

2009년 터널 실무자료집

순번	문서번호	날짜	제목	비고
1	시설처 - 385	2009.01	예비용 제트팬수 검토	
2	설계처 - 1210	2009. 03	터널다단 그라우팅 보강구간 록볼트 적용기준 검토	
3	설계처 - 3330	2009. 06	터널부 토질조사 개선방안 검토	
4	시설처 - 2610	2009.07	터널 비상조명회로 배선방법 개선	
5	설계처 - 3868	2009. 07	터널 타일세척수 배수체계 개선방안	
6	설계처 - 3990	2009. 07	터널구간 교통용량 확보방안 검토	
7	설계처 - 4273	2009. 08	쏫크리트 강섬유 할증률 적용방안 개선	
8	설계처 - 4528	2009. 08	터널 갱구부 방음시설 설치기준 검토	
9	설계처 - 5368	2009. 08	콘크리트 배합기준 변경 적용	
10	설계처 - 5551	2009. 11	터널 유출수 처리시설 설치기준 개선	
11	시설처 - 3976	2009. 11	고속도로 터널 방재시설 설치기준 개선	
12	설계처 - 6035	2009. 12	개착터널 라이닝 설계기준(상시) 수립	
13	설계처 - 6087	2009. 12	각기 비탈면 관리강화를 위한 설계대책 검토	

I 문 제 점

- 예비용 제연설비(제트팬) 설치대수 기준 불명확
 - 현재는 최소 대수인 1조(2대) 설치
- 터널 화재발생시 안정적 제연성능 확보에 대한 검증 필요

※ 감사지적사항 : 터널 예비용 제트팬에 관한 사항 [감사실-1188, ('07. 7. 18)]

II 관련법규

- 국내기준 : 예비용 제트팬의 명확한 설치대수에 대한 언급 없음
- 도로터널의 화재안전기준 [소방방재청 고시 2007-23호 (2007. 7. 27)]

제9조(제연설비)

② 제연설비는 다음 각호의 기준에 따라 설치하여야 한다.

1. 종류환기방식의 경우 제트팬의 소손을 고려하여 예비용 제트팬을 설치하도록 할 것

- 도로터널 방재시설 설치지침 [국토해양부 고시 (2004. 12.)]

6. 1. 3 방재용 환기기 용량 설계

(2) 종류식 환기방식

② 화재시 제연용 환기기 용량 산정

- 화재시 제트팬의 소손을 고려하여 예비용 제트팬을 설치한다.

■ 해외기준

- 미국(NFPA), 프랑스(CETU), 독일(RABT) 기준에 예비용 제트팬 설치 언급
- 설치대수에 대한 명확한 내용은 없음

※ 첨부 1 : 해외 설치기준



예비용 제트팬 설치현황

- 기존 장터널 44개소 중 16 개소, 예비용 제트팬 64 대
 - 2004년 이후 개통터널에 행선별 1조(터널당 4대) 적용
- 세부 설치현황

노 선	터널명	연 장	총 제트팬 (대)	예비용 제트팬(대)	준공 년도	비 고
계	16개소		264	64		
대전-통영선	고 성1	1,197m	10	4	2005	
	고 성2	1,770m	12	4	2005	
	통 영2	1,631m	8	4	2005	
장성-담양	장 성2	1,253m	12	4	2006	
	장 성3	3,598m	20	4	2006	
청원-상주	피반령	2,040m	18	4	2007	
	내 서4	1,370m	16	4	2007	
고창-장성	문수산	3,820m	26	4	2007	
익산-장수	곰 티	2,307m	19	4	2007	
	장 수	2,700m	22	4	2007	
현풍-김천	김 천2	1,055m	16	4	2007	
	김 천3	1,669m	17	4	2007	
무안-광주	노 안	1,190m	16	4	2007	
	호남대	1,487m	16	4	2008	
안성-음성	안 진	2,375m	20	4	2008	
부산-울산	문 수	1,598m	16	4	2008	

- 2005년 이후 신규 설계터널 56개소, 예비용 제트팬 224 대
 - 행선별 1조(터널당 4대) 적용

IV 개선방안

■ 적정 설치대수 검토

○ 검토방법

- 제트팬 설치구간내 화재발생 확률에 따른 예비용 제트팬 1조(2대) 필요 확률 산출
- 동일조건 내에서 추가 제트팬 필요 확률(2조 이상 설치) 검토

○ 검토결과

- 터널 연장이 길어질수록 화재에 의한 예비용 필요확률은 낮아짐.
- 확률적으로 예비용 1조 이상이 필요한 경우는 극히 적음.
- 역풍을 고려한 제연용 제트팬 수량이 확보되어 있어 비상시에도 안정적 제연풍속 확보 가능.

※첨부 2 : 예비용 제트팬 설치대수 검토

■ 적용방안

- 예비용 제트팬은 터널 행선별로 최소 수량인 1조(2대) 설치
- 터널 설계시 환기방식 및 제연구획 등에 대한 검토 후 추가 가능
- 장기 보수 및 교체시 대체 제트팬 설치하여 제연기능 상시 유지

※첨부 3 : 자문위원 의견서

■ 기대효과

- 예비용 제연설비 설계 및 시공 혼선 방지
- 일관된 설치기준 적용으로 공사원가 절감
- 터널 화재 발생시 안정적 제연성능 확보

해외 설치기준

국가별	기준명	내 용	
미 국	미국화재안전기준 NFPA 502[2008] (National Fire Protection Association) Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways	10.6.2. 직접적으로 화재에 노출될 우려가 있는 터널내 제트팬 등의 터널 환기 설비는 소모(연소)될 수 있다. 10.6.3. 화재에 직접적으로 노출될 수 있는 환기설비는 여유를 고려하여 설계하여야 한다.	
프랑스	터널연구센터(정부기관) 기준 CETU (Centre d'Etudes des Tunnels)	연장이 800m 이상인 터널에서 제연 설비 규모를 결정할 때, 화재연기 속에서 제트팬 효율이 감소하거나, 화재나 연기에 의해 제트팬이 소실될 수 있다는 점을 고려하여 결정한다.	
독일	도로터널의 장비와 운영에 관한 규정(2002) RABT	2.3.3.5 환기 시설의 온도 저항 화재 발생 장소 근처에 위치한 Jet fan 은 가동되어서는 안된다. 특히 이러한 관점에서 환기장치의 개수는 규정해 두어야 한다.	

예비용 제트팬 설치대수 검토

□ 검토조건

○ 터널내 사고 발생률 (국내 10년간 평균¹⁾)

■ 일반사고 발생률 : $40.38\text{건}/10^8 \cdot \text{veh} \cdot \text{km}$

■ 화재사고 발생률 : $2.02\text{건}/10^8 \cdot \text{veh} \cdot \text{km}$

- 터널 1km 구간에서 1억대 통과시 약 2.02건 화재사고 발생

- 확률적으로 터널 1km 구간마다 일평균교통량 50,000대일 경우
2,000일(5.48년)내에 화재사고가 2.02건 발생한다는 의미

※PIARC 보고서 : 도심터널 $8.45\text{건}/10^8 \cdot \text{veh} \cdot \text{km}$

지방터널 $0.7 \sim 9\text{건}/10^8 \cdot \text{veh} \cdot \text{km}$

○ 설계 화재강도(20MW) 화재 발생 확률 : 약 25% (별첨 1)

○ 설계 화재강도(20MW) 화재 발생시 화재구역

■ 최소 : 10m 이내 (온도가 제트팬에 직접 영향을 미치는 범위)

■ 최대 : 1개 zone (140~180m) (화재에 영향을 미치므로 가동 제한)

⇒ 화재구역은 Ø1250 제트팬 설치간격인 160m 적용

○ 역풍발생률

■ 보수율 = (점검, 고장수리 등의 평균일수) / (365일)

= 제트팬 1대당 5일 / 365 = 0.0274 ≒ 2.7% 미만

■ 역풍발생률 = 연평균 역풍 발생시간 / 8,760시간 (365일 × 24시간)

= 동계(3개월)×심야(6시간/일) / 8,760시간 (365일 × 24시간)

= 90일×(6시간/일) / 8,760 = 6.2% ④

(※역풍 발생빈도가 가장 심한 죽령터널 관측 data 참고)

1) 중규모터널 연구용역 보고서(2008, 최종), 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구(2004~2008, 국토해양부)

□ 예비용 제트팬이 필요할 확률

○ 사고 발생시 20MW 이상 화재사고 발생, 예비용 1조(2대) 필요 확률

■ 터널 연장별 평균 예비용 제트팬 필요 확률

구분	1,000m ~1,800m	1,800m ~2,900m	2,900m ~3,900m	3,900m ~5,000m	5,000m ~6,000m	6,000m ~8,000m	8,000m ~10,000m	비 고
제연용 (예비포함)	8대	10대	12대	14대	16대	18대	22대	
필요확률	0.64	0.44	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	

$$\begin{aligned} \text{※예비용 필요확률} &= \{(\text{제트팬 설치대수}/2) \times 160\text{m}\} / \{\text{터널 연장(m)}\} \\ &= [0.64 \sim 0.22] \end{aligned}$$

⇒ 터널 연장이 길어질수록 화재에 의한 예비용 필요 확률은 낮아짐.

○ 동일조건에서 예비용이 추가(2조 이상)로 필요할 확률

(1) 추가사고 발생확률 : $2.02\text{건}/10^8 \cdot \text{veh} \cdot \text{km} \approx 1\text{건} / 1,000\text{일} = 0.001 = 0.1\%$
(1km 터널의 일평균교통량 50,000대일 경우)

(2) 보수 및 교체기간 내에 추가사고 발생으로 예비용이 소요될 확률
= 보수 및 교체기간 내에 추가사고 발생확률 × 터널연장(km)
× ③(예비용 제트팬이 필요할 확률)

= 30일(보수,교체기간) / 1,000일 × 터널연장(km) × ③

(1km 터널의 일평균교통량 50,000대일 경우 : $2.02\text{건}/2,000\text{일} = 1\text{건}/1,000\text{일}$)

= $0.03 \times [1 \sim 10\text{km}] \times [0.16 \sim 0.055]$

= $0.00480 \sim 0.01320 \approx 0.48\% \sim 1.32\%$

⇒ 추가사고 발생확률은 0.1%

⇒ 확률적으로 예비용 1조 이상이 필요한 경우는 극히 적으며(최대 1.32%),

⇒ 최대자연풍(역풍)을 고려한 제연용 제트팬 수량이 확보되어 있어
최대 역풍발생확률 6.2%(④참고)를 고려할 경우 비상시에도 안정
적 제연풍속 확보 가능.

○ 보수를 감안 필요

■ 제연설비 및 전원설비(수배전설비 등)의 고장 · 보수 등으로 인하여
제연설비의 기능이 발휘되지 못하는 경우 대책 필요

20MW 이상

대형화재 발생 확률

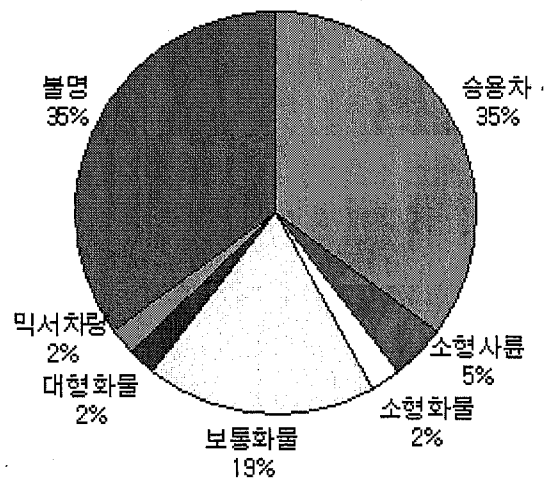
■ 화재사고 발생률

국가	사고 발생률	소형차	대형차	비고
프랑스	1.8	1.9	0.6	도시터널 : Croix Rousse(1.8), Fourviere(1.8), Vieux Port(0.6)
	4.85	3.75	0.85	지방의 일방향 터널
	3.95	1.05	31.3	지방의 대면통행 터널 : LEpine(3.1), Chamoise(3.3)
	8.6 5.4	3.5 1.5	12.7 12.9	지방의 산악터널(대면통행) Frejus(12.9), Mont Blanc(11.6)
Gotthard tunnel	4~5	(21)	(21)	16.6 km, 대면통행터널
Elbe tunnel	9.0	6.3	24.6	3.3 km 도시 일방통행 터널
	28	25	41.67	일반사고 발생율
일본수도공단자료	-	(15)	(13)	
주요화재사례		(6)	(38)	42건의 주요화재사고사례 분석자료

단, ()의 숫자는 단순건수를 의미함

■ 차종별 화재사고 건수(일본수도 고속도로 공단)

차 종	건 수
승용차	15
소형사륜	2
소형화물	1
보통화물	8
대형화물	1
믹서차량	1
불명	15
20MW 이상	11/43 = 25.6%



■ 화재사고 발생시 20MW 이상일 확률

※ 프랑스(지방 일방교통시) : $0.85/3.75 = 22.7\%$

※ 일본 : $11/43 = 25.6\%$

1 검토배경

터널의 다단 그라우팅* 보강구간에 대한 지반 안정성 검토를 통한 록볼트** 적용방안을 검토코자 함

※ 감사 지적사항(감사실-1656, 2008.10.8)

터널 다단 그라우팅 보강구간 록볼트 시공에 대한 기준 수립

* 다단 그라우팅 : 터널 갱구부 및 막장전방 지반안정을 위하여 굴착전 종방향으로 보강재(강관, FRP 등)를 설치하는 공법

** 록볼트 기능 : 봉합 · 보형성 · 내압 · 아치형성 · 지반개량 작용효과

2 관련기준

가. 터널설계기준(건설교통부, 2007)

- 점착력이 적거나 파쇄 혹은 팽창성 등이 심하여 굴착면의 자립시간이 짧은 지반에서는 굴진면의 안정을 위한 보조공법(천장부 보강용 강봉 및 강관보강공법 등)을 적용함
- 강관보강공법 적용구간이 록볼트에 의한 보강효과가 없거나 매우 저감되는 경우, 지반조건 검토 후 록볼트를 생략할 수 있음

나. 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008.3)

- 강관보강형 그라우팅 등 보강공법이 적용된 구간에서는 록볼트를 시공하지 않음

다. 도로설계요령(한국도로공사, 2002)

- 강관보강형 다단 그라우팅은 터널 천장부 지반강화 및 구조적 보강을 위해 연암 및 토사지반을 대상으로 적용

3 현 실태 및 문제점

가. 설계 및 시공 현황

사업단	노선	터널 개소	록볼트 적용여부		사업단	노선	터널 개소	록볼트 적용여부	
			설계	시공				설계	시공
대전당진	대전-당진	7	×	×	음성충주	음성-충주	6	×	×
	서천-공주	23	○, ×	×	진주마산	진주-마산	2	○	×
춘천양양	춘천-동홍천	27	○	○,×	목포광양	목포-광양	11	○	○,×
	동홍천-인제	22	×	×	광양남원	남원-광양	14	○	×
주문진 속초	주문진-속초	2	○	×	남원전주	전주-남원	24	○	○
	인제-양양	2	○	×	미발주	영동-옥천	2	×	-
수도권	여주-양평	7	×	×	미발주	삼척-동해	6	×	-
	신갈-호법	2	○	×					

* 2009.2월 현재 대안입찰 발주진행중 노선 터널 미반영

- 2005년이전 설계준공노선은 다단 그라우팅 보강구간 록볼트를 설계반영하였으나, 일부노선만 중복 시공
- 2006년이후 설계준공노선은 록볼트 설계 미반영

나. 문제점

- 다단 그라우팅으로 고결된 굴착지반에 록볼트 시공시 고결체 지반 및 보강재(강관, FRP 등) 손상
- 다단 그라우팅 보강구간 록볼트 보강효과 및 안정성 검토 없이 록볼트 설계반영 및 시공 사례 발생

4 안정성 검토

가. 검토방법

- 터널 갱구부 다단(강관) 그라우팅 보강구간 록볼트 설치와 미설치시 안정성 비교
 - 양방향 2차로 터널기준, 시공단계별 3차원 수치해석
 - 천단변위 및 내공변위, 슛크리트 및 강관 휨응력 비교
- 불연속면을 고려한 암반블록 형성 및 활동 안정성 검토
 - 불연속면 방향성과 다단그라우팅 보강 효과 고려
 - 암반블록 형성시 활동 안정성 검토

나. 해석단면

적용단면	지보조건
	• 굴착방법 : 상·하분할 굴착 • 1회 굴진장 : 1.0/1.0m • 슛크리트 두께 : 16cm • 록볼트 개수(길이) : 6.0개(4.0m) • 록볼트 종/횡간격 : 1.0m/1.5m • 강관다단 직경/길이 : 50.8mm/12m • 강관다단 종/횡간격 : 6m/0.5m

다. 해석결과

다단 그라우팅 보강구간 록볼트 보강효과는 발생변위, 슛크리트 및 강관 휨응력 검토 결과 미미함

- 천단변위 : 록볼트 보강시 0.004 ~ 0.016mm 감소
- 내공변위 : 록볼트 보강 및 제외시 변동 없음
- 슛크리트 휨응력 : 록볼트 보강시 0.0008MPa 감소
- 강관 휨응력 : 록볼트 보강시 0.003MPa 감소

암반블록 형성 및 활동 안전성 검토결과 안정성 확보

- 최소안전율(F.S) 1.50 이상

5 개선방안

가. 터널의 지반 및 지질조건, 시공조건 등에 따른 지반 안정성 검토 결과에 따라 다단 그라우팅 공법을 적용하고, 록볼트는 중복시공 하지 않음

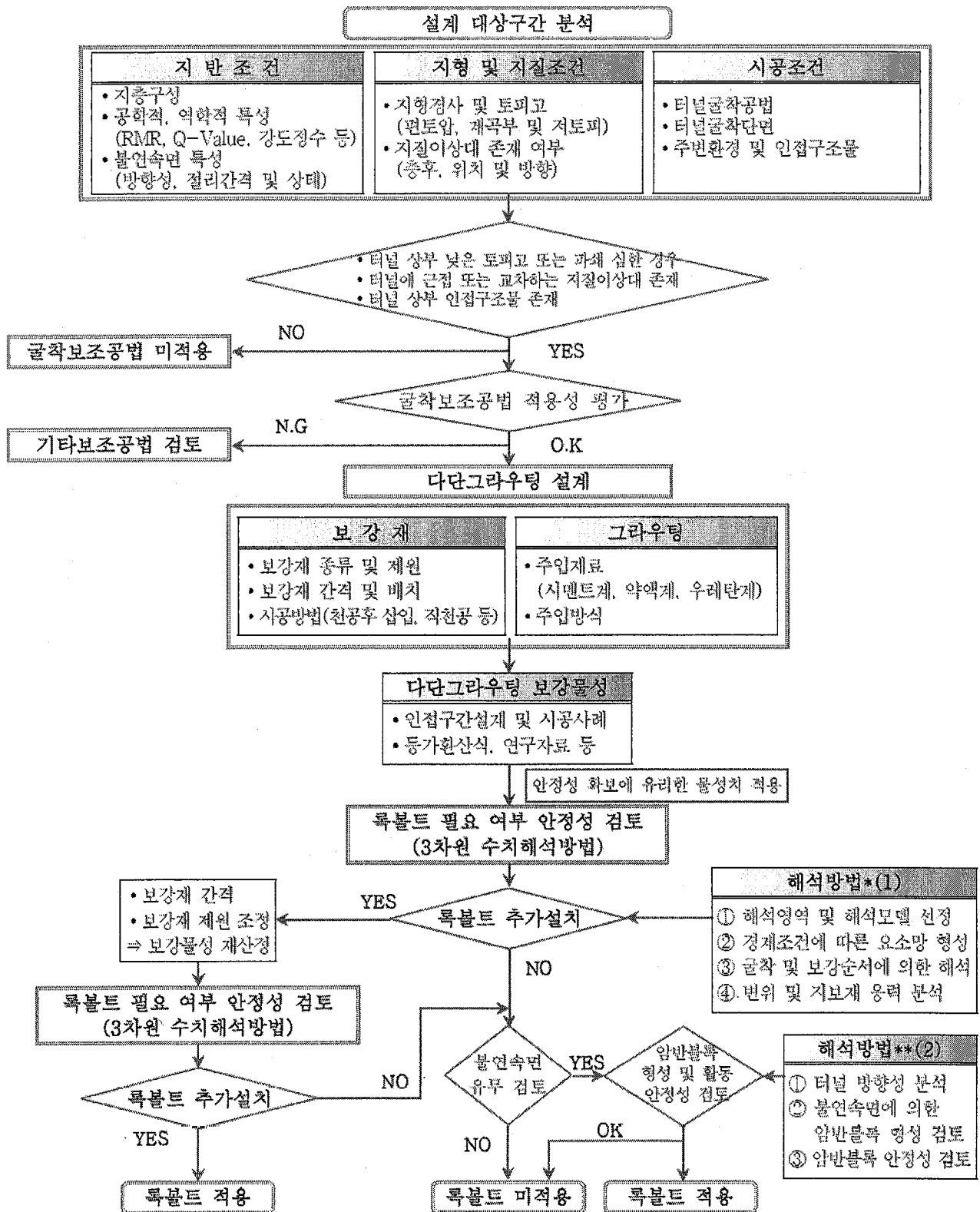
- 단, 지반 및 지질조건에 따른 추가 안정성 검토결과(암반블록 형성 및 활동 등) 록볼트 보강이 필요한 경우 현장여건에 맞게 록볼트 보강 가능

나. 적용방안

- 설계 중 노선 : 본 방침 적용
- 설계완료 후 미발주 노선 또는 공사 중 노선 : 공사시행부서에서 안정성 검토 후 록볼트 삭제 등 조치

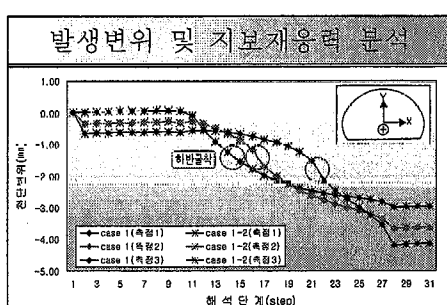
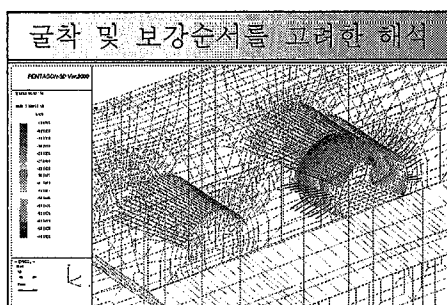
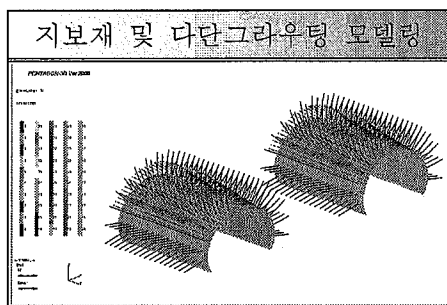
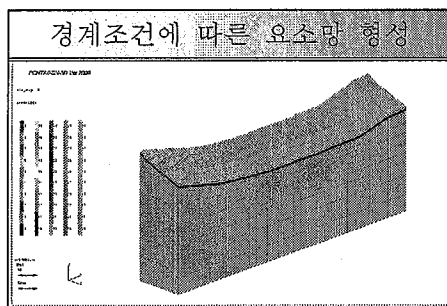
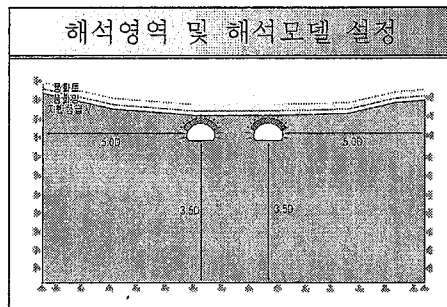
붙임 : 1. 다단 그라우팅 보강구간 록볼트 적용 안정성 검토 흐름도
2. 다단 그라우팅 안정성 검토 결과
3. 암반블록 형성 및 활동 안전성 검토 결과

다단그라우팅 보강구간 록볼트 적용 안정성 검토 흐름도

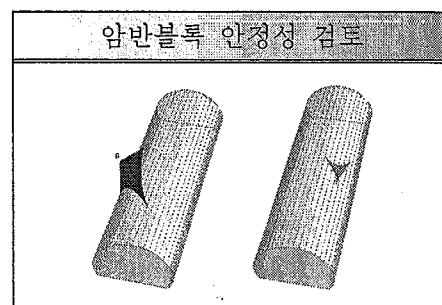
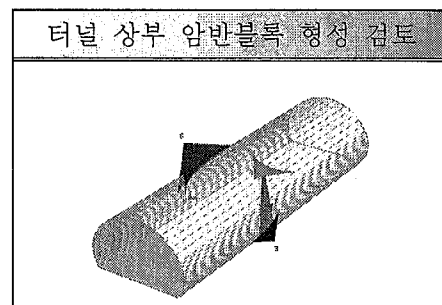
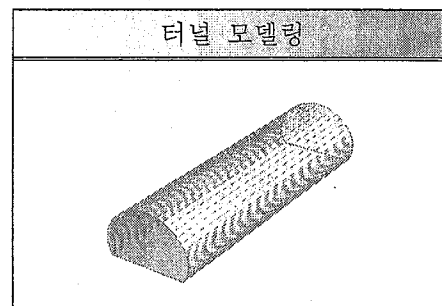
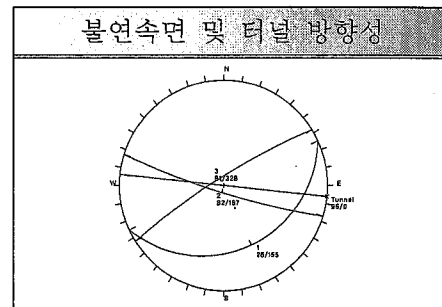


- ※ 1) 수치해석적 검토시에는 대상 지반 및 설계 조건들을 모사할 수 있고, 지반 거동 해석이 가능한 해석 프로그램을 이용하도록 함
- 2) 터널 주변 암반블록에 대한 안정 검토시 다단 /라우팅에 의한 불연속면 강도 증진 효과를 고려하도록 함
- 3) 시공중 막장면 지질조사, 암반상태 평가 결과 설계시의 암반상태(RQD 및 절리간격 등)와 상이한 경우 록볼트 필요여부 재검토

해석방법*(1) (특블트 필요 여부 안정성 검토)



해석방법**(2) (암반블록 형성 및 활동 안정성 검토)

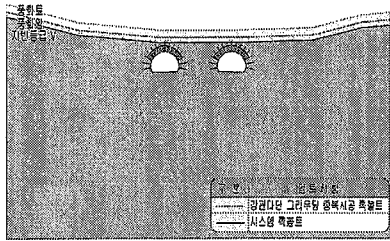
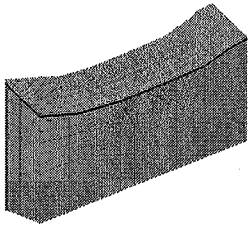
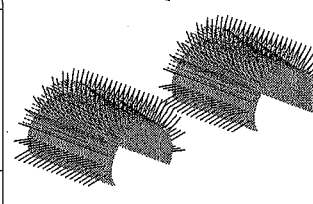


다단 그라우팅 안정성 검토 결과

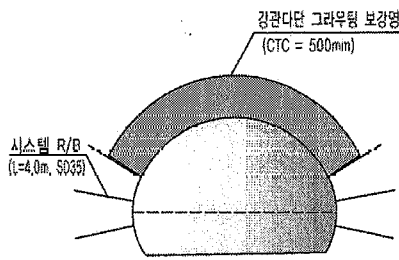
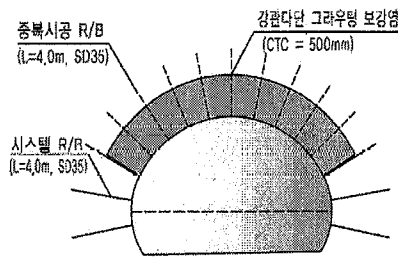
□ 해석방법

구 분	해 석 적 용
해석모델링	• 해석영역의 지형을 유사하게 모델링하여 갱구부 지형에 따른 초기 응력상태와 적용 지보패턴을 모사
해석영역	• 해석을 위한 지반경계범위는 터널 좌·우측 경계는 5.0D, 하부경계까지는 4.0D로 모델링(D : 터널직경)
해석프로그램	• 유한요소 수치해석 프로그램 : PENTAGON 3D
해석모델	• 해석모델 : Mohr-Coulomb 파괴기준에 의한 탄소성 해석 모델
굴착순서 및 방법	• 갱구부 적용 지보공(록볼트)과 강관다단 그라우팅 보강 영역의 중복시공에 따른 보강효과 검토 및 적정성 검토를 위해 시공단계를 모사한 수치해석 수행

□ 해석단면

		
해석단면도	지반모델링(3차원)	1차지보재 및 강관모델링

□ 록볼트 보강효과 비교도

록볼트 미설치	록볼트 설치
 강관다단 그라우팅 보강영역 (CTC = 500mm) 시스템 R/B (L=4.0m, S035)	 중복시공 R/B (L=4.0m, S035) 강관다단 그라우팅 보강영역 (CTC = 500mm) 시스템 R/B (L=4.0m, S035)
• 다단 그라우팅(터널중심선기준 좌우 60°) • 측벽부 시스템록볼트(중/횡간격 1.0/1.5m)	• 다단 그라우팅(터널중심선기준 좌우 60°) • 지보패턴 시스템록볼트(중/횡간격 1.0/1.5m)

□ 해석적용 물성치

지반등급	탄성계수 (MPa)	단위중량 (kN/m ³)	포아송비 (v)	내부마찰각 (degree)	점착력 (kPa)
지반등급 V	750	21.0	0.30	32	200
풍 화 암	250	20.0	0.32	30	30
풍 화 토	80	19.0	0.33	28	15
보강그라우팅 (CTC=500mm)	1,106	17.0	0.30	32	244

※ 다단 그라우팅 제원(지반등급 V)

보강재 제원			그라우트제 물성치		
강관직경		50.8mm	일 축 압 강 도	qu	5MPa
강관길이		12.0m		Fs	2.0
설 치 간 격	종간격	6.0m		qu(Fs)	2.5MPa
	횡간격(CTC)	0.5m			25kgf/cm ²
천공경		125mm	단위중량(W)		1.70
확산경	총확산경	375mm	점착력(C _g)		0.693MPa
	유효확산경	187.5mm	확산경 단면적		0.08m ²
보강부 단위 면적(A _t)		2.40m ²	그라우트제 면적(A _g)		0.15m ²
보강면적내 강관개수		2EA	탄성계수(E _g)		4732.3MPa

□ 해석결과

구 분	좌측터널			우측터널		
	록볼트 미설치	록볼트 설치	증감	록볼트 미설치	록볼트 설치	증감
천단변위(mm)	4.441	4.425	0.016	4.352	4.348	0.004
내공변위(mm)	3.825	3.825	0	4.184	4.184	0
숏크리트 휨응력(MPa)	0.6632	0.6624	0.0008	0.6422	0.6411	0.0008
강관 휨응력(MPa)	10.805	10.805	0	41.527	41.524	0.003

암반블록 형성 및 활동 안정성 검토 결과

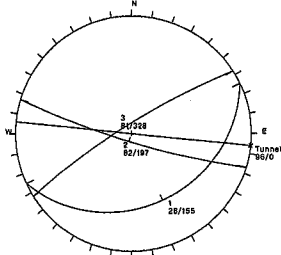
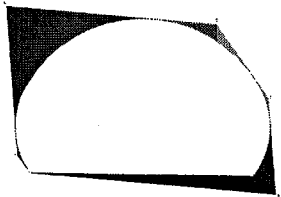
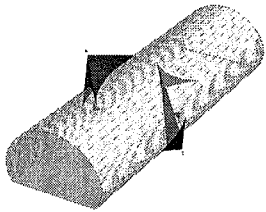
□ 해석방법

구 분	해 석 적 용
해석모델링	• 터널형상 및 불연속면 방향성을 고려하여 모델링
해석프로그램	• 한계평형해석 프로그램 : Unwedge
해석모델	• Mohr-Coulomb 파괴기준 적용(다단 보강그라우팅 고려)

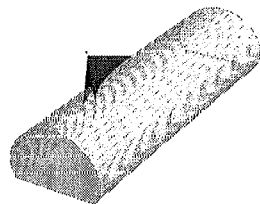
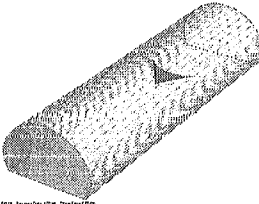
□ 불연속면의 주절리 방향

절리군	방향성	점착력 c(MPa)		내부마찰각 $\phi(^{\circ})$
		다단그라우팅 무보강	다단그라우팅 보강후	
J1	26/155	0.150	0.183(22%증가)	34.3
J2	82/197	0.152	0.182(22%증가)	34.3
J3	81/328	0.156	0.187(22%증가)	34.3

□ 암반블록 형성 검토

터널 및 불연속면 방향	발생 블록 형상	
	정 면	입 체
		

□ 검토결과

암반블록 안전율				검토결과	
				• 다단보강 그라우팅 보강에 따른 암반블록 활동에 대해 최소안전율(1.50)이상이므로 안정성 확보 ⇒ 록볼트 미적용	
다단그라우팅 무보강	11.4	다단그라우팅 무보강	38.5		
다단그라우팅 보강	13.3	다단그라우팅 보강	44.3		

I 검토목적

- ☐ 지하공간의 지반정보(지층구성, 불연속면의 위치 및 방향, 지하수위 등)를 물리탐사, 시추조사 등의 방법으로 조사·분석하여 터널설계를 시행하므로 토질조사의 신뢰성 확보가 중요함
- ☐ 민원, 산림훼손, 장비진입 곤란 등의 현장여건을 감안한 효율적인 토질조사 방안을 마련하여 토질조사의 내실화를 도모코자 함

II 관련기준

- ☐ 터널설계기준(건설교통부 ; 2007)
 - 시추는 NX규격 이중 코아배럴 원칙, 대심도 시추시 NQ 규격 가능
 - 시추는 수직 실시 원칙, 현장조건 고려 경사 및 수평시추 가능함
 - 산악터널 시추공 간격은 지형조건, 장비접근성 등 고려 증감 가능
 - 물리탐사 적용시 지질특성과 주변여건 고려한 탐사법 적용
 - 물리탐사 해석은 실효성 있는 가탐심도 범위내에서 시행
 - 설계시 부득이한 사유로 충분한 조사를 못 할 경우 시공 중 보완조사 실시
- ☐ 터널부 토질조사 기준(설계처-1503, 2006.6, 기획조정실-2373, 2007.3)

조사항목	실시설계	기본설계
시추조사	· 터널 입출구부 각각 2개소 300m마다 1개소 (심도 : 세획고하 2m)	· 500m이상 6개소(시·종점 중앙 상하) · 500m이하 4개소(시·종점 상하)
탄성과 탐사	· 터널개소당 입출구부 필요한 연장(Cross Hole Test)	· 터널 시종점부 시추조사 미시행구간 진연장
전기비저항탐사	· 터널 전 연장	· 터널 전연장 (분리터널인 경우 한 축선만 시행)

III 현황 및 문제점

□ 토질조사 사례 검토

노선(공구)	터 널 명	계획	수 행	미수행사유	조치내용
남해고속도로 (냉정~부산간) 제6공구	대동3터널 (1.4km)	16공	7공 (최대심도 23m)	· 노선반대 민원	· 물리탐사로 지반정보 파악 · 시공시 확인조사 반영 (연직시추, BIPS)
춘천~양양간 (진동~서림간) 제14공구	인제터널 (11.0km)	15공	10공 (최대심도 337m)	· 산림훼손과다 · 장비진입불가	· 물리탐사로 지반정보 파악 · 시공시 확인조사 반영 (연직시추, 선진수평, TSP탐사)
충주~제천간 제4공구	금성터널 (4.5km)	22공	20공 (최대심도 270m)	· 산림훼손과다 · 장비진입불가	· 물리탐사로 지반정보 파악 · 시공시 확인시추 반영 (선진수평보링, TSP탐사)
울산~포항간 제2공구	관문2터널 (2.8km)	15공	12공 (최대심도 131m)	· 산림훼손과다 · 장비진입불가	· 물리탐사로 지반정보 파악 · 시공시 확인조사 반영 (연직시추, 선진수평보링)

- 민원, 산림훼손, 장비진입 곤란 등으로 시추조사를 시행하지 못함
 - 물리탐사 등으로 지반정보 파악, 시공시 확인조사 설계반영

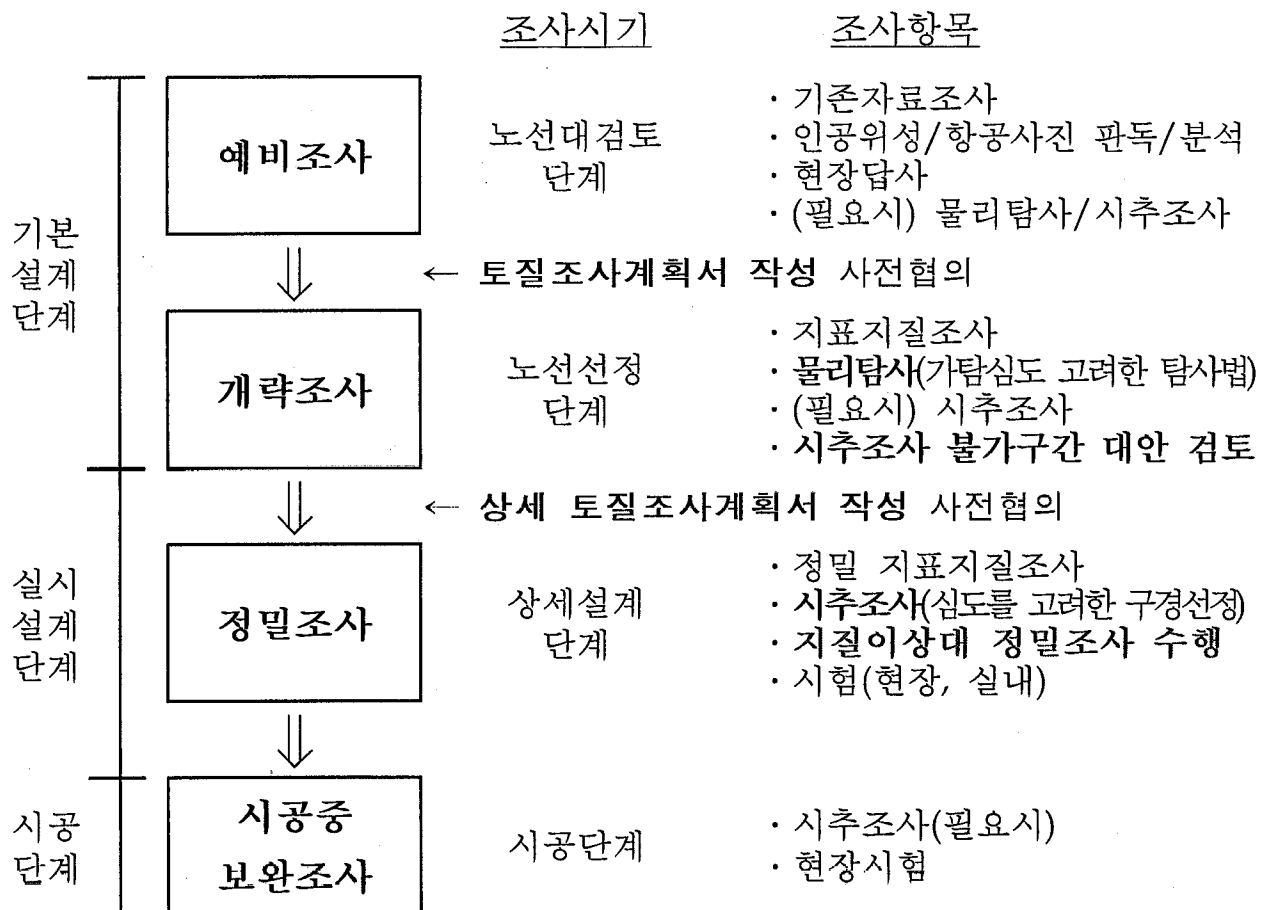
□ 문제점

- 토질조사(물리탐사, 시추조사 등)를 통한 지반특성 파악 한계성 내재
 - 조사지반이 입체적(대규모)이고 비균질적인 특성을 지님
 - 물리탐사에 의존한 간접적 조사방법, 조사시간 및 공간적 제약 등
- 단계별(예비조사, 본조사, 시공중 보완조사) 조사내용 불명확
 - 물리탐사와 시추조사 병행추진으로 효율적 지반조사 불가능
 - 단계별 조사결과 검토에 의한 상호 연계적 분석 결여
- 조사방법 및 적용기준 등이 탄력적이지 못함
 - 현장여건 고려없이 시추간격 300m마다 1공, 심도는 계획고하 2m 적용
 - 보링은 NX규격, 일률적 물리탐사법(전기비저항탐사) 적용
- 토질조사 불충분 구간에 대한 시공중 보완조사 설계반영 기준 불명확

IV 개선방안 검토

1. 단계별 토질조사 수행에 의한 효율성 향상

- 기존자료 조사, 현장답사, 물리탐사, 시추조사, 시험(현장, 실내) 등 단계별 검토결과가 연계분석될 수 있는 조사체계 정립



※ 기본설계와 실시설계 분리발주시는 노선특성에 따라 조정 가능

- 先 물리탐사 시행 후, 그 결과를 반영한 시추조사 시행
 - 가탐심도를 고려한 물리탐사 시행, 심도 등을 고려한 시추조사
- 조사단계별 지반조사계획서 작성, 감독원 사전보고 의무화
- 효과적인 연계분석을 위해 최종 성과분석은 경험풍부한 전문가가 수행

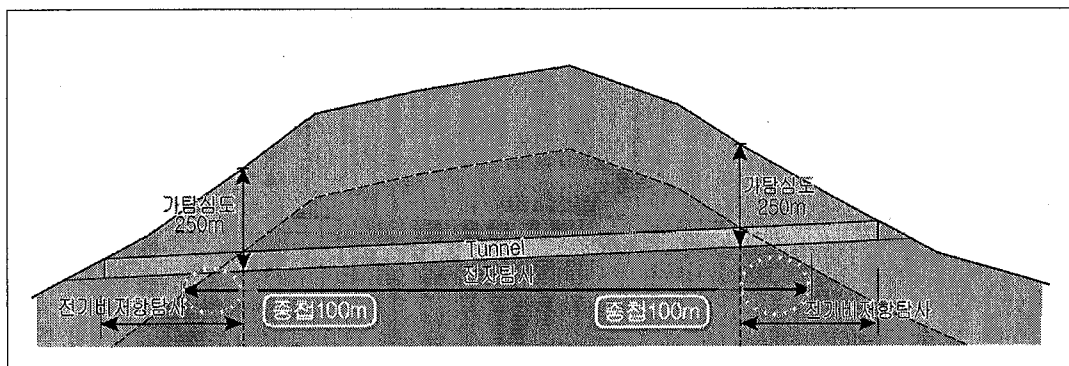
2. 물리탐사 방안 개선

○ 물리탐사 비교

- 전기비저항탐사는 심도 약 250m 이내에서 정밀도가 높으나, 그 이상의 심도에서는 정밀도가 매우 떨어짐(가탐심도 200~250m)
- 전자탐사는 전기비저항탐사보다 상대적으로 정밀도(심도250m이내)는 떨어지나 대심도 조사에서는 유리한 탐사법(가탐심도 약 1,000m)

○ 가탐심도를 고려한 물리탐사 시행

- 터널계획 심도 250m 이하구간 : 전기비저항탐사 적용
- 터널계획 심도 250m 초과구간 : 전자탐사 적용
- ☞ 전자탐사구간 양끝단 100m 구간은 전기비저항탐사와 중복수행 상호 연계분석하여 탐사성과의 신뢰성 향상 도모
- ☞ 전자탐사 적용 구간의 연장이 짧거나, 심도 250m를 초과하는 심도가 얇은 경우에는 전기비저항탐사 적용여부 사전 검토



○ 터널입출구부의 탄성파탐사

- 지형·지질의 변화가 많은 구간이므로 격자상(터널 종·횡방향)으로 실시

○ 파쇄대·연약대 등 지질이상대가 예상되는 구간의 물리탐사

- 지반특성의 입체적 파악을 위해 전기비저항탐사(또는 전자탐사)를 격자상(터널 종·횡방향)으로 실시

3. 현장여건을 감안한 시추조사

- 물리탐사 결과에 의한 지반특성별 시추간격(기준 300m) 탄력적 적용
 - 파쇄대 등 지질이상대 구간은 정밀조사 시행(시추간격 축소 등)
 - 물리탐사 결과에 근거한 시추조사계획서 작성
- 터널입출구부 및 저토피구간은 가능한 수직시추 시행
 - 수직시추 불가시 수평 또는 경사시추 등 조사방안 마련
- 시추조사 지점이 파쇄대·연약대 등 지질이상대 또는 암종 경계부 등으로 지질구조 확인 시에는 필요한 심도까지 시추 가능
- 민원, 환경훼손, 장비진입 곤란 등의 사유로 시추조사가 불가능한 경우
 - 현장여건별 시추조사 가능여부, 최근접점 시추 또는 경사시추 등 시추조사계획 수립(감독원 검토·확인)
 - 시추조사 불가구간이 1km이상 또는 지질이상대가 예상되는 구간은 헬기활용에 의한 조사방안(심도, 공수, 비용 등) 검토
- ☞ 백두대간, 녹지자연도8등급, 생태자연도1등급 등은 환경훼손 및 지형적 여건, 관련기관 협의 등을 감안하여 시추조사 현실화
⇒ 물리탐사 결과를 토대로 지질이상대 구간은 최근접점 시추 및 헬기 조사 방안을 검토하고, 기타 구간은 시추공수 최소화 방안 검토
(인제터널[11km]의 경우 : 실시설계시 15공 시추, 턴키설계시 6공 헬기시추)
- 시추규격은 NX를 원칙으로 하되, 대심도(200m이상)의 경우 NQ규격의 와이어라인(W.L)공법 등 효율적 공법 적용 가능
 - 암석시료의 실내시험 등을 감안 코어직경은 가능한한 50mm이상
- ※ W.L공법 : 비트교환시만 로드를 인발·삽입하므로 심도 200m이상의 균질암반 시추에 효과적(지반조사 표준품셈)

4. 시공중 보완조사 설계반영

- 터널입출구부, 저토피구간으로 시추조사 미시행(불충분) 구간
 - 실시설계시 미시행한 시추조사, 화상정보시험 등 반영
 - ☞ 지형여건에 따른 지층변화가 심할 것으로 예상될 경우, 시추조사 추가반영 등 예방적 설계추진 검토(설계변경 증액 최소화)
(여주~양평 2-2공구 금사3터널 저토피구간 시추조사 설계 2공 반영, 실제 6공 시행)
- 물리탐사 및 시추조사 결과, 파쇄대·연약대 등 지질이상대 예상구간
 - 지질이상대 위치별 터널내 탄성과 탐사 각 1회 반영
 - 지질이상대의 전기비저항치 또는 탄성과 속도가 인접구간에 비해 매우 작아 암편확인이 필요한 경우 선진수평보링 반영
- ※ 터널막장 전방 암질 예측방안 검토(설계구10201-452 ; 2003.11.18) 적용
- 터널시공에 따른 지하수(우물) 등의 고갈로 민원이 예상되는 경우
 - 시공전 지하수 등의 변화를 측정할 수 있는 시추공 반영

V 검토결론

- 예비조사, 본조사, 시공중 보완조사 등 조사체계 정립
 - 先 물리탐사 시행 후, 그 결과를 반영한 시추조사 시행
- 터널계획 심도 250m 초과구간 : 전자탐사 적용
- 물리탐사 결과에 의한 지반특성별 시추간격(기준 300m) 탄력적 적용
 - 지질이상대 등 지질구조 확인 시에는 필요한 심도까지 시추 가능
 - 현장여건상 시추조사 불가능시, 조사계획수립 감독원 검토·확인
 - 대심도(200m이상)의 경우 NQ규격의 효율적 공법 등 적용

☐ 시공중 보완조사 설계반영

- 터널입출구부 · 저토피구간 설계시 미시행한 시추조사 등 반영
- 파쇄대 등 지질이상대 구간, 터널내 탄성과 탐사 및 선진수평보링 반영

☐ 설계발주시 적용 토질조사 기준 개선(안)

조사항목	실시설계	기본설계
시추조사	· 터널 입출구부 각각 2개소 300m마다 1개소 (심도 : 계획고하 2m)	· 500m이상 6개소(사중점, 중앙 상하) · 500m이하 4개소(사중점 상하)
탄성과 탐사	· 터널개소당 입출구부 필요한 연장(Cross Hole Test)	· 터널 시중점부 시추조사 미시행구간 전연장
전기비저항탐사	· 터널계획심도 250m 이하구간 전연장	· 터널계획심도 250m 이하구간 (분리터널인 경우 한 측선만 시행)
전자탐사	· 터널계획심도 250m 초과구간 전연장	· 터널계획심도 250m 초과구간 (분리터널인 경우 한 측선만 시행)

VI 적용 방안

☐ 2009.6 현재 설계 중인 노선부터 적용

- 노선별 토질조사 추진일정에 따라 적용방안 검토

붙임 : 1. 전기비저항탐사와 전자탐사 비교

2. 개선사항 적용에 따른 신규단가 검토

□ 전기비저항탐사와 전자탐사 비교

구 분	전기비저항탐사	전자탐사
탐사 원리	· 한쌍의 전류전극을 통하여 직류 또는 저주파수의 교류를 땅속에 흘려보내고, 다른 한쌍의 전위전극에서 두지점사이의 전위차를 측정함으로써 지하의 전기비저항 분포를 결정하고 지하 지질구조를 해석하는 방법	· 지하에 흐르는 대규모 자연전류 (지전류)에서 유도된 전자기파를 측정하거나, 전자기파를 입사하여 유도된 산란전류를 이용하여 이상체 및 지질구조에 대한 정보를 얻어내는 방법
탐사 종류	· 전극배열방법에 따라 웨너, 슬럼버저, 쌍극자, 단극배열 등 방법	· MT법, AMT법, CSAMT법, CSMT법 등
탐사 심도	200m ~ 250m	약 1,000m
습득 정보	· 지층분포, 단층파쇄대, 풍화대, 대수층, 열수변질대	· 지층분포, 단층파쇄대, 풍화대, 대수층, 열수변질대
조사 방법	· 전원, 전류송신기, 전위측정기, 전선, 전극절환장치 사용	· 송신루프, 수신루프, 수신코일 사용
조사단가	약 790만원/km (부산외곽순환선 설계가)	약 1,000만원/km (전적단가)
적용상 장 점	가탐심도내에서 다른 탐사법에 비해 정밀도가 높음	가탐심도가 깊고, 탐사여건이 열악한 하부지역 정보획득 가능
적용상 문제점	· 측선방향으로 지층구조가 현저하게 변하는 경우 성과 신뢰도 떨어짐 · 송전선, 철도, 철구조물 등에 의해 이상 측정이 발생하기도 함	· 고압선, 발전소, 무선중계소 등의 전자기 잡음에 의해 측정 정밀도가 떨어질 우려가 있음
적용사례	· 현재 대부분 적용	· 대심도 터널 터키설계 적용 인제터널, 배후령터널 등

【붙임 #2】

□ 개선사항 단가 검토

○ 물리탐사 단가 검토

물리탐사	단가(km)	근 거	비고
전기비저항탐사	7,907천원	부산외곽순환 실시설계	
전자탐사	약 10,000천원	견적처리	

○ 헬기이용 시추조사 추가비용(사례조사)

고속도로명	터널명	헬기이용 시추공수	평균시추 심도	헬기비용 (1공)	비고
춘천~동홍천	인제터널	6공	340m	2,000만원	턴키, 실비정산 시추비용 별도

【헬기사용 단가구성 (예)】

- 회송료 : 헬기기지 ↔ 현장 운항비용(시간당 단가)
(설치 및 철거시 각 1회 왕복시간 반영)
 - 장비운반료 : 현장 ↔ 시추위치(운반회수당 단가, 유류대 포함)
(장비중량, 헬기적재량, 운반거리의 함수)
- ※ 시추심도에 따라 장비중량이 증가하여 장비운반 회수 증가

○ 시추조사 NQ규격 단가

- 현 설계서상 시추조사(NX규격, 연암층이상) 단가는 심도 40m이상
경우, 심도와 상관없이 동일단가 적용
- NQ규격 단가는 200m이상의 대심도에 적용되는 현장어건(작업효율성)과
현 NX규격의 적용단가 등을 감안하여 NX규격과 동일한 단가 적용

I 목 적

화재등 사고로 인해 천정부 전원공급선이 단락, 지락되는 경우에 사고구역 이외의 선로는 정상적으로 전원공급이 될 수 있도록 정부 관련지침 개정애 맞추어 터널 비상조명회로의 배선방법을 개선코자 함

II 관련지침 개정

[도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (국토해양부 2009.4 개정)]

5.1 비상조명등

5.1.3 설치지침

(4) 무정전전원설비에 의한 비상조명등의 전원공급선로는 공동구 및 벽체매입 배관방식으로 시설하고 피난연결통로의 설치간격을 2개의 구역으로 나누어(구역당 길이 : 약 125~150m) 구역별 분기차단기를 설치 [신설]

III 신설 터널현황

구 분	계	1,000m이하	1,000m이상	비고
계	95 개소	69 개소	26 개소	
2009년	21 개소	18 개소 ·대전당진 : 7 ·서천공주 : 5 ·춘천동홍천 : 4 ·주문진속초 : 2	3 개소 ·춘천동홍천 3	
2010년	37 개소	24 개소 ·전주광양 : 24	13 개소 ·전주광양 : 13	
2011년	37 개소	27 개소 ·목포광양 : 24 ·신갈호법 : 1 ·진주마산 : 2	10 개소 ·목포광양 : 9 ·신갈호법 : 1	

IV 개선사항

□ 터널 심야(주행선) 조명회로 공동구 배선시행

현 행			개 선		
조명회로	전원공급	배선방법	조명회로	전원공급	배선방법
맑 음	상용전원	천정상부 트레이	맑 음	상용전원	천정상부 트레이
흐 림	상용전원		흐 림	상용전원	
일 · 출물	발전기		일 · 출물	발전기	
야 간	발전기		야 간	발전기	
심야(추월)	UPS		심야(추월)	발전기	
심야(주행)	UPS		심야(주행)	ups	공동구

☞ 세부개선내용

- 대상터널 : 200m이상 터널로 UPS에 의해 전원이 공급되는
심야회로가 설치된 터널
 - 배선방법 : 주간선[공동구 배선], 분기선 [천정상부 트레이 배선]
·입상은 벽체매입 배관배선 (공동구내 분기접속 금지)
 - 분기방법 : 분기회로별 분기차단기 설치
·단자대는 방수형 박스내 설치
 - 분기위치 : 피난연결통로의 설치간격을 2개 구역으로 분할
·구역당 길이 약 125 ~ 150m
·500m이하 또는 피난연결통로 간격이 지침과 상이한
터널은 구역당 길이를 150m미만으로 균등 배분
- ※ 공사비 증감 : 증 56백만원 [2차로 콘크리트 1,000m터널 기준]

□ 심야회로 전원공급 방법 이원화

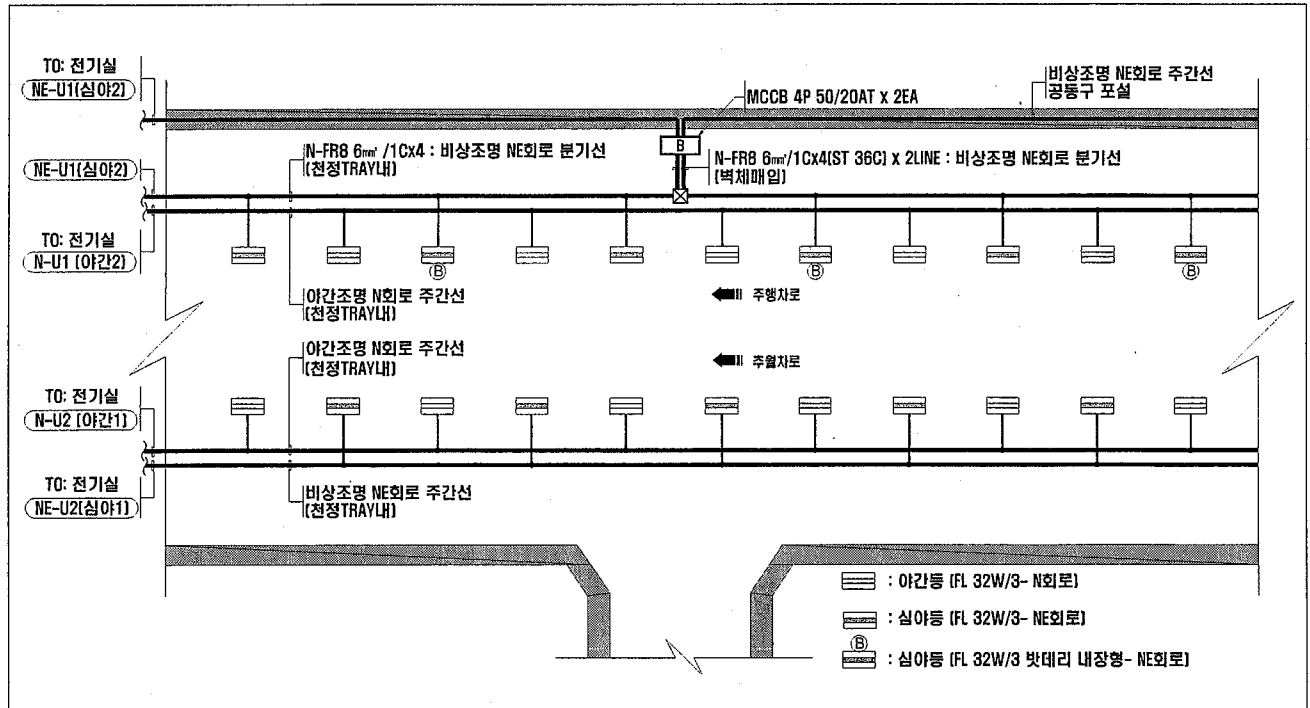
조명회로	행 선	설계조도	전원공급	전 선	비 고
심야(NE)	추월선	10룩스	발전기	난연전선 이상	
	주행선	10룩스	UPS	내화전선	분기선 포함

- ☞ 관련지침 개정 : 무정전전원장치(UPS)에 의한 최저조도 변경
[당초 : 15룩스 ⇒ 개정 : 10룩스]

□ 회로개선에 따른 야간조명 감운영 세부방법 개선 [붙임참조]

[관련문서 : 터널조명 설계기준 개선 (시설처 - 2990 (2008. 10. 16)]

V 개선 터널전등 회로도



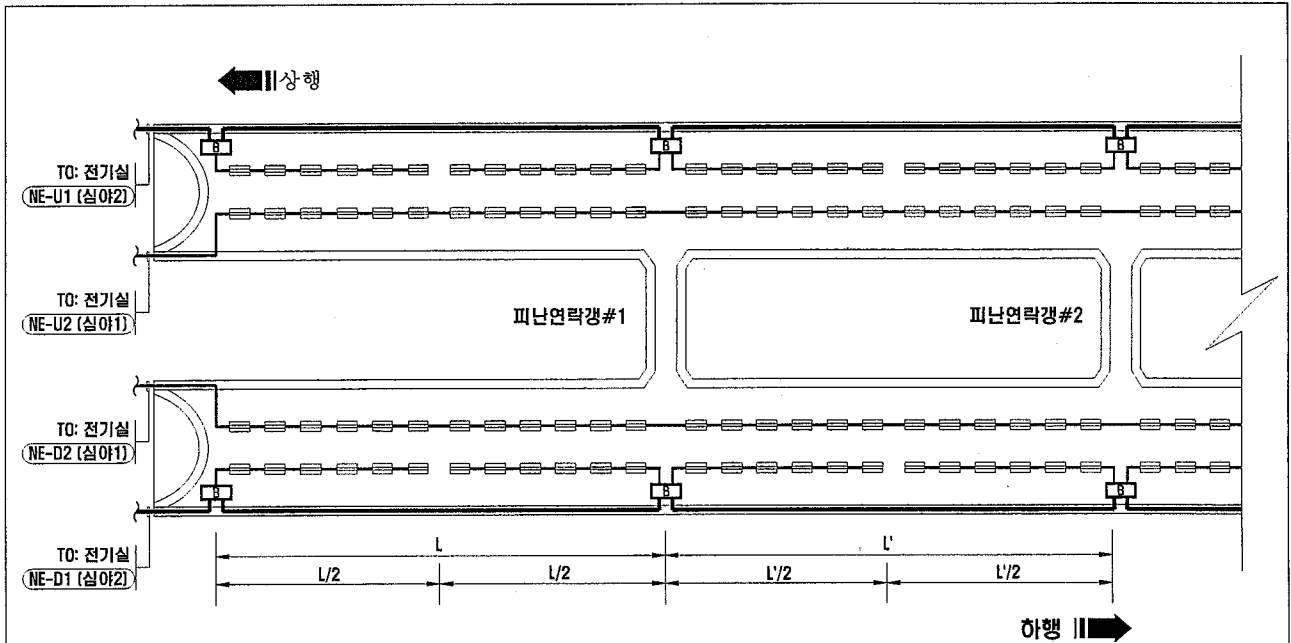
VI 추진계획

- 현 시공중인 현장은 현장여건을 감안하여 설계변경 시행
- 향후 설계시 반영

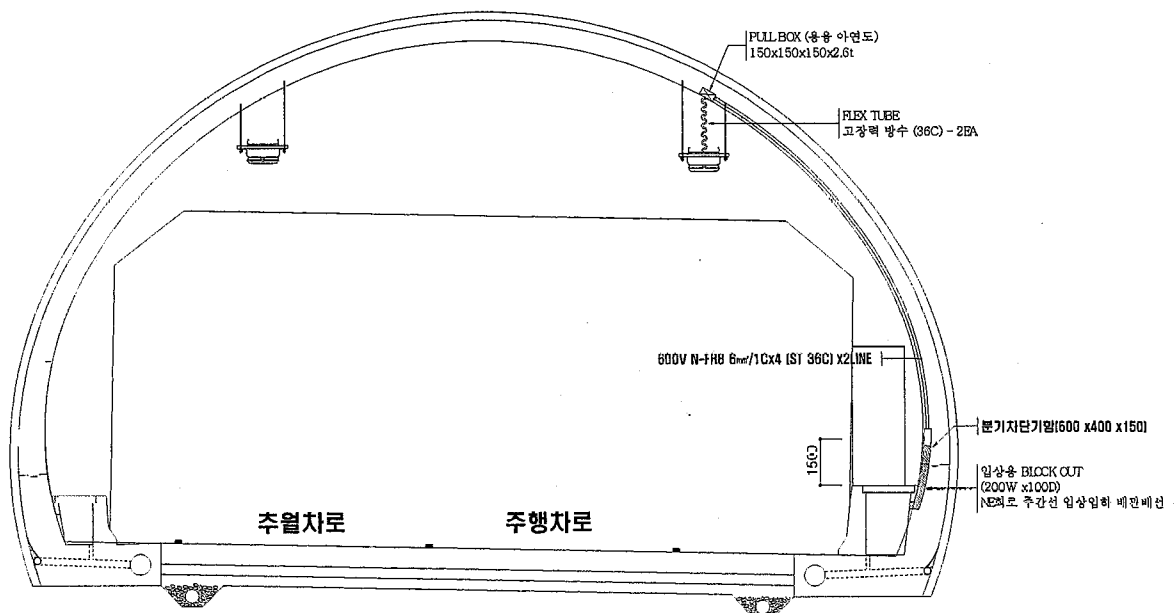
1. # 붙임

1. 터널 비상조명회로 배선방법 세부상세도 1부.
2. 개선 야간조명 감운영 세부방법 1부.
3. 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (비상조명등) 1부.

터널 비상조명회로 배선방법 세부상세도

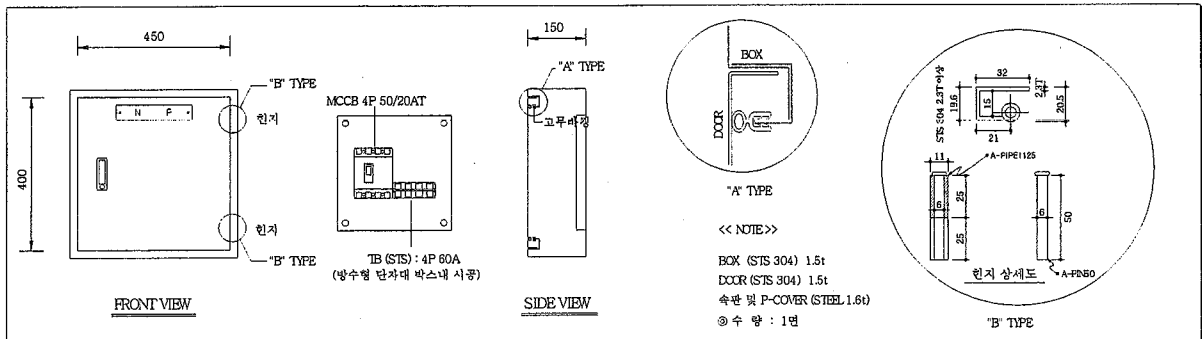


비상조명회로 일반도

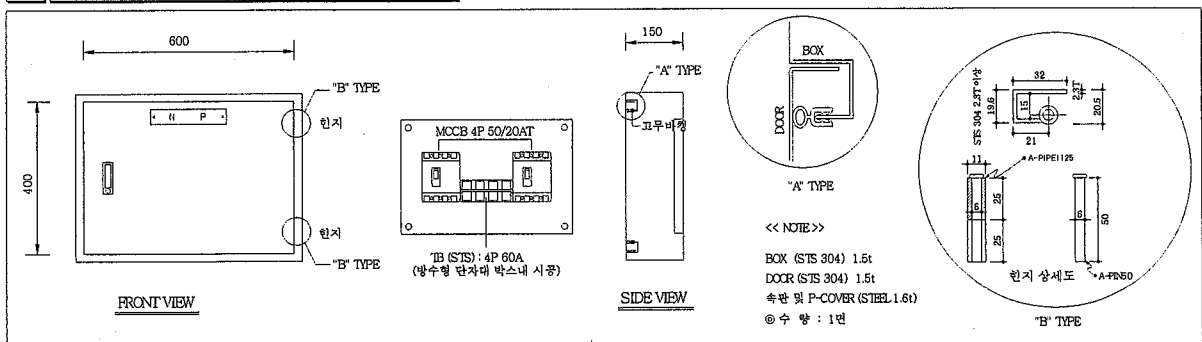


비상조명회로 설치 단면도

분기차단기함 (1회로용)



분기차단기함 (2회로용)



분기차단기함 상세도

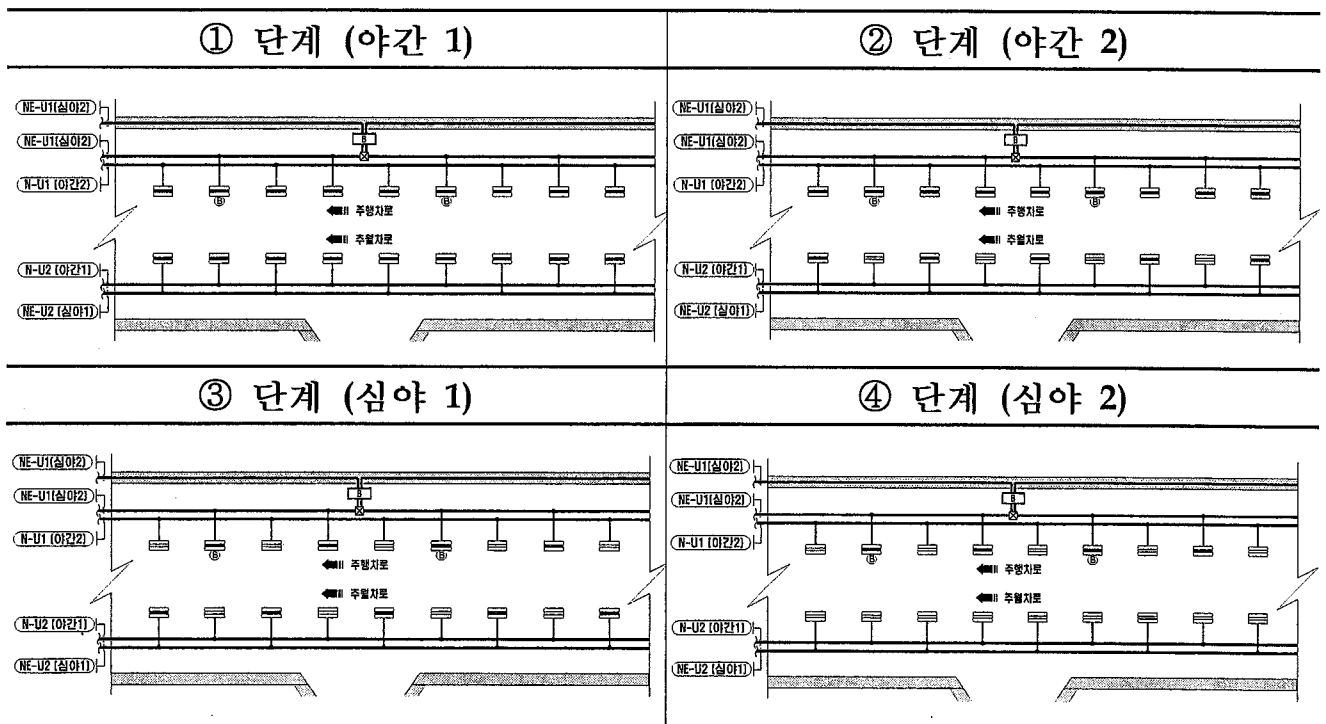
개선 야간조명 감운영 세부방법

□ 운영단계별 점등방법

단 계	설계조도	점등방법				비 고 (보수율감안)
		야 간 등		심 야 등		
		주행	추월	주행	추월	
①	40 룩스	○	○	○	○	66 룩스
②	30 룩스	○	×	○	○	50 룩스
③	20 룩스	×	×	○	○	33 룩스
④	10 룩스	×	×	○	×	17 룩스

※ 감운영한 야간등은 주간시는 모두 점등

□ 운영단계별 회로도



□ 신설터널 초기 감운영 (예시)

구 분	기준조도	운영시간	운영방법	
			현 행	감운영
야 간	30룩스	일몰이후 ~ 24:00	① 단계	② 단계
심 야	15룩스	24:00 ~ 일출이전	③ 단계	④ 단계

※ 연간 실 조도 측정후(보수율 감안) 기준조도 범위내 감운영 방법변경

도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (비상조명등)

제 5 장 피난대피설비 및 시설

5.1 비상조명등

5.1.1 일반사항

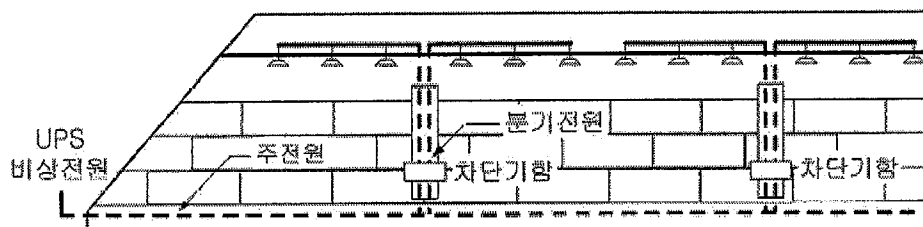
- (1) 터널은 사고나 화재로 인해서 정전이 되면 이차적인 사고를 유발할 위험성이 크며, 신속한 대피에 가장 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 비상조명등은 정전 시 이차적인 사고를 방지하고 안전하고 원활한 피난대피활동을 할 수 있도록 조도를 확보하기 위한 설비이다.
- (2) '비상조명등'이라 함은 야간점등회로를 이용하여 정전 시에도 안전하고 원활한 대피활동을 할 수 있도록 본 선터널 및 대피시설 등에 설치하여 자동점등되는 조명등을 말한다.
- (3) 본 설치지침에 언급되지 않은 사항은 비상조명등의 화재안전기준(NFSC 304)에 준한다.

5.1.2 기기사항

- (1) 무정전전원설비에 의해 전원이 공급되는 비상조명은 차도 및 보도의 바닥면의 기준 최저 10lx 이상의 조도를 확보하여야 하며, 전원공급은 내화전선을 사용한다.
- (2) 비상발전에 의해 점등되는 조명의 조도는 기본부 조명의 최저 1/2 이상을 확보하여야 하며, 전원공급은 난연전선 또는 동급 이상을 사용한다.

5.1.3 설치지침

- (1) 연장 500m 이상의 터널에 설치하며, 연장 200m 이상의 위험도기준등급 4등급 터널은 필요시 설치할 수 있다.
- (2) 예비전원을 내장하는 비상조명등을 설치하는 경우에는 평상시 점등 여부를 확인할 수 있는 점검 스위치를 설치하고, 해당 조명등을 60분 이상 유효하게 작동시킬 수 있는 용량의 축전지와 예비전원 충전장치를 내장하여야 한다.
- (3) 예비전원을 내장하지 않는 비상조명등을 설치하는 경우에는 옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)에 준하여 비상전원을 설치하여야 한다.
- (4) 무정전전원설비에 의한 비상조명등의 전원공급선로는 공동구 및 벽체매입 배관방식으로 시설하고 피난연결 통로의 설치간격을 2개의 구역으로 나누어(구역당 길이 ; 약 125~150m) 구역별 분기차단기를 설치하여, 화재 등 사고로 인해 천정부 전원공급선이 단락, 지락되는 경우에 해당구역의 차단기만 차단되어 사고구역 이외의 선로는 정상적으로 전원이 공급될 수 있도록 <그림 5.1>과 같이 전원공급선로를 구성한다.



<그림 5.1> 비상조명등 설치 개념도

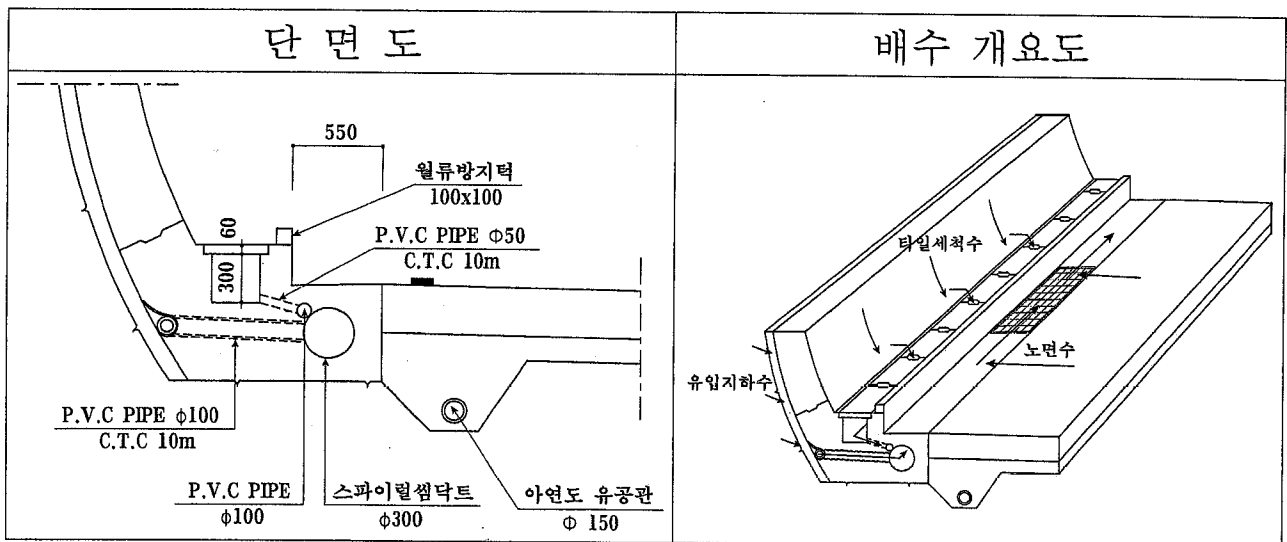
I 검토목적

- 터널 타일세척수의 오염물질 처리를 위해 개선 적용한 배수관로와 터널에서 타일세척수 처리시설까지의 배수관로 연결방안에 대하여 시공성, 유지관리성 등을 감안한 개선방안을 검토코자 함

※ 개선적용 : 터널유출수 종합관리대책(건설환경실-2409 ; 2007.11.28)

II 현행 설계단면

- 터널 타일세척수와 유입지하수 배수관로를 분리하여 타일세척수 별도 집수처리



- 타일세척수 배수관로(PVC Pipe $\phi 100\text{mm}$)와 유입지하수 배수관로(스파이럴섀드트 $\phi 300\text{mm}$) 분리 설치
- 공동구 연결배수관(PVC Pipe $\phi 50\text{mm}$, 간격 10m)을 타일세척수 배수관로에 연결
- 타일세척수 배수관로를 세척수 처리시설에 직접연결
- 월류방지턱(100x100) 설치

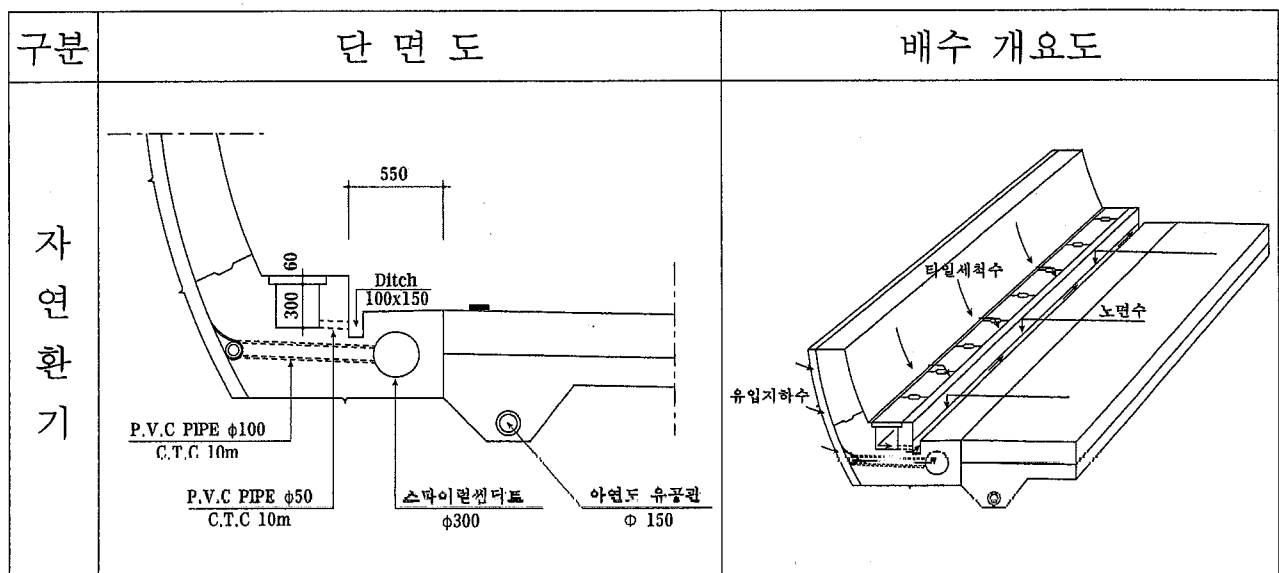
III 문제점

- 공동구부 PVC Pipe 매설 및 월류방지턱 설치에 따른 시공성 저하
- PVC Pipe($\phi 100\text{mm}$)내 침전물 발생시 유지관리(청소 등) 곤란
- 노면으로 유입된 타일세척수와 차도내 발생 노면수가 집수정을 통해 터널유입지하수와 혼합유출되므로 오염물질 처리대책 마련 필요
- 타일세척수 배수관로와 세척수 처리시설간 연결방안 세부기준 수립필요

IV 개선방안

□ 타일세척수 배수관로 체계 개선

- 디치(Ditch)를 통한 타일세척수 분리배수
 - 공동구와 디치(Ditch)를 PVC Pipe($\phi 50\text{mm}$, 간격 10m)로 연결
 - 배수관로(PVC Pipe $\phi 100\text{mm}$) 및 월류방지턱 미설치



※ 기계환기 Ditch 규격 : 공동구 바닥면과의 높이차를 감안 100×100mm 적용

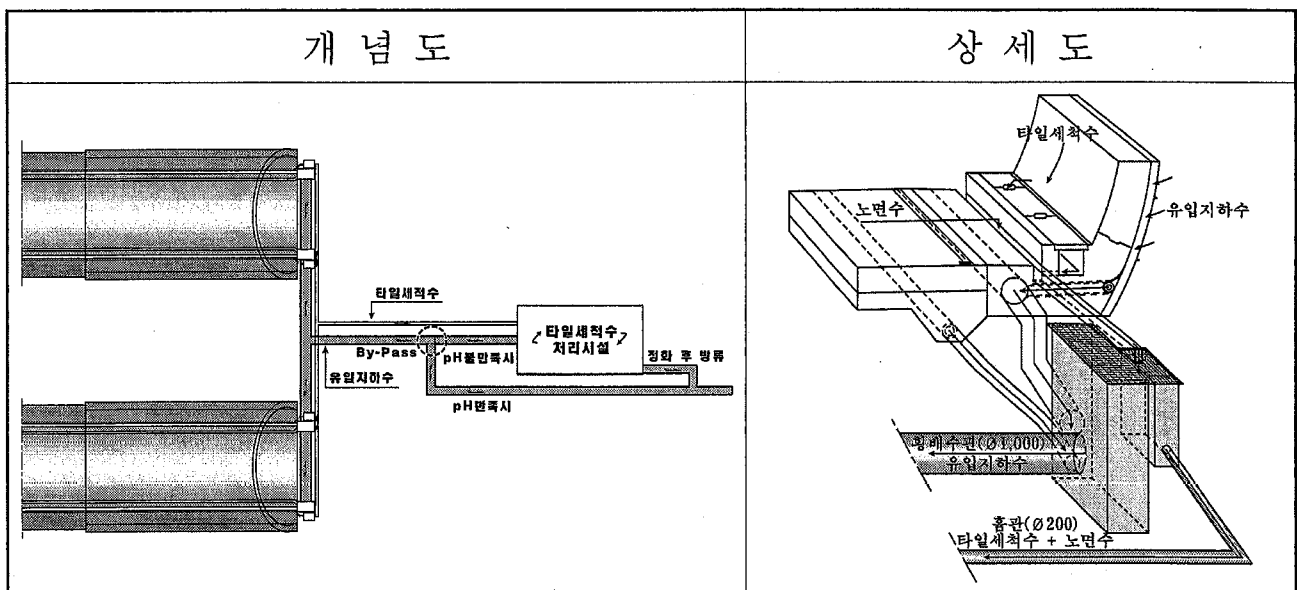
※ Ditch 규격은 터널연장, 종단경사 등에 따른 영향검토 후 설계 적용

○ 개선효과 및 관리방안

- 공동구부 세척수 배수관로 및 월류방지턱 미설치에 따른 시공성 향상
- 타일 세척 등으로 인한 오염물질 육안확인 및 유지관리(청소) 용이
- 차로내 발생 노면수(노면유입 타일세척수 포함)를 터널 유입지하수와 분리 배수하여 수질오염 예방가능
- Ditch내 쌓이는 이물질 타일 청소시 제거 등 주기적인 유지관리 필요

□ 타일세척수 처리시설 연결 배수관로 설치방안

- 터널 외부로 유출된 유입지하수 및 타일세척수와 타일세척수 처리 시설(필요시 pH저감시설 병행설치)간의 배수관로 연결체계 정립



- 터널입출구 지형 및 중앙분리대 처리형식, 종단경사 등의 현장여건과 경제성을 감안한 연결방안 마련(붙임#4 참조)
- 유입지하수 pH 측정 등 유지관리의 효율성 등을 감안하여 타일세척수 처리시설 입구부에 By-Pass 기능 설치
- 터널입출구에 집수정을 설치하여 1차로 미세 침전물을 제거한 후 배수관을 이용하여 타일세척수 처리시설로 유도

- 타일세척수와 터널지하수 배수를 위한 집수정 설치시 단차로 인한 간섭이 발생하지 않도록 계획
- 겨울철 동파 방지를 위하여 동결심도 이하로 배수관 매설
- 집수정 및 배수관 규격은 터널유입지하수 등 배수용량, 유지관리를 감안하여 설치

o 공사중 터널유입지하수 pH기준(6.5~8.5) 만족시 배수관로 연결방안

- 공사중 터널유입지하수의 pH치를 지속적으로 모니터링하여 기준치를 만족할 경우, 현장여건을 감안하여 세척수처리시설을 통하지 않고 방류 가능
- 단 유입지하수와 세척수처리시설간 연결관로(By-Pass 기능 포함) 설치 필요
 - 타일 청소 이후, 유입지하수를 세척수처리시설 내부로 흘려보내 세척수 처리시설에 오염된 세척수가 잔류하지 않도록 조치(붙임#5 참조)

V 적용방안

- o 설계완료 후 미발주 노선 또는 공사중 노선 : 공사시행부서에서 검토 후 조치
- o 설계 중 노선 : 본 방침 적용

- 붙임 : 1. 타일세척수 Ditch 규격 검토
2. 배수상세도
 3. 공사비 검토(PVC Pipe or Ditch)
 4. C-channel 공사비 산출근거
 5. 공사중 pH기준 불만족시 배수관 연결(안)
 6. 공사중 pH기준 만족시 배수관로 연결(안)

【붙임 #1】

타일세척수 Ditch 규격 검토

□ 청소시 세척수 발생량

(“터널유출수 종합관리대책” 개선방안 ; 건설환경실-1961호 2008.8.5)

A1. 고속도로 터널설계 실무자료집 기준 발생량 : **0.250m³/min**

* 세척수 사용량 : 15ℓ/m, 청소 속도 : 1,000m/hr

$$\Rightarrow \text{세척수량}(Q) = (15\ell \div 1,000m) \times 1,000m/hr \times (1/60) = 0.25m^3/min$$

A2. 터널 청소장비(ZT33-332) 제원 기준 발생량 : **0.0784m³/min**

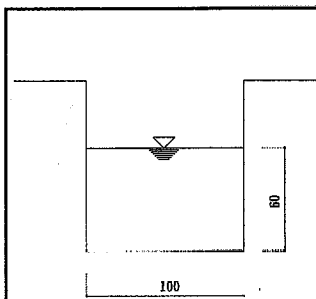
* 세척수 사용량 : 4.9ℓ/m², 청소 속도 : 8m/min,

터널내 타일면적(m²) ≙ [터널연장(m)] × 2

$$\Rightarrow \text{세척수량}(Q) = 0.0784m^3/min$$

$$\left[\frac{8m}{1min} \times \frac{1}{\text{터널연장}(m)} \right] \times (\text{터널연장}(m) \times 2m) \times \frac{4.9\ell}{1m^2} \times \frac{0.001m^3}{1\ell}$$

□ 배수구 단면 결정(단면적 가정:100×60mm)



$$Q_a = AV = A(1/n)R^{2/3}I^{1/2}$$

$$\text{유효단면적}(A) = 0.1 \times 0.06 = 0.006m^2$$

$$\text{조도계수}(n) = 0.013$$

$$\text{동수반경}(R) = A/P = 0.006 / (0.1 + 0.06 \times 2) \approx 0.0273m$$

$$\text{동수경사}(I) = 0.3\%$$

$$Q_a = 0.006 \times 1 / 0.013 \times (0.0273)^{2/3} \times (0.003)^{1/2}$$

$$= 0.00229m^3/sec$$

□ 판 정

A1. 고속도로 터널설계 실무자료집 기준 발생량 = 0.250m³/min

$$= 0.00417m^3/sec \div 2(\text{양방향}) = 0.00208m^3/sec$$

A2. 터널 청소장비(ZT33-332) 제원 기준 발생량 = 0.0784m³/min

$$= 0.00131m^3/sec \div 2(\text{양방향}) = 0.000655m^3/sec$$

청소작업 발생유량 : 0.00208m³/sec < Ditch통수량 : 0.00229m³/sec → O.K

※ Ditch 규격은 터널의 연장, 종단경사 등에 따른 영향검토 후 설계적용

배수 상세도

구 분	자연환기	기계환기
단 면 도		
평 면 도		
단 면 A-A		

공사비 검토(PVC Pipe or Ditch)

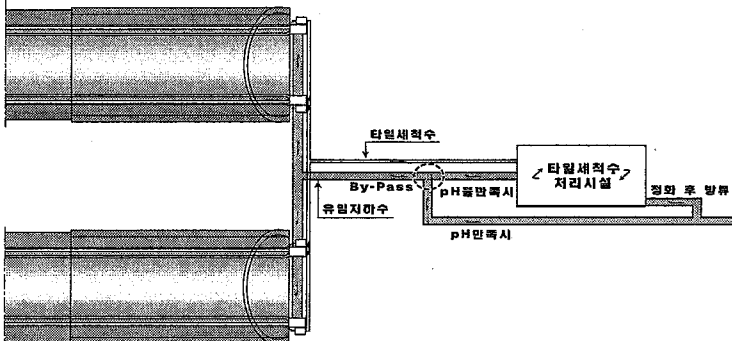
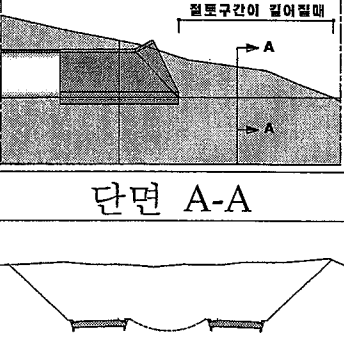
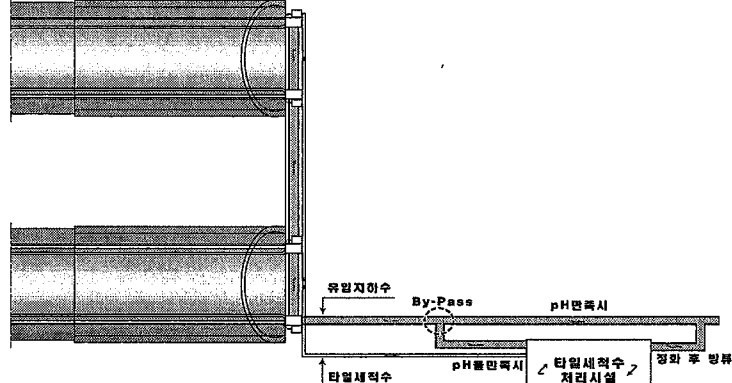
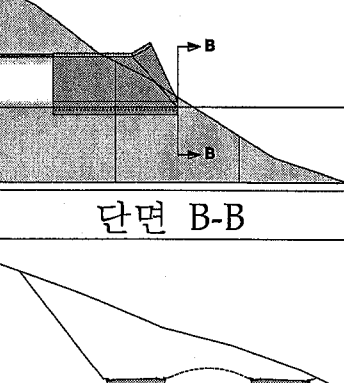
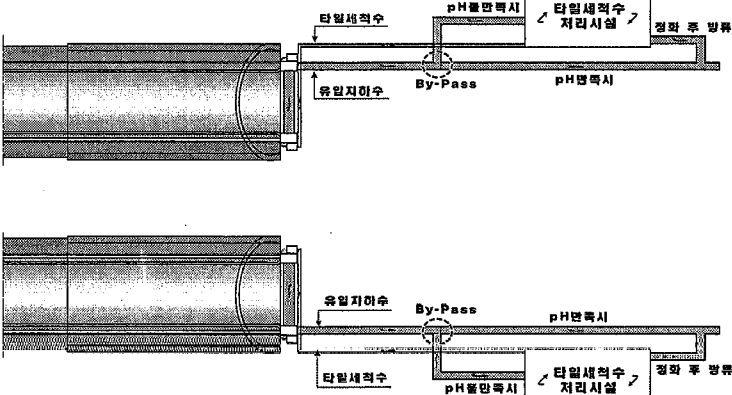
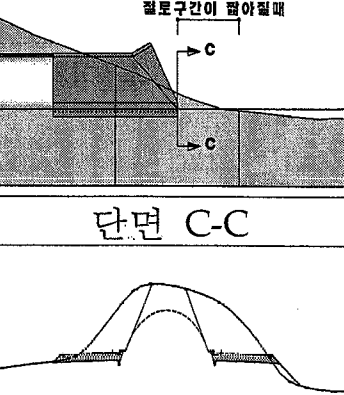
구분			규격	수량	단위	재료비		노무비		경비		합계	
						단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
자 연 환 기	오폐수 분리관 적용시	콘크리트 (월류방지턱)	fck=240	0.020	m ³	37,222	744	26,866	537	14,989	300	79,077	1,582
		거푸집 (월류방지턱)	매끈한면	0.400	m ²	실적단가 적용						21,366	8,546
		P.V.C Pipe	φ 50	0.067	m	1,453	98	76	5	-	-	1,529	103
			φ 100	1.000	m	4,406	4,406	666	666	-	-	5,072	5,072
		총공사비(원)	15,303										
	Ditch 적용시	콘크리트공제 (Ditch)	fck=240	0.030	m ³	37,222	1,117	26,866	806	14,989	450	79,077	2,372
		거푸집 (Ditch)	매끈한면	0.600	m ²	실적단가 적용						21,366	12,820
		□-channel	100x155	0.04	EA	22,733	909	66,814	2,673	2,225	89	91,772	3,671
		P.V.C Pipe	φ 50	0.040	m	1,453	58	76	3	-	-	1,529	61
		총공사비(원)	14,180(▽1,123)										
계 환 기	오폐수 분리관 적용시	콘크리트 (월류방지턱)	fck=240	0.020	m ³	37,222	744	26,866	537	14,989	300	79,077	1,582
		거푸집 (월류방지턱)	매끈한면	0.400	m ²	실적단가 적용						21,366	8,546
		P.V.C Pipe	φ 50	0.108	m	1,453	157	76	8	-	-	1,529	165
			φ 100	1.000	m	4,406	4,406	666	666	-	-	5,072	5,072
		총공사비(원)	15,365										
	Ditch 적용시	콘크리트공제 (Ditch)	fck=240	0.020	m ³	37,222	744	26,866	537	14,989	300	79,077	1,582
		거푸집 (Ditch)	매끈한면	0.400	m ²	실적단가 적용						21,366	8,546
		□-channel	100x105	0.04	EA	16,651	666	48,942	1,958	1,630	65	67,223	2,689
		P.V.C Pipe	φ 50	0.076	m	1,453	110	76	6	-	-	1,529	116
		총공사비(원)	9,769(▽5,596)										

【붙임 #4】

ㄷ-channel 공사비 산출근거

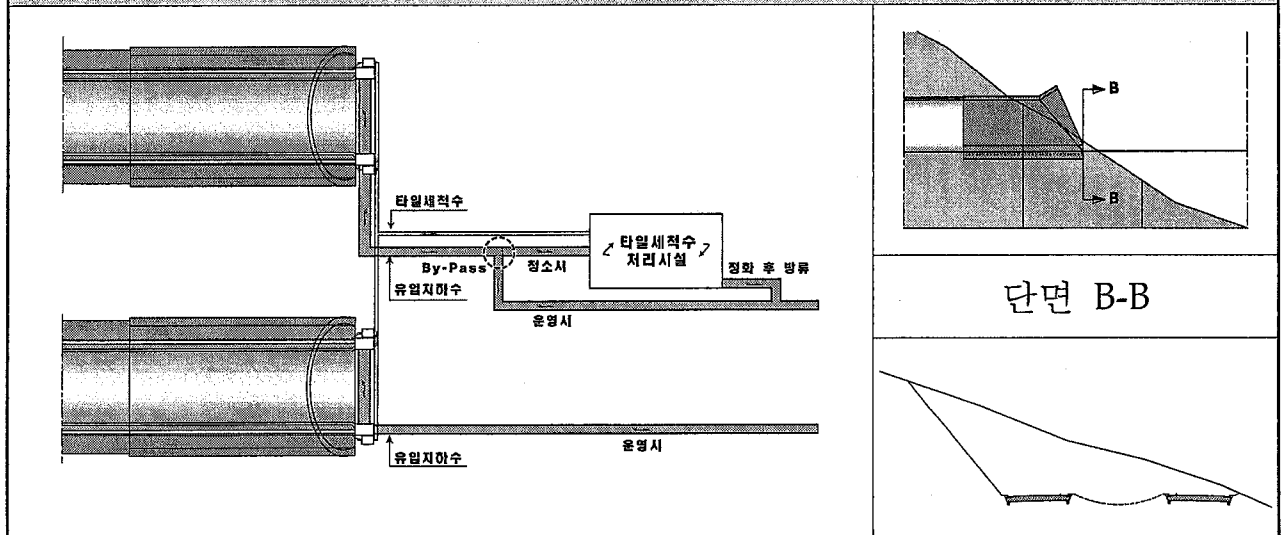
구분	산 출 근 거	재료비	노무비	경 비	합 계	비 고
자 연 환 기	· 제원 : ㄷ-100x155x5x7 (L=1.2m, 0.0243 TON/EA)					
	1.재료비					
	· 강 판 : $1\text{TON} \times 850,000 \times 0.0243 \times 1.1 = 22,721$	22,721			22,721	
	· 고재대 : $1\text{TON} \times (-325,000) \times 0.0243 \times 0.1 = -790$	-790			-790	
	소 계 :	21,931			21,931	
	2.제작 및 설치비(잡철물)					
	1)재료비					
	· 용접봉 : $15.71\text{KG} \times 982 \times 0.0243 = 375$	375			375	
	· 산 소 : $5355\text{L} \times 6,000/6000 \times 0.0243 = 130$	130			130	
	· 아세틸렌 : $2.4\text{KG} \times 5,000 \times 0.0243 = 292$	292			292	
기	· 유지(경유) : $0.17\text{L} \times 1,126 \times 0.0243 = 5$	5			5	
	소 계 :	802			802	
	2)노무비					
	· 철공(LAL1) : $21.80\text{인} \times 111,574 \times 0.0243 = 59,105$		59,105		59,105	
	· 인부(LAL2) : $0.56\text{인} \times 66,622 \times 0.0243 = 907$		907		907	
	· 용접공(LAL3) : $2.21\text{인} \times 102,522 \times 0.0243 = 5,506$		5,506		5,506	
	· 특별인부(LAL4) : $0.63\text{인} \times 84,686 \times 0.0243 = 1,296$		1,296		1,296	
	소 계 :		66,814		66,814	
	3)경비(기구손료)					
	· 용접기손료 : $17.71\text{HR} \times 72 \times 0.0243 = 31$			31	31	
기 계	· 전력소요량 : $107.1\text{KW} \times 73 \times 0.0243 = 190$			190	190	
	· 기타손료 (인건비의 3 %) : $66,814 \times 0.03 = 2,004$			2,004	2,004	
	소 계 :			2,225	2,225	
	총 계	22,733	66,814	2,225	91,772	
	· 제원 : ㄷ-100x105x5x7 (L=1.2m, 0.0178 TON/EA)					
	1.재료비					
	· 강 판 : $1\text{TON} \times 850,000 \times 0.0178 \times 1.1 = 16,643$	16,643			16,643	
	· 고재대 : $1\text{TON} \times (-325,000) \times 0.0178 \times 0.1 = -579$	-579			-579	
	소 계 :	16,064			16,064	
	2.제작 및 설치비(잡철물)					
기 계	1)재료비					
	· 용접봉 : $15.71\text{KG} \times 982 \times 0.0178 = 275$	275			275	
	· 산 소 : $5355\text{L} \times 6,000/6000 \times 0.0178 = 95$	95			95	
	· 아세틸렌 : $2.4\text{KG} \times 5,000 \times 0.0178 = 214$	214			214	
	· 유지(경유) : $0.17\text{L} \times 1,126 \times 0.0178 = 3$	3			3	
	소 계 :	587			587	
	2)노무비					
	· 철공(LAL1) : $21.80\text{인} \times 111,574 \times 0.0178 = 43,295$		43,295		43,295	
	· 인부(LAL2) : $0.56\text{인} \times 66,622 \times 0.0178 = 664$		664		664	
	· 용접공(LAL3) : $2.21\text{인} \times 102,522 \times 0.0178 = 4,033$		4,033		4,033	
기 계	· 특별인부(LAL4) : $0.63\text{인} \times 84,686 \times 0.0178 = 950$		950		950	
	소 계 :		48,942		48,942	
	3)경비(기구손료)					
	· 용접기손료 : $17.71\text{HR} \times 72 \times 0.0178 = 23$			23	23	
	· 전력소요량 : $107.1\text{KW} \times 73 \times 0.0178 = 139$			139	139	
	· 기타손료 (인건비의 3 %) : $48,942 \times 0.03 = 1,468$			1,468	1,468	
	소 계 :			1,630	1,630	
	총 계	16,651	48,942	1,630	67,223	

공사중 pH기준 불만족시 배수관로 연결(안)

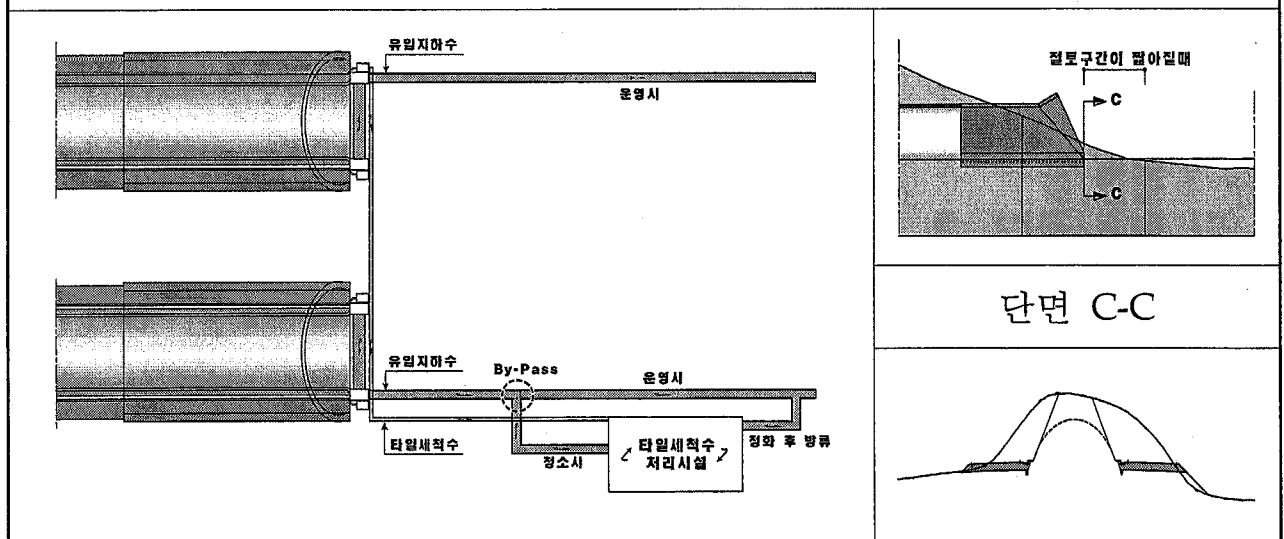
구 분		터널입출구부 ~타일세척수 처리시설간 배수관로 연결방안 예시	
1안 중앙 일방향			
	○ 갱구부까지 도로양방향의 절토 계획구간이 길어 중배수관 연장이 길어질 때 ○ 병설터널 중분대 녹지부를 오목형태로 계획할 때		
2안 측면 일방향 배수			
	○ 갱구부까지 도로양방향의 절토 계획구간중 일방향이 짧아 중배수관 연장이 다른 경우 ○ 병설터널 중분대 녹지부를 볼록형태로 계획할 때		
3안 측면 양방향 배수			
	○ 갱구부까지 도로양방향의 절토계획이 단구간으로 중배수관 연장이 짧아질 때 ○ 병설터널 중분대 녹지부를 볼록형태로 계획할 때 ○ 타일세척수 처리시설 분리설치시 현장여건과 pH저감시설(약 20백만원/개소 소요) 반영여부 등에 따른 경제성 검토 필요		

공사중 pH기준 만족시 배수관로 연결(안)

일방향 배수(방류) 및 일방향 타일세척수 처리시설 유입의 형태 예시



- 갭구부까지 도로양방향의 절토 계획구간 중 일방향이 짧아 종배수관 연장이 다른 경우
- 토공균형 계획시 병설터널 중분대 녹지부를 오목형태로 계획할 때



- 갭구부까지 도로양방향의 절토 계획이 단구간으로 종배수관 연장이 짧아질 때
- 토공균형 계획시 병설터널 중분대 녹지부를 볼록형태로 계획할 때

I 검토목적

- 노선계획시 지형여건 등의 사유로 산악지 구간의 터널 계획 불가피
※ 최근 3개년(2006~2008년) 터널 설계현황 (단위:%)

구 분	평균	담양-성산	울산-포항	충주-제천	춘천-양양	동해-삼척
터널비율*	38.3	13.2	40.0	47.8	60.8	29.7

* 터널비율 = 터널길이/노선길이

- 터널구간은 기하구조 및 심리적 요인 등으로 주행속도가 저하되는 것으로 판단
- 속도저하의 원인분석을 통하여 터널구간 교통용량 확보를 위한 분석절차 및 설계기준 등 최적의 설계방안을 검토코자함

II 관련기준

- 대부분의 나라에서 미국의 HCM을 근간으로 자기 나라의 특성을 반영한 용량 및 보정계수 값을 수정하여 사용
 - 우리나라의 경우 미국 도로용량편람을 근간으로, 국내 특성을 반영한 용량 및 보정계수 값을 수정하여 사용
- 국내·외 모든 나라에서 터널구간에 대한 별도 기준 없음
※ 국내외 교통용량 분석기준 【대한교통학회지】

구 분	우리나라 [도로용량편람]	미 국 [HCM]	일 본 [도로의 교통용량]
분석대상	3개구간 ○ 기본구간 ○ 엇갈림구간 ○ 연결로접속부 ※ 터널구간 규정없음	3개구간 ○ Basic Segment ○ Weave Segment ○ On/Off Ramp ※ 터널구간 규정없음	3개구간 ○ 단로부 ○ 엇갈림부 ○ 램프부 ※ 터널구간 규정없음
이상조건	설계속도 100km/h 이상	설계속도 97km/h 이상	-
교통용량 (pcphpl*)	2,200	2,200	2,200

* pcphpl : 최대 1시간 환산교통량 (Passenger car per hour per lane)

☞ 터널구간에 대한 분석절차 및 기준 마련 필요

III 현황 및 문제점

1. 터널구간에서 주행속도가 감소되고 용량저하 발생

- 2008년도 지·정체 발생 17개구간중 터널구간 6개소 포함(35%)
- 터널의 존재로 인한 속도감소 정도는 단순한 오르막구배 구간보다 더 큰 것으로 분석 【고속도로 지정체구간 개선방안 연구, 도로연구소】
- ※ 터널유무에 따른 영향 정도

구 분	종단 경사	오르막구간 길이	입구부 선 형	길어깨폭	속도차 (터널입구부-오르막시점부)
영동터널(터널 有)	3%	1,400m	직선	3.4m	15.4km/h
중부선(터널 無)	3%	1,400m	직선	2.7m	8.7km/h

☞ 터널구간은 고속도로 기본구간中 교통용량 취약구간으로 별도의 용량분석 필요

2. 터널구간에 대한 별도의 교통 분석기준 없음

- 교통분석 기준 및 절차가 없어 대부분 터널구간 용량분석 미실시
- 미국 등 국외기준도 없는 실정
- ☞ 터널구간 교통분석 절차 및 기준 마련 필요

3. 터널구간 사고발생 다소 높음

- 직선구간의 경우 km당 사고발생율이 가장 적음
- 곡선구간
 - 곡선반경이 작은(500m미만) 경우 사고발생율이 높음 (직선구간의 약 3.5배)

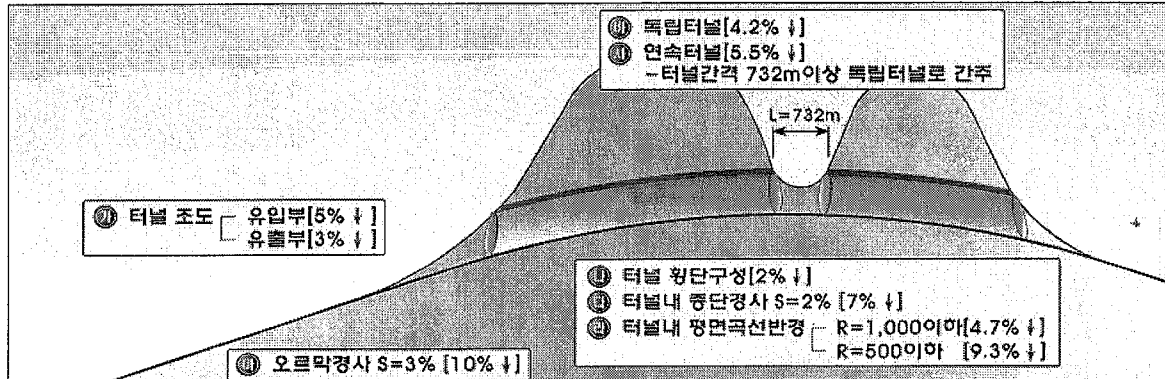
※ 최근 5년간(2003~2007년) 교통량별 사고발생 현황 (단위:개소)

구 분	계	1만대이하	1~3만대	3~5만대	5~10만	10만이상
계	140	6	68	33	19	14
직선구간	개소	111	4	54	27	15
	개소/km	0.34	0.01	0.17	0.08	0.05
R < 500m	개소	8	1	5	2	0
	개소/km	1.18	0.15	0.74	0.29	0.00
R ≥ 500m	개소	21	1	9	4	3
	개소/km	0.95	0.05	0.41	0.18	0.14

IV 자료조사 및 설계자문 결과

1. 연구자료 분석

□ 주요영향인자 【터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구 외 7편】



- 대부분 연구자료들의 조사대상 자료가 적어 검증없이 적용은 곤란하나,
연구자료에 언급된 영향인자의 영향여부에 대한 자료조사 및 분석은 필요
- ☞ 터널별 주행속도 등 정량적 조사 및 운전자의 정성적인 요인을
고려 설문조사 병행 시행 필요

2. 설문조사

가. 조사개요

구 분	1차	2차	3차
조사일시	2009. 4. 14(화)	2009. 4. 17(금)	2009. 4. 14~4.17
조사장소	충주S/A(상,하)	용인S/A(상,하),만남의 광장	설계사
조사대상	일반이용객		실시설계 참여자
회수/조사	300/350부		375/400부

나. 조사결과

□ 많은 운전자가 터널진입전 감속을 하는 것으로 조사

※ 직업별 감속여부

구 분	관리·사무직	자영·서비스업	운수업	전문가
감속여부	70.4% (69/98)	62.8% (83/132)	47.3% (26/55)	45.3% (170/375)

- ☞ 터널 조사자료와 동일하게 터널진입전에 감속을 하며, 중요도-만족도 조사결과, 터널내 길어깨폭에 대한 개선이 필요한 것으로 나타남

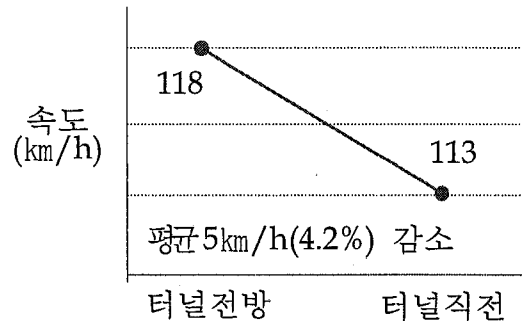
3. 현장조사

가. 조사개요

구 분	1차	2차	3차
조사일시	2009. 2.5(목)	2009. 3. 26(목)	2009. 6.30(화)
대상터널	51개	9개	34개
조사자료	년 1일	년 1일	계절별 1일
조사지점	터널전방 터널입구직전	입구직전 출구직후	터널전방 입구직전 출구직후
조사내용	○ 터널연장, 종단경사 등 터널 전후 기하구조 조건 ○ 15분 단위의 차로별 24시간교통량 및 주행속도 (VDS 활용)		

나. 조사결과

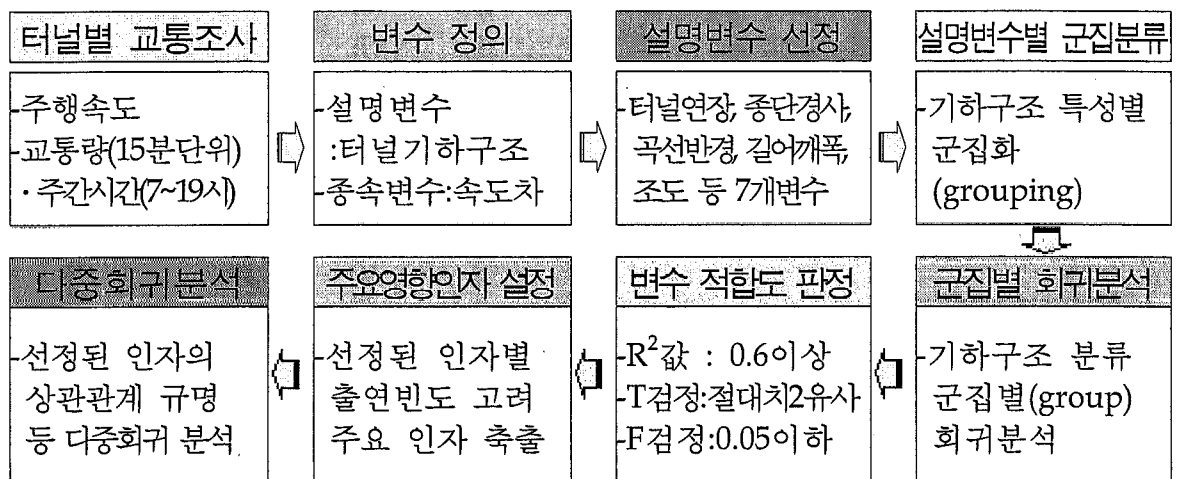
- VDS자료가 확보된 34개터널中
 21개소(61.7%)에서 주행속도가 감소
 - 최소 0km/h ~ 최대16km/h 감소



- ☞ 터널구간 주행속도 및 용량 감소는 기하구조 등의 여러 영향인자들이 복합적으로 작용함에 따라 다중회귀분석을 이용한 수치해석 등 시행 필요

4. 수치해석

가. 해석절차



나. 수치해석 결과

다중회귀분석 결과 R^2 값이 0.98로서 통계적으로 유의한 것으로 분석

【교통량차(터널전방, 출구직후)에 대한 다중회귀분석 모형식】

19.69 -0.007TC(곡선반경) -0.0019TL(터널길이) +12.547BB(터널전 길어깨폭원)
-0.2163BI(터널내 길어깨폭원) -8.7749SI(터널내 종단경사)
-6.4195SB(터널전 종단경사) -6.0307ES(터널보임여부) -0.0004CL(오르막구간길이)

V 설계자문

1. 자문개요

- ☐ 일 시 : 2009. 6. 16. ~ 6. 27.
- ☐ 위 원 : 한국도로교통협회 유경수 기술이사 등 7명

2. 주요 내용 및 조치내용

☐ 회귀모형식 정밀도 및 신뢰도 향상 필요

- 터널의 종방향 거리별로 속도변화 Profile을 작성 특성분석을 통하여 정확한 모형식 생성 및 통계모형 특성상 예외범위가 존재하므로 추가 검토 필요

☞ 고속도로 교통관리시스템의 OASIS 자료를 활용하여 모형식에 대한 추가 분석 및 도로교통연구원 추가 검토 시행

☐ 우측길어깨와 동일하게 좌측 길어깨폭도 확폭

- 길어깨가 넓은 주행차로보다 추월차로로 주행시 심리적 압박감이 크고, 도로의 연속성을 확보하기 위해 좌측길어깨도 확폭

☐ 터널길이에 무관하게 2차로터널 우측길어깨폭 확폭

- 터널연장과 무관하게 모든 편도2차로 터널 또는 장대터널에서 비상차량 통행 및 비상주차 기능 확보(2.7m이상)를 위해 확폭

☐ 터널진입전 선형조정을 통한 블랙홀 현상 예방 필요

- 블랙홀현상이 발생하는 터널진입직전 및 진입후 심리적 압박감이 최소화 될 수 있도록 클로소이드 및 직선→곡선 선형은 가급적 억제

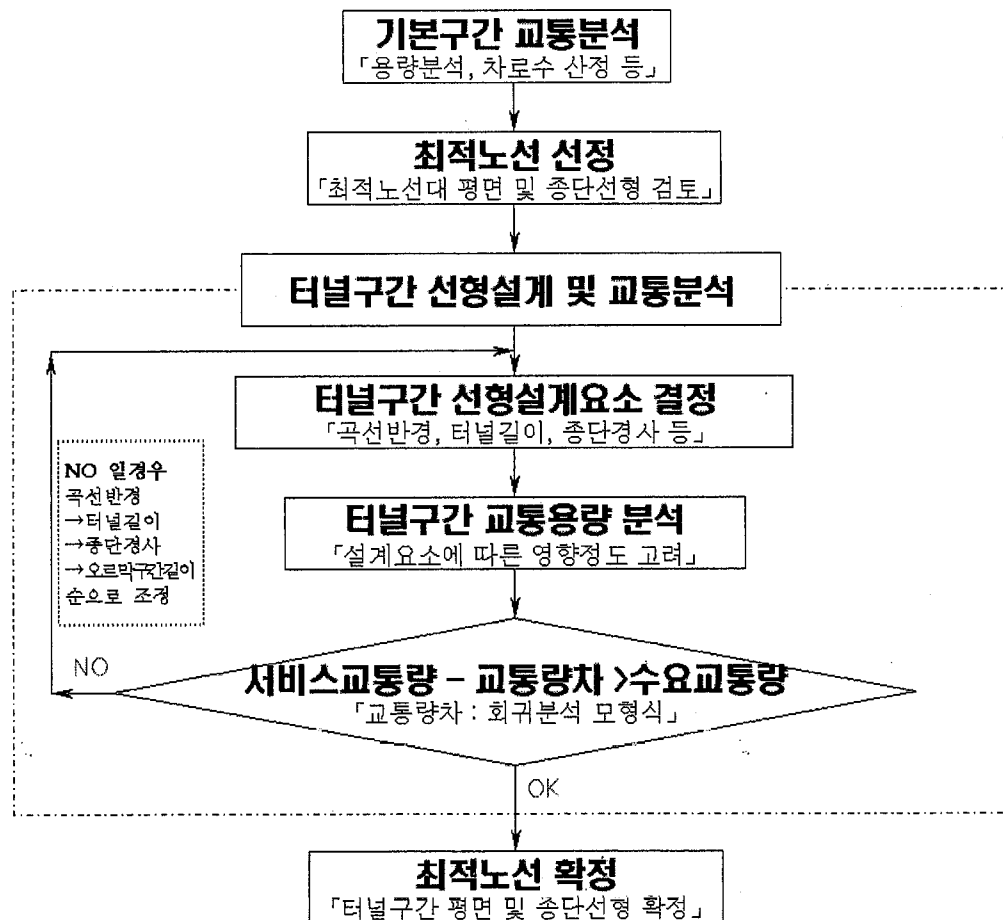
3. 검토방향

- 연구자료 분석, 현장조사 및 설문조사, 설계자문결과를 반영,
- ◆ 터널구간 교통용량 분석절차 마련
- ◆ 터널내 길어깨 폭원 확폭 검토
- ◆ 터널 선형설계시 유의사항 검토를 추진코자함

VI 터널구간 교통용량 확보 방안

1. 터널구간 교통용량 분석절차 마련

가. 분석절차



※ 서비스교통량 : 해당 서비스수준이 유지될 수 있는 수준에서 해당 도로를 통과할 수 있는 첨두 시간 환산교통량

※ 수요교통량 : 목표 연도에 해당 도로를 통과하리라 예상되는 첨두 설계시간 교통량

나. 회귀분석 모형식

$$\text{교통량차} = 19.69 - 0.007\text{TC} - 0.0019\text{TL} + 12.547\text{BB} - 0.2163\text{BI} - 8.7749\text{SI} \\ - 6.4195\text{SB} - 6.0307\text{ES} - 0.0004\text{CL}$$

- TC : 터널 곡선반경(m)
- TL : 터널길이(m)
- CL : 터널전 오르막구간 길이(m)
- SB : 터널전 종단경사(%)
- BB : 터널전 길어깨폭원(m)
- BI : 터널내 길어깨폭원(m)
- SI : 터널내 종단경사(%)
- ES : 출구보암여부(보암0,안보암1)

2. 터널구간 선형설계 방안

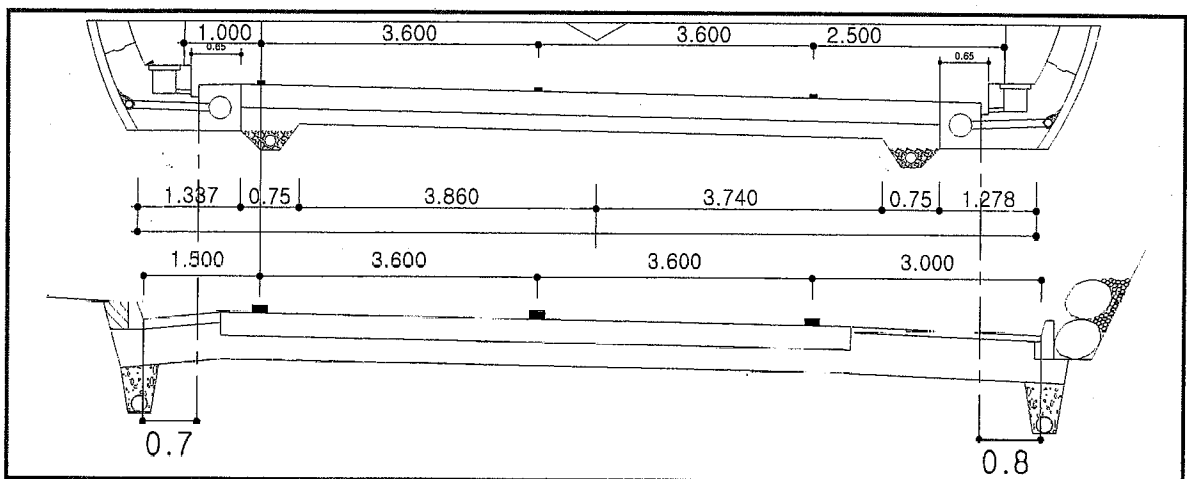
가. 짧은 터널구간 길어깨 확폭

□ 설계기준

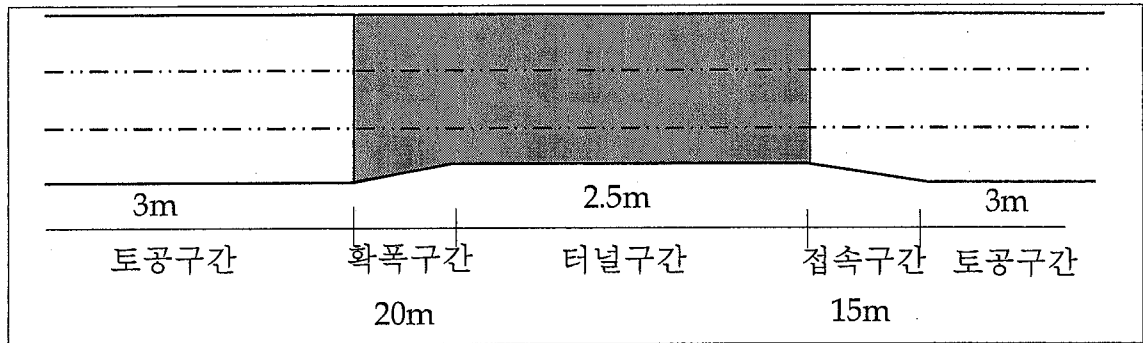
- 터널갱문 접속방안 검토(설계처1112호, 2008. 4.22)
 - 터널 입구부 도로폭원 축소에 따른 터널 갱문 충돌사고 예방 및 미관을 고려한 터널갱문 접속방안 수립
 - 터널갱문 확폭 : 1/30비율, 20m구간(공사비 2.4억 증액)

□ 현황 및 문제점

- 터널 본선 및 토공부 횡단폭원 차이 발생
 - 2차로터널 우측길어깨 2.5m(순폭2.3m), 좌측길어깨 1.0m(순폭0.8m) 적용中
 - (3차로 이상 터널 : 좌·우측 길어깨 모두 1.0m 적용)



- 터널연장이 짧은 경우(L=300m미만) 길어깨폭 변화가 잦아 주행차량 혼선 우려



- L=300m(V=100km/h)인 터널의 경우 주행시간(11초)에 비해 폭원변화 잦음
- 2차로인 경우 횡단폭원 협소로 운전자의 심리적 압박감 가중
 - 설문조사 결과, 터널진입전에 운전자의 56.5% 주행속도 감속

□ 개선방안

연장이 짧은 터널(2차로) 좌·우측 길어깨폭 확폭(1.0→1.5m, 2.5→3.0m)

- 대상터널은 300m 이하 길이의 터널에 적용
- 길어깨 확폭시 공사비 증가는 미미

구 분	1안 (좌·우측 길어깨 0.7m 총 1.4m 확폭)	2안 (우측 길어깨 0.7m 확폭)
개요도		
길어깨폭 (순폭)	좌측:1.5m(1.5m), 우측:3.0m(3.0m)	좌측:1.0m(0.8m), 우측:3.0m(3.0m)
공사비증액	80만원/m(5.7%)	55만원/m(3.9%)

- 300m 확폭시 개소당 2.4억원(일방향) 증가

※ 갭문 확폭에 의한 증액공사비(일방향 개소당 2.4억원)와 동일

- 좌측길어깨도 단변변황에 따른 심리적 영향을 최소화하고, 터널갹문 확폭시 시공성을 고려하여 토공부와 동일하게 확폭
- 3차로 이상의 터널의 경우
 - 횡단폭원이 넓어 심리적 압박감이 적고,
 - 다차로구간으로 긴급상황시 주행차로와 비상차로 확보가 가능하며,
 - 확폭시 공사비 증가가 과다(15.8~17.1%)하므로 현 규정과 동일한 폭원을 적용함이 바람직

나. 평면선형 - 직선 또는 큰 평면곡선반경 설치

□ 곡선반경이 큰 경우 사고발생율이 작음: $R=1,800m$ 이상시 거의 없음

※ 곡선반경별 터널 사고발생 현황 [2000~2007년, 교통처]

구 분	$R < 1,000m$	$1,000m \leq R < 1,800m$	$R \geq 1,800m$
12개지점	4개지점 (34%)	7개지점 (58%)	1개지점 (8%)

- ☞ 터널구간 평면선형은 가급적 직선 또는 $1,800m$ 이상으로 설계
- 부득이한 경우 터널 전후 지형여건, 지장물 등을 고려 가급적 큰 곡선반경 적용
- 블랙홀현상이 발생하는 터널진입직전 및 진입후 심리적 압박감이 최소화 될 수 있도록 가급적 완화곡선 및 직선→곡선 선형은 사용 자제

VII 검토결론

- 주행속도 저하 등 교통용량측면에서 취약구간인 고속도로 본선 터널구간 교통용량 확보를 위해,
 - 최적노선 선정전에 최적노선대의 터널구간 교통분석을 통하여 종단경사 등 설계요소를 고려하여 교통용량 확보여부를 검토토록 하고,

○ 터널구간 선형 설계시에는

- 평면선형은 가급적 직선 또는 큰 곡선반경($R=1,800\text{m}$ 이상)을 사용하고,
- 터널길이가 300m 이하인 짧은 터널의 좌·우측 길어깨폭원은 양측으로 0.7m 씩 확폭하여 토공부와 동일(3.0m , 1.5m)하게 적용

□ 협조사항 (도로교통연구원)

- 터널전방, 터널 입구직전, 터널출구 직전에서의 교통량차에 대하여 현재 공용중인 터널 대상 자료조사 및 회귀모형식 개발
- 도로교통연구원 연구완료시까지 본 방침 모형식 잠정 적용

□ 적용방안

- 설계중인 노선부터 본 방침적용

1. 검토목적

고속도로 전문시방서 개정(2009.7)시 터널 굴착 벽면에 타설된 숏크리트의 강섬유 혼입량 변경과 관련하여 강섬유 할증률 적용방안을 개선코자 함

2. 전문시방서 개정 내용

구 분		당 초	개 정	비 고
휨강도		4.5MPa	4.5MPa	28일강도
휨인성		최대 휨강도의 68%이상	3.0MPa	
강섬유	배합시	40kg/m ³ 이상	40kg/m ³ 이상	
혼입량	타설벽면	투입기준량의 90%이상	30kg/m ³ 이상	손실률(10%→25%)

※ 터널설계기준(2007), 터널표준시방서(2009) : 타설벽면기준 강섬유 혼입량 30kg/m³ 적용

3. 적용현황 및 문제점

○ 2004. 9 숏크리트 강섬유 할증률 적용방침 수립

- 배치플랜트 강섬유 혼입시 계량오차, 숏크리트 타설 중 강섬유 손실 감안
 - 강섬유 혼입량 시험(황간터널 등 16개 터널 조사) 결과, 2~18% 손실발생
- ⇒ 강섬유 혼입량 기준 및 시험에 의한 손실률 등을 감안 할증률 2% 적용

○ 문제점

- 전문시방서 개정에 따라 벽면타설기준 강섬유 혼입량은 투입량(40kg/m³)의 75%(30kg/m³, 손실률 25%)를 만족하면 됨
- 계량오차 및 타설중 손실을 감안하더라도 강섬유의 손실률이 25%를 초과할 가능성은 낮음 ⇒ 별도의 할증은 필요 없을 것으로 판단됨

4. 개선 및 적용방안

○ 개선방안 : 숏크리트 강섬유 할증률(2%) 미반영

○ 적용방안 : 현재 실시설계 중인 노선부터 적용

※ 기대효과 : 터널연장 1km 기준(2차로, 양방향) 19백만원 절감

- 상주~영덕(터널 35km) 6.6억원, 부산외곽순환(터널 21km) 4.0억원 절감효과

I 검토목적

터널 굴착 공사시 발파소음을 억제하기 위해 설치하는 갱구부 방음시설의 적정 설치기준을 검토하여 설계 일관성 및 소음민원 예방을 도모코자 함

※ 감사지적 : 터널 갱구부 방음시설 설계기준 수립(감사실-4 ; 2009.1.2)

II 관련기준

□ 터널설계기준

터널 갱구부에서 발파소음으로 인한 환경영향이 우려되는 경우 방음시설 (방음문, 방음독, 방음벽 등)을 설치하는 등 적극적인 대책을 마련하여야 함

□ 소음·진동 규제법 제21조 1항

○ 생활소음 규제기준(공사장 소음기준)

[단위 : dB(A)]

대상지역	조식 (05:00~08:00, 18:00~22:00)	주간 (08:00~18:00)	심야 (22:00~05:00)	비고
주거지역, 녹지지역 등	60이하	65이하(75이하)	50이하	(발파소음)
기타지역	65이하	70이하(80이하)	50이하	

※ 진동관련 기준

- 생활진동 규제기준(소음·진동 규제법)

[단위 : dB(V)]

대상지역	주간(06:00~22:00)	심야(22:00~06:00)	비고
주거지역, 녹지지역 등	65이하(75이하)	60이하	(발파진동)
기타지역	70이하(80이하)	65이하	

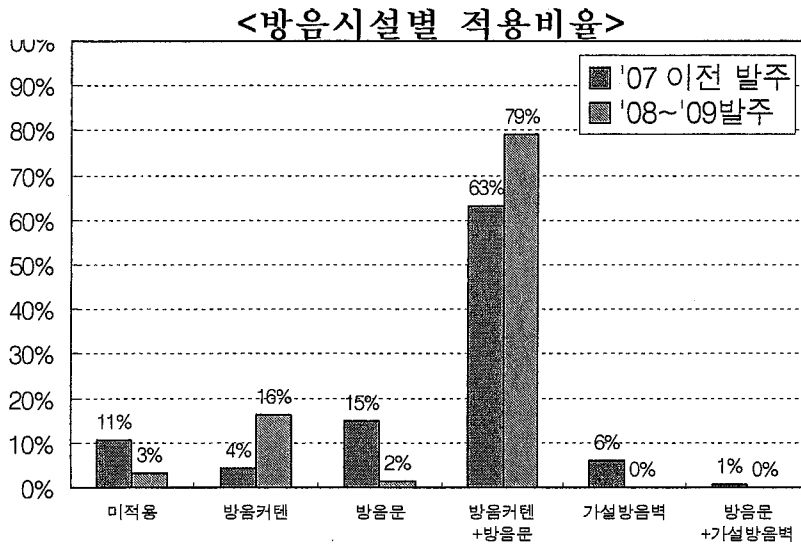
- 보안물건별 진동속도 설계적용기준(고속도로 전문시방서, 2009.7)

[단위 : cm/sec]

구 분	기차류 등	문화재 및 진동 예민 구조물	가옥(조적)	가옥(PC조)	공업용 건물	철골 구조
발파진동속도	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0

Ⅲ 적용현황 및 문제점

□ 갱구부 방음시설 적용현황

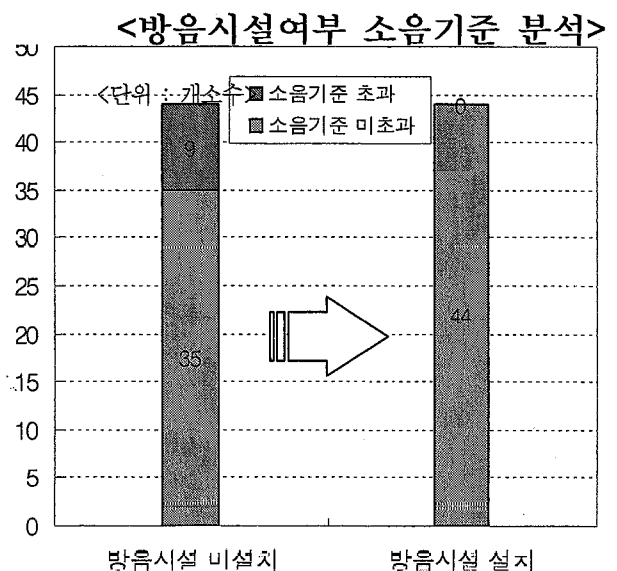
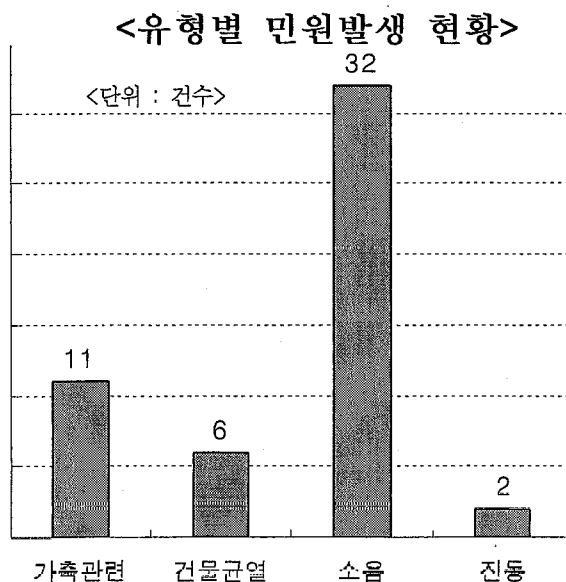


<조사대상>

- 2007이전 발주노선
 - 12개 노선, 114개 터널
- 2008~2009 발주노선
 - 5개 노선, 51개 터널

- 방음문과 방음커튼을 동시에 적용하는 경우의 비율이 높음

□ 터널관련 민원현황



※ 민원발생 터널 44개소, 복합원인에 의한 민원은 별도 분류

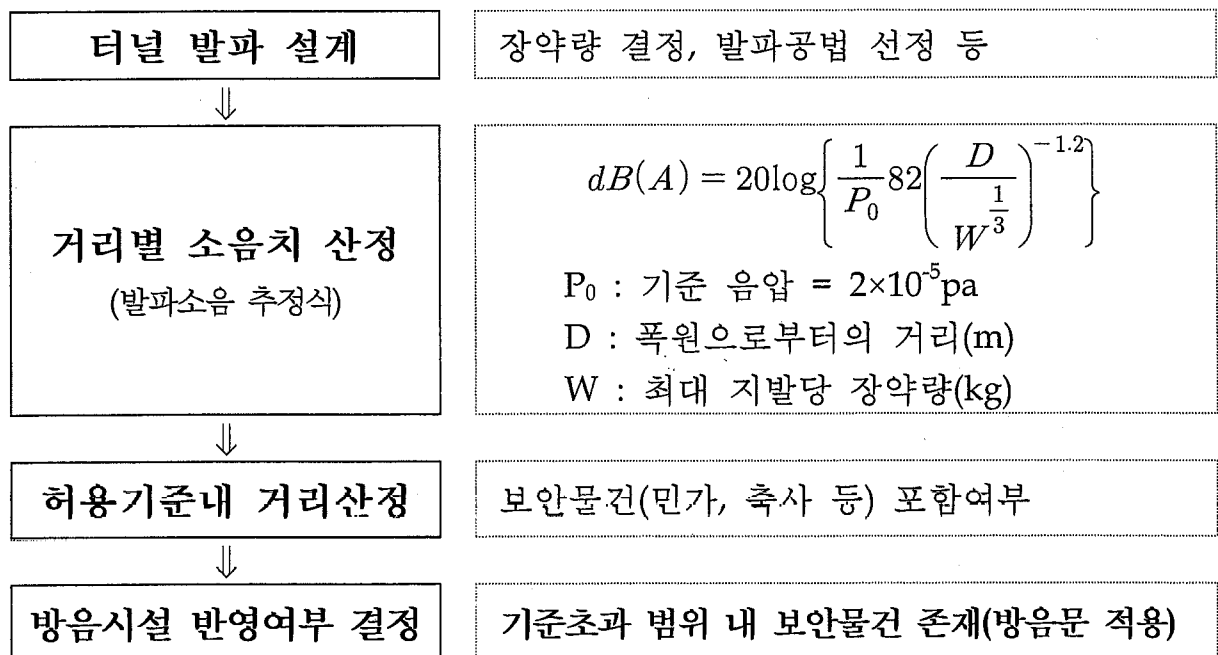
- 터널 발파민원은 진동의 경우보다 소음에 의한 민원이 많음
- 민원은 소음기준치를 초과하지 않는 경우에도 발생, 지속되는 경향이 있으며, 소음·진동(균열)·가축피해 등 복합적인 원인에 의해 발생
- 갱구부 방음시설 미설치로 소음기준을 초과하여 방음시설(방음문)을 설치할 경우 소음기준치를 만족하는 것으로 조사됨
 - 현장에서는 대부분 강제형 방음문을 적용하고 있음

□ 문제점

- 방음시설 설계적용을 위한 소음영향검토 등 세부절차가 미정립되어 설계 일관성 부족
 - 민원예방 등 주관적 판단에 의한 방음시설 적용
- 방음시설 형식 및 단가에 대한 적용기준이 없어 노선마다 상이

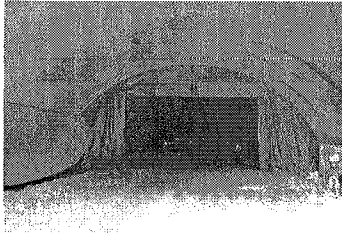
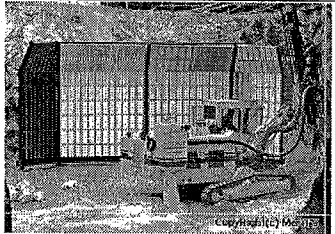
IV 개선방안

□ 갱구부 방음시설 설계적용 절차 정립



※ 발파소음 추정식 : 보편적 소음 추정식 적용(고속도로 설계실무지침서 ; 2008)

□ 방음시설 적용방안

구 분	방음문	방음커텐	가설방음벽(판넬)
개 요			
	- 터널 갱구 전면부 설치	- 터널 갱구내부 또는 전면부 설치	- 환경영향평가 등에 의거 터널외부 설치
단 가	22,400천 원/개소 (2차로 기준)	3,610천 원/개소 (2차로 기준)	210천 원/m (H=4.0m 기준)
기 능	- 터널내부 발파소음 차단	- 소음저감 보완적 기능 - 방음문 병행 설치시 환기, 통행 등 일부 장애요인	- 터널외부 발파 소음 및 비산 차단 효과

○ 터널내부 발파소음 저감 필요시 : 방음문 적용

- 발파소음 추정식을 이용한 소음영향검토 결과 기준치를 초과하는 경우
- 축사의 경우는 환경영향평가(환경분쟁조정 사례) 등을 참고하여 별도 검토 필요

○ 발파소음 저감을 위한 보완적 기능 필요시 : 방음커텐 적용

- 소음기준치를 만족하여 방음문을 미 설치한 경우라도 발파소음으로 인해 민원(생활불편 등)이 우려되는 경우 : 갱구 전면부 설치

☞ 방음문 설치시 방음커텐 미적용

○ 터널외부(갱구입구, 절토부 등) 발파시 소음·진동저감

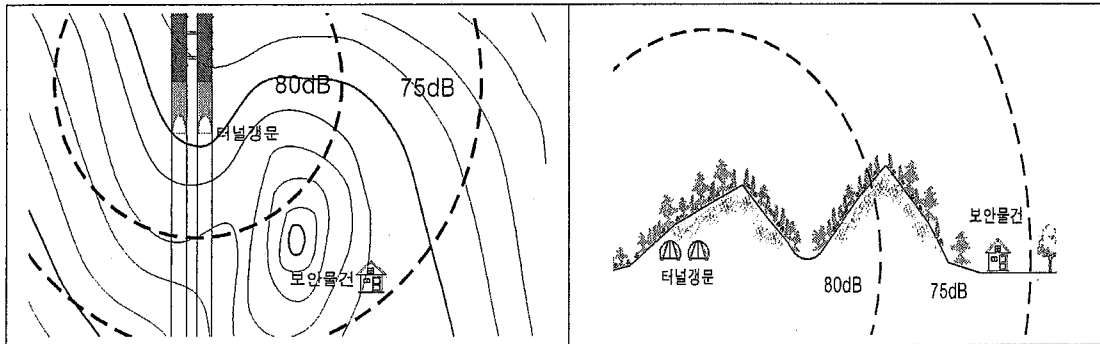
- 환경영향평가에 의한 가설방음벽(방음판넬) 등 적용
- 육상부 암발파 설계 및 계측 적용기준(설계처-527 ; 2007.2.23)에 의한 발파설계

※ 시공전 사전조사 및 시험발파 등을 통해 보안물건의 소음·진동영향 여부를 조사하여 방음문 설치여부 검토 및 발파공법 선정

- 시공전 건물 구조형태·노후정도·균열상태 및 가축 현황 등 사전조사
- 시험발파를 통한 적정 발파공법(천공장, 천공간격, 지발당 장약량 등) 선정
- 보안물건 소음·진동 영향여부 지속 조사, 필요시 저감대책 마련

□ 지형적 여건을 감안한 방음시설 적용 검토

- 발파소음 영향검토시 터널과 보안물건 사이에 능선(방음효과) 등이 존재할 경우, 이를 반영하여 방음문 적용여부 판단



< 자연적 방음효과를 기대할 수 있는 경우 >

□ 방음문 형식

- 현재 공사중인 노선에 대부분 반영되었고, 방음효과가 있는 것으로 조사된 방음문 형식 설계 적용

- 강제형(H형강, L형강, 데크플레이트 등) 방음문 적용

※ 방음문 형식은 현장여건에 따라 변경 가능

V 적용방안

- 설계 중 노선 : 본 방침 적용
- 시공 중 및 설계완료 후 미발주 노선 : 공사시행부서 적용여부 판단

붙임 : 1. 발파 소음·진동 추정식 및 영향범위
2. 공사용 방음문 및 방음커텐 예시도면
3. 공사용 방음문 및 방음커텐 예시단가

【붙임 #1】

□ 발파소음 추정식 및 영향범위

<국내의 보편적 소음 추정식>

$$dB(A) = 20\log\left\{\frac{1}{P_0}82\left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right)^{-1.2}\right\}$$

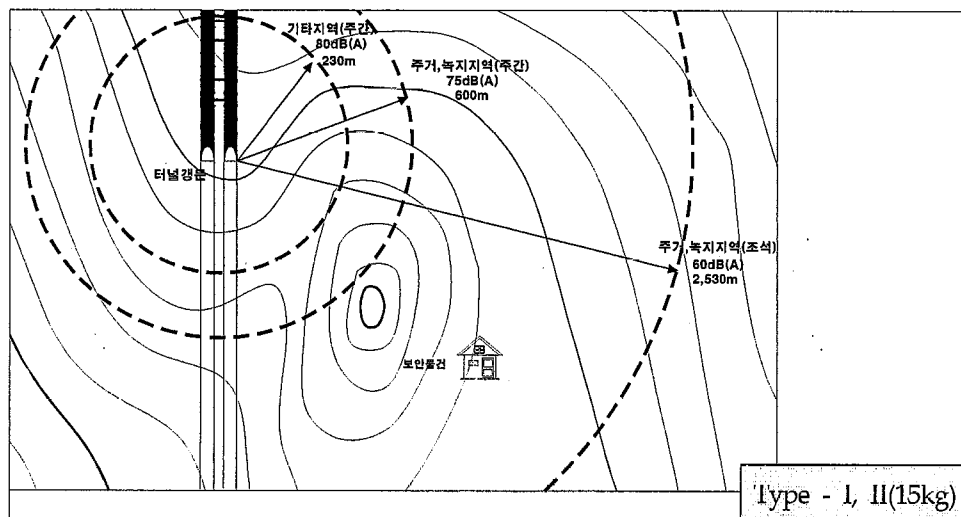
P_0 : 기준 음압 = 2×10^{-5} pa

D : 폭원으로부터의 거리(m)

W : 최대 지발당 장약량(kg)

※ 고속도로 설계실무지침서(2008) 적용

굴착공법	장약량	소음영향 범위			비고
		기타지역(주간) 80dB(A)	주거지역 등(주간) 75dB(A)	주거지역 등(조식) 60dB(A)	
Type - I, II	15kg	230m	600m	2,530m	Type별 장약량은 현장별 상이 할 수 있음
Type - III	7kg	180m	465m	1,960m	
Type - IV	6kg	170m	445m	1,865m	
Type - V	4kg	150m	385m	1,630m	
Type - VI	3kg	135m	350m	1,480m	



※ 소음 추정식에 의해 산정된 영향범위는 지형적 여건 등을 감안하지 않은 것으로 시공전 지형적 여건 및 시험발파 등을 통해 보안물건(건물, 축사 등)의 소음영향조사를 실시하여 갱구부 방음시설 설치 등 민원 예방대책 마련 필요

□ 발파진동 추정식 및 영향범위

<발파진동 추정식>

$$v = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60}$$

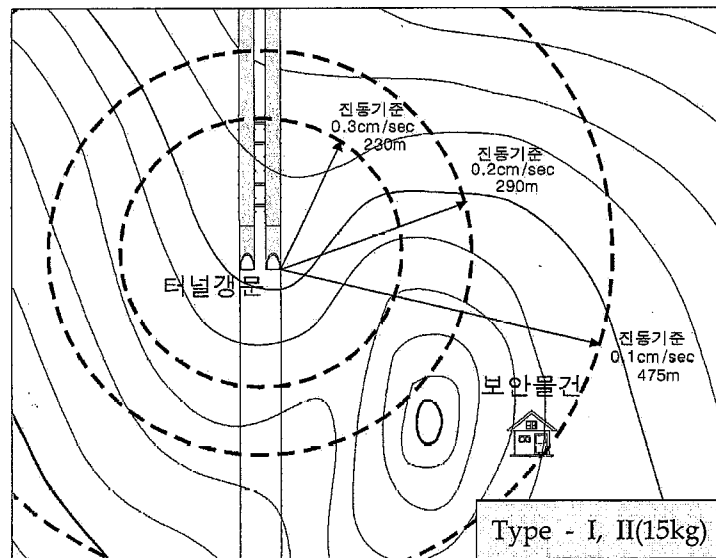
v : 진동속도(cm/s)

D : 폭원으로부터의 거리(m)

W : 최대 지발당 장약량(kg)

※ 고속도로 설계실무지침서(2008) 적용

굴착공법	장약량	진동 영향범위 (D)			비고
		가축류 등 0.1cm/sec	문화재 등 0.2cm/sec	가옥(조적) 0.3cm/sec	
Type - I, II	15kg	475m	290m	230m	Type별 장약량은 현장별 상이 할 수 있음
Type - III	7kg	325m	195m	155m	
Type - IV	6kg	300m	180m	145m	
Type - V	4kg	245m	150m	120m	
Type - VI	3kg	210m	130m	105m	



※ 발파진동 추정식에 의해 산정된 영향범위로 시공전 지형적 여건 및 시험발파 등을 통해 보안물건(건물, 축사 등)의 진동영향조사를 실시하여 진동제어발파 등 민원 예방대책 마련 필요

I. 개 요

- 기계타설 소구조물인 L형측구, 다이크, 중앙분리대, 난간방호벽이 동해 및 염해로 인한 열화 발생
- 도로교통연구원에서 「시멘트 콘크리트 설계기준 배합비 개정(잠정안)」 결과를 통보함에 따라 콘크리트 배합기준 변경 적용을 검토

II. 추진경위

- 2008. 4.28 시멘트콘크리트 배합기준(건설계획처)
 - 염화물 사용증가 등 환경변화에 따라 내구성 강화
 - : 잠정적으로 현행 강도기준 적용
 - : 기계타설 소구조물 콘크리트 배합기준 변경
 - 굵은골재 치수 변경 : 당초 19mm → 변경 25mm
 - L형측구(다이크) 콘크리트 석분사용 배합사용 금지
- 2008. 6.23 시멘트콘크리트 설계기준강도 적용방안(설계처)
 - 타설 및 양생시 기온, 환경요소 등을 감안하여 배수소구조물 설계기준강도 차등 적용
 - 특수지역 : 30MPa이상(특수지역 범위는 추후 별도 검토)
 - 일반지역 : 24MPa이상
- 2009. 9. 7 콘크리트 설계기준 배합(잠정안) 개정(도로교통연구원)
 - 기계타설 소구조물 배합 추가 : 일반 및 특수환경 노출지역 배합 구분 (붙임1 참조)

III. 경제성 검토

o 형식별 경제성 검토

(단위 : 원/m, 직접공사비)

구 분	형 식		당 초	변 경		비 고
				일반지역 (24MPa)	특수지역 (30MPa)	
L형측구	형식1		12,011	12,464 (증 453)	12,590 (증 579)	강도변경 21MPa → 24MPa, 30MPa
	형식2		49,101	51,758 (증 2,657)	52,498 (증 3,397)	
다이크	형식1-1		12,084	12,607 (증 523)	12,735 (증 651)	
	형식1-2		12,808	13,381 (증 573)	13,435 (증 627)	
	형식 2-1	콘크리트 포장연결부 (T=33cm)	12,037	12,556 (증 519)	12,681 (증 644)	
		콘크리트 포장연결부 (T=30cm)	11,558	12,045 (증 487)	12,162 (증 604)	
	형식 2-2	콘크리트 포장연결부 (T=33cm)	12,936	13,510 (증 574)	13,648 (증 712)	
		콘크리트 포장연결부 (T=30cm)	12,435	12,976 (증 541)	13,106 (증 671)	
	형식3		11,642	12,129 (증 487)	12,246 (증 604)	
중 앙 분리대	아스콘포장구간 (일체형)		50,765	49,620 (감 1,145)	50,294 (감 471)	24MPa →
난 간 방호벽	콘크리트계 교면포장 일반구간		65,226	65,405 (증 179)	65,363 (증 137)	24MPa, 30MPa

o 유지관리를 고려한 생애주기(LCC)분석

- L형측구(형식2) 100m 설치에 대한 생애주기(LCC)분석 시행
(일반구간 설치, 공용후 20년 기준)

※ 보수비는 할인율 5.5%를 적용하여 현재가치로 환산

(단위 : 원)

구 분	당초(21MPa)		변경(24MPa)	
개 요	유지보수주기 8년 (영동선 보수실적 기준)		유지보수주기 20년	
공사비	최초공사비	4,910,100	최초공사비	5,175,800
	1차보수비	10,555,892	1차보수비	5,552,204
	2차보수비	6,878,207		
	계	22,344,199	계	10,728,004 (감11,616,195)

IV. 검토결과

- o 강도 상향에 따른 공사비 증가는 미미(3~6%)
- o 염해로 인한 배수소구조물 손상에 따른 제시공 주기를 감안하여 상향된 강도를 적용한 콘크리트 배합기준을 설계에 반영하는 것이 타당
- ※ L형측구 변화구간의 경우 인력타설 구간이나 염해로인한 손상방지, 전후구간 강도상향을 고려하여 24MPa 강도 적용
- o 일반지역과 특수지역 적용
 - 최근 3년간 염화물 사용현황 분석결과
: 평균 염화물사용량 5.2ton/lane-km/yr
 - 평균 염화물사용량 이상인 구간을 특수지역으로 분류하여 잠정 적용(붙임2 참조)

※ 도로교통연구원에서 일반지역과 특수지역 구분을 위한 자문 예정으로
자문 결과에 따른 최종안이 수립될 때까지 한시적으로 적용

IV. 적용방안

- 설계중 및 미발주 노선 : 본 방침 적용
- 설계완료 노선 : 보완설계시 본 방침 적용

붙임 : 1. 시멘트콘크리트 배합표(잠정안)
2. 지역별 염화물 살포량 분류
3. 단가산출내역

붙임#1 시멘트 콘크리트 배합표(잠정안)

구 분		기계타설 소구조물 (중분대, 교량난간, L형측구, 다이크)	
		일반지역	특수지역
fck(MPa)		24	30
골재최대치수 (mm)		25	
슬럼프(cm)		2~5	
공기량(%)		5~7	
W/C(%)		49	44
S/a(%)		49	47
단 위 재 료 사 용 량 (kg/m ³)	물	165	170
	시멘트	337	386
	진골재	864	803
	굵은골재	923	930
단 위 혼 화 제 량 (kg/m ³)	AE 감수제	1.348	1.930



I. 목 적

- ☐ 「타일세척수 처리시설」의 원가산정기준에 대한 감사지적사항을 조치하여 일관성 있는 설계시행을 도모함

※ 관련근거 [감사실4(2009.01.02) 감사지적사항 조치 요구]

타일세척수 처리시설 원가산정기준이 수립되지 않아 처리용량이 작음에도 불구하고 공사비가 비싸게 산출되는 등 기관별로 상이하게 설계반영되고 있음

- ☐ 「터널유출수 PH 저감시설」의 황산 사용 등에 따른 안전문제를 개선하고, 「타일세척수 처리시설」의 소요규모 산정식을 단순화함

II. 「타일세척수 처리시설」 원가산정 기준

- ☐ 원가산정기준

○ 대표규격에 대한 설계도면 및 단가산출서 : 붙임 #1 참조

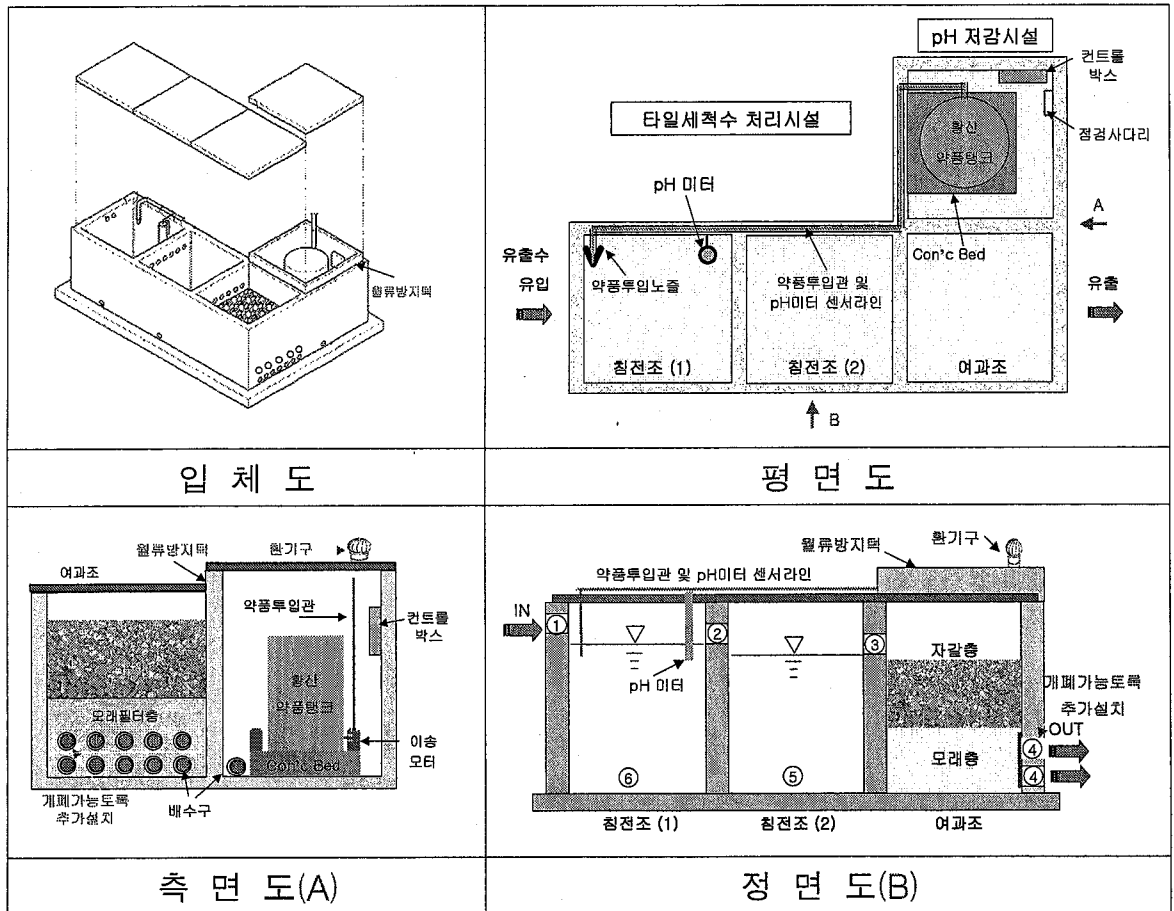
- ☐ 산정예시

구분	규 격	용 량	직접공사비
타일세척수 처리시설	(2.0m×2.0m×1.5m)×3단	18m³	4,442,364원/개소
타일세척수 처리시설 + 터널유출수 pH저감시설 설치조	(2.0m×2.0m×1.5m)×3단 +(2.0m×2.0m×1.5m)×1단	18m³ -	5,769,819원/개소 (pH 저감설비 제외)

※ 산정예시 이외의 규격은 [붙임 #1]을 기준으로 개별 산정 적용

Ⅲ. 「터널유출수 PH 저감시설」 개선

□ 시설보완 개념도



□ 황산 사용에 따른 안전사고 예방대책

○ 황산농도 변경 : 당초 98% ⇒ 변경 30~35%

※ 황산 취급시 유의사항 : 불임#2 참조

○ pH 저감시설 설치조 상단에 환기구(무동력 벤츄레이터) 설치

□ pH 저감시설 설치조 내 전기기기 보호대책

○ pH 저감시설 설치조 외벽에 월류방지턱(10cm 이상) 설치

여과조 막힘현상 등으로 월류발생시, pH 저감시설 설치조 내로
지하수가 유입되지 않도록 월류방지턱을 10cm 이상 설치

○ 타일세척수 처리시설 여과조에 배수구 추가설치

- 타일세척수 처리시설 내에 지하수가 누적되지 않고 바로 배출될 수 있도록 배수구를 2단으로 설치
- 개폐가 가능하도록 설치하여, 터널청소 시에는 상단의 배수구 구멍을 막고 타일세척수 처리

구 분	pH 저감시 (정상시)	타일세척수 처리시 (터널청소시)
운영방법	배출구 전부 개방	상단의 배수구는 막고 하단의 배수구만 개방

□ 기 타

- 황산이 직접 접촉되는 침전조(1) 내부 부식방지를 위해 “내산성” 에폭시 코팅 실시
- 동계기간 pH 미터 및약품투입노즐이 동파되지 않도록 보온조치 실시

IV. 「타일세척수 처리시설」 소요규모 산정식

□ 기존 소요규모 산정식의 문제점

- 산정식 적용시 고려요소가 많아 불편 및 혼란발생
 - 터널공동구 배수관로 체계 미 고려 시, 과다산정 사례 발생우려
- ※ 터널에서 발생하는 지하수와 타일세척수가 혼합되지 않는 경우에는 “타일세척수 수량만”으로 소요규모를 산정해야함

□ 소요규모 산정식 개선

○ CASE 1) 터널지하수와 타일세척수의 배수관로가 분리되는 경우

[터널유출수 종합관리대책(2007. 11) 수립 이후 신설 터널]

☞ 터널연장에 따라 표에서 선택 적용 [산출근거 : 붙임 #4]

터널연장	측면 배수구 개수 (Φ 200)	소요규모(Q) (m³)	설치방법
500m 이하	4	4.7	2단설치 (침전조+여과조)
500m 초과~ 1,000m 이하	4	9.4	
1,000m 초과~ 1,500m 이하	5	13.8	3단설치 (침전조1+침전조2 +여과조)
1,500m 초과 ~2,000m 이하	5	18.4	
2,000m 초과~ 2,500m 이하	6	19.1	
2,500m 초과~ 3,000m 이하	6	22.8	
3,000m 초과	6	22.8	

※ 터널지하수는 타일세척수 처리시설 내로 유입되지 않으므로,
청소중 발생하는 타일세척수량만 고려하여 소요규모 산정

○ CASE 2) 터널지하수와 타일세척수의 배수관로가 분리되는 않는 경우

☞ 처리시설 소요규모 산정식 이용하여 직접 계산 : 붙임 #3 참조

붙 임 : 1. 타일세척수 처리시설 공사비 산정

2. 황산 취급시 유의사항

3. 타일세척수 처리시설 소요규모 산정(CASE2)

4. 타일세척수 처리시설 소요규모 산정(CASE1)

황산 취급시 유의사항

1. 안전표지판 부착, MSDS* 현장게시 또는 비치

* MSDS (Material Safety Data Sheet, 물질안전보건자료)

- 화학물질의 이름, 물리화학적성질, 유해위험성, 폭발/화재시 방제요령, 환경에 미치는 영향 등을 기록한 서류
- 근로자의 생명 및 건강 보호/ 산업재해 및 직업병 예방의 근원적 효과적인 예방방법으로 입증됨.

2. 황산탱크 설치 완료 후 저감시설 가동 전, 충수테스트를 실시하여 탱크의 부품 및 배관연결부에서 액의 누출이 없는지 확인한다.

3. 약품 취급시 관계작업자 전원에게 미리 유해성을 주지시킨다.

4. 약품 취급 장소에서 절대로 음식물을 섭취하지 않는다.

5. 의복, 손, 발, 얼굴 등에 약품이 닿지 않도록 고무장갑, 앞치마 등 보호장구를 필요에 따라 착용한다.

6. 피부 등에 묻었을 때 용제로 세척하고, 비눗물 또는 수돗물로 세정한다.

7. 눈에 들어갔을 때에는 곧 흐르는 물로 15분간 충분히 세척하고 가능한 빨리 의사의 처치를 받는다.

※ 절대로 눈을 비비는 일은 하지 않는다.

8. 작업 중에 이상한 냄새, 어지러움, 두통 등의 이상을 느꼈을 때는 일단 밖으로 나와 작업을 중지한다.

타일세척수 처리시설 소요규모 산정 (CASE 2)

1. 적용대상

- 터널지하수와 타일세척수의 배수관로가 분리되지 않는 경우
- ※ [터널유출수 종합관리대책(2007. 11) 수립] 이전 운영중인 터널

2. 고려요소

- 가. 타일세척수 발생량 산정을 위한 터널연장
- 나. 평상시 터널 지하유출수량
- 다. 처리시설의 배수구 면적
- ※ pH 저감시설 병행설치 여부는 고려요소 아님

3. 산 정 식

$$\text{처리시설 소요규모}(Q) = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

$$Q_{\text{in}} = \text{청소 중 터널 내 유입수량}$$

$$Q_{\text{out}} = \text{청소 중 처리시설 밖으로의 유출수량}$$

가. 청소 중 터널 내 유입수량(Q_{in})

$$Q_{\text{in}} = (A + B) \times T$$

A : 평상시 터널 지하유출수량(m^3/min)①

B : 청소중 세척수 발생량(m^3/min)②

T : 터널청소시간(min)③

나. 청소 중 처리시설 밖으로의 유출수량(Q_{out})

$$Q_{out} = C \times t$$

C : 청소 중 처리시설 밖으로의 유출량(m^3/min)④

t : 청소 중 처리시설 밖으로의 유출시간(min)⑤

4. 식의 적용

① 터널 지하유출수량(A)

표[1]

일 유출량 ($m^3/일$)	1이하	1초과~ 10이하	10초과~ 30이하	30초과~ 50이하	50초과~ 100이하	100초과~ 150이하	150초과~ 200이하
A (m^3/min)	0	0.007	0.021	0.035	0.069	0.104	0.139

※ 일유출량이 200 m^3 이상일 경우 : $A(m^3/min) = \text{일유출량}(m^3/일) \div 1,440$

② 청소중 세척수 발생량(B) = 0.164 m^3/min

※ 터널설계실무자료집 기준($0.250m^3/min$), 터널 청소장비(ZT33-332) 기준($0.078m^3/min$)의 평균값

③ 청소시간(T) = 터널연장(m) $\div$ 12.35(min/m)

※ 터널설계실무자료집 기준($16.7m/min$), 터널 청소장비(ZT33-332) 기준($8.0m/min$)의 평균값

④ 청소 중 처리시설 밖으로의 유출량(C)

표[4]

배수구($\Phi 200$) 수	3개	4개	5개	6개
배수구면적(m^2)	0.0942	0.126	0.157	0.188
C (m^3/min)	0.057	0.075	0.094	0.113

※ 배수구 면적이 크게 설치하는 경우 : $C = [0.3(m/min) \times 2 \times \text{배수구면적}(m^2)]$

※ C값 산출근거 : “「터널유출수 종합관리대책」 개선방안(2008.08.25)” 참조

⑤ 청소 중 처리시설 밖으로의 유출시간(t) = $T - \frac{D}{A+B}$

표[5]

터널연장 (m)	500m 이하	500초과~ 1,000이하	1,000초과~ 1,500이하	1,500초과~ 2,000이하	2,000초과~ 2,500이하	2,500초과~ 3,000이하	3,000m 초과
D	2.33	4.67	9.16	12.24	12.74	15.08	15.08

※ D값 산출근거 : 2단설치인 경우 [침전조(1)]의 용량(m³),

3단설치인 경우 [침전조(1)+침전조(2)]의 용량(m³)

5. 처리시설 소요규모 결정 예시 (분리배수 방식)

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 1,300m	T = 105.3 min	4. ③	터널연장÷12.35 = 1,300 ÷ 12.35
	D = 9.16	4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 혼합배수 (일 유출량 : 80m³/일)	A = 0.069m³/min	4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : Φ200 5개 설치	C = 0.094m³/min	4. ④	표[4]에서 선택
	B = 0.164 m³/min	4. ②	상수
	t = 66.1 min	4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ = 105.3 - $\left[\frac{9.16}{(0.069 + 0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q _{in})	24.5		(A+B) × T = (0.069+0.164) × 105.3
청소중 유출량 (Q _{out})	6.2		C × t = 0.094 × 66.1
처리시설 소요규모 (Q)	18.3		Q _{in} - Q _{out}

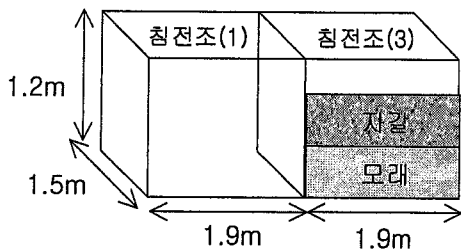
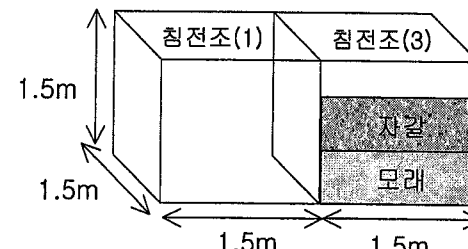
6. 처리시설 규격(W, L, H) 결정

가. 소요규모(Q)가 10m³미만인 경우 : 2단설치

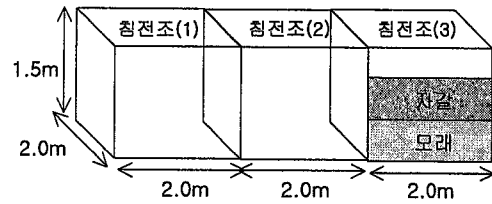
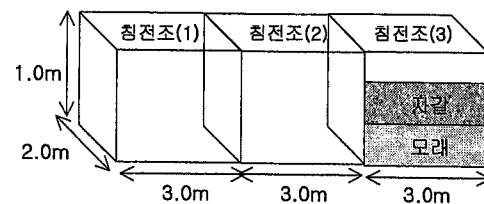
나. 소요규모(Q)가 10m³이상인 경우 : 3단설치

다. 현장여건을 고려하여 W, L, H를 결정하되 소요규모(Q)를 만족하도록 설치

(예시1) Q = 6.5m³인 경우 [유형①], [유형②] 모두 설치 가능

규격	유형① $[1.5 \times 1.9 \times 1.2] \times 2\text{단} = 6.84$	유형 ② $[1.5 \times 1.5 \times 1.5] \times 2\text{단} = 6.75$
설치 예시		

(예시2) Q = 18.0m³인 경우 [유형③], [유형④] 모두 설치 가능

규격	유형③ $[1.5 \times 2.0 \times 2.0] \times 3\text{단} = 18.0$	유형④ $[1.0 \times 2.0 \times 3.0] \times 3\text{단} = 18.0$
설치 예시		

타일세척수 처리시설 소요규모 산정 (CASE 1)

1. 적용대상

- 터널지하수와 타일세척수의 배수관로가 분리되는 경우
- ※ [터널유출수 종합관리대책(2007. 11) 수립] 이후 신설 터널

2. 터널연장별 처리시설 소요규모 산정

□ 터널연장 500m 이하

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 500m	$T = 40.5 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = $500 \div 12.35$
	$D = 2.33$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : $\Phi 200$ 4개 설치	$C = 0.075 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 26.3 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ $= 40.5 - \left[\frac{2.33}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	6.64		$(A+B) \times T$ = $(0+0.164) \times 40.5$
청소중 유출량 (Q_{out})	1.97		$C \times t$ = 0.075×26.3
처리시설 소요규모 (Q)	4.67		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 500m 초과~1,000m 이하

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 1,000m	$T = 81.0 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = 1,000 ÷ 12.35
	$D = 4.67$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : Φ200 4개 설치	$C = 0.075\text{m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 52.5 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ $= 81.0 - \left[\frac{4.67}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	13.28		$(A+B) \times T$ $= (0+0.164) \times 81.0$
청소중 유출량 (Q_{out})	3.94		$C \times t$ $= 0.075 \times 52.5$
처리시설 소요규모 (Q)	9.34		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 1,000m 초과~1,500m 이하

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 1,500m	$T = 121.5 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = $1,500 \div 12.35$
	$D = 9.16$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : $\Phi 200$ 5개 설치	$C = 0.094 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 65.6 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ $= 121.5 - \left[\frac{9.16}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	19.93		$(A+B) \times T$ $= (0+0.164) \times 121.5$
청소중 유출량 (Q_{out})	6.17		$C \times t$ $= 0.094 \times 65.6$
처리시설 소요규모 (Q)	13.76		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 1,500m 초과~2,000m 이하

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 2,000m	$T = 161.9 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = $2,000 \div 12.35$
	$D = 12.24$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : $\Phi 200$ 5개 설치	$C = 0.094 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 87.3 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ $= 161.9 - \left[\frac{12.24}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	26.55		$(A+B) \times T$ $= (0+0.164) \times 161.9$
청소중 유출량 (Q_{out})	8.21		$C \times t$ $= 0.094 \times 87.3$
처리시설 소요규모 (Q)	18.34		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 2,000m 초과~2,500m 이하

조 건	적용값	산출근거	
○ 연장 : 2,500m	$T = 202.4 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = $2,500 \div 12.35$
	$D = 12.74$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : $\Phi 200$ 6개 설치	$C = 0.113 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 124.7 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ $= 202.4 - \left[\frac{12.74}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	33.19		$(A+B) \times T$ $= (0+0.164) \times 202.4$
청소중 유출량 (Q_{out})	14.09		$C \times t$ $= 0.113 \times 124.7$
처리시설 소요규모 (Q)	19.10		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 2,500m 초과~3,000m 이하

조 건	적용 값	산출근거	
○ 연장 : 3,000m	$T = 242.9 \text{ min}$	붙임#3 4. ③	터널연장÷12.35 = $3,000 \div 12.35$
	$D = 15.08$	붙임#3 4. ⑤	표[5]에서 선택
○ 배수형태 : 분리배수	$A = 0 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ①	표[1]에서 선택
○ 배수구 : $\Phi 200$ 6개 설치	$C = 0.113 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ④	표[4]에서 선택
	$B = 0.164 \text{ m}^3/\text{min}$	붙임#3 4. ②	상수
	$t = 150.9 \text{ min}$	붙임#3 4. ⑤	$T - \frac{D}{(A+B)}$ = $242.9 - \left[\frac{15.08}{(0+0.164)} \right]$
청소중 유입량 (Q_{in})	39.84		$(A+B) \times T$ = $(0+0.164) \times 242.9$
청소중 유출량 (Q_{out})	17.05		$C \times t$ = 0.113×150.9
처리시설 소요규모 (Q)	22.79		$Q_{in} - Q_{out}$

□ 터널연장 3,000m 초과

- 처리시설 소요규모(Q) = 22.8 m^3
- 산정근거

현재 운영중인 터널청소차 물탱크 용량(7,000~17,000 ℓ) 및 청소
작업가능시간을 고려 할 때 4시간 이상 연속청소가 불가하므로,
3,000m 인 경우와 동일하게 적용

I 목 적

- ☐ '도로터널 방재시설 설치 및 관리지침' 개정(2009.5, 국토해양부) 내용 반영
- ☐ '2005 고속도로 터널 방재시설 설치기준' 정비
 - 효과적이고 안전한 터널 방재시설 설치기준 수립

II 개정방향

- ☐ '도로터널 방재시설 설치 및 관리지침' 개정 내용 반영
 - 터널 등급기준(위험도 평가인자 및 위험도지수) 적용
 - 터널 등급별 방재시설 설치기준
 - 방재시설별 세부 시설기준
- ☐ 고속도로 특성에 적합하도록 방재시설 관련 기존 방침사항 등 반영

국도 등 일반도로와 차별화된 고속도로 방재시설 기준 적용

주행 특성	사고특성	시설물 특성
· 국도 등에 대비하여 설계속도 높고 · 교통량 많음	· 시설·인명피해 규모 큼 · 사고 파급효과 큼 · 국가 기간망 기능 저하	· 화재사고 사례분석 결과 반영 · 기존 시설과 형평성 (국감 지적 등)
· 500~1,000m 방재시설 보완 등 시설물 강화 추세 · 향후 터널 원격통합관리 등에 따라 방재시설 보강이 필요		

- ☐ 기 시행중인 설계용역 및 공사 등에 적용방안 마련

Ⅲ 추진경위

내 용	일 시	비 고
· ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’ 개정	2009. 5. 6	국토해양부
· ‘고속도로 터널 방재시설 설치기준’ 개정 관련 방재시설별 주관부서 의견조회 시행(시설처-1969)	2009. 5.26	설계처, ITS처 시설처(설비팀, 전기팀)
· ‘고속도로 터널 방재시설 설치기준 개정(안)’ 심의 요청 - 국해부 지침 개정내용 및 주관부서 의견 반영(시설처-3050)	2009. 8.21	시설처 →기술심사처
· 설치기준 심의 시행(심의위원 10인) - 자료검토 후 서면심의(기술심사처-2544)	2009. 8.31 2009. 9.18	조건부 채택
· 심의 결과 조치사항 송부(시설처-3684) - 심의위원별 심의 결과 조치사항 확인 서명 날인	2009.10.19	

Ⅳ 주요 개정내용

□ ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’(국토해양부) 주요 개정사항 적용

주요내용	현행기준	개정기준
터널 방재등급	- 터널 연장기준 4등급	- 터널 연장기준 4등급 + 위험도지수 기준등급 4등급
위험인자	- 터널연장 및 교통량 등 6개 항목	- 사고확률 등 5개 항목, 14개 세부평가 항목
방재등급 조정	- 3등급이상 터널에 대해 상향만 가능	- 500m이상 터널에 한해 위험도지수 기준 등급 1단계 상향 및 하향 가능
기 타	-	- 정량적 위험도 평가(QRA) 시행

□ 방재시설 설치기준 적용(안)

구 분	내 용	
개 요	자체 방재시설기준 일부 반영	
주요내용	○ 국해부 방재지침 적용 (9종) - 소화기구, 물분무설비, 비상경보설비, 비상조명등, 피난연결통로, 피난대피터널, 피난대피소, 무선통신보조설비, 비상콘센트 설비	
	○ 현재 기준(2005년) 적용 (10종) - 옥내소화전설비, 비상방송설비, 긴급전화, 라디오재방송, 정보표시판 유도표지등, 비상주차대, 제연설비, 연결송수관설비, 비상발전설비	
	○ 자체 방침사항 적용 (5종)	
	구 분	내 용
	자동화재탐지설비	· 제연설비가 설치되는 터널에 설치
	CCTV	· 1,000m 미만 터널 원격 감시시스템(CCTV)설치(안) [ITS사업실-1641(2005.7.13)]
	영상유고감지설비	· 자체 방침 수립예정(CCTV와 연동)
	진입차단설비	· 터널진입 차단시설 시범운영 효과분석 및 확대 설치방안 검토 [시설처-2828(2005.10.14)]
	무정전전원설비	· 연장 200m이상 터널에 방재시설이 설치되는 경우 시설별로 설치

V 개정기준

□ 고속도로 터널 방재시설 설치 기준(2009년)

방재시설		터널등급	1등급	2등급	3등급	4등급	비고 (주관부서)
소화 설비	소화기구		●	●	●	●	시설처(설비팀)
	옥내소화전설비		●○	●○			시설처(설비팀)
	물분무설비		○				시설처(설비팀)
경보 설비	비상경보설비		●	●	●		시설처(전기팀)
	자동화재탐지설비		●	●△ ¹⁾			시설처(전기팀)
	비상방송설비		●	●	●		ITS처
	긴급(비상)전화		●	●	●		ITS처
	CCTV		●	●	●	●	ITS처
	영상유고		△	△	△	△	ITS처
	라디오재방송		●	●	●	△ ²⁾	ITS처
	정보표시판		●○	●○			ITS처
	진입차단설비		●○	●○			시설처(전기팀)
피난 대피 설비 및 시설	비상조명등		●	●	●	△ ²⁾	시설처(전기팀)
	유도표지등		●	●	●		시설처(전기팀)
	피난연결통로		●	●	●		설계처
	피난대피터널 (피난갱)		○ ²⁾	△ ²⁾			설계처
	피난대피소		○ ²⁾	△ ²⁾			설계처
	비상주차대		●○	●○			설계처
소화 활동 설비	제연설비		●○	●○			시설처(설비팀)
	무선통신보조설비		●	●	●	△ ²⁾	ITS처
	연결송수관설비		●○	●○			시설처(설비팀)
	비상콘센트설비		●	●	●		시설처(전기팀)
비상 전원	무정전전원설비		●	●	●	△ ³⁾	시설처(전기팀)
	비상발전설비		●	●	●		시설처(전기팀)
비고	● 기본시설 : 연장기준등급에 의함 ○ 기본시설 : 위험도지수기준등급에 의함 △ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의함 1) 제연설비가 설치되는 터널에 설치(영상유고감지 설치시까지) 2) 연장 200m 이상 터널에 설치 3) 연장 200m 이상 터널에 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치						

※ 다음 사항은 '도로터널 방재시설 설치 및 관리지침'(2009.5.국해부)에 따른다. (별첨)

가. 방재시설별 설치위치 및 간격

나. 터널 방재등급, 위험도지수 산정 및 방재등급 조정

VI 적용방안

- ☐ 신설노선 설계부터 적용
- ☐ 공사중 노선 : 현장 여건에 따라 설계변경 시행
- ☐ 기존노선 : 터널별 위험도 평가(추후 시행) 결과에 따라 보완

붙임 : 1. 신·구대조표 1부
2. 개정기준 비교표 1부
3. 심의의견 조치결과(사본) 1부. 끝.

고속도로 터널 방재시설 설치기준 신·구 대조표

방재시설		터널등급				구기준(2005년)				개정기준(2009년)			
		1등급	2등급	3등급	4등급	1등급	2등급	3등급	4등급	1등급	2등급	3등급	4등급
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	옥내소화전설비	●	●○			●○	●○			●○	●○		
	물분무설비	△ ¹⁾				○				○			
경보 설비	비상경보설비	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
	자동화재탐지설비	●	●○			●	●△※)			●	●△※)		
	비상방송설비	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
	긴급(비상)전화	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
	CCTV	●	●○			●	●	●	●	●	●	●	●
	영상유고	-				△	△	△	△	△	△	△	△
	라디오재방송	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	●	●	●	●	△ ²⁾
	정보표시판	●	●○			●○	●○			●○	●○		
	진입차단설비	-				●○	●○			●○	●○		
피난 대피 설비 및 시설	비상조명등	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	△ ²⁾
	유도표지등	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
	피난연결통로	●	●	●	△	●	●	●		●	●	●	
	피난대피터널 (피난갱)	대면통행 및 도시지역 일방통행 터널에 적용				○ ³⁾	△ ³⁾			○ ³⁾	△ ³⁾		
	피난대피소					○ ³⁾	△ ³⁾			○ ³⁾	△ ³⁾		
	비상주차대	●	●○			●○	●○			●○	●○		
소화 활동 설비	제연설비	●	●○			●○	●○			●○	●○		
	무선통신보조설비	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	△ ²⁾
	연결송수관설비	●	●○			●○	●○			●○	●○		
	비상콘센트설비	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
비상 전원	무정전전원설비	●	●	●	△ ²⁾	●	●	●	△ ⁴⁾	●	●	●	△ ⁴⁾
	비상발전설비	●	●	●		●	●	●		●	●	●	
비고	● 기본시설 : 연장기준등급에 의한 ○ 기본시설 : 위험도지수기준등급에 의한 △ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의한 △ ¹⁾ 3km 이상 터널에 연평균일교통량과 터널연장의 곱이 90×103 대·km/day·tube이상인 터널에 대해서 권장설비로 함 △ ²⁾ 연장 200m 이상 터널에 설치 △ ³⁾ 피난연결통로 설치가 불가능한 터널에 적용 △ ⁴⁾ 연장 200m 이상 터널에 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치 △※) 제연설비가 설치되는 터널에 설치												

I 검토목적

- 개착터널 구간에 설치되는 철근콘크리트 라이닝의 설계기준을 『콘크리트 구조설계기준(2007)』 개정 내용을 반영 개선하여 터널의 안정성 확보 및 효율적 단면설계를 도모코자 함

※ 개착터널 : 터널 갱구부 및 터널중간 계곡부 등에 터널 연장을 위해 지반을 개착(Open Cut)하고 라이닝 콘크리트를 시공한 후 복개하는 터널

II 관련기준

□ 콘크리트 구조설계기준 개정

○ 하중조합

콘크리트 구조설계기준(2003)	콘크리트 구조설계기준(2007)
- $U = 1.54D + 1.7L + 1.8H$	- $U = 1.4D + 1.4H_v$
- $U = 0.9D + 1.8H$	- $U = 0.9D + 1.6\alpha_h H_v + 1.6H_h$
- $U = 0.75(1.54D + 1.7L)$	- $U = 1.2D + 1.2T + 1.6L + 1.6\alpha_h H_v + 1.6H_h$
- $U = 1.54D + 1.5T$	- $U = 1.2D + 1.2T + 1.6L + 1.6\alpha_h H_v + 0.8H_h$
- $U = 1.54D + 1.7L$	- $U = 1.2D + 1.0L$
- 지하구조물과 같이 고정하중이 지배적인 구조물은 D대신 1.1D 대입($1.4D \rightarrow 1.54D$)	- 1.1D 적용 항목 삭제
	- 토피 두께에 따른 보정계수 α_h 적용

※ U : 소요강도 D : 고정하중(자중 등) L : 활하중

H : 흙, 지하수 등의 횡압력에 의한 하중, T : 온도변화, 건조수축 등

H_v : 흙, 지하수 등의 자중에 의한 연직방향 하중,

H_h : 흙, 지하수 등의 횡압력에 의한 수평방향 하중

α_h : 토피 두께에 따른 보정계수

□ 터널설계기준(건설교통부, 2007)

- 라이닝 구조설계 시 발생 가능한 다양한 하중조합을 적용하여 상황에 가장 근접한 결과를 얻을 수 있도록 하여야 함
- 개착터널의 라이닝은 상시와 지진시 구조적 안정성 확보해야 함
 - 지진시 : 터널내 내진설계 적용방안 수립(설계처-3023, 2006.11.22) 적용

□ 개착터널 라이닝 설계기준(상시) 수립(설계처-1428, 2007.5.15)

- 하중조합은 수평토압 및 반 수평토압 적용
- 라이닝 두께는 500mm 적용, 토피고 증가 등에 따른 단면력 증가 시는 지진 시를 고려 철근량으로 조정하고 단면두께 증가는 가급적 지양
- 철근량은 천장, 벽체, 바닥부로 분리 산정

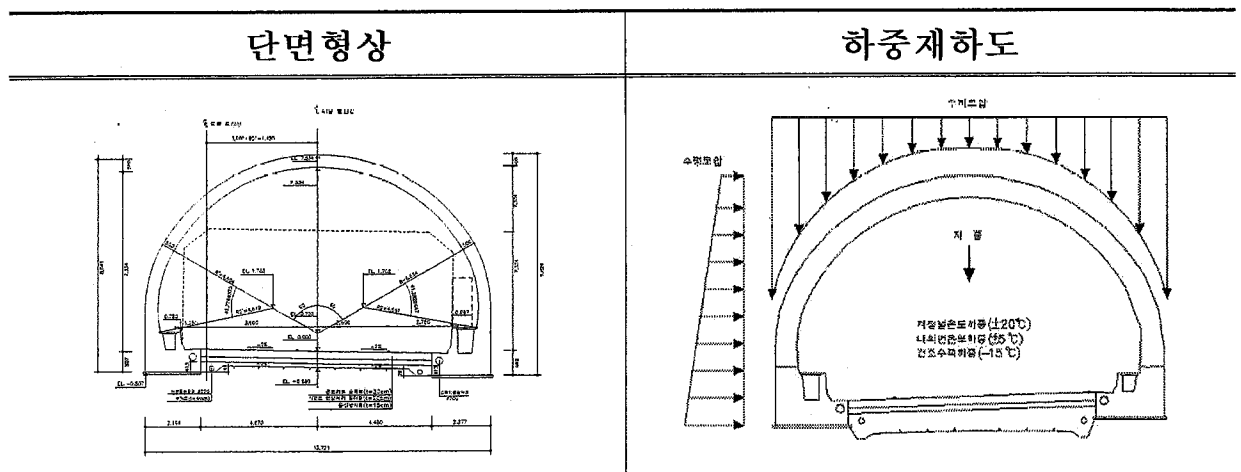
III 개착터널 라이닝 안정성 검토

□ 검토방법

- 『개착터널 라이닝 설계기준(상시) 수립(설계처-1428, 2007.5.15)』 해석조건에서 변경된 하중조합을 적용하여 안정성 검토

□ 라이닝 안정성 검토

- 단면형상 및 하중재하도



o 해석조건

차로	토피고	흙의특성			지 반 변형계수
		단위중량	내부마찰각	정지토압	
2차로	2~5m	19.0kN/m ³	30°	K ₀ = 0.5	5.0×10 ⁵ kN/m ²

※ 일반적으로 터널의 갱구부가 토피고 3~5m 지점에 설치(터널설계기준)
되므로 토피고 2~5m를 대상으로 검토

o 하중조합

- ① $U = 1.4D + 1.4H_v$
- ② $U = 1.2D + 1.6L + 1.6\alpha_h H_v + 1.6H_h + 1.2(T_1 + T_2 + T_3)$
- ③ $U = 1.2D + 1.6L + 1.6\alpha_h H_v + 0.8H_h + 1.2(T_1 + T_2 + T_3)$
- ④ $U = 0.9D + 1.6\alpha_h H_v + 1.6H_h$
- ⑤ $U = 1.2D + 1.0L$

* U : 소요강도, D : 고정하중, L : 활하중

H_v : 흙, 지하수 등의 자중에 의한 연직방향 하중,

H_h : 흙, 지하수 등의 횡압력에 의한 수평방향 하중,

T₁ : 계절별온도하중(+20℃, -20℃) T₂ : 내외면온도차(+5℃, -5℃), T₃ : 건조수축(-15℃)

* α_h (토피 두께에 따른 보정계수)

토피고(h)	$h \leq 2m$	$2m < h \leq 7m$	$7m < h$
계수값	1.0	$1.05 - 0.025h$	0.875

* 개착터널 특성을 감안하여 활하중 값 생략 가능

하중 조합	고정 하중	연직 토압	수평 토압	계절별 온도하중		내외면 온도차		건조 수축	비 고
				+20℃	-20℃	+5℃	-5℃	-15℃	
comb.1	1.4	1.4	-	-	-	-	-	-	도피고(h) $h \leq 2.0m$: $\alpha_h = 1.0$
comb.2	1.2	$1.6\alpha_h$	1.6	1.2	-	1.2	-	-	
comb.3	1.2	$1.6\alpha_h$	1.6	-	1.2	-	1.2	1.2	
comb.4	1.2	$1.6\alpha_h$	0.8	1.2	-	1.2	-	-	$2.0m < h \leq 7.0m$: $\alpha_h = 1.05 - 0.025h$
comb.5	1.2	$1.6\alpha_h$	0.8	-	1.2	-	1.2	1.2	
comb.6	0.9	$1.6\alpha_h$	1.6	-	-	-	-	-	
comb.7	1.0	1.0	1.0	1.0	-	1.0	-	-	사용성검토
comb.8	1.0	1.0	1.0	-	1.0	-	1.0	1.0	

o 하중조합별 단면력(토피고 2m 경우)

하중 조합	천장부			측벽부			바닥부		
	모멘트 (kNm)	축력 (kN)	전단력 (kN)	모멘트 (kNm)	축력 (kN)	전단력 (kN)	모멘트 (kNm)	축력 (kN)	전단력 (kN)
comb.1	386.83	183.59	37.88	537.49	680.41	197.96	448.07	724.05	183.84
comb.2	69.27	522.25	50.16	83.61	751.46	115.62	190.90	819.84	254.84
comb.3	25.34	515.17	52.32	143.58	750.43	111.69	266.73	819.84	258.79
comb.4	255.47	359.81	121.53	318.16	744.47	143.47	234.73	781.72	150.32
comb.5	200.83	362.03	120.31	363.75	745.05	141.73	277.15	782.17	152.55
comb.6	30.43	525.70	42.72	91.10	720.69	107.76	233.40	775.99	265.50
comb.7	62.73	332.79	37.87	64.39	495.15	78.23	104.62	548.94	150.98
comb.8	26.12	329.50	39.67	114.36	494.29	74.95	167.81	548.94	154.27

- comb.1은 수평토압 미반영 단면력 과다로 바람직한 하중조합이 아님

※ 토피고별 단면력 및 철근량 검토(예시) : 붙임 #1 참조

o 단면설계 및 경제성 검토

- 단면력이 최대값인 조합에 대한 검토(토피고 2m : comb.4, 5, 6)

토피 (m)	단면두께 (mm)	단면적 (m ²)	주철근			공사비 (천원)	비율 (%)
			천장부	측벽부	바닥부		
2.0	T400	13.6	D19@125	D25@125	D16@125	2,252	102.7
	T500	16.1	D19@125	D19@125	D16@125	2,194	100.0
	T600	18.7	D16@125	D19@125	D16@125	2,310	105.3
3.0	T400	13.6	D25@125	D29@125	D16@125	2,616	103.0
	T500	16.1	D22@125	D25@125	D16@125	2,538	100.0
	T600	18.7	D19@125	D22@125	D16@125	2,498	98.4
4.0	T500	16.1	D29@125	D29@125	D19@125	2,938	102.9
	T600	18.7	D25@125	D25@125	D19@125	2,856	100.0
	T700	21.2	D25@125	D22@125	D19@125	2,884	101.0
5.0	T600	18.7	D32@125	D29@125	D22@125	3,287	104.9
	T700	21.2	D29@125	D25@125	D19@125	3,133	100.0
	T800	23.9	D25@125	D22@125	D19@125	3,081	98.3

o 검토결과

- 토피고 2m일 경우, 경제적인 라이닝 두께는 500mm임
- 토피고 증가에 따라 경제적인 라이닝 두께 증가

IV 개선방안

□ 적용 하중조합

○ 수평토압(Hh) 미 적용 하중조합(comb.1) 삭제

번호	하중조합	비 고
1	$U=1.2D+1.6L+1.6\alpha_h H_v+1.6Hh+1.2(T_1+T_2)$	토피고 보정계수 α_h $h \leq 2.0m$: $\alpha_h=1.0$
2	$U=1.2D+1.6L+1.6\alpha_h H_v+1.6Hh+1.2(T_1+T_2+T_3)$	
3	$U=1.2D+1.6L+1.6\alpha_h H_v+0.8Hh+1.2(T_1+T_2)$	
4	$U=1.2D+1.6L+1.6\alpha_h H_v+0.8Hh+1.2(T_1+T_2+T_3)$	$2.0m < h \leq 7.0m$: $\alpha_h=1.05-0.025h$
5	$U=0.9D+1.6\alpha_h H_v+1.6Hh$	
6	$U=1.0D+1.0H_v+1.0Hh+1.0(T_1+T_2)$	사용성 검토
7	$U=1.0D+1.0H_v+1.0Hh+1.0(T_1+T_2+T_3)$	

□ 라이닝 단면

- 개착터널(2차로) 철근콘크리트 라이닝 두께는 최소 500mm 적용
- 토피고 증가, 지반조건, 활하중, 수압 등으로 단면력 증가시
시공성, 경제성 등을 감안한 최적단면 산정
- 철근량은 천장부, 측벽부, 바닥부로 분리 산정하고 시공성 등을
고려하여 간격 조정

IV 적용방안

- 설계중 및 설계완료 후 미발주 노선 : 본 기준 적용
- 공사중 노선 : 공사주관부서에서 현장여건 고려 적용여부 판단

붙임 : 1. 토피고별 단면력 및 철근량 검토(예시)
2. 개착터널 라이닝 설계(상시) 흐름도. 끝.

토피고별 단면력 및 철근량 검토(예시)

□ 토피고 2.0m

단면두께 (mm)	검토위치	모멘트 (kN·m)	축력 (kN)	전단력 (kN)	주철근
T400	천장부	211.23	361.90	109.59	D19@125
	측벽부	323.05	722.97	130.26	D22@125
	바닥부	243.91	792.38	277.57	D16@125
T500	천장부	255.47	359.81	121.53	D19@125
	측벽부	363.75	745.05	143.47	D19@125
	바닥부	277.15	782.17	273.09	D16@125
T600	천장부	297.83	360.98	134.44	D16@125
	측벽부	420.26	774.61	159.77	D19@125
	바닥부	358.38	871.06	278.83	D16@125

□ 토피고 3.0m

단면두께 (mm)	검토위치	모멘트 (kN·m)	축력 (kN)	전단력 (kN)	주철근
T400	천장부	343.78	446.17	162.88	D25@125
	측벽부	448.73	900.76	179.95	D29@125
	바닥부	329.10	930.24	272.57	D16@125
T500	천장부	361.70	446.78	173.44	D22@125
	측벽부	505.75	923.42	192.08	D25@125
	바닥부	391.27	957.69	275.54	D16@125
T600	천장부	410.48	448.11	186.97	D19@125
	측벽부	560.34	954.26	208.20	D22@125
	바닥부	453.87	994.93	281.35	D16@125

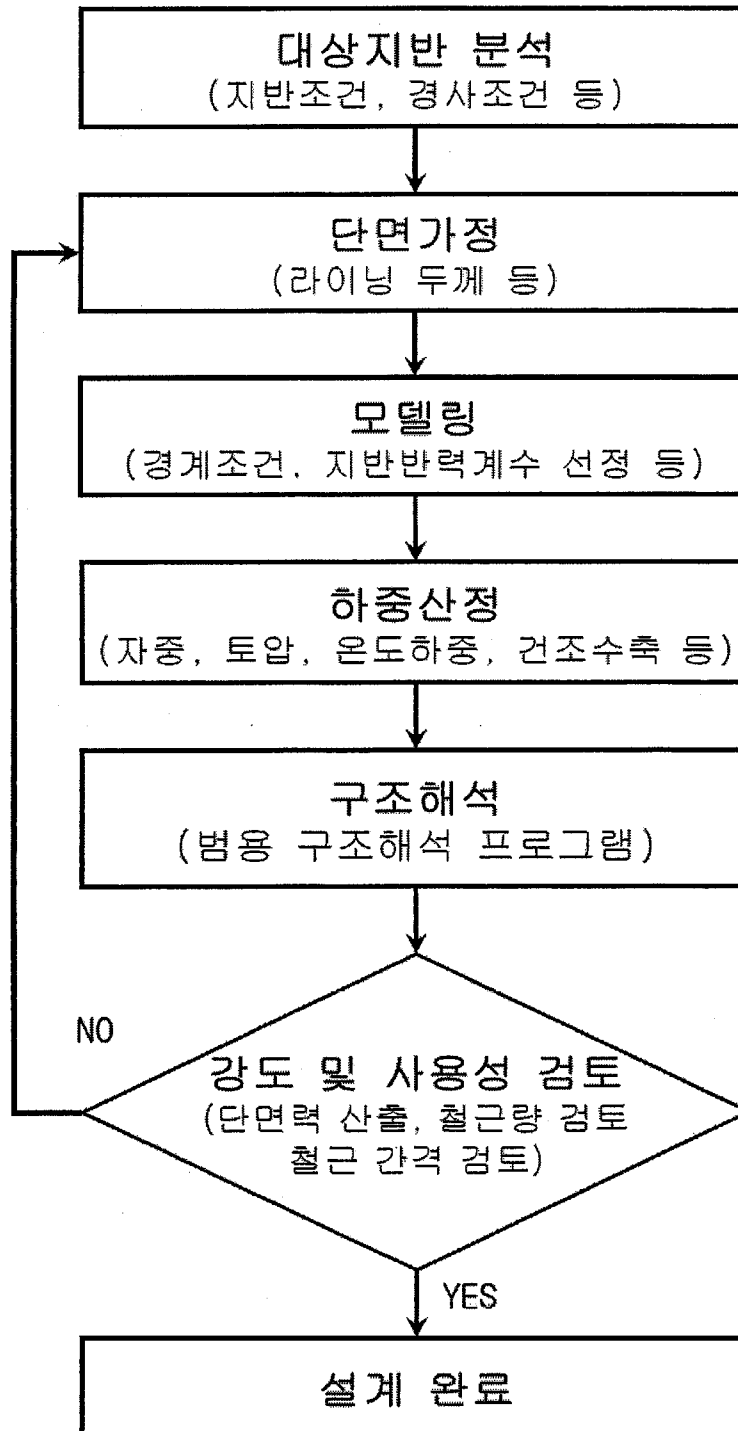
□ 토 피 고 4.0m

단면두께 (mm)	검토위치	모멘트 (kN·m)	축력 (kN)	전단력 (kN)	주철근
T500	천장부	555.67	511.03	232.60	D29@125
	측벽부	621.23	1086.31	252.68	D29@125
	바닥부	511.28	1123.81	274.89	D19@125
T600	천장부	583.08	518.88	243.24	D25@125
	측벽부	681.24	1119.25	264.96	D25@125
	바닥부	574.45	1162.28	283.87	D19@125
T700	천장부	613.82	526.79	254.44	D25@125
	측벽부	756.33	1200.31	278.15	D22@125
	바닥부	649.31	1201.20	292.23	D19@125

□ 토 피 고 5.0m

단면두께 (mm)	검토위치	모멘트 (kN·m)	축력 (kN)	전단력 (kN)	주철근
T600	천장부	775.22	580.99	299.06	D32@125
	측벽부	811.77	1321.50	322.33	D29@125
	바닥부	699.67	1319.71	286.40	D22@125
T700	천장부	800.92	589.27	310.74	D29@125
	측벽부	888.42	1358.71	336.09	D25@125
	바닥부	774.96	1359.78	298.39	D19@125
T800	천장부	824.28	597.68	322.09	D25@125
	측벽부	966.92	1396.19	347.10	D22@125
	바닥부	853.43	1400.33	309.97	D19@125

개착터널 라이닝 설계(상시) 흐름도



I 검토 배경

- 건설공사 시행중 깎기비탈면의 파괴로 인한 지속적인 설계변경 발생
- 설계변경에 대한 원인분석을 통해 설계변경 최소화를 위한 설계 기준을 개선하였으나 시공중 관리강화를 위한 비용반영 등 추가적인 대책 검토

II 그간 추진현황

- 2008. 1~4 : 깎기비탈면 분야별 전문가 T/F 협의체 구성·운영(건설관리처)
 - 구 성
 - 외부전문가(11명) : 설계용역사, 하도급사, 토질조사 용역업체, 기술자문단
 - 내부직원(14명) : 본사 관련부서, 사업단, 도로교통연구원
 - 중점 추진 과제
 - 설계기준 보완 및 정립
 - 시공중 합리적인 깎기비탈면 관리방안 수립
 - 시공단계별 감독확인 의무화
- 2008. 5 : 깎기비탈면 설계변경 최소화 대책(안) 수립(건설관리처)
 - 대절토부(20m이상) 조사기준 강화
 - 시공전 설계적정성 검토비용 반영
- 2008. 6 : 깎기비탈면 설계변경 최소화를 위한 토질조사기준 개선(설계처)
 - 시추조사 심도 및 빈도 강화
 - 시추 조사 위치(종, 횡방향) 개선
- 2008. 10 : 깎기비탈면 설계기준 개선(설계처)
 - 토질조사 기준강화 : 종방향 물리탐사 시행
 - 배수시설 설치 강화 : 도수로 규격확대(600×500mm⇒1,000×600mm)
 - 표면보호공법 적용기준 개선 : 파괴 요인별 지질조건에 따른 공법 적용상 추가검토

III 문제점

- 비탈면 파괴시 시공자의 관리부실 입증 곤란으로 지속적인 설계변경 발생
 - 건설공사중 비탈면 파괴시 시공사 귀책사유로 설계변경 미승인 건수 전무
 - 깎기비탈면 파괴시 원인규명에 대한 검토 및 절차 없이 설계심의를 통한 설계변경 시행
 - 귀책사유에 대한 제재 없이 설계변경이 이루어지고 있어 깎기비탈면 파괴가 발생하더라도 사후 조치하면 된다는 인식 팽배
- 집중호우시 깎기비탈면 유실 등 비탈면 녹화가 되지 않은 구간에 대한 깎기비탈면 관리 부실
- 발파시 장약량 과다로 인한 암반비탈면 균열 등 비탈면 취약요인 상존

IV 검토 방향

- 건설공사 단계에서 시공자의 관리철저로 책임시공 유도를 위한 설계내역 구성 및 설계변경 조건 검토
- 깎기비탈면 관리에 철저를 기할 수 있는 관리비용 추가 반영
- 시공자의 관리 부실 등 시방기준 미준수로 인한 깎기비탈면 파괴가 발생시 귀책사유를 규명하여 시공사 부담으로 시행토록 공사시방서 명시

V 개선 방안

- 깎기비탈면 취약구간에 대하여 추가 정밀조사 시행 및 1식단가 적용
 - 깎기비탈면 지표조사 및 시추조사 후 취약구간에 대하여 추가 정밀조사에 의한 지반정수 산정 및 안정해석 재시행으로 설계강화
 - 취약구간 추가 정밀조사 기준 제시(붙임 참조)
 - 시공사의 책임시공을 유도하고 효율적 현장 관리를 위하여 취약구간 땅깎기공, 보강공법, 계측, 덮개설치를 1식으로 내역을 구성하여 설계변경 불가 명시
 - 설계 적용방안
 - 대상구간 : 비탈면 최고 높이가 30m이상인 구간으로 절리가 불규칙하고 세일 등에 의한 파괴가 예상되는 취약구간
 - ☞ 부산외곽순환 노선을 검토하여 취약구간 3개소 선정 시범적용
 - 공사계약 일반조건 제32조에 의거 태풍·홍수 기타 악천후, 시공자의 통제범위를 초월하는 사태의 발생 등 불가항력적인 경우를 제외하고는 설계변경 불가
 - 불가항력의 사유로 인한 설계변경 가능 판단은 민간전문가로 구성된 위원회를 통하여 결정
- 깎기비탈면 녹화전 관리를 위한 덮개비용 반영
 - 집중호우시 또는 강설시 표면보호공법을 미시공한 구간 또는 안정되지 않은 구간 깎기비탈면 취약화 방지를 위한 덮개(천막) 설치
 - 암비탈면 구간을 제외한 깎기비탈면 면적을 적용
 - ☞ 시공여건 등을 고려하여 시공후 정산

□ 정밀깎기(발파 10%+브레이크 90%) 비용 반영

- 과발파로 인한 암반비탈면 취약화 방지를 위하여 최종 깎기비탈면 근접구간 발파+브레이크 깎기 반영

- 설계 적용방안(잠정적용)

- 대상수량 : 최종 깎기비탈면에서 2.0m 이격구간 암깎기 수량

- ☞ 추후 발파장약량 및 이격거리에 따른 비탈면 균열발생 연
구수행 후 변경 검토

□ 책임시공 유도를 위한 지방기준 수립

- 귀책사유 기준 검토

- 집중호우 및 이상기후 시 관리부실, 토질 및 지형여건을 고려한 정밀시공 미시행

- 시공전 설계 및 보강공법 적정성 검토 미흡

- 시공전 추가 및 확인 지반조사 소홀, 설계도서 및 검토보고서와 다르게 시공, 배수시설 미설치

- 귀책사유 판단에 대한 객관성 확보를 위한 처리절차 명시

- 비탈면 파괴 발생시 귀책사유 판단을 민간 전문가(설계 및 시공)
로 구성된 위원회에 의한 원인 규명

VI 적용 방안

- 1식단가 적용 : 부산외곽순환 고속도로에 깎기비탈면 취약구간
3개소 선정 적용

- 덮개, 정밀깎기 비용 및 귀책사유 지방기준

- 설계중인 노선 : 본 방침 적용

- 설계완료 미발주노선 : 보완설계시 적용

- 붙임 : 1. 깎기비탈면 취약구간 1식단가 적용 예시
2. 덮개(천막) 설치 단가
3. 정밀깎기(발파10%+브레이카90%) 수량 적용 예시
4. 책임시공 유도를 위한 시방기준
5. 설계서 명기내용
6. 취약구간 추가 정밀조사 기준
7. 발파에 따른 깎기비탈면 영향검토

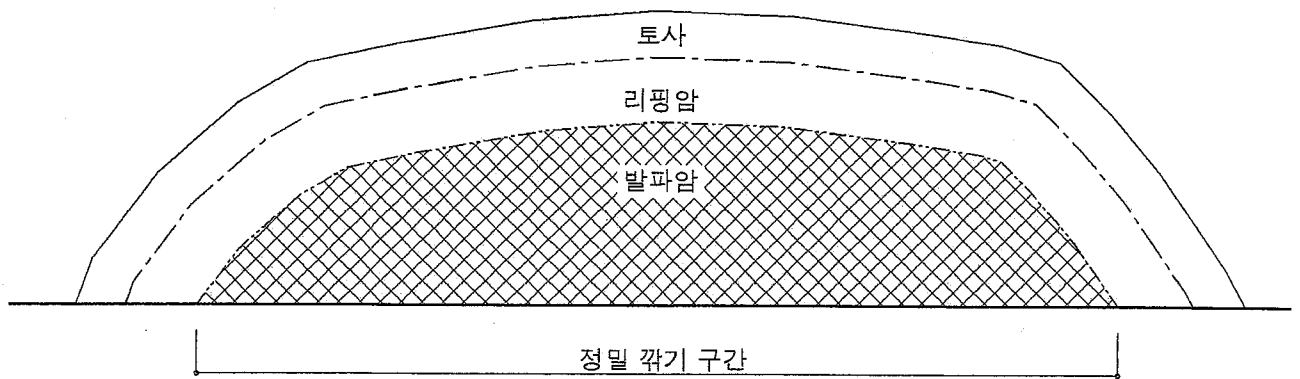
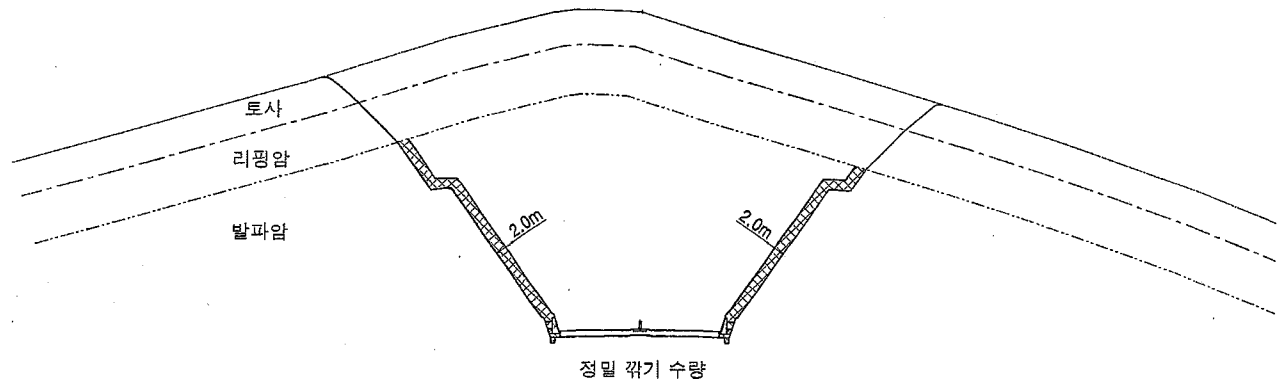
붙임 1. 깎기비탈면 취약구간 1식단가 적용 예시

산출근거		재료비	노무비	경비	합계	비고
DJ8720	취약구간 깎기 비탈면 공사 /SUM	56,442,933	221,931,660	42,776,100	321,150,693	
1. 깎기공						
1) 토사깎기						
토공 BASIC [O105A01000] 참조						
경 비 : 457 * 100 M3 = 45,700.0				45,700	45,700	
노 무 비: 178 * 100 M3 = 17,800.0			17,800		17,800	
재 료 비: 0 * 100 M3 = 0.0						
소 계 :			17,800	45,700	63,500	
2) 리핑암깎기						
토공 BASIC [O105B01000] 참조						
경 비 : 925 * 100 M3 = 92,500.0				92,500	92,500	
노 무 비: 360 * 100 M3 = 36,000.0			36,000		36,000	
재 료 비: 0 * 100 M3 = 0.0						
소 계 :			36,000	92,500	128,500	
3) 발파암깎기(미진동 암파쇄)						
토공본공종 [DD3001] 참조						
경 비 : 15,467 * 100 M3 = 1,546,700.0				1,546,700	1,546,700	
노 무 비: 19,686 * 100 M3 = 1,968,600.0			1,968,600		1,968,600	
재 료 비: 0 * 100 M3 = 0.0						
소 계 :			1,968,600	1,546,700	3,515,300	
4) 발파암깎기(진동제어, 소규모)						
토공본공종 [DD3003] 참조						
경 비 : 6,262 * 200 M3 = 1,252,400.0				1,252,400	1,252,400	
노 무 비: 9,010 * 100 M3 = 901,000.0			901,000		901,000	
재 료 비: 0 * 100 M3 = 0.0						
소 계 :			901,000	1,252,400	2,153,400	
2. 보강공법						
1) soil nailing(L=6.0m)						
토공본공종 [DJ7106] 참조						
경 비 : 5,418 * 100 M2 = 541,800.0				541,800	541,800	
노 무 비: 59,591 * 100 M2 = 5,959,100.0			5,959,100		5,959,100	
재 료 비: 25,997 * 100 M2 = 2,599,700.0		2,599,700			2,599,700	
소 계 :		2,599,700	5,959,100	541,800	9,100,600	
2) Earth anchor						
토공 본공종 [DJ8100] 참조						
경 비 : 382,970 * 100 NR = 38,297,000.0				38,297,000	38,297,000	
노 무 비: 1,867,825 * 100 NR = 186,782,500.0			186,782,500		186,782,500	
재 료 비: 537,119 * 100 NR = 53,711,900.0		53,711,900			53,711,900	
소 계 :		53,711,900	186,782,500	38,297,000	278,791,400	
3. 관리비용						
비탈면 덮개설치 본공종 [DJ8710] 참조						
경 비 : 0 * 1 식 = 0.0						
노 무 비: 78,000 * 1 식 = 78,000			78,000		78,000	
재 료 비: 131,333 * 1 식 = 131,333.0		131,333			131,333	
소 계 :		131,333	78,000		210,133	
4. 계측비용						
경 비 : 1,000,000 * 1 식 = 1,000,000.0				1,000,000	1,000,000	
소 계 :				1,000,000	1,000,000	
전체 합계		56,442,933	199,743,800	42,776,100	298,962,833	

붙임 2. 비탈면 덮개(천막) 설치 단가

산 출 근 거	재료비	노무비	경비	합계	비고
DJ8710 비탈면 덮개(PE천막)설치 /m ²					
1.자재비 (PE탐지(220g))					
재료비: 394 * 1 M2 =394	394			394	
소 계 :	394			394	
2.설치및철거비(자재비의 20%)					
노무비: 394*0.20 =78.8		78.8		78.8	
소 계 :		78.8		78.8	
전체 합계	394	78.8		472.8	

붙임 3. 정밀깎기(발파10%+브레이카 90%) 수량 적용 예시



붙임 4. 책임시공 유도를 위한 시방기준 수립

1.9 계약상대자의 책무

1.9.3 책임한계

- (3) 계약상대자는 그 공사에서 발생한 모든 손상과 피해를 준공 검사 이전에 복구·보수 완료하여야 하며, 이에 소요된 비용은 계약상대자의 태만이나 과실이 없는 경우(예를 들어 지진, 해일, 태풍이나 기타 천재지변과 같이 예견하거나 대처할 수 없는 불가항력적인 경우, 전쟁이나 적에 의한 경우 또는 우리 공사의 귀책사유에 의한 경우)를 제외하고는 계약상대자가 부담하여야 한다.

- (11) 계약상대자는 계약상대자가 보관하고 있는 지급자재 및 우리공사 소유물을 분실 또는 손괴한 때에는 우리 공사가 정한 기한 내에 변상 또는 원상 복구하여야 한다.

[추가 내용]

- (12) 계약상대자는 깎기비탈면 공사에 대하여 추가보강 및 비탈면 경사 조정 발생시 민간 전문가(설계 및 시공)로 구성된 위원회에 의한 원인규명을 통해 계약상대자의 귀책사유로 보강 및 경사도 조정이 발생할 경우 계약상대자 부담으로 시공하여야 한다.

3-4 땅깁기

3-4-1 도로 땅깁기

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 설계도서에 의해 확정된 선형, 경사, 치수나 시방서의 규정에 부합되도록 땅을 깎는 공사에 적용한다.

1.1.1 ----

1.1.2 ----

1.1.3 ----

[추가 내용]

1.1.4 깎기비탈면 공사에 대하여 지표조사 및 안정성 검토후 추가보강 및 비탈면 경사 조정 발생시 민간 전문가(설계 및 시공)로 구성된 위원회에 의한 원인규명을 통해 계약상대자의 귀책사유로 판명될 시 계약상대자 부담으로 시공하여야 한다.

(1) 귀책사유

- ① 이상기후 시 비탈면 관리부실, 정밀시공 미시행
- ② 시공전 설계 및 보강공법 적정성 검토 미흡
- ③ 시공전 추가 및 확인 지반조사 소홀
- ④ 설계도서 및 검토보고서와 다르게 시공
- ⑤ 배수시설 미설치

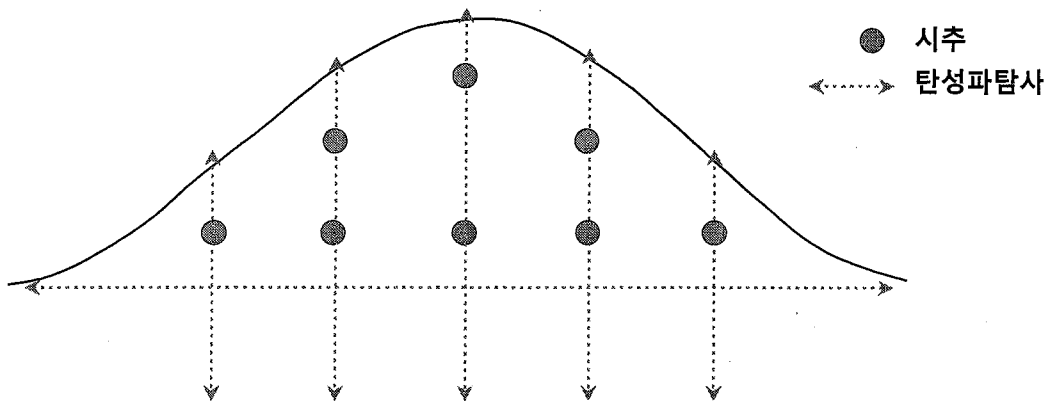
붙임 5. 설계서 명기내용

☐ 취약구간 깎기비탈면 공사

- 비탈면파괴가 빈번한 지역이나 파괴 위험이 예상되는 깎기비탈면 공사에 대한 1식 단가는 설계변경 불가

붙임 6. 취약구간 추가 정밀조사 기준

□ 비탈면 연장 600m, 높이 20m이상 비탈면 기준(예)



- 100m 간격 시추조사 및 횡방향 탄성파탐사 시행
- 시추결과에 따라 지층변화가 있는 경우 1개 비탈면에 대해서 2개소 이상 안정해석 수행

※ 취약구간에 대한 상세 정밀조사 가이드 라인 수립 예정이므로 가이드 라인에 따라 별도 검토 적용

붙임 7. 발파에 따른 깎기비탈면 영향범위 검토

□ 발파에 따른 깎기비탈면 영향범위 산정 기준

○ 설계발파진동 추정식

$$v = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

여기서, v : 진동속도(cm/s)

D : 폭원으로부터 이격거리(m)

W : 지발당 최대장약량(kg)

○ 비탈면 보호를 위한 진동안전기준 설정(Langefors's proposal)

- 탄성파의 전파속도를 3,000m/s정도로 볼 때,

⇒ 균열발생수준은 30cm/s

□ 발파공법별 진동안전기준 이격거리

발파공법	지발당 장약량(kg)	진동안전기준 이격거리(m)	비 고
정밀진동제어발파	0.25	1.7	
진동제어발파 (소규모)	1.0	3.3	
진동제어발파 (소규모)	3.0	5.7	
일반발파	7.5	9	
대규모발파	20.0	14.8	

