

고속도로 터널 현황

김성환(한국도로공사 도로연구소, 수석연구원), 김낙영(한국도로공사 도로연구소, 책임연구원)

1. 머리말

국내에서는 80년대 후반들어 세계화, 경제의 광역화에 따른 경제 급성장 등으로 인하여 물류운반 차량과 주말통행인구가 급증하였다. 이에 따라 고속도로에서 교통체증으로 인한 경제적 손실이 사회 문제화됨으로써 이러한 경제적 손실을 해소하기 위하여 고속도로 확장 및 신설공사에 대한 필요성이 사회전반에 걸쳐서 요구되었다. 이에 부응하여 한국도로공사에서는 90년대에 고속도로 확장 및 신설에 주력하였고 현재 한국도로공사는 교통체증에 의한 경제적 손실을 최소화하고 국토의 균형있는 발전을 위하여 99년 12월 기준 20개 노선에 총연장 2026.7km를 관리하고 있으며, 국토의 균형 있는 발전을 위해 추진중인 고속도로 건설은 2004년까지는 전 노선의 연장이 3700km에 달할 전망이다(그림 1참조). 우리나라의 지형 특성상 전 국토의 70%를 산지가 차지하고 있기 때문에 고속도로 확장 및 신설공사에 따른 차로수와 설계속도의 증가, 수송의 효율성 제고 등과 관련하여 쾌적한 주행을 확보하기 위해서는 고속도로건설 증가에 비례하여 터널공사는 필연적으로 증가할 수밖에 없었지만 80년대 초까지만 해도 고속도로 터널 시공경험 및 기술력 부족과 경제성 측면에서

매우 불리한 재래식 터널설계방법(ASSM)에 의존함으로써 터널공사가 활발하지 못하였다. 그러나 경제적인 터널시공방법인 NATM공법을 고속도로에서는 1984년 호남터널에 처음 적용하여 성공적으로 완공함으로써 80년대 후반부터 90년대 들어서는 NATM공법에 의한 터널공사가 그림 2~5에서와 같이 100개소 이상으로 급증하였다. 현재 고속도로터널의 기술력은 1995년 10월 국내 최초 4차선 고속도로인 서울외곽순환고속도로에 위치한 청계터널 완공을 시작으로 연장이 1km이상이고 단면이 4차선인 수리, 수암터널과 같은 장대터널과 NATM공법과 TBM공법을 병용하여 시공한

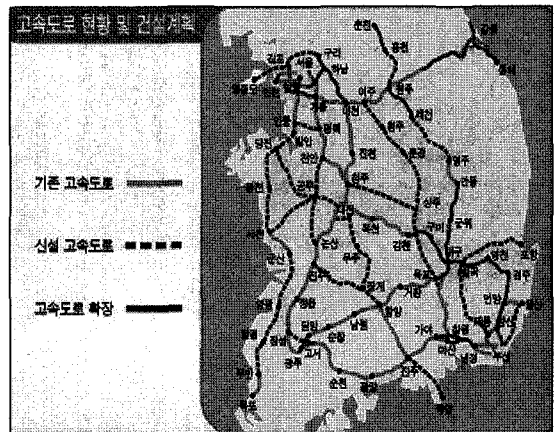


그림 1. 향후 고속도로 노선망(2004년)

〈표1〉 고속도로 4차선 터널 현황

노선	터널명	터널연장	비고
서울외곽 순환고속도로	청계	상행선:450m, 하행선:450m	95년 10월 준공
	수리	상행선:1866m, 하행선:1882m	99년 12월 준공
	수암	상행선:1254m, 하행선:1294m	99년 12월 준공
	소래	상행선:421m, 하행선:446m	99년 12월 준공
내서-냉전	진영	상행선:650m, 하행선:660m	99년 12월 굴착완료

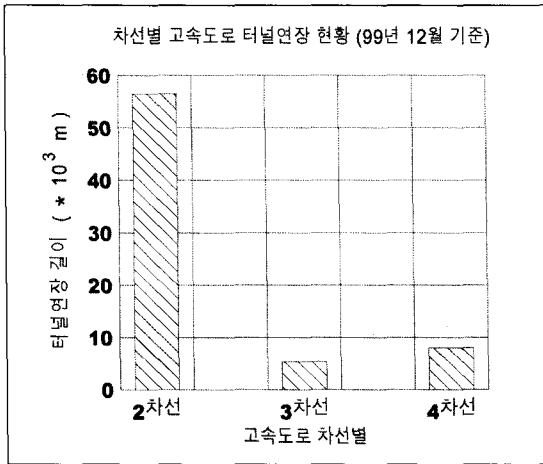


그림2. 차선별 고속도로 터널 연장 현황

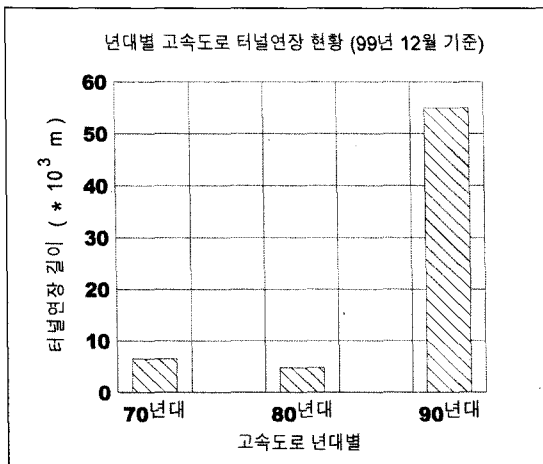


그림3. 년대별 고속도로 터널 연장 현황

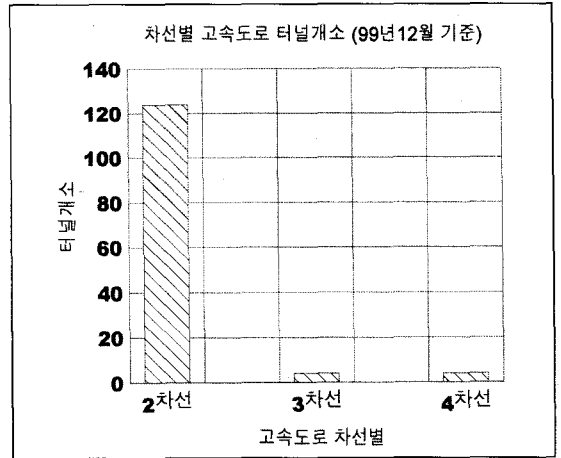


그림4. 차선별 고속도로 터널개소

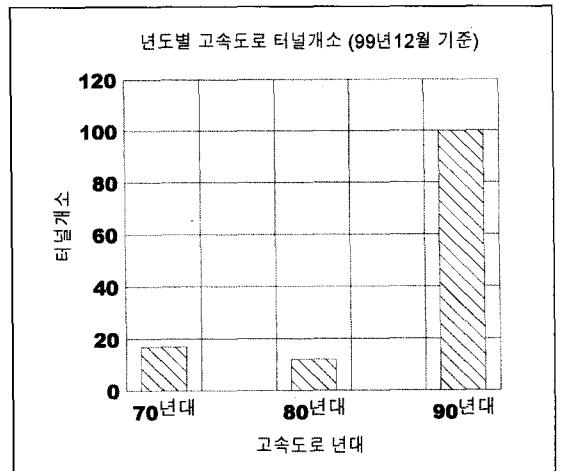


그림5. 년도별 고속도로 터널개소

연장 4.5km의 죽령터널, 그외 연장이 3.3km인 둔내터널등 다수의 터널들을 성공적으로 완공함으로써 고속도로터널의 설계·시공기술력은 국내외적으로도 최고의 기술력을 확보하였다고 볼수 있다. 이와같이 90년대 들어 연장이 1km 이상인 장대터널의 수습개소 건설됨으로써 터널관리를 효율적으로 하기 위하여 터널내 환기, 전기, 조명시설을 자동제어하고 사고발생등을 한눈에 감시할수 있는 터널관리시스템을 일부 구축하여 방재기능을 수행할수 있는 구조물로서 눈부신 발전을 하였다.

2. 지반조사

고속도로터널공사를 위한 지반조사는 계획된 공사절차에 따라 표 2와 같이 자료조사 및 현장답사, 개략조사 및 정밀조사의 순서로 행하며 소규모 터널인 경우에는 자료조사 및 정밀조사 2단계로 시행하고 장대터널이나 도심지 터널 등이 건설되는 중요한 위치에서는 정밀조사를 수차에 걸쳐 시행하며 고속도로 터널 설계를 위해 표 3과 같은 항목을 수행한다. 고속도로터널의 경우 산악지역에서 시

공되므로 지반조사는 시추조사에 의한 방법보다는 주로 물리탐사방법에 의존하고 있는 상황이고 최근 들어 터널이 장대화됨으로써 경제적이고 안전한 터널시공을 위해 지반조사의 중요성이 대두되면서 적극적으로 새로운 지반조사 및 현장시험방법을 도입함으로써 조사결과를 설계에 합리적으로 반영하고 있다.

고속도로터널은 산악지형에 대부분 설치되므로 지형적인 제한조건으로 인하여 지반특성 조사를 위해 일반적으로 입출구부와 계곡부에서 시추조사

〈표2〉 조사단계별 터널조사요령

조사의 단계	시기	목적	내용	범위
자료조사	사업구상에서 구체적으로 계획	터널노선의 계획	· 각종 기존자료 조사분석 · 지표조사	대상구간의 광범위 한 지역
현장답사				
개략조사	비교노선검토에서부터 노선결정시까지	터널노선의 산정	· 지형, 지질조건에 대한 개략조사 · 환경, 입지조건에 대한 광역조사	계획터널노선 및 비교터널노선을 포함한 광범위한 지역
정밀조사 (보완조사)	터널노선 결정 이후부터 공사 착공까지	설계수행 시공 계획 수립 - 설계 입력자료평가 - 공법선정 - 공사비 산출 - 단면해석등	· 정밀한 지질, 지반조사 · 터널주변환경 및 공사에 필요한 제설비, 법규 등 조사	결정된 터널노선 및 주변 지역

〈표3〉 고속도로터널 지반조사항목

조사의 단계	조사/시험 항목	비고
지질 및 시추조사	지표지질조사	지질단면도 작성, 암반분류
	시추조사	암반분류, 지보패턴결정
지구물리탐사	지표탄성파 탐사	파쇄대 분포상황조사
	전기비저항 탐사	사전조사결과 단층 및 연약대가 예상되는 경우 필요한 연장 만큼 설계 반영 (1999년 7월 기준)
	물리검층	공내심도별 탄성파속도의 수직적 분포 파악
현장시험	표준관입시험	풍화토/풍화암 경계부 파악
	투수시험	토사층의 투수성 파악
	수압시험	암반층의 투수성 파악
	초기응력측정시험	장대터널(1km이상)의 급증으로 인하여 방향성 및 단면형상을 결정하고 지보의 적정성 판단을 위하여 96년 5월 기준으로 적용토록함
	공내재하시험	시추공내 심도별 변형계수 측정
실내시험	토질시험	토성시험, 다짐 및 CBR시험
	암석시험	암석의 물리적, 역학적 특성시험

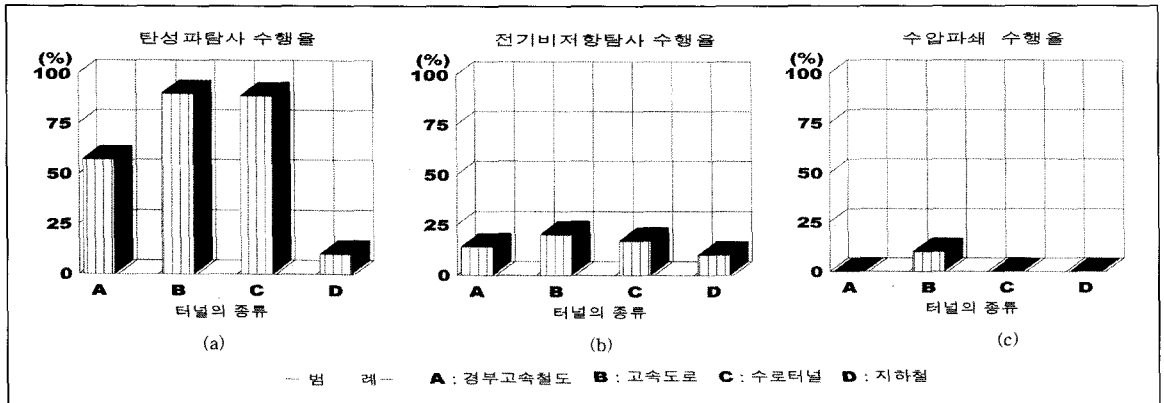


그림6. 고속도로터널과 타터널 지반조사 수행률 비교

를 수행하고 그의 구간은 탄성과 탐사에 주로 의존할 수밖에 없다. 그러므로 그림 6에서와 같이 고속도로터널의 경우 탄성과 탐사 수행율이 상대적으로 높고 탄성과 탐사 지반조사결과에 근거하여 단층 및 파쇄대가 예상되는 구간에는 추가적으로 전기비저항 탐사법을 활용하여 암질을 세분화하고 이러한 예상 단층 및 파쇄대등과 같은 이상대의 상

세정보를 파악하여 지보패턴 보강 등 안전한 시공을 도모하고 있다. 또한 현재 고속도로터널의 경우 연장 및 단면이 장대화되어가는 추세로 지중초기 응력이 터널해석시 중요한 입력자료로서 인식되어 96년 5월부터 수압파쇄시험을 실시하여 지하공동의 방향성 및 단면형상을 결정함으로써 합리적인 터널설계를 수행토록 하고 있다.

〈표4〉 한국도로공사 암반분류기준

표준단면	암질	특징	RMR	Q	RQD	탄성파속도 km/sec	일축압축강도 kg/cm ²	코어채취율
I	경암	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대피상의 암질	100~81	40이상	70이상	4.5이상	1200이상	90이상
II	보통암	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적인 절리가 존재하는 중상의 암질	80~61	40~10	40~70	4.0~4.5	800~1200	70~90
III	연암	층리, 절리 및 편리등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소피상의 암질	60~41	10~4	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
IV	풍화암	물리적 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달하고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	40~21	4~1	20이하	3.5~2.0	250~600	40이하
V	풍화암(토)	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 떨어낼 수 있는 암질	20이상	1이하	20이하 N>100: IV N<100: V	2.0이하	250이하	-

3. 표준지보패턴

고속도로터널에서 1999년 10월 기준으로 적용되고 있는 표준지보패턴은 다음과 같다. 표 4와 같

이 암반분류에 근거하여 총 6개의 지보패턴으로 구분되었다(그림 6~11 참조). 표준지보패턴은 지반조건별로 적합한 지보재의 제원과 시공순서 및 위치 등을 결정한 터널의 지보형식으로 축적된 시

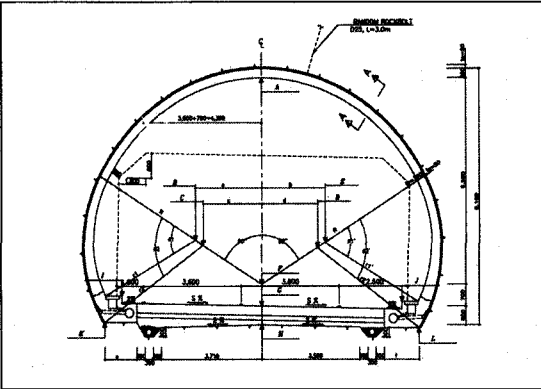


그림7. 고속도로 터널 표준단면 I

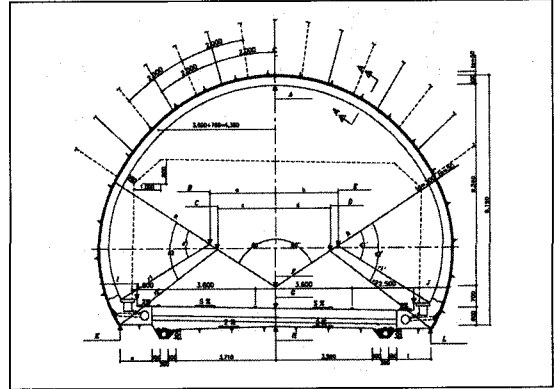


그림8. 고속도로 터널 표준단면 II

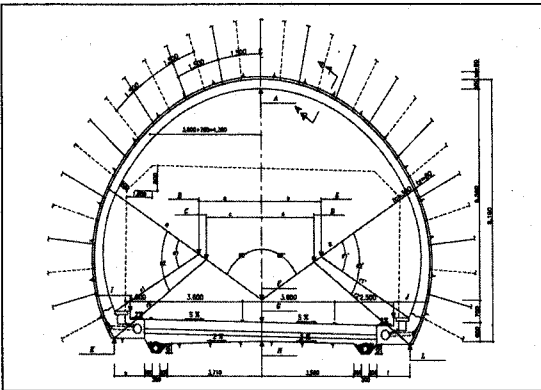


그림9. 고속도로 터널 표준단면 III

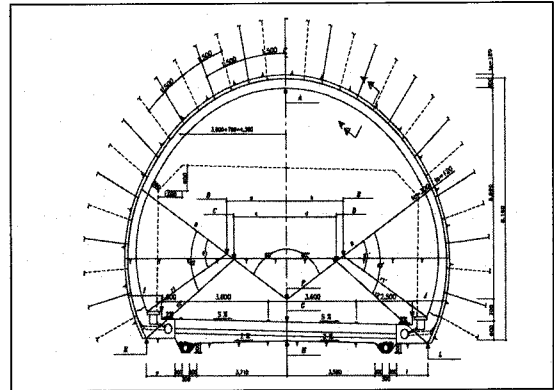


그림10. 고속도로 터널 표준단면 IV

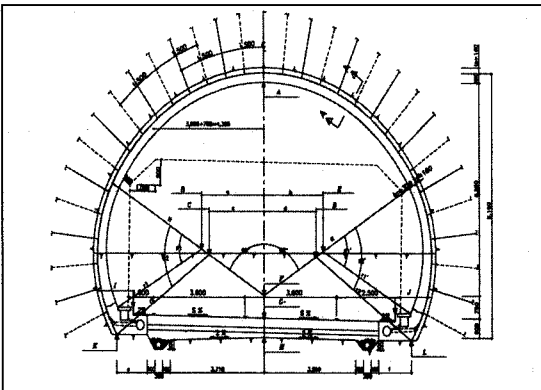


그림11. 고속도로 터널 표준단면 V

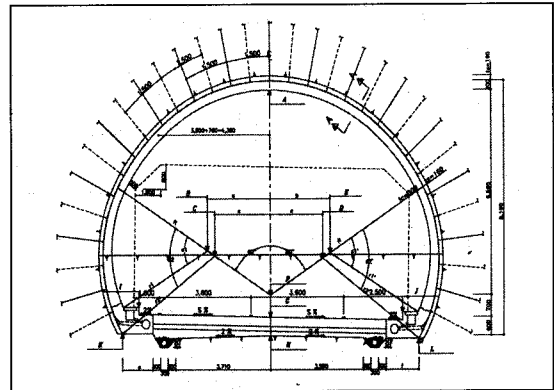


그림12. 고속도로 터널 표준단면 VI(갱구부)

〈표5〉 고속도로 터널 단면

구분	총폭	차선폭	배수구	공동구	측방여유폭	시설대	측대	비고
편도2차로 고속도로	9.98m	3.6m	0.55m	0.59m	1.00m	0.39m	0.25m	'97 이전
편도2차로 고속도로	11.48m	3.6m	0.55m	0.59m	2.50m	0.39m	0.25m	'97 이후

〈표6〉 암종별 표준단면 및 굴착방식(차로별)

암반분류	2차선		3차선		4차선	
	표준단면	굴착방식	표준단면	굴착방식	표준단면	굴착방식
경암	Type-I	전단면	Type-I	반단면	Type-I	상하부 분할굴착
보통암	Type-II	전단면	Type-II	반단면	Type-II	상하부 분할굴착
연암	Type-III	전단면	Type-III	반단면	Type-III	상하부 분할굴착
풍화암	Type-IV	반단면	Type-IV	반단면	Type-IV	상하부 분할굴착
풍화암(토)	Type-V	반단면				
갯구 보강용	Type-VI	반단면	Type-V	반단면		

공실적이나 경험들을 반영하여 결정하였지만 대상 지반이 균일한 지반조건을 가정하였으므로 터널의 크기와 형상에 따라 보조공법도 병행하여 적용하도록 하고 있다. 표준지보패턴은 일종의 계획안이므로 현장의 실제 조건이 예측과 상이할 경우에는 현장에서 조정할 수 있다.

4. 지보재

4.1 슛크리트

고속도로터널에서 슛크리트공법 경우 고속도로 터널에서는 처음으로 NATM공법을 적용한 1984년 호남터널에 건식 슛크리트공법이 도입, 시공되었으나 터널 내부에서 작업시 인체에 유해한 시멘트와 급결재의 분진, 비산 등 시공성과 작업환경이 열악하여 품질확보에 문제가 발생함으로써 이러한 문제점을 극복하고자 94년 8월 시공방법이 개량된 습식 슛크리트공법을 적용하고 있다. 습식 슛크리트공법에 의한 방법은 초기에는 시공경험 부족 및 장비부족 등의 문제가 발생하였으나 현재는 작업능률 증대 및 지보재 품질관리 향상에 기여하였다. 또한, 기존에는 슛크리트의 접착 및 강도를 보완하

기 위해 와이어메쉬(Wire Mesh)를 설치하는데 와이어 메쉬 설치로 인한 보강시기 지연, 여굴이 많은 경우 설치가 곤란하는등 추가적인 문제점이 발생하여 이를 보완하고자 95년 6월 강섬유(Steel Fiber)로 와이어 메쉬를 대체시켰다. 슛크리트에 강섬유를 사용함으로써 시공성 측면에서 간편해졌고 슛크리트의 인장강도, 휨강도, 전단강도가 증가되므로 표 7과 같이 지보패턴에 따라 두께를 변경하였다.

그림 13~18은 1999년 10월 개정된 고속도로 표준지보패턴인데 현장 상황에 따라 시공성 측면

〈표7〉 슛크리트 두께 변경

구분	증진		변경	
	시공방법	시공두께(cm)	시공방법	시공두께(cm)
경암 (Type-I)	스�크리트	5	스�크리트	5
보통암 (Type-II)	스�크리트+ 와이어메쉬	5	강섬유 스�크리트	5
연암 (Type-III)	스�크리트+ 와이어메쉬	10	강섬유 스�크리트	8
풍화암 (Type-IV)	스�크리트+ 와이어메쉬	15	강섬유 스�크리트	12
풍화토 (Type-V)	스�크리트+ 와이어메쉬	20	강섬유 스�크리트	16
갯구부 (Type-VI)	스�크리트+ 와이어메쉬	20	강섬유 스�크리트	16

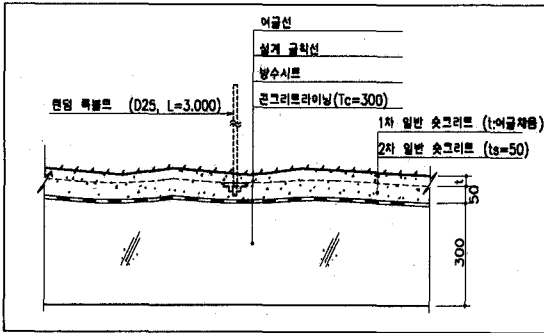


그림 13. 표준지보패턴-I

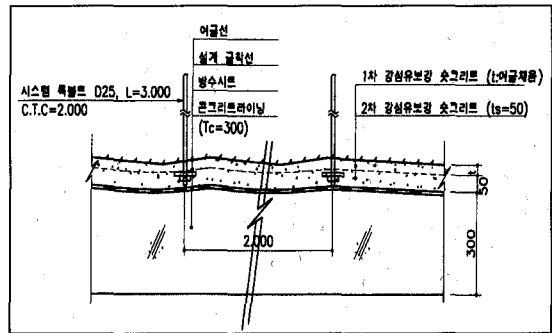


그림 14. 표준지보패턴-II

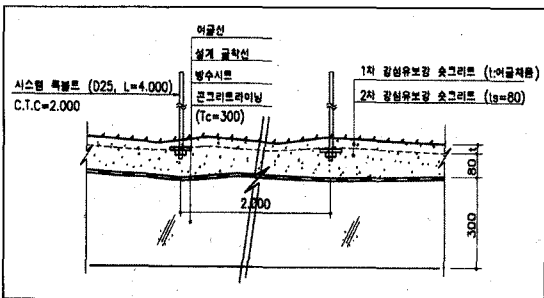


그림 15. 표준지보패턴-III

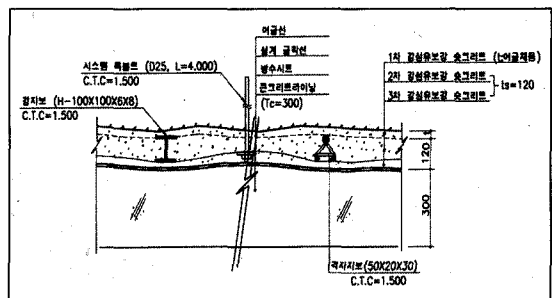


그림 16. 표준지보패턴-IV

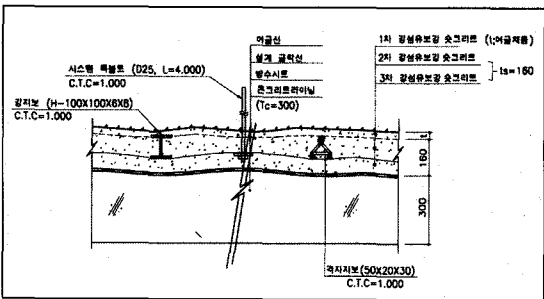


그림 17. 표준지보패턴-V

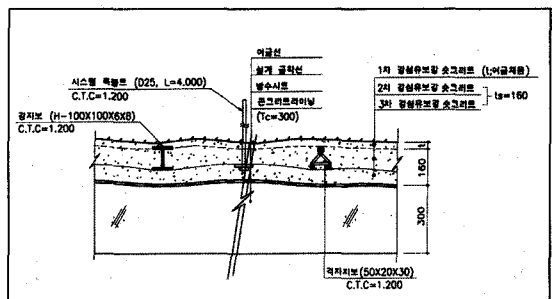


그림 18. 표준지보패턴-VI

에서 유리한 격자지보재(Lattice Girder)를 사용할 수 있도록 추가적으로 표준지보패턴에 표기하였다.

4.2 록볼트

록볼트는 지반자체가 강도를 발휘하도록 지반을 도와주는 지보재의 일종으로 록볼트의 선정은 지반의 강도, 절리, 균열의 상태, 용수상황, 천공경의 확대 유무와 용이성, 정착의 확실성, 경제성 등을

고려하여 선택한다. 록볼트는 일반적으로 선단정착형과 전면 정착형으로 구분하는데 고속도로 터널에서는 전면 정착형을 쓰고 있다.

5. 계측

5.1 시공중 계측

터널굴착시 지반 및 지보재의 거동은 지반구조

〈표8〉 차로별 표준단면별 록볼트의 길이 및 간격

구분	2차선			3차선			4차선		
	길이	간격		길이	간격		길이	간격	
		종방향	횡방향		종방향	횡방향		종방향	횡방향
표준단면 -Ⅰ	3m	랜덤	랜덤	4m	랜덤	랜덤	5m	2.0m	2.4m
표준단면 -Ⅱ	3m	3.0m	1.5m	4m	3.0m	1.5m	5m	2.0m	2.0m
표준단면 -Ⅲ	4m	2.0m	1.5m	5m	1.0m	1.5m	5m	1.5m	1.5m
표준단면 -Ⅳ	4m	1.5m	1.5m	5m	1.0m	1.5m	5m	1.2m	1.5m
표준단면 -Ⅴ	4m	1.2m	1.5m	5m	0.5m	1.5m	5m	1.0m	1.0m
표준단면 -Ⅵ	4m	1.2m	1.5m						

의 불균일성, 조사 및 시험의 한계성, 모델 및 이론의 단순성 등에 따라 설계시 예상 거동과 현저한 차이를 보이는 이상 거동을 나타내는 경우가 있기 때문에 경제적이고 안전한 시공을 위해서는 실제의 지반거동을 정확하게 파악할 수 있는 장치가 필요하다. 효율적인 계측항목의 선정에 있어 당면한 시공관리를 위하여 반드시 실시하여야 할 항목은 계측 A로 하며 지반조건을 고려하여 필요에 따라 계측 A에 추가해서 선택하는 항목은 계측 B로 정한다. 고속도로 터널에서 일반적으로 적용하고 있는 계측은 표 9와 같다. 터널이 장대화되어감에 따라 시공중 계측의 정밀도를 높이기 위하여 3차원

레이저 측정기와 같은 새로운 계측장비들을 적극적으로 도입하여 적용하고 있다.

5.2 유지관리계측

고속도로터널이 장대화됨으로써 공용중인 터널의 안전성을 평가할 수 있는 방법과 터널내 설치되는 시설물이 복잡, 다양해지므로 이러한 시설물들을 효율적으로 유지관리할 수 있는 통합적인 터널 유지관리시스템의 필요성이 대두되었다. 따라서 합리적으로 공용중인 터널의 안전성을 분석하고 터널내 설치된 다양한 시설물들을 가장 경제적으로 운영할 수 있는 통합적인 유지관리 시스템 개발

〈표9〉 고속도로터널에서 계측간격 및 빈도 표준

	계측항목	계측간격	배 치	설치시기	측정빈도		
					0~15일	15~30일	30일~
계측A S.M.S	막장 관찰	전연장	전막장	-	1회/일	1회/일	1회/일
	내공 변위	10~30m	수평2대각선 4	-	1~2회/일	2회/주	1회/주
	천단 침하	"	1개소	"	"	"	"
	록볼트인발	3개소/20m(1개/20분)	1단면 5분	정착효과발생즉시			
계측B M.M.S	지표 침하	300~600m		터널전방 1~3m	1회/일	1회/주	1회/2주
	숫크리트 응력	200~500m	수평, 수직방향 3~5개씩	막장후방	1회/일	1회/주	1회/2주
	지중변위	"	3~5개의 다른 심도	"			1회/주
	록볼트축력	"	"	"	"	"	"
	지반 시료시험	200~500m	-	-	-	-	-
	갱내탄성파속도 측정	500m	측선장100~200m	필요시	1회	1회	1회
지중 수평 변위 측정	200~500m	터널상부 양측	터널전방15~30m	1회/일	1회/주	1회/2주	

6. 맺음말

90년대 들어 고속도로터널의 경우 양·질적으로 급성장을 하였고 이에 비례하여 터널시공기술도 급진전하였다. 특히 터널 단면이 대형화됨으로써 효율적인 설계 및 시공을 위하여 신뢰성 있는 지반조사방법의 도입 필요성이 요구되어 시공중 갱내 TSP탐사, 전기비저항 탐사, 지중초기응력 측정등 정밀도가 높은 지반조사방법을 적용하고 있다. 또한 굴착방법에 있어서도 국내 최초로 4차선 대단면 터널들을 별 문제없이 완공함으로써 시공기술에 있어서는 선진기술력을 확보하였음을 보여 주었다. 향후 고속도로터널에서는 종합적인 정보를 제공하고 합리적인 터널유지관리를 수행하기 위하여 통합유지관리시스템 구축, 터널 구조물 자체의 거동과 환기설비, 조명, 방재, 통신설비등에 대한 운영을 통합, 자동화시켜 안전하고 경제적인 터널유지관리가 되도록 연구개발 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 1999.12., "99년도 고속도로 업무현황 터널편"
2. 한국도로공사, 1995.1., "98년도 고속도로 실무 자료집", 4장, 7장
3. 한국건설기술연구원, 1998.2., "국내 터널설계 기술력 향상을 위한 신기술 연구, pp20~21
4. 한국지반공학회, 1997.6., "터널, 지반공학시리즈 7", pp329~341

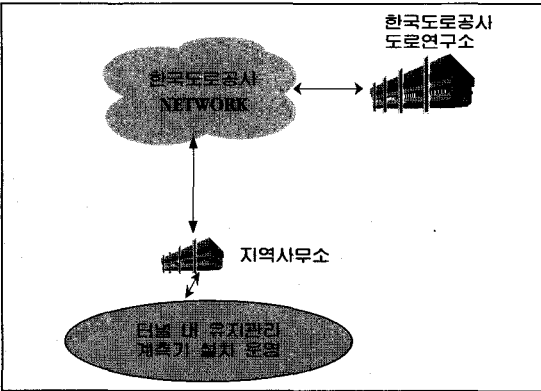


그림19. 고속도로 터널유지관리 전체 네트워크 구성도

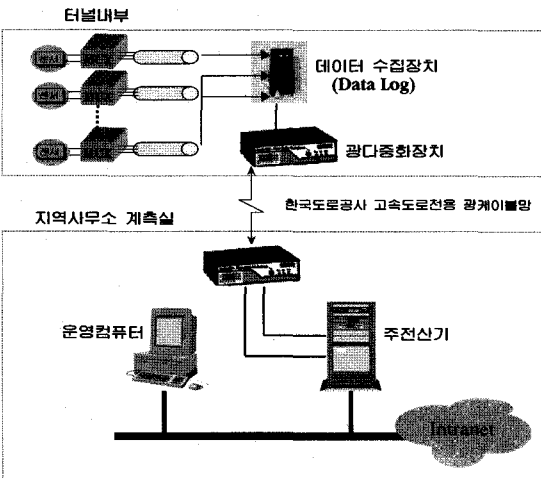


그림20. 고속도로터널 유지관리계측시스템 통신구성도

을 위한 연구에 전력을 다하고 있다. 현재 한국도로공사에서 고려하고 있는 터널유지관리시스템은 그림 19와 같이 고속도로 전용 네트워크를 활용하여 신속하게 데이터 전송처리하고 터널내 설치된 계측시스템을 고속도로터널내에 매설된 광통신케이블과 접속시켜 각종 계측자료를 24시간 실시간 자료로서 각 지사 및 관련 부서, 연구소 등에서 동시에 모니터링함으로써 신속하고 합리적인 분석을 실시하여 그 결과를 터널 유지관리에 적극적으로 활용하여 안전하고 경제적인 터널유지관리를 수행하려 한다.