울기, 단면의 형태 및 크기, 지반 조건, 입지 조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정하여야 한다.
- (3) 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.
- (4) 경사갱 내 발파계획은 지반 조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립하여야 한다.

12.3.3 경사갱의 지보재설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지보재는 시공법, 지반 조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력이 발휘될 수 있도록 설계하여야 한다.
- (2) 강지보재는 경사갱의 직각방향, 연직방향, 직각방향과 연직방향의 중간방향으로 설치할 수 있으며 초기응력 및 지반 상태를 고려하여 가장 적합한 방법을 선택하여야 한다.
- (3) 지보재와 지보패턴은 수평터널의 경우에 준하여 설계하여야 하며, 경사갱의 특수성을 감안하여 수평터널의 지보재보다 안전측으로 설계할 수 있다.

12.3.4 경사갱의 라이닝설계 시 다음 사항을 따라야 한다.

12.3 경사갱의 설계

- (1) 라이닝설계는 용도, 기울기, 지반 조건, 시공법, 시공시기 등을 고려하여 행하여야 한다.
- (2) 라이닝설계는 수평터널의 설계에 준하지만 기울기가 급한 경사갱이나 수압관로의 라이닝은 주변 지반의 상태 혹은 수압 크기 및 형태에 따라 적절한 두께와 구조를 확보하도록 하여야 한다.
- (3) 라이닝두께는 단면의 형태와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반 조건, 라이닝재료, 시공성 등을 고려하여 정하여야 한다.
- (4) 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.

12.3.5 경사갱의 터널바닥설비설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 경사갱 내부의 터널바닥설비는 배수설비와 버력처리설비 등이 있으며 지반 조건, 본선 터널의 시공법, 경사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정하여야 한다.
- (2) 버력처리설비는 기울기, 연장, 집속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (3) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.
- (5) 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.

12.3.6 경사갱을 화재 시 배연통로로 이용할 경우 별도의 대피통로계획을 수립하여야 한다.

빈 면

제13장 TBM 터널

13.1 TBM 적용일반

13.1.1 본 장은 터널을 TBM으로 굴착할 경우의 설계기준이며, 이 기준에 기재되지 않은 사항은 별도로 정할 수 있다.

13.1.2 설계자는 현장 조건에 맞는 TBM을 선정할 수 있도록 기기의 종류와 그 특성을 사전에 숙지하여야 한다.

13.2 계획

13.2.1 TBM 터널계획은 터널의 선형, 토피, 내공단면, TBM 형식, 라이닝, 유지관리계획, 공사계획, 환경보존계획 등을 포함하여야 하며, 공용 중의 유지관리 등에 대하여 고려할 필요가 있다. 본 절에 기술되지 아니한 사항에 대하여는 제2장 계획 편에서 정한 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.

13.2.2 선형계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 선형계획 시에는 사용 목적, 설계 조건, 입지 조건, 지형 조건, 지장물 및 지반 조건, 시공성, 장비특성, 인접 구조물, 방재설계 등을 고려하여야 한다.
- (2) 노선계획은 지반 조건을 고려하여 단층, 습곡 등 지질구조대, 파쇄대, 팽창성지반 등을 피하고 가급적 균질한 지반을 통과하도록 하여야 한다.
- (3) 평면선형은 가능한 한 직선으로 계획하도록 하며, 곡선으로 계획하는 경우에도 곡선반경을 가능한 한 완만하게 하여야 한다.
- (4) TBM 터널의 최소곡선반경은 지반 조건, 굴착단면의 크기, 시공방법, 장

제13장 TBM 터널

비특성, 라이닝 등을 고려하여 설계하여야 한다.

- (5) 쉴드 TBM에서 현장 여건상 현저하게 작은 곡선반경을 적용하는 경우에는 굴진반력에 의한 터널 변형방지와 세그먼트의 안정성을 고려하여야 하며, 지반보강, 쉴드 TBM의 구조 및 세그먼트의 개량, 여굴에 의한 뒹 채움 주입량, 또는 방향전환 작업구, 지중접합 등을 검토하여야 한다.
- (6) 터널을 2개 이상 병렬로 계획하는 경우, 터널 간의 순간격은 TBM 굴착 외경 이상을 표준으로 하고, 그 이하로 근접 계획할 경우에는 지반 조건을 고려하여 적절한 설계를 하여야 한다.
- (7) TBM 터널을 다른 구조물에 근접하여 계획하는 경우 근접 구조물의 설계 조건이나 현황을 조사하여 편압, 침하, 진동 등의 영향을 주지 않도록 필요한 간격을 두어야 하며, 필요 시 구조물 주변의 보강을 고려하여야 한다.
- (8) 터널 갱구부는 TBM 장비의 조립 및 부대장비의 설치에 필요한 공간을 감안하여 계획하여야 한다.

13.2.3 중단기울기계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 중단기울기는 사용 목적, 유지관리, 시공성, 공사 중 및 운영 시 배수처리 문제, 지하수처리 및 오염방지문제 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (2) 중단기울기의 기준은 터널 정거장처럼 부득이한 경우를 제외하고는 TBM 장비의 굴진효율 향상과 시공 중 및 운영 중 용출수를 자연유하시킬 수 있도록 0.3% 이상의 오르막을 원칙으로 하여야 한다. 또한 작업구 조건이나 지장물의 제약으로 중단기울기가 2%를 초과하는 경우에는 배수, TBM의 추진, 시공 중의 버력 및 재료의 운반 등 작업능률 저하와 안전을 고려하여야 한다.
- (3) 내리막굴착계획 시에는 터널 내 배수 및 굴진능률 저하 등을 고려하여야 한다.
- (4) 급기울기설계를 지양하며, 급기울기설계 시에는 운반장비의 견인력과 제동력을 고려하여 굴진을 저하요인을 최대한 감소시켜야 한다.
- (5) 수로터널의 경우 목적에 적합한 통수량, 통수단면적, 유속 등 상호관계를 고려하여 기울기계획을 세워야 한다.

13.2.4 TBM 터널의 토피는 다음 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

- (1) 터널의 토피는 굴착외경의 1.5배 이상을 기준으로 하고, 지표와 지하구조물의 현황, 지반 조건, 굴착단면적의 크기, 터널의 사용 목적, 시공방법 등을 충분히 검토하여 결정하여야 한다.
- (2) 터널의 토피가 굴착외경의 1.5배 미만인 경우는 상응하는 터널의 안정성을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

13.2.5 내공단면계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM 터널의 내공단면은 원형을 표준으로 하고, 터널의 사용 목적에 따른 소요 내공단면적을 결정하며, 인버트부의 여유공간에 배수로, 대피시설 등 부대설비계획을 검토하여야 한다.
- (2) 소요 내공단면을 확보할 수 있도록 상하좌우의 선형오차, 변형 및 침하 등에 의한 시공오차를 감안하여야 한다.
- (3) 내공단면의 시공오차는 지반 상태에 따른 허용 변위량, 지보 및 라이닝의 시공편차, 터널의 용도, 구조물의 특성, 방재 및 구난설계 등을 고려하여 합리적으로 결정하여야 한다.
- (4) 원형 이외에도 터널의 사용 목적에 따라 다른 단면형상을 선택할 수 있으며, 이 경우 TBM 장비, 라이닝의 강도, 형상 및 시공상의 문제점에 대하여 충분히 검토하여야 한다.
- (5) 소요 내공단면의 크기별 TBM 구경을 정형화할 수 있는 경우는 TBM 단면표준화를 검토하여 장비 또는 부품이 재활용될 수 있도록 하여야 한다.

13.2.6 TBM 터널계획 시에는 지반 조건, 현장 여건, TBM 종류 등을 고려하여 작업장 및 작업에 대한 공간계획, 버력처리장 및 설비 계획, 기타 부속설비 계획 등을 합리적으로 수립하여야 한다.

13.2.7 TBM 터널작업장의 부지와 공간은 터널공사의 규모, 굴착공법에 따른

제13장 TBM 터널

TBM 종류, 터널 외부설비(환기설비, 수전설비, 급수 및 배수 설비, 급기설비 등) 및 각종 가시설(커터숍(cutter shop), 레일 조립장, 컨베이어 조립장, 버력처리장, 침전지, 재료적치장 등)의 기능과 규모 등을 감안하여 계획하여야 한다.

13.2.8 TBM의 최초 터널 내부로의 진입을 위한 벽면지지용 발진터널 또는 발진반력대와 같은 반력설비를 계획하여야 한다.

13.2.9 공사 중 TBM 장비의 원활한 작동 및 유지관리를 위하여 사전에 부품수급계획을 수립하여야 하며, 토질과 암질에 따른 커터의 적정 교체시기 등도 함께 고려하여야 한다.

13.2.10 계측계획의 수립 시 일반적 사항에 대하여는 원칙적으로 제9장의 굴착 및 계측 편에 따르는 것을 원칙으로 하되, 기계굴착의 장점을 고려하여 계측위치, 계측항목, 계측간격, 측정빈도 등을 조정하여 경제적인 계측계획을 수립하여야 하며, 정밀 계측장비를 이용하여 계측오차를 최소화하여야 한다.

13.2.11 TBM 굴착 시 지반붕괴로 인한 장비의 함몰이나 과굴착으로 인하여 과다 지반침하 등이 우려되는 경우에는 굴진면 관찰 또는 조사 장비에 의한 굴진면 예측과 과굴착 측정 등을 사전에 계획하여야 한다.

13.2.12 터널시공에 따른 주변 지하구조물에 침하, 손상 등의 변위가 예측되는 경우에는 사용성, 안전성, 경제성, 공사기간 및 환경 조건 등을 고려하여 효과적인 보조공법을 검토하여야 한다.

13.2.13 TBM 터널의 공용기간 동안 보유하여야 하는 성능의 수준을 유지하도록 적절한 유지관리계획을 세워야 한다.

13.2.14 터널시공 시의 자연환경의 보전에 충분히 주의를 하여야 하며, 건설부산물의 감소와 재활용, 적절한 처리 및 처분에 대하여 충분한 계획을 하여야 한다.

13.2.15 TBM 공법설계 도서에는 터널의 설치위치, 세그먼트의 형상, 길이, 단면강도 등과 함께 설계하중, 허용응력 또는 안전율, 사용재료의 종류 및 재질, 지반 조건, 시공 조건 등 세부 사항을 명기하여야 한다.

13.2.16 TBM 터널에서는 효율적인 굴착이 이루어질 수 있도록 TBM 조작자와 관련 기술자 등의 상호 협조가 유지될 수 있는 현장운영조직을 계획하여야 한다.

13.3 조사

13.3.1 본 절에 기재되지 않은 조사 및 시험에 관한 사항에 대하여는 제3장 조사 편에서 정한 기준에 따르는 것을 원칙으로 하며, 특수한 경우에는 별도로 정할 수 있다.

13.3.2 TBM의 직용을 위한 입지 조건의 조사는 주로 노선 선정과 적용 TBM 종류의 결정, 터널의 규모 설정 등에 이용하며, 조사 시에는 TBM 장비 운반을 위한 도로망, 교통 상황, TBM 조립 및 해체를 위한 공사용 부지, TBM에 소요되는 전력 및 급배수 시설과 사토장 부지 등에 대한 조사를 반드시 실시하여야 한다.

13.3.3 노선 결정에 앞서 지상구조물, 지중매설물 및 지하구조물, 우물 등 터널 굴착에 지장을 주거나 굴착영향 범위에 있는 지장물에 대하여는 충분히 조사하여야 한다. 특히, 지중매설물의 경우 매설도면이 없거나 매설위치가 도면과 다를 수 있기 때문에 의심이 가는 구간에 대하여는 적절한 지하지장물 탐사방법을 사전에 적용하여 지장물의 위치 및 규모를 파악하여야 한다.

13.3.4 지형 및 지반 조사는 TBM 터널의 노선 선정, TBM 종류 선정, 지보패턴의 적용, 보조공법의 선정, 공사기간 산정 등, 설계 및 시공 단계에서 중요한 자료를 제공하므로 정확한 조사를 수행하여야 한다. 특히 TBM 공법

제13장 TBM 터널

의 적용 시에는 팽창성 지반이나 복합지반, 단층대, 지하수위가 높은 모래 자갈층이나 전석층 또는 토사와 암반의 경계부, 유해가스의 발생가능 지역 등에서 문제가 발생할 수 있으므로 이와 관련한 집중적인 지반조사를 실시하여야 한다.

13.3.5 터널주변의 환경보전을 위하여 필요에 따라 소음 및 진동의 영향, 지반 침하, 지하수 영향 등에 대하여 조사를 실시하여야 한다.

13.3.6 TBM 가동을 예측을 위하여 커터의 성능시험과 커터의 마모에 영향을 미치는 지반 조사 및 시험을 실시하여야 한다.

13.3.7 조사 및 시험 성과의 정리 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조사 및 시험 성과의 정리는 조사 및 시험 결과를 종합적으로 판단하여 터널노선의 지질과 시공상의 문제가 발생할 수 있는 지형 및 지질 등을 상세히 기입하여야 한다.
- (2) 지반 조사 및 시험 결과에 따라 TBM 공법의 기종과 세부 설계사항을 검토하여야 한다.

13.4 설계일반

13.4.1 본 절에 기재되지 않은 설계일반 사항에 대하여는 제4장 설계일반 편에 시 정한 기준에 따르는 것을 원칙으로 한다.

13.4.2 TBM 터널은 조사 결과를 기초로 하여 사용 목적의 적합성, 안전성, 경제성, 시공성이 확보되도록 설계하여야 하며, 지보재는 기계굴착의 장점을 최대한으로 활용할 수 있도록 설계하여야 한다.

13.4.3 시공 중 관찰과 계측 결과로부터 실제 지반 조건이 설계 시의 예측 지반 조건과 상이할 경우 설계 변경을 통하여 조정하여야 한다.

13.5 TBM의 선정

13.4.4 TBM 터널의 설계 시에는 다음 항목을 반드시 검토하여야 한다.

- (1) TBM 터널 내공단면의 크기.
- (2) TBM 장비의 선정.
- (3) 커터헤드설계.
- (4) TBM 조립장.
- (5) 발진기지 및 도달기지.
- (6) 버력처리 및 운반 시스템.
- (7) 지보 및 변형 여유량.
- (8) 라이닝(세그먼트라이닝 및 콘크리트라이닝).
- (9) 배수 및 방수.
- (10) 인버트.
- (11) 보조공법.
- (12) 가시설.
- (13) 작업자 통로.
- (14) 방재, 조명 및 환기.
- (15) 수전설비 등 각종 설비.
- (16) 부대시설 규모 및 소요 공간.

13.5 TBM의 선정

13.5.1 TBM 선정 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM 적용구간의 지반 조건, 굴진속도, 단면 형상 및 크기, 시공연장, 터널의 선형, 사용 목적, 시공성, 작업장 용지와 굴착 버력처리방법 등을 고려하여 안전하고 경제적인 시공이 가능한 종류 및 형식을 선정하여야 한다.
- (2) 터널 굴진면에 지하구조물 또는 기초말뚝 등의 지하장애물이 있는 경우에는 장애물의 제거나 변위 발생 등을 고려하여 종합적으로 검토하여야 한다.

13.5.2 기타 장비의 제원으로 다음의 항목 등을 고려하여야 한다.

- (1) TBM 장비의 주요 설비.
 - ① 커터헤드(cutter head).
 - ② 커터헤드 구동부(cutter head drive).
 - ③ 세그먼트 이렉터(segment erector).
 - ④ 전기설비(electrics).
 - ⑤ 작업장 가스 제어설비(methane gas control).
- (2) 운영 관리자료 획득설비(data acquisition system).
- (3) 버력처리장비.
 - ① 신축 연장가능 벨트 컨베이어(extendable belt conveyor).
 - ② 트럭(truck)과 호퍼(hopper).
 - ③ 기관차(locomotive)와 광차(muck car).
- (4) 이수처리설비.
- (5) 뿔채움 주입설비.

13.6 TBM의 제작

13.6.1 TBM의 제작 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM은 연직 및 수평토압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 편압, 굴진면 전면압 등의 하중을 지지할 수 있어야 한다.
- (2) TBM 구조는 각각의 작용하중과 조합된 하중에 대하여 TBM 각부가 안전하고 확실하게 가동될 수 있는 구조여야 한다.
- (3) TBM은 무겁고 대형이므로 분할, 수송, 작업구로의 투입 등 제반 조건을 고려하여 제작하여야 하며, 또한 연약지반에서 TBM을 추진하는 경우에는 TBM의 중량 및 중심위치가 그 운전성능에 영향을 미치므로 TBM 제작 설계 시 이를 고려하여야 한다.

13.6.2 쉘드를 갖는 TBM의 제작 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM은 굴착, 추진, 라이닝 설치를 동시에 할 수 있는 기능을 갖는 장치군으로 구성되므로 외부에서 작용하는 하중에 대하여 내부를 충분히 보호할 수 있어야 한다.
- (2) TBM의 외경은 외판(skin plate)의 외경을 말하며, 세그먼트 외경, 테일 클리어런스(tail clearance) 및 테일 스킨 플레이트(tail skin plate) 두께를 고려하여야 한다.
- (3) 테일 클리어런스는 20~40mm가 일반적이나 세그먼트의 형상과 크기, 터널의 선형, 선형 수정, 세그먼트 조립 시 여유, 테일 실(tail seal)의 설치 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (4) TBM의 길이는 지반의 조건, 터널의 선형, 쉘드 TBM 형식, 중절장치의 유무, 세그먼트의 폭, K형 세그먼트의 삽입형식, 테일 실(tail seal)의 단수 등을 고려하여야 한다.
- (5) 후드부의 형상은 직형, 경사형, 단절형 등이 있으며, 구조와 치수는 지반의 조건, 쉘드 TBM의 형식에 적합하고 충분한 강도를 가질 수 있도록 결정하여야 한다.
- (6) 후드부의 구조는, 잭, 커터축, 커터헤드 구동장치, 중절장치 및 배토장치 등의 부착공간을 고려하여 충분한 강도와 강성을 갖는 것으로 하여야 한다.
- (7) TBM의 길이는 외경과의 조화, 운전조작 면에서는 가능한 한 짧은 것을 선택하여야 한다. 단, 길이가 극단적으로 짧으면 접지압이 커져 조향성이 나빠지므로 이를 고려하여야 한다.
- (8) 테일부의 길이는 세그먼트 폭과 형상 및 시공성을 고려하여 결정하여야 한다.
- (9) 테일 스킨 플레이트 두께는 유해한 변형이 발생하지 않는 범위 내에서 가능한 얇게 하여야 한다.
- (10) 테일 실은 뒤채움 주입재나 토사를 동반하는 지하수의 역류방지를 위하여 내구성, 내압성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

13.6.3 TBM의 커터헤드설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 커터헤드는 지반 조건에 적합하고, 시공언장, 선형, 시공 조건 등을 고려하여 기능을 발휘할 수 있는 것으로 선정하여야 한다.
- (2) 커터헤드는 커터의 굴착성능 예측자료와 굴착대상 지반특성을 고려하여, 각각의 커터에 유사한 부하가 분배되도록 커터의 개수, 커터의 적정 간격 및 위치 등을 고려하여야 하며, 이를 바탕으로 장비의 운영 조건인 커터헤드의 추력, 회전력, 회전속도 등을 결정하여야 한다.
- (3) 커터헤드의 지지방식은 TBM 외경, 원지반 조건 등에 적합하도록 선정하여 버력반출기구와의 조합 등에 대하여 고려하여야 한다.
- (4) 커터헤드의 개구부는 원지반 조건, 굴진면 안정기구 및 굴삭능률을 고려하여 개구 형식과 크기 및 개구율을 정하여야 한다.
- (5) 커터 구동부는 시공 조건 및 기계형식에 맞추어, 축(軸) 및 구동기어를 선정하여야 한다. 커터 축의 실(seal)은 토사, 지하수 등의 유입에 대하여 커터 축을 보호할 수 있어야 한다.
- (6) 확굴장치는 TBM의 곡선 시공 등에 필요한 확굴을 시행하기 위한 장치로서 지반·시공 조건에 적합한 기능을 발휘할 수 있어야 한다.

13.6.4 TBM 커터는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 커터는 지반 조건에 적합하도록 그 종류, 형상, 재질 및 커터헤드에서의 배치를 결정하여야 한다.
- (2) 굴착대상 지반의 상태에 따라 디스크커터 혹은 커터비트를 선정하거나 이들을 혼용하여 사용하는 것을 고려하여야 한다.
- (3) 디스크커터의 선정 시 굴착대상 암석의 압축강도, 인장강도, 경도, 석영 함유량, 거터의 마모도 등을 고려하여야 한다.
- (4) 커터(디스크커터와 커터비트)는 마모특성을 평가하고 굴진과정에서 교환 방법 및 지점에 대한 계획을 수립하여야 한다.
- (5) 디스크커터의 크기는 터널의 굴착직경, 암석의 강도 등을 고려하여 결정하여야 하며, 선정된 커터에 대하여 사전에 선형절삭시험 등을 수행하여

성능 평가를 실시하는 것을 검토하여야 한다. 이때 커터에 작용하는 추력, 회전력, 압입깊이에 따른 굴착성능을 예측할 필요가 있다.

13.6.5 TBM의 추진기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) open TBM의 추진은 그리퍼를 사용하고 쉴드를 갖는 TBM에서는 추진 잭 사용을 표준으로 함을 원칙으로 하며, TBM의 총 추진력은 TBM 총 추진저항에 안전율을 고려하여야 한다.
- (2) 그리퍼와 추진 잭의 선정과 배치는 TBM의 조향성, 시공성 그리고 필요에 따라 세그먼트라이닝의 특성 등을 고려하여야 하며, 가급적 간단한 구조가 되도록 하고 경량으로 내구성이 크고, 보수·교환이 가능하여야 한다.
- (3) 추진 잭은 쉴드 TBM 외판 내측에 근접하여 등간격으로 배치하고 세그먼트에 가급적 균등하중이 가해지도록 하여야 하며, 그리퍼는 TBM 자중을 지지하면서 추진력을 얻을 수 있도록 적절히 배치하여야 한다.
- (4) 그리퍼와 추진 잭의 작동속도는 굴진속도 및 시공능률을 고려하여 결정하여야 한다.
- (5) 추진 잭의 스트로크(stroke)는 세그먼트 폭의 소요 여유를 고려하여 결정하여야 하며, 쉴드 TBM의 곡선 시공을 위한 적정 길이가 되도록 하여야 한다.

13.6.6 TBM의 가동에 필요한 유압, 전기, 제어기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM용 유압기기는 일반건설기계와 달리 고압 대용량이고 사용환경도 나쁘므로 내구성, 효율, 소음 등을 고려하여 기종을 선정하여야 한다.
- (2) 유압기구는 자가점검장치가 있거나 점검이 용이한 것으로 선택하여 사용 조건하에서 적절한 상태로 유지관리가 가능하여야 한다.
- (3) 유압회로는 가능한 한 간단하여 각 기기가 확실하게 작동하고, 오조작이

제13장 TBM 터널

발생할 경우에도 안전을 보장하여야 한다.

- (4) 유압작동유는 유압기기에 적합한 양질의 것이어야 한다.
- (5) 전기 기기류는 방수, 방습, 방진 등에 유의하여야 하며, 가능한 한 조작 및 점검보수가 용이한 위치에 설치하여야 한다.
- (6) 제어기기는 각 기기가 확실하게 작동하여 굴착, 추진, 버력처리 등을 위한 기기들과 상호 연관성을 양호하게 하고 이상 시에도 안전하게 대처할 수 있어야 한다.

13.6.7 세그먼트라이닝을 설치하는 경우 세그먼트의 조립기구는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 이렉터(erector)는 쉘드 TBM의 형식과 규모, 세그먼트의 분할과 형상, 굴착토처리방법, 작업주기 등을 고려하여 세그먼트의 조립이 정확하고 능률적인 것으로 선정하여야 한다.
- (2) 이렉터의 능력은 세그먼트의 종류, 형상, 중량 및 조립순서 등을 고려하여 결정하여야 한다.

13.6.8 부속기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 중절장치는 원지반 조건, 터널의 선형, 쉘드 TBM의 형식 등에 적합하고, 그 기능이 확실하게 발휘될 수 있는 방식과 기구를 선정하여야 한다.
- (2) 방향제어장치는 지반 조건, TBM의 형식, 터널의 선형 등을 고려하여 확실한 TBM의 방향제어가 가능한 것으로 선정하여야 한다.
- (3) TBM에 탑재하는 측량장치는 TBM의 자세, 움직임 방향의 파악 등 측량 목적에 맞추어 선정하여야 하며, 터널 내 고온, 다습 등의 환경 조건에서도 충분한 내구성을 확보하여야 한다.
- (4) 뒤채움 주입장치가 필요한 경우는 주입재료, 주입방법, 주입량 등을 고려하여 확실하게 충전될 수 있는 기구를 선정하여야 한다.
- (5) 후방대차는 TBM 굴진을 위한 기계장치 설치 및 굴진면 작업에 이용하

는 재료 및 각종 작업받침대, TBM 굴진과 동시 이동 등의 기능과 규모를 지닌 것이어야 한다.

13.6.9 설계 단계에서 TBM의 굴진율, 공사기간, 커터의 마모 수명 등을 예측할 수 있도록 굴진과 관련한 시험들의 결과, 예측모델, 유사 시공사례 분석 결과 등을 활용하여야 한다.

13.6.10 TBM 장비의 굴진율은 굴착성능과 가동율에 의하여 결정되므로, 지보재설치, 장비의 유지보수, 커터 교체, 작업자 교대 등에 소요되는 시간을 고려한 가동율을 사전에 예측하여 공사기간을 산정하여야 한다.

13.7 터널지보재 및 보조공법

13.7.1 터널지보재는 TBM의 기계적 특성과 지보재 작업의 시공성 등을 고려하여 설계하여야 하며, 기타 일반적인 설계사항은 제5장 터널지보재 편에 따르는 것을 원칙으로 한다.

13.7.2 지보재설계를 위한 암반 분류 시에는 반드시 TBM의 특성을 고려하여야 한다.

13.7.3 open TBM 터널의 지보재의 경우 양질의 지반 조건에서는 생략이 가능하다.

13.7.4 TBM 터널 해석 시에는 발파굴착에 비하여 주변 지반의 응력 분포와 지반변형특성이 상이한 점을 특별히 반영하여야 하며, 경우에 따라서는 지보패턴의 등급을 조절하거나 지보재설계의 경량화를 고려하여야 한다.

13.7.5 open TBM터널의 철망은 슛크리트의 부착력과 보강효과의 증가를 위하여 설치하는 철망과 낙반 방지용 철망으로 구분하고, 낙반 방지용 철망은 암질 상태에 따라 철망의 종류를 달리 하여야 한다.

제13장 TBM 터널

13.7.6 보조공법은 사용 목적에 적합하고, 원지반 조건, 환경 조건, 안전성, 시공성, 경제성 등이 확보되도록 설계하여야 한다.

13.7.7 쉘드 TBM의 주지보재 역할을 하는 세그먼트라이닝의 설계는 13.8절에 따르는 것을 원칙으로 한다.

13.8 세그먼트라이닝

13.8.1 세그먼트라이닝의 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 세그먼트라이닝은 추진 잭의 추력, 주변 지반의 토압, 수압 등의 하중에 견딜 수 있어야 하며, 소정의 터널 내공을 확보함과 동시에 터널의 사용 목적 및 시공 조건에 따른 역할과 기능을 보유할 수 있도록 안전하고 견고하게 설계하여야 한다.
- (2) 쉘드 TBM 터널에서는 지반의 조건 및 터널의 단면형상, 시공법 등에 따라 터널의 역학적 거동이 상이하므로 세그먼트라이닝의 설계 시 이를 고려하여야 한다.
- (3) 세그먼트라이닝의 설계계산서에는 계산상의 제반 조건, 가정 및 계산과정을 명기하여야 한다.
- (4) 세그먼트라이닝은 허용응력설계법으로 설계하는 것을 원칙으로 하며, 필요 시 검증된 유사 설계법도 적용할 수 있다.

13.8.2 세그먼트라이닝에 걸리는 하중 산정 시에는 추진 잭의 추력, 연직 및 수평지반압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 지반반력, 내부하중, 시공 시 하중, 병설터널의 영향, 지반침하의 영향 등을 고려하여야 한다.

13.8.3 세그먼트라이닝의 구조해석은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 세그먼트라이닝의 구조계산방법은 간편법, 스프링모델 및 수치해석법 등

이 있으며, 구조계산은 횡단면과 종단면으로 나누어 수행하고, 시공 도중의 각 단계 및 완성 후의 상태에 작용하는 하중을 고려하여 수행하여야 한다.

- (2) 터널 횡단면의 설계하중은 설계의 대상이 되는 터널구간 내의 가장 불리한 조건을 대상으로 결정하여야 한다.
- (3) 세그먼트 단면력은 그 구조특성을 고려하여 계산한다.
- (4) 종단면해석 시에는 시공 단계 및 완성 후의 하중 상태와 세그먼트의 구조특성 등을 고려하여야 한다.

13.8.4 세그먼트의 종류는 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성(콘크리트+강재 또는 주철) 세그먼트로, 형상에 따라 상자형, 평판형 세그먼트 등으로 분류하며, 터널의 용도, 세그먼트의 강도, 내구성, 내화성, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

13.8.5 세그먼트에 사용하는 재료는 한국산업규격(KS)을 표준으로 하는 것을 원칙으로 하며, 부근 및 철근콘크리트에 관해서는 건설교통부 제정 '콘크리트 구조설계기준' 및 '콘크리트 표준시방서'의 규정에 따라야 한다.

13.8.6 세그먼트 구조 및 형상 설계는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 세그먼트의 강도, 구조, 형상 등은 터널의 용도, 지반 조건, 시공법 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (2) 상자형 또는 평판형 세그먼트를 볼트이음으로 조립한 링구조는 강성이 같은 링으로 취급할 수 있으며, 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성 세그먼트로 구별하여 설계하여야 한다.
- (3) 세그먼트의 형상치수는 사용 목적, 시공성, 경제성을 고려하여 설계하여야 한다.
- (4) 세그먼트의 이음구조는 소요 강도와 강성을 가짐과 동시에 조립의 확실성, 작업성 및 지수성을 고려하여 설계하여야 하며, 볼트 체결방식의 경우 적정 토크치를 산정하여야 한다.

- (5) 세그먼트의 이음각도는 단면력의 전달, 조립의 작업성, 시공 조건 및 세그먼트의 제작성을 고려하여 결정하여야 한다.
- (6) 세그먼트는 원칙적으로 수밀성을 확보하여야 한다.
- (7) 뒤채움주입을 균등하게 행하기 위하여 각 세그먼트에는 1개소 이상의 주입공을 설치하고, 주입공의 직경은 사용하는 주입재를 고려하여 결정하나 일반적으로 내경 50mm를 기준으로 하며, 주입공을 고리로 사용하는 경우는 작업성은 물론, 작업의 안전성과 자체 하중에 대한 인발력을 고려하여 주입공의 직경과 위치를 결정하여야 한다.
- (8) 소구경의 철제 세그먼트를 손으로 조립하는 경우는 고리를 필요로 하지 않으나 일반 세그먼트에서는 운반, 조립 등을 위하여 고리를 설계하여야 한다.
- (9) 테이퍼링은 터널 선형, 지반 조건, 보조공법, 이음의 강성, 세그먼트의 제작성, 시공성 등을 고려하여 그 수, 폭, 테이퍼량을 설계하여야 한다.

13.9 작업장 및 작업구

13.9.1. TBM 터널의 작업장은 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) TBM 조립장의 규모는 TBM 및 후속 대차의 조립에 지장이 없도록 결정하여야 하며, 추후 조립장이 노선 상에 속하도록 하여 보다 경제적인 설계가 되도록 하여야 한다.
- (2) TBM 조립장의 폭과 길이는 TBM 본체의 폭과 크레인 작업폭, TBM 본체의 길이와 후속 대차의 길이를 함께 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 환기설비, 수전설비, 급수 및 배수 설비, 커터숍, 레일조립장, 침전지, 급기설비 등 각종 가시설의 기능과 규모를 감안하여 배치계획을 수립하여야 한다.
- (4) 버력운반장비의 규격에 따라 버력하치장과 버력운반장비의 대기공간을 확보하여야 한다.
- (5) 버력하치장은 최소한 2~3일 분의 굴착버력량을 터널 외부에 적치할 수

있는 공간을 확보하여야 하며, 버력 적하가 가능하도록 필요 시 석축 또는 옹벽 등을 설치하여야 한다.

(6) 이수식 쉴드 TBM인 경우는 이수처리설비의 부지를 확보하여야 한다.

(7) 사토장 여건을 고려하여 임시 적치장의 필요성을 검토하여야 한다.

13.9.2 TBM 터널작업구의 계획은 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 작업구는 TBM 통과지의 지반 조건과 현장 여건을 고려하여 시공이 안전하고 능률적으로 행해지도록 위치, 규모 및 기능 등을 계획하여야 한다.

(2) TBM의 반입, 조립, 세그먼트 등의 재료 및 모든 기계기구의 반입, 굴착 버력의 반출, 작업원의 출입 등을 위한 발진 작업구를 계획하여야 하며, 필요에 따라 방향전환용, 또는 TBM 인양을 위하여 터널노선의 중간 또는 종점에도 작업구 설치를 계획하여야 한다.

(3) 각 작업구의 규모, 형상 및 시공방법은 그 사용 목적 및 TBM의 단면, 본 구조물과의 연결 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 작업구 내 TBM 발진을 위한 발진부의 설계 시에는 지수, 작업구 벽체의 안전성 등을 고려하여야 한다.

13.10 발진기지

13.10.1 TBM 터널의 초기 굴진 시 발진부에 대한 사전 지반개량 여부, TBM의 발진반력대의 구조 및 강도, 가설 세그먼트의 해체시기, 후방설비의 배치 및 토사의 반출입방법 등을 계획하여야 한다.

13.10.2 발진 시 TBM의 고정위치는 설계상의 TBM 중심 및 높이를 기본으로 하여 결정하고, 지반이 연약하여 TBM 처짐이 예상되는 경우에는 위치를 상향 보정하도록 계획하여야 한다.

제13장 TBM 터널

13.10.3 발진터널의 구경은 TBM이 원활히 진입할 수 있는 여유폭을 감안하여 결정하여야 하며, TBM 구경과 여유폭 30cm의 합을 표준으로 합을 원칙으로 한다.

13.10.4 발진터널의 길이는 일반적으로 벽면 지지가 필요한 TBM 본체의 길이와 지반 상태를 감안하여 결정하여야 한다.

13.10.5 발진터널은 양쪽 측면에서 TBM의 벽면 지지가 가능하도록 벽면 지지대를 계획하여야 한다.

13.10.6 쉘드 TBM 발진에 필요한 반력대설비는 주로 가조립 세그먼트 방식과 형강을 주재로 하는 설비 등으로 분류할 수 있으며, 필요한 추력에 대하여 충분히 견딜 수 있어야 하고, 유해한 변형을 발생시키는 일이 없게 필요한 강성을 확보하도록 설계하여야 한다.

13.10.7 고출력 TBM의 경우 소규모 반력대(thrust block)를 설치하여 직접 굴작하는 것도 고려할 수 있다.

13.11 터널 내 운반 시스템의 설계

13.11.1 버력의 특성, 터널의 단면크기, 연장, 기울기 등을 감안하여 효율적인 버력처리설비를 선정하여야 한다.

13.11.2 TBM 터널은 TBM 버력의 원활한 반출, TBM 가동에 필요한 장비 및 부품의 신속한 반입, 반출과 굴진면에서 이상 상황의 발생 시 작업자의 대피 등 즉각적인 대처가 가능하도록 통행로를 항상 확보하여야 하며, 어떠한 이유로도 통행로를 차단하는 일이 없도록 설계하여야 한다.

13.11.3 버력처리를 위한 장비계획은 공사기간, 버력 발생량, 터널 내 작업환경, 버력처리장과의 거리 등을 감안하여 수립하여야 한다.

13.12 기타 설비

13.11.4 버력운반장비의 계획 시 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전부를 터널 외부로 반출할 수 있는 운반체계로 결정하여야 한다.

13.11.5 버력의 외부반출 시 환경문제를 고려하여 사전에 대책을 수립하여야 한다.

13.11.6 트럭, 광차, 벨트컨베이어를 사용하여 버력처리를 할 수 있으며, 3km 이상의 장대터널의 경우 공사 중 환기량, 교행구간의 설치 등을 고려하여 덤프트럭의 사용을 억제하고, 버력적재 및 대기시간을 최소화하고 TBM 굴진능력을 높이기 위하여 가급적 광차나 고속 컨베이어 시스템을 사용하여야 하며, 광차를 사용하는 경우 2~4km마다 교행가능지점(rail switching point)의 설치를 검토하여야 한다.

13.11.7 벨트컨베이어 시스템의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 벨트의 폭은 버력의 최대 입자크기, 버력처리 용량 및 운반속도 등을 고려하여 선택하여야 한다.
- (2) 벨트의 기울기는 $18\sim 20^{\circ}$ 를 초과하지 않도록 설계하여야 한다.

13.11.8. 굴진면의 안전유지 및 굴착버력의 배출을 위하여 이수를 사용하는 쉘트 TBM의 경우 굴진면의 안정을 유지하기 위한 압력은 수압 및 토압에 대하여 일반적으로 20~50kPa 정도의 여유를 두고 유지하기 때문에 중계 펌프를 적정 위치에 설치하여 압력 저하를 방지하도록 하여야 한다.

13.12 기타 설비

13.12.1 터널의 부속설비는 사용 목적이나 유지관리상의 필요성에 따라 배수, 환기, 방재 등의 설비와 멘홀 등을 설계에 포함하여야 한다.

13.12.2 터널 내부의 부속설비는 작업환경성, 안전성, 경제성을 고려하여 계획하

제13장 TBM 터널

여야 한다. 특히 공사 중 터널 내부의 조명설비와 분진 억제 및 제거 설비를 검토하여야 한다.

13.12.3 환기설비의 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) TBM 터널에서의 터널 내 환기방법과 설비는 소요 환기량을 계산하고 그 결과에 따라 적합한 설계를 하여야 한다.
- (2) 소요 환기량은 터널 내 최대 작업원에 대하여 필요한 소요 환기량, 분진에 의한 소요 환기량, 터널 내 장비운용에 따른 소요 환기량과 기타 소요 환기량 중 가장 큰 환기량으로 산정하여야 한다.
- (3) 소요 환기량에 따라 환기 팬의 용량과 풍관의 구경을 결정하여야 한다.
- (4) 환기방법은 소요 환기량과 풍관의 구경에 따라 터널 내 배치공간을 감안하여 송기식, 배기식, 송배기식 중 적합한 환기방법을 적용하여야 한다.

13.12.4 수전설비의 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 수전설비는 TBM의 전력 소요량과 기타 부속설비에 필요한 전력 소요량을 합산하여 계획하여야 한다.
- (2) TBM 본체용 전력공급은 TBM 굴진에 따라 고압 케이블을 100~200m마다 연결하도록 계획하여야 한다.
- (3) 후속설비 및 터널 내부의 가시설용 전력공급은 터널의 길이에 따라 발생하는 선로 손실 및 전압 강하를 감안하여 800~1,000m마다 변압기를 설치하도록 계획하여야 한다.

13.12.5 급수 및 배수 설비는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 급수설비는 소요되는 급수량을 충분히 고려하여 설계하여야 하며, 소요 급수량에 따라 급수펌프의 동력 및 급수관의 구경을 결정하여야 한다.
- (2) 소요 급수량은 TBM 커터에 필요한 소요 급수량, 지보재 설치에 따른

소요 급수량과 기타 소요 급수량을 모두 합하여 산정하여야 한다.

- (3) 급수펌프의 동력과 급수관 구경은 TBM 헤드에서의 소요 압력이 유지될 수 있도록 결정하여야 한다.
- (4) 배수설비는 TBM에 공급된 용수 중 퇴수되는 양과 터널 내의 지하수 용수량을 충분히 배수할 수 있도록 하며, 지하수맥의 존재로 다량의 지하수가 존재할 경우 등의 예측하지 못한 출수에 대비하여 예비 배수설비를 계획하여야 한다.
- (5) 소요 배수량은 자연용수량, TBM 퇴수량, 지보재 설치에 따른 퇴수량과 기타 퇴수량 및 비상시 퇴수량을 모두 합하여 산정하여야 한다.
- (6) 소요 배수량에 따라 급수펌프의 동력과 급수관의 구경을 결정하여야 한다.
- (7) 장대터널에서는 TBM 굴진에 따라 400~500m 간격을 기준으로 펌프를 설치하여 배수시켜야 한다.

13.12.6 침전설비는 터널 내의 배수용량에 따라 침전조의 규모 및 형태, 수질 및 환경보호대책을 수립하여야 한다.

13.12.7 비상급기설비는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 비상급기설비는 터널작업 시 낙반사고 등 터널이 매몰될 경우를 대비하여 계획하여야 한다.
- (2) 비상급기설비는 터널연장 및 대피인원 8~15명을 기준으로 공기압축기의 용량 및 급기관구의 구경을 결정하여야 한다.

13.12.8 이수식 쉼트 TBM에서 이수처리설비는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 이수식 쉼트 TBM 적용 시에는 지하수, 지표수, 해수의 오염을 방지하도록 몇 차례 나누어 처리되는 플랜트를 설계하여야 한다. 이 경우 반드시 슬러지와 상급수를 분리하여 슬러지는 사토처리하여야 하며, 상급수는 pH 조정 후 최종 방류하거나 굴진면에 재유입하여 재사용하도록 하여야

한다.

- (2) 이수처리 플랜트설계 시에는 쉴드 TBM의 최대 굴진속도를 보장할 수 있는 충분한 처리용량을 확보하여야 하며, 긴급 상황에 대처할 수 있게 충분한 예비 안정액을 확보하여야 한다.
- (3) 이수처리 플랜트에서 배출하는 처리수는 하천수질환경기준에 따른 배출 허용기준을 만족하기 위하여 pH, 탁도, 배수량을 측정하고 자동 기록하는 시스템을 갖추도록 하여야 한다.

13.13 뒤채움 주입재의 설계

13.13.1 세그먼트라이닝 배면공극에 주입하는 뒤채움 주입재료는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 뒤채움 주입재료에는 시멘트 모르타, 발포성 모르타, 경량기포 모르타, 섬유혼합 모르타, 가소성 주입재, 자갈 등 여러 가지가 있으며, 지반 조건, 유수의 존재, 쉴드 TBM 형식, 주입재 특성 등을 고려하여 가장 적합한 재료를 선정하여야 한다.
- (2) 뒤채움 주입재료는 블리딩(bleeding) 등의 재료분리를 일으키지 않고 유동성을 잃지 않은 재료, 주입 후의 경화현상 등에 따라 용적 감소나 용탈이 적은 재료, 지반강도에 상당하는 균일한 강도를 조기에 얻을 수 있고 설계강도 이상을 발휘할 수 있는 재료, 수밀성이 뛰어난 재료, 주변 환경에 영향이 없는 무공해재료로 선정하여야 한다.

13.13.2 뒤채움 주입방법은 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 뒤채움 주입방법은 쉴드 TBM 측면에서 추진과 동시에 주입하는 동시주입방법, 세그먼트 주입공에서 추진에 맞춰 주입하는 반동시주입방법, 1개 세그먼트 링 설치 완료 시마다 주입하는 즉시주입방법이 있으며 쉴드 TBM 종류와 현장지반 조건 등을 고려하여 설계하여야 한다.

- (2) 소형단면에서는 쉘드 TBM의 특성과 적용 조건에 적합한 뒤채움 주입방식을 선정하되, 대형단면에서는 테일 보이드에 의한 지반침하를 억제하기 위하여 동시주입을 원칙으로 한다.
- (3) 뒤채움 주입압은 세그먼트 배면을 완전히 충전시킬 수 있도록 세그먼트에 작용하는 외압보다 0.1~0.2MPa 정도 큰 압력으로 설계하여야 한다.
- (4) 뒤채움 주입량은 쉘드 TBM 후미의 공극크기, 주입재의 지반에 대한 침투성, 지반의 투수성, 여굴 등을 고려하여 설계하여야 한다.

13.14 방수설계

13.14.1 세그먼트라이닝은 지하수압에 견딜 수 있고 방수가 될 수 있도록 반드시 세그먼트간의 이음부, 뒤채움 주입구 등에 방수설계를 하여야 한다.

13.14.2 방수방법의 선정 시에는 쉘드 TBM 터널의 사용 목적과 작업환경에 적합한 방법을 선정하여야 한다.

13.14.3 방수는 실(seal), 코킹, 볼트 등이 있으며, 사용 목적과 현장 여건에 부합하도록 한 가지 또는 여러 가지의 방법을 조합하여 설계할 수 있다.

13.14.4 실(seal)재는 합성고무계, 복합고무계, 수팽창 고무계 등이 있으며, 현장 조건을 고려하여 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성, 시공성 등이 우수한 재료를 선택하여 설계하여야 한다.

13.14.5 코킹재는 에폭시, 치오클레, 요소수지계 등의 재료가 있으며, 현장 조건을 고려하여 적합한 재료로 설계하여야 한다.

13.15 콘크리트라이닝

13.15.1 콘크리트라이닝을 설치하는 경우에는 지보특성, 지반 및 환경 조건, 시공방법 등을 고려하여 그 사용 목적에 맞도록 콘크리트라이닝을 설계하여야 하며, 특히 세그먼트를 사용하는 쉴드 TBM에서는 세그먼트의 종류와 특성, 세그먼트와 콘크리트라이닝의 접합 상황 등도 콘크리트라이닝의 설계 시 고려하여야 한다.

13.15.2 콘크리트라이닝의 두께는 터널의 사용 목적, 시공성 및 안전성을 고려하여 결정하여야 하나 최소한 15cm 이상이 되도록 하여야 한다.

13.15.3 콘크리트라이닝을 구조체로 이용하는 경우는 콘크리트라이닝에 작용하는 하중 등을 고려하여 단면력 및 응력을 계산하여 안정성을 확보하여야 한다.

13.15.4 세그먼트라이닝을 설치하는 쉴드 TBM의 경우는 필요에 따라 방수처리 등 제반조치 후 콘크리트라이닝을 생략할 수 있다.

제14장 환기, 조명, 방재 설비

14.1 설계일반

14.1.1 터널 내의 환기, 조명, 방재 설비의 기준은 터널의 용도와 기능에 따라 본 기준에서 정한 바에 따르는 것을 원칙으로 하며, 이외의 세부 사항에 대하여는 터널시설물 관리주체에서 정하여 적용할 수 있다.

14.1.2 공사 중의 환기, 조명 설비에 대하여는 본 장에서 제시된 내용을 기준으로 하여야 한다.

14.2 환기설비

14.2.1 도로터널의 환기설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 도로터널에서의 설계소요 환기량은 내연, 일산화탄소, 질소산화물 등의 환기물질을 대상으로 산출하며, 오염물질별 허용농도기준을 만족하여야 한다.
 - ① 환기대상 오염물질에 대한 차종별 기준배출량은 '대기환경보전법 시행규칙'에서 정한 오염물질별 제작차 배출량 허용기준 적용을 원칙으로 한다.
 - ② 터널 내 환기대상오염물질별 허용농도기준은 관리주체가 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하며, 이에 대한 기준이 없는 경우에는 PIARC 권고치를 고려하여 정할 수 있다.
 - ③ 환기설계 목표 연도는 공용개시 후 20년 후를 원칙으로 하며, 교통량의 급격한 변화가 예상되는 경우 교통량 변동을 고려하여 단계건설을 계획하여야 한다.

제14장 환기, 조명, 방재 설비

- (2) 환기방식은 교통 조건, 주변 환경 조건, 화재 시 안전성, 지반 조건, 유지관리, 경제성, 단계건설 등을 종합적으로 검토하여 선정한다.
- (3) 환기설비의 용량은 전 주행속도에서 소요 환기량을 만족할 수 있도록 계획하는 것을 원칙으로 한다.
 - ① 기계환기방식에서 환기설비 송압력을 최대로 요구하는 주행속도는 환기설비설계속도로 하여야 한다.
 - ② 지체 시 환기설비용량이 과도하게 증가하는 경우에는 가스상물질(CO, NOx)만을 환기대상물질로 고려할 수 있다.
 - ③ 터널 내를 흐르는 차도 내 풍속은 일방향 터널인 경우는 10m/sec 이하로 하고, 양방향 교통터널인 경우는 8m/sec 이하로 하여야 한다.
- (4) 환기설비는 화재 발생 시에는 제연이나 배연설비로 운영되므로 환기방식의 선정 단계부터 비상시 안전성에 대하여 고려하여야 하며, 제연을 위한 환기설비용량이 평상시 환기용량을 초과하는 경우에는 제연용량으로 환기설비용량을 결정한다.

14.2.2 도시철도터널의 환기설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 환기계산 시는 열차주행에 의한 발열, 열차 제동에 의한 발열, 열차 보조기기에 의한 발열, 열차 냉방기기의 발열, 벽체 흡열량 등을 고려하여 터널 내 온도가 일정 온도 이상을 초과하지 않도록 소요 환기량을 산정하여야 한다.
- (2) 환기기 용량은 적합한 배연풍량을 충족시켜야 하며, 화재연기에 직접 노출되는 송풍기 및 댐퍼 등은 내열온도를 고려하여 선정하여야 한다.
- (3) 송풍기 설치 후 환기 및 배연풍량의 설계풍량 확보 여부를 확인하도록 설계도서에 명기하여야 한다.

14.2.3 철도터널의 환기설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 오염물질 배출차량이 운행되는 경우에는 호흡과 관련된 일산화탄소, 질소산화물, 분진농도를 환기대상 오염물질로 하며, 터널환경을 허용농도 이하로 유지할 수 있도록 환기설비를 계획하여야 한다.

- (2) 터널의 환기계획은 교통, 기상, 환경, 지형, 지물 및 관련 법규를 바탕으로 소요 환기량을 산정하여 자연환기와 기계환기 중 적합한 방법을 선정하여야 한다.
- (3) 환기설비가 설치될 경우에는 비상시 승객이 안전하게 대피할 수 있도록 대피방향으로 신선외기를 공급하고 발생 매연을 신속하게 배출하여 터널 내 환경을 회복할 수 있도록 환기용량을 계획하여야 한다.
- (4) 상시 환기요소 인자를 검토, 분석하고 열차의 교통환기력에 의한 자연환기량을 산출한 결과와 비교하여 경제적이고 신뢰성이 높은 환기방식 및 기기용량, 규모 등을 결정하여야 한다.

14.2.4 기타 터널(통신구, 전력구, 수로터널 등)의 환기설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 환기설비의 용량은 가동 후 30분 이내에 환기가 완료될 수 있는 용량이어야 하며, 현장 여건에 따라 적정 용량을 산정하여야 한다. 전력구의 경우 전력구 내 환기풍속은 2m/sec 이하, 환기구 그레이팅 상부에서의 풍속은 5m/sec 이하로 하여야 한다.
- (2) 환기방식은 원칙적으로 종류식을 적용하여야 하며, 현장 여건상 환기구가 부득이하게 한쪽에 한정되어 종류식을 적용할 수 없는 경우에는 풍관식 환기방식을 사용할 수 있다. 이때는 장래 종류식이 가능할 때까지만 사용하도록 계획하여야 한다.
- (3) 환풍기는 환기구 그레이팅 상부에서의 소음을 75db 이하로 하며, 주변 지역의 소음규제기준에 맞추어 필요 시 소음저감장치를 하여야 한다.

14.3 조명설비

14.3.1 도로터널의 조명설비는 한국산업규격(KS A 3703) 및 건교부의 “도로터널조명시설의 설계기준”에서 정한 바에 만족하여야 하고, 다음의 기준을 따라야 한다.

제14장 환기, 조명, 방재 설비

- (1) 터널조명은 기본부조명, 입구부조명 및 출구부조명으로 구분하여 계획하여야 한다. 터널 내부 또는 외부로의 차량주행 시 운전자 시각의 평형 상태를 유지하기 위하여 터널 입구부의 야외휘도 상황에 따른 입구부의 경계부 휘도 설정과 이행부, 완화부의 노면휘도를 터널 입구로부터 진입하는 거리에 따라 감소시켜 기본부의 노면휘도 값으로 원활하게 접속하도록 한다.
- (2) 100m 이상인 터널에는 설계속도에 따른 기본조명을, 길이가 100m 미만인 터널에는 구조 등 여건에 따라 조명시설을 설치하여야 한다.
- (3) 야간에 터널 접속도로에는 터널 입구부 부근의 도로폭 변화를 알기 위하여 입구부에 가로등을 설치하고, 터널 내에서 접속도로의 상황을 파악하도록 출구부에 가로등을 설치하여야 한다.
- (4) 터널 내를 주행하는 중 갑자기 정전을 당하면 터널 내부가 갑자기 어두워져 주행하는 자동차가 매우 위험한 상황에 처하게 되므로 이를 방지하기 위하여 비상조명을 설치하여야 한다.
- (5) 50m 이상의 터널이 둘 이상 연속하여 존재하고 앞에 통과하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널 입구까지의 거리가 설계속도에 대응한 시인거리보다 짧은 경우 후속하는 터널 입구부조명의 설계치를 갭구간거리에 따라서 감소시킬 수 있다.
- (6) 터널 내부휘도의 적정화와 조명의 경제적 운영을 목적으로 터널 외부 주광조도(또는 휘도)의 변동과 타이머에 의하여 터널 입구부 완화조명과 기본부조명을 단계별로 자동적으로 변경시켜 터널조명을 제어하여야 한다.
- (7) 터널 진출입부에 별도의 조도순응시설을 계획할 경우에는 내부 터널조명과 조도순응에 대하여 계절별·시간대별로 시설의 적정성을 검토하여야 한다.

14.3.2 도시철도 터널의 조명설비계획 시에는 건설교통부의 “도시철도건설규칙”에 따르는 것을 원칙으로 한다.

- (1) 터널 중간의 기본부조명은 차량운전자가 전방의 장애물을 확인하는 데

필요한 조명으로 바닥기준 5~10lx를 유지할 수 있도록 조명배치를 하여야 한다.

- (2) 터널의 입구 및 출구부는 터널 내부 또는 외부로 이어지는 부분으로 조도의 변화가 극심하며 이로 인한 차량요원의 시각장애를 유발할 수 있다. 따라서 조도의 변화를 완화시킬 수 있도록 조명계획을 하여야 한다.
- (3) 터널의 입구 및 출구부 조명의 밝기는 정거장 승강장의 조도가 200~250lx, 터널의 기본조명은 5~10lx이므로 정거장 전방 및 후방 100m 구간은 바닥기준 10lx 정도를 유지할 수 있도록 하여야 한다. 터널의 지상 입출구부는 100lx, 전철기 설치부는 50lx가 되도록 한다.
- (4) 터널의 비상조명등은 정전 시 60분 용량의 축전지 내장형의 유도등 기능을 겸한 복합표시등을 50~60m 간격으로 바닥으로부터 1m 이상 1.5m 이하의 높이에 설치하고 바닥의 평균 조도가 1lx 이상이 되도록 한다.

14.3.3 철도터널의 조명설비계획 시에는 건설교통부의 “철도건설규칙”에서 정한 바에 만족하여야 하고, 다음 내용을 따라야 한다.

- (1) 다음 <표 14.3.1>에 해당하는 터널 내에는 터널조명을 하여야 한다.

<표 14.3.1> 터널조명 설치 시의 적용기준

종 별	직 선	R=600 이상	R=600 미만
단 선	120m 이상	100m 이상	80m 이상
복 선	150m 이상	130m 이상	110m 이상

- (2) 조명기구의 시설위치는 신호기의 투시에 지장을 주지 않는 개소로 다음과 같이 하여야 한다.

- ① 단선터널은 대피소가 있는 한쪽에, 복선터널은 양쪽에 지그재그로 설치하여야 한다.
- ② 조명기구의 설치높이는 바닥에서 2.5m를 표준으로 하되 형광등기구 는 1.8m로 하여야 한다.
- ③ 조명기구의 설치간격은 터널의 입출구에서 70m까지는 7m 간격, 70m

이상은 10m 간격으로 하여야 한다.

- (3) 전반조명의 소요평균 조도는 궤도 수평면에서 10lx가 되도록 하여야 한다.
- (4) 전반조명은 백색 형광램프 32W, 또는 터널등(나트륨, 메탈할라이드 램프 등)을 사용하고, 조명기구에는 열차 통과에 의한 진동 및 풍압과 함께 산, 알칼리, 수분 등에 충분히 견디는 터널용을 사용하여야 한다.
- (5) 대피소의 조명은 전반조명과 같이 백색 형광램프 32W를 사용하여야 하고, 중·소형 대피소는 1등, 대형 대피소는 2등으로 하여야 한다. 조명기구에 단독 점멸기는 설치하지 않는다.
- (6) 변압기 굴의 조명은 전반조명과 같이 백색 형광램프 32W 2개를 사용하여야 하며, 조명기구에는 저압간선에 직접 접속하고 맨홀 입구 부근에 배선용 차단기를 설치하여야 한다.
- (7) 터널 안에는 비상시 승객의 안전한 대피를 위하여 비상조명등을 설치하여야 한다.
 - ① 비상조명등은 항상 켜져 있도록 비상조명등에 전원을 공급하는 장치는 이중으로 설계하여야 한다. 단, 이중전원 확보가 곤란한 단선철도 등에서는 무정전전원장치 또는 축전지 등 적절한 설비를 갖추도록 하여야 한다.
 - ② 비상조명등은 단선터널의 경우에는 한쪽에, 복선터널의 경우에는 양쪽 벽에 20m 이내의 간격으로 가능한 한 낮게 설치하여야 한다.
 - ③ 비상조명등은 대피로 바닥의 평균 조도가 10lx 이상이 되도록 설치하여야 한다.

14.3.4 기타 터널(통신구, 전력구 등)의 조명설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 일반용 조명설비는 천장 슬라브 하면에 방진·방수 구조로 하며 내부식성 20W 형광등기구를 작업 및 보행 등에 지장이 없는 높이에 설치하여야 하고, 작업보도가 2열인 경우에는 조명기구 설치위치를 서로 엇갈리게 설치하여야 하며, 조도는 바닥면에서 평균 15lx 이상이 되도록 하여야 한다. 단, 출입구 계단 등 특수부에서는 현지에 맞게 추가하며 평균

조도는 약 40lx로 하여야 한다.

- (2) 공동구 내에 정전이 되었을 때 작업자를 안전하고 신속하게 밖으로 유도해 낼 수 있도록 최소한의 비상용 조명설비를 설치하여야 한다.

14.4 방재설비

14.4.1 터널의 방재설비는 터널의 연장 및 사용 목적에 따라 소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 비상전원설비, 기타설비 등의 시설을 갖추도록 하여야 한다.

14.4.2 도로터널의 방재설비계획 시에는 건설교통부의 도로설계기준에 따르는 것을 원칙으로 한다.

- (1) 도로터널의 방재시설은 터널연장, 교통량, 통행방식 등의 제반인자를 고려하여 계획하여야 한다.
- (2) 방재시설은 소방 관련법을 충족하여야 하고, 관할 소방서와 합의한 경우 시설을 가감하여 설치할 수 있다.
- (3) 터널 내 화재 등의 비상 상황 발생 시 차량진입을 차단할 수 있는 교통 차단시설을 터널입구부에 계획할 수 있다.

14.4.3 철도터널의 방재설비계획 시에는 건설교통부의 “철도시설 안전기준에 관한 규칙”을 따라야 한다.

- (1) 철도터널의 방재시설은 차량, 열차운행 조건 및 기반시설을 고려하여 계획하여야 한다.
- (2) 철도터널의 방재시설은 소방 관련법을 충족시켜야 하고 관할 소방서와 합의한 경우, 시설을 가감하여 설치할 수 있다.

14.4.4 도시철도터널의 방재설비계획 시에는 건설교통부의 “도시철도건설규칙”

을 따라야 한다.

- (1) 도시철도터널의 방재시설은 소방 관련법을 충족시켜야 하고, 관할 소방서와 합의한 경우 시설을 가감하여 설치할 수 있다.

14.4.5 기타 터널(통신구, 전력구, 수로터널 등)의 방재설비계획 시에는 소방방재청의 “국가화재안전기준”을 따라야 한다.

14.5 공사 중 설비

14.5.1 공사 중 환기설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 공사 중의 환기량 산정은 터널의 연장을 고려하여 산정하여야 하며, 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 터널 내 작업원이 필요로 하는 환기량.
 - ② 발파 후 가스에 대한 필요 환기량.
 - ③ 내연기관을 사용하는 경우의 환기량.
 - ④ 분진에 대한 환기량.
- (2) 총소요 환기량은 병행작업이 예상되는 동종의 환기량 합량에 대하여 가장 큰 환기량을 적용하여야 한다.
- (3) 터널 내 작업원이 필요로 하는 환기량은 $3\text{m}^3/\text{분}/\text{인}$ 을 기준으로 하여야 한다.
- (4) 폭약 1kg당 환기대상 유해가스 발생량은 일반적인 값을 기준으로 적용할 수 있으나, 해당 터널에서 사용되는 폭약에 대하여 폭약 제조업체가 제시한 표준 발생량을 적용하는 것을 원칙으로 하여야 한다.
- (5) 내연기관의 유해가스 발생량은 일반적인 값을 기준으로 적용할 수 있으나, 해당 터널에서 사용되는 장비에 대하여 장비제조업체가 제시한 표준 배출량을 적용하는 것을 원칙으로 한다.
- (6) 숏크리트 타설로 인한 분진 발생량은 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 을 적용하여야 한다.

- (7) 터널공사 중의 유해가스 및 분진 허용농도는 근로환경 관계법규에 제시된 기준치를 따라야 하며, 유해가스 등에 의한 인명사고가 발생할 수 있으므로 가스 측정기를 사용하여 터널 내 지반에서 나오는 가스 발생 유무를 측정 감시하여야 한다.

14.5.2 공사 중 조명설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 조명은 직접작업이 이루어지는 작업장에 대한 일시적 및 국소적인 조명과 작업이 이루어지지 않는 통로 등에 대한 장기적 및 광역적인 조명으로 구분하여야 한다.
- (2) 굴진면과 같이 직접 작업이 이루어지는 장소에서는 충분한 조도를 확보하여야 하며, 밝고 어두운 차이가 심하지 않도록 70lx 이상의 조도를 확보하여야 한다.
- (3) 작업이 이루어지지 않는 터널 중간구간은 50lx 이상, 터널 입출구부나 수직구 구간의 조도는 30lx 이상의 조도를 확보하여야 한다.
- (4) 터널 내에서 사용되는 조명기구는 습기에 강하고 누전이 발생되지 않는 방수·방습형 보호장치를 부착한 것을 사용하여야 한다.
- (5) 터널 내에는 작업 중에 분진, 매연, 안개 등이 발생하여 국부적으로 조도가 떨어지기 때문에 이에 대한 배려를 고려하여야 한다.
- (6) 작업에 필요한 수전반, 분기기전 등에는 점멸등을 설치하여 작업차량에 의한 손상이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (7) 정전 시에도 필요한 조도를 확보할 수 있도록 필요 시 비상용 발전기 등 예비전원을 배치하여야 한다.

14.5.3 공사 중 배수설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 터널 내 용출수는 정상적인 용출수와 집중용출수로 구분할 수 있으며, 정상적인 용출수는 터널이 관통하는 크기, 터널의 심도위치, 누수 층의 규모, 투수성을 고려하여 계획하여야 하며, 집중용출수는 설계 시 집중용출수의 가능성을 결정하여 그 규모를 고려하여야 한다(보통의 암반상

태에서의 용출수는 1km당 $0.5 \sim 1.5\text{m}^3/\text{분}$ 정도이다).

- (2) 오르막기울기로 계획하는 경우는 가배수를 설치하고 자연유하하는 것을 원칙으로 하며, 내리막기울기로 계획하는 경우는 굴진면 부근에 물을 모아 수중펌프로 배수하여야 한다. 터널연장이 긴 경우에는 중계펌프를 두어 배수하여야 하며, 펌프대수는 용량 및 양정고를 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 펌프전원은 정전이 없는 확실한 것으로 하고 펌프는 고장이 적은 것을 선택하며 비상시에 대비하여 자가발전설비와 예비펌프를 고려하여야 한다.
- (4) 배수로관의 단면적이나 펌프의 능력은 터널공사 시 공사 용출수 이외에 예기치 못한 대용출수 또는 경사터널, 수직터널 및 기타 지선터널에서 물이 유입하는 경우를 고려하여 2배 정도의 여유를 두고 계획하여야 한다.
- (5) 배수된 물을 갭내의 급수원으로 사용하는 경우에는 필요에 따라 수질조사를 실시하여야 한다.
- (6) 터널에서 발생한 오탉수를 자연방류하는 경우에는 “환경정책기본법”에 명시된 수질환경기준 이상으로 처리하도록 계획하여야 한다.

14.6 수방설비

14.6.1 터널의 수방대책시설계획 시에는 공사 중과 공사 후에 대하여 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 공사 중 수방대책은 터널이 하상, 해저 및 저수지를 통과하는 경우 인접 터널로 유량 유입을 방지하는 비상수문을 설치하거나, 터널구간의 일부를 존치시켜 전구간 수몰을 방지하도록 계획하여야 한다.
- (2) 공사 후 수방대책은 인접구간으로 유량 유입을 방지하기 위하여 비상수문을 계획하여야 하며, 이때 터널 중앙하단의 중앙집수관으로 역류되지 않도록 계획하여야 한다.
- (3) 비상수문은 유입수량의 수압을 고려하여야 하며, 수밀성을 유지하여야 한다.

- (4) 터널과 인접한 개착구간의 출입시설 높이는 최대 홍수위 이상으로 계획하여 수해를 방지하여야 한다.

14.7 하·해저터널

14.7.1 하·해저터널계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 터널 내장재는 화재 시 유독가스를 방출하지 않아야 한다.
- (2) 터널에서 가장 낮은 위치에는 터널 내 청소 용출수와 화재 진압수를 모을 수 있는 집수조가 있어야 한다. 또한 화재 시 상·하행터널의 구분을 위하여 집수조는 각각 설치되어야 하며, 펌프가 설치된 모든 집수조에는 이중전원이 공급되어야 한다.
- (3) 모든 금속물질은 부식을 견딜 수 있도록 부식방지 재질로 제작되거나 부식을 방지하기 위하여 표면처리가 되어야 하며, 기상 변화에도 견딜 수 있는 재질로 제작되어야 한다.
- (4) 하·해저터널에서는 부식을 방지하기 위한 전식방지설비를 갖추어야 한다.

빈 면

<단위환산표>

■ SI 기본단위

양	단위의 명칭	단위기호	정 의
길이	미터	m	빛이 진공 상태에서 1/299,792,458초 동안에 진행하는 경로의 길이
질량	킬로그램	kg	질량의 단위로서 국제 킬로그램 원기(프로토타입)의 질량과 같다.
시간	초	s	세슘-133원자가 가지는 바닥 상태의 두 초미세 준위 사이의 전이에 해당하는 복사선이 가지는 주기의 9,192,631,770 배의 지속시간
전류	암페어	A	무한히 길고 무한히 작은 원형 단면적을 가진 2개의 평행한 직선 도체가 진공 속에서 1미터 간격으로 유지될 때에, 2도체 사이에 1미터 마다 2×10^{-7} 뉴턴(N)의 힘을 생기게 하는 일정한 전류
온도	켈빈	K	물과 얼음과 수증기가 공존하는 물의 삼중점이 가지는 열역학적 온도의 1/273.16인 부분 수
물질량	몰	mol	0.012 킬로그램의 탄소-12 속에 존재하는 원자수와 같은 수의 요소 입자 또는 요소 입자의 집합체로 구성된 어떤 계의 물질량
광도	칸델라	cd	진동수가 540×10^{12} 헤르츠(Hz)인 단색광을 방출하는 광원의 복사율이 스테라디안(steradian)당 1/683와트(W)인 광도

■ SI, CGS 및 중력단위계

단위계 \ 양	길이 L	질량 M	시간 T	가속도	힘	응력	압력	에너지
SI	m	kg	s	m/s^2	N	Pa, N/m^2	Pa	J
CGS계	cm	g	s	Gal	dyn	dyn/cm^2	dyn/cm^2	erg
중력계	m	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$	s	m/s^2	kgf	kgf/m^2	kgf/m^2	$\text{kgf} \cdot \text{m}$
단위환산예	$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$ $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \times 10^{-2} \text{ MPa} \approx 0.1 \text{ MPa} (= 10^5 \text{ Pa})$ $1 \text{ tonf/m}^2 = 9.807 \times 10^{-3} \text{ MPa} \approx 0.01 \text{ MPa} (= 10^4 \text{ Pa})$							

주) 단, 배합설계 시에는 편의상 기존의 중력단위계를 그대로 이용할 수 있다.

(예: 단위시멘트량 150kg)

부록

■ 터널 관련 단위환산

구 분	기존 단위	SI 단위
지반변형계수	1 tonf/m ²	1×10 ⁻² MPa
단위중량	1 tonf/m ³	1×10 KN/m ³
설계기준강도	1 kgf/cm ²	1×10 ⁻¹ MPa
이완하중	1 tonf/m	1×10 KN/m
지반스프링계수	1 tonf/m ²	1×10 ⁻² MPa
탄성계수	1 tonf/m ²	1×10 ⁻² MPa
자 중	1 tonf/m ³	1×10 KN/m ³
모 멘 트	1 tonf·m	1×10 KN·m
축력, 전단력	1 tonf	1×10 KN
균열폭	1 cm	1×10 mm
철근단면적	1 cm ²	1×10 ² mm ²

<터널설계기준 개정(2007년) 집필위원>

분 야		성 명	소속·직위
총 괄	위원장	배 규 진	한국건설기술연구원 연구위원
	간 사	한 명 식	대조엔지니어링 대표이사
제1장 총칙		신 용 석	한국시설안전기술공단 실장
		안 상 로	한국시설안전기술공단 단장
제2장 계획		김 승 렬	에스코컨설팅 대표이사
		황 제 돈	에스코아이에스티 사장
제3장 조사		신 회 순	한국지질자원연구원 책임연구원
		김 기 석	희송지오테크 대표이사
제4장 설계일반		김 상 환	호서대학교 교수
		박 인 준	한서대학교 교수
		이 준 석	한국철도기술연구원 책임연구원
제5장 터널지보재		김 나 영	한국도로교통기술원 책임연구원
		김 창 용	한국건설기술연구원 수석연구원
		문 상 조	유신코퍼레이션 전무이사
		이 석 원	건국대학교 교수
제6장 콘크리트라이닝		구 웅 회	서영기술단 부사장
		이 두 화	삼보기술단 대표이사
제7장 터널안정성 해석		박 광 준	대정컨설팅 대표이사
		유 광 호	수원대학교 교수
제8장 배수 및 방수		신 종 호	건국대학교 교수
		최 해 준	청석엔지니어링 상무이사
제9장 굴착 및 계측		유 충 식	성균관대학교 교수
		이 명 재	도담E&C 사장
제10장 갱구부		이 상 덕	아주대학교 교수
		진 덕 찬	서영엔지니어링 전무이사
제11장 단면 확폭부 및 접속부		안 경 철	대조엔지니어링 전무이사
		유 한 규	한양대학교 교수
제12장 연직갱 및 경사갱		오 명 렬	다산이엔지 대표이사
		이 승 호	상지대학교 교수
제13장 TBM 터널		이 성 원	한국건설기술연구원 수석연구원
		전 석 원	서울대학교 교수
		정 경 환	동아지질 대표이사
		지 왕 룰	한국건설기술연구원 책임연구원
제14장 환기, 조명, 방재설비		남 창 호	범창종합기술 대표이사
		서 상 진	상진기술엔지니어링 대표이사
		윤 원 석	남진설비 대표이사
		이 인 기	하경엔지니어링 사장

<자체자문위원>

성명	소속·직위
김재권	두산건설 전무이사
김주화	대림산업 부사장
두준기	휴먼테크기술사사무소 대표이사
마상준	한국건설기술연구원 수석연구원
성연경	울트라건설 상무이사
우종태	경북대학 교수
유지오	신흥대학 교수
임경국	건설교통부 서기관
전한철	한국도로공사 본부장
정상	건설교통부 사무관
정장용	한국철도시설공단 팀장
정형식	한양대학교 명예교수
홍성완	한국건설기술연구원 연구위원

<중앙건설 심의위원>

분야	성명	소속·직위
토질 및 터널	구자갑	한경대학교 교수
	김용진	나우이엔지 대표이사
	김재규	동명기술공단 전무이사
지진, 품질 및 안전	윤영조	한국재난연구원 대표이사
방재	유지오	신흥대학 교수
조경 및 도시계획	김두하	한국종합엔지니어링 부사장
	심상철	삼안건설기술공사 부사장
	안계동	동심원조경 대표이사

<건설교통부 담당관>

성명	직위
김명국 / 조용주 / 권진봉	도로기획관
김일평 / 권병윤 / 유인상	도로건설팀장
허용 / 노성열	시설사무관
장석준 / 안성수 / 최준일	시설주사

건설교통부 제정
터널설계기준

1975년 월 제정
1985년 12월 개정
1996년 5월 개정
1999년 9월 개정
2007년 11월 개정
2007년 12월 발행

저지외의
협의하에
인지생략

관리주체: (사)한국터널공학회

서울 서초구 서초동 1445-3 서초국제전자센터빌딩 14층 23호

전화 02-3465-3665 팩스 02-3465-3666

홈페이지 www.tunnel.or.kr

공급처: 도서출판 씨아이알

서울 중구 예장동 1-151

전화 02-2275-8603(대표전화) 팩스 02-2265-9394

홈페이지 www.circorn.co.kr

ISBN 978-89-92259-07-1 93530

정가 15,000원

※ 이 책의 내용을 무단전재하거나 복제할 경우 저작권법에 의하여 처벌됩니다.