

# 도심 터널의 맹점과 보수 보강사례



서강천  
서울도시철도공사 시설관리처장

## 1. 머리말

사무실 책상 뒤에 걸려있는 서울시도시철도 노선망도에 9호선을 표기하면서 여러 가지 상념에 젖게된다. 각 노선을 바라보면서 건설과정에 참여했던 지나간 일들이 주마등처럼 떠오른다. 서울의 지하철망은 1,2,3,4호선 135km와 5,6,7,8호선 152km를 비롯하여 수도권 전철로서 경부선, 경인선, 안산선, 과천선, 분당선, 일산선 등 179km가 운행 중에 있다. 여기에 지금 건설중이거나 계획중인 9호선과 분당선의 연장이 왕십리역과 연계되고 인천 신공항철도와 서울을 남북으로 관통하는 광역A,B선이 건설되면 거미줄 같은 도시철도망이 형성되어 출퇴근이나 도심지 나들이를 승용차로 한다는 일이 매우 촌스럽게 느껴지는 사회적 분위기가 머지않아 닥쳐오리라 생각이 들면서도 그 많은 노선을 승객들이 혼란스럽지 않고 편리하게 이용할 수 있도록 안내체계를 갖추는 일도 무척 힘들겠구나하는 일말의 걱정도 빼놓을 수 없다.

전국적으로 5대 광역시에서는 지하철건설에 박차를 가하고 있다. 70~80년대에 건설한 지하철은 대부분 개착식 공법을 주로 적용하였지만 90년대에 들어와서는 노선

연장의 60%이상을 터널공법으로 건설하고 있다. 서울의 2호선 건설당시만 해도 보링조사 결과 풍화대로 판명되면 불가피한 지형조건이 아닐 경우 터널공사를 피하거나 두려워하는 분위기였으나 작금의 터널은 한강하저터널을 비롯하여 막장에 층적층이 출현해도 피하지 않고 무난히 극복할 정도로 터널의 설계와 시공기술수준이 놀라울 정도로 향상되어있다. 굴착공법은 다 같은 NATM공법이라 해도 또한 같은 지질조건하에 동일한 모양과 크기로 동일한 패턴으로 굴착을 한다고 해도 도심지에 건설하는 경우와 산악에 건설하는 것은 많은 차이가 있다. 즉, 두가지 경우의 터널현장을 모두 경험해보지 않고는 터널기술자라고 주장하기에는 경험과 지식에 현격한 차이가 있다고 필자는 감히 외람 되게 주장한다.

도심지 터널은 지표면까지 토피가 평균20~30m에 불과하며 터널 위에는 수많은 빌딩과 주택지, 지하보차도, 지하상가, 고가구조물 기초는 물론 각종 대형 지하매설물이 산재해있고 토피가 얇은 천층(淺層)터널임에 따라 불규칙적으로 연약지반에 봉착하는 일이 빈번해진다. 일반적으로 도심지터널에 관하여 터널관련 기술인들이 느끼지 못하고 묵과하는 일이 또 하나있다. 다시 말하면 대부

분 배수식으로 건설된 터널 상부에는 수많은 주유소와 하수암거, 하수관들이 거미줄 같이 깔려있기 때문에 터널마감시공이 일부 부실하거나 배수계통 시설을 면밀히 검토하여 정밀시공을 하지 못하면 터널 내에 악취가 발생하고 환경을 오염시키는 등 유지관리에 애를 먹음은 물론 보안공사에 엄청난 노력을 해야만 한다.

근년에는 국유철도 개량공사, 지하철건설공사, 고속도로건설공사 등 대형 프로젝트를 터키방식으로 발주함에 따라 터널을 설계함에 있어서 과거에는 상상도 못할 정도로 첨단설계기법을 동원하고 각종조사와 수치해석도 수준 높게 시행되고 있다. 또한 현장에서는 강화된 각종 건설관련 규제법과 감리제도에 의하여 안전관리와 품질관리는 어느 정도 소기의 목적에 근접되었다고 볼 수 있으나 공통적으로 아직도 터널의 기능유지에 중요한 역할을 하는 배수계통시설은 현장기능공들한테 맡기고 라이닝의 철근검측과 레미콘 슬럼프치 체크에 매달리는 경향이 많은 실정이다. 터널기술자들의 업무에 참고가 될 수 있도록 본고를 통하여 유지관리시 느낀 몇 가지 터널에 대한 맹점과 보수·보강사례와 콘크리트라이닝의 균열패턴을 소개하고자 한다.

## 2 터널의 유지관리상 이슈는 점

### 2.1 터널의 배수타입과 비배수타입

공동구(통신구, 전력구)터널은 내부에 각종 케이블을 설치하게 됨에 따라 생리적으로 물을 싫어(?)하여 대부분 비배수타입으로서 방수재를 라이닝 전둘레에 설치한다. 그러나 교통용(도로, 철도, 지하철 등)터널은 공동구터널보다 규모가 클 뿐만 아니라 시공성, 안정성, 경제성 등을 고려하여 불가피한 여건 일부를 제외하고는 거의 다 배수식타입으로 건설되었거나 시공되고 있다. 여기서 불가피한 여건이라는 것은 다음과 같은 경우를 상정해 볼 수 있다.

풍화대층 구간에 있는 고층빌딩하부 근접통과, 대규모 하천통과 및 장기간 지하수 펌핑에 따라 지표침하가 발생되어 지상부 시설물의 피해가 예상되는 경우 등을 들 수 있다. 그러나 현실적으로 비배수타입의 터널을 성공적으로 건설하기 위해서는 상당한 노력을 기울여야 하고 설계도면에도 세부적인 내용이 표기되어야 한다. 설계용역회사의 직원들은 건설과정이나 유지관리업무에 참여한 경험이 적기 때문에 문제점을 개선하여 반영하기보다는 원론적인 설계에 국한하게되어 현장에서는 시공상 많은 어려움을 겪게된다. 다시 말하면 비배수식 터널로 설계한다고 터널바닥 중앙부에 유공관 부설을 인위적으로 도면에 표기를 하지 않고 있는데 시공성을 고려하여 반드시 표기를 하고 실제 시공에서도 설치함이 옳다고 생각한다. 혹자는 비배수 개념에 맞지 않는다고 여길 수도 있으나 비배수구간 양단이나 종단상 저점부에 맨홀을 설치하여 맨홀주위의 일정한 범위에는 유공관 대신에 강관(Ø400~500mm)으로 설치하고 맨홀내부에는 강관 규격에 맞는 제수변을 설치하여 조절하면 비배수 설계개념을 전지할 수 있다. 이때 유의해야할 점은 맨홀에 접속되는 강관에는 개스켓플레이트(Gasket Plate)를 설치하는 등 정밀시공을 하여 강관을 통하지 않은 터널주위의 지하수가 맨홀내부로 유입되지 않도록 하여야 한다.

콘크리트라이닝에 각종 매립식 유지관리용 계측센서를 설치하여 계측치의 변화량을 보아가면서 제수변을 잠그면 터널주위의 지하수 이동이 방지될 수 있으므로 공사도중의 방수작업이나 콘크리트라이닝 작업의 시공성을 향상시키면서 라이닝구조물 완공 후에는 완벽한 비배수터널이 만들어질 수 있다.

### 2.2 터널의 배수시설

#### 2.2.1 배수구배와 집수정

지하철터널과 같이 산악식과 달리 수직갱을 판 다음 수평으로 설치한 터널은 대부분 지하수위 밑에 건설됨에 따라 터널의 종단구배 설정이 중요한 문제로 대두되며 터널

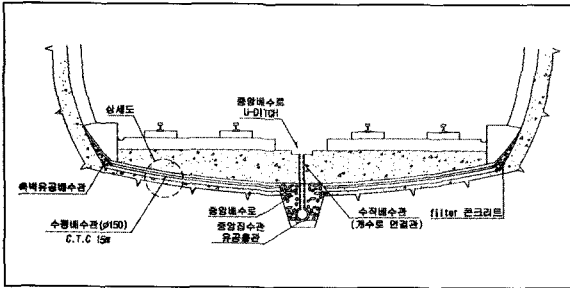


그림 1. 터널배수시설 단면도

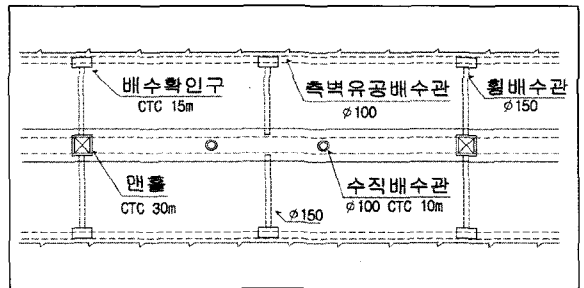


그림 2. 터널배수시설 평면도

내의 물이 흐를 수 있도록 최소동수구배 3%이상을 유지한다. 영업선의 최대구배는 35%이하로 제한하고 있으며 지하철의 경우 대체적으로 종단구배가 완만한 편이다. 또한 특수한 경우를 제외하고 배수식타입으로 건설되는 지하철터널의 배수계통시설은 그림 1과 그림 2와 같은 형태를 갖고 있다.

도심지 지하철은 주택지하부와 연약지반을 통과하는 경우가 많아 안전시공상 터널주위의 지반보강과 차수 등을 위해서 그라우팅 시공을 하게된다. 터널주위에 보강용으로 주입된 주입재는 시간이 경과하면서 터널내부로 소량씩 일출(溢出)되기도 하는데 붉은색 또는 흰색의 침전물(부유물) 형태를 보이는데 이것이 배수계통시설에 쌓이면서 배수기능을 상당히 저하시킨다. 터널의 종단구배가 6%이상이면 배수로를 따라 흐르는 물에 의해 정체되는 현상이 적지만 완만한 구배에서는 정체되는 현상이 증가하고 터널내부의 도상을 오염시키는 원인이 된다.

또한 지하철에는 종단구배의 저점부에 집수정을 설치하고 있는데 설계시 반드시 고려해야할 사항이 있다. 집수정 용량은 설계기준에 의하여 적정하게 산정되었다고 하여도 터널바닥의 유공관을 집수정에 연결시킬 때 터널의 형태별로 유공관의 레벨값이 다른 것을 고려해야 한다. 통상적으로 박스구조물로 만들어지는 집수정은 침사조와 저수조로 구분되고 그 사이에는 웨어를 설치한 칸막이벽을 설치한다. 상기 고려사항을 검토하지 않으면 터널바닥의 유공관과 연결된 집수정의 유입구가 웨어의 높이보다 낮은 경우가 발생되어 터널의 배수가 지장을 받고

도상에 배수정체가 되기도 하므로 터널과 접속되는 집수정은 계산용량보다 깊게 설치하여 유입구가 웨어의 높이보다 낮지 않도록 유의하여야 한다.

### 2.2.2 배수식 터널의 맨홀

지하철 터널바닥에는 전동차가 운행될 수 있도록 도상을 부설하고 궤도를 깔게된다. 궤도는 레일과 침목, 자갈 또는 콘크리트 3가지로 구성되며 침목은 평균 60cm 간격으로 설치하고 있다. 배수식 터널일 경우 통상적으로 30~40m간격으로 터널바닥에 맨홀을 설치하는데 여기에 유지관리상 여러 가지 문제점이 도출되고 있다. 도상 밑에 콘크리트 맨홀을 만들고 침목 사이에 맨홀 출입을 할 수 있는 뚜껑으로 그레이팅을 설치하게되는데 침목 사이의 제한된 간격 때문에 그레이팅 규격이 작아지는 것은 불가피한 사항이지만 무의식적으로 대부분 맨홀도 협소하게 설치되어있다. 평상시에는 맨홀을 통하여 유공관 준설작업을 해야 됨은 물론 유사시 맨홀을 통하여 보강공사를 하는 경우도 발생하게 되는데 사람이 들어갈 수 없을 정도로 협소한 맨홀을 만나면 난감하기 그지없다. 따라서 구조적으로 안전한 상태에서 맨홀내에 작업인부 1~2인이 들어가서 작업할 공간이 확보될 수 있도록 크기를 키우고 맨홀입구는 침목 간격에 맞도록 만들면 유지관리의 많은 어려운 점을 해소할 수 있을 것이다.

### 2.2.3 환경친화적인 터널

도시의 인구집중과 도시공간의 입체적 이용이 확대되

면서 지하상가, 지하철, 지하주차장, 지하창고 등과 같이 지하공간의 활용이 불가피하고 점차적으로 이용객이 늘어감에 따라 현재 많은 사람들이 하루 중 70~80%를 지하생활공간에서 생활하고 있다. 지하공간은 지상공간에 비하여 인간에게 심리적인 안정감과 온열의 쾌적성을 제공할 수 있는 큰 장점을 지니고 있지만, 한정된 공간에서 장시간 생활하는 재실자를 비롯하여 이용객 및 보행자 등 불특정 다수가 이용하고있기 때문에 실내환경을 효과적으로 관리하기가 쉽지 않고 대부분 도심지의 도로와 접하게 되므로 자동차의 배연이나 먼지 등에 쉽게 노출될 수 있다. 이와 같은 지하생활공간의 공기질에 가장 큰 영향을 미치는 오염인자를 살펴보면, 미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 아황산가스, 이산화질소, 포름알데히드, 납 등을 대표적인 물질로 들 수 있으며 이들 오염인자들은 인간의 활동에 의해 발생하는 오염물질이 대부분으로 이것은 인체에 직·간접으로 영향을 미치고 있다.

2002년부터는 지하생활공간공기질관리법이 개정되어 지하갱내의 미세먼지 농도기준치가 현재의 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 강화될 예정이다. 지하철 터널은 갱내의 미세먼지 감소를 위해서 1년에 1.5회이상 고압수로 터널바닥 도상 물 청소를 시행하고 있는 실정이다. 터널이 완공되기 전에 신중히 검토하여 라이닝에 배관을 부착 설치하여 터널 전구간에 살수가 가능토록 하고 노즐을 개선하여 물안개식으로 분무가 되도록 설비가 된다면 작은 물방울이 미세먼지를 손쉽게 끌어내릴 수 있게된다면 환경친화적인 터널이 건설될 수 있을 것이므로 많은 터널기술자들의 연구와 노력이 요구된다.

표 1. 사례 1구간 터널손상현황

공종	규격	개수	수량	발생부위
균열	종·횡방향 균열폭 0.3~1.3mm	26	96m	· 본선터널 천장, 벽체 · 환기터널 접속부
누수	D급	10		〃
철근노출		1	8m <sup>2</sup>	· 본선터널 천정부
공동		2		〃
처짐		1	2m <sup>2</sup>	· 천정 누수부위

### 3. 라이닝 공동에 따른 변상사례 1

#### 3.1 개요

터널이 손상된 구간은 청계천과 인접된 주택밀집지역 하부를 통과하고 있다. 본 터널이 설치된 지역의 지반상태는 연암 정도이나 터널천정부에서 2m를 벗어나면 풍화암이 분포되어있고 토포가 16.5m 밖에 안되는 취약한 상태이다. 또한 손상이 집중적으로 발생한 위치는 본선환기용 U자형 연결터널이 접속된 부위로서 본선터널 천정부에 불규칙적인 종·횡방향균열과 다량의 누수가 발생되었다. 라이닝손상구간의 손상현황은 표 1과 같다.

#### 3.2 손상부위 조사

##### 3.2.1 구조물조사

콘크리트라이닝균열부위의 하자보수를 상반기에 완료한 개소에 하반기 하자검사시 균열이 재 발생되었음을 발견하였다. 모타카와 점검대를 이용하여 라이닝손상 부위에 접근해서 지질햄머를 이용, 라이닝표면을 타격해보니까 콘크리트라이닝이 울리는 느낌이 들면서 균열을 따라 물방울이 맺히고 터널 시공이음부에는 누수량이 증가되는 현상이 발견되었다. 균열은 본선터널 천정부와 환기터널 접속부에 폭 0.3~1.3mm정도의 균열 8개소가 종, 횡, 사방향으로 불규칙하게 산재된 상태였다.

##### 3.2.2 응급조치사항

콘크리트라이닝을 햄머드릴을 사용하여 직경22mm의

천공을 하여 물빼기를 시행하고 Ø22mm PE관을 통해 측벽하부로 라이닝배면의 물을 유도 처리하였다. 상당기간 이상이 없다가 누수가 갑작스럽게 증가된 현상으로서 지하수 외적인 원인을 알기 위하여 누수에 대한 시료를 채취하여 잔류염소량 측정을 시행하였다. 측정결과 0.2~0.5mg/l 의 범위이면 상수로도 판정을 하게되는데 측정된 잔류염소량은 0.64mg/l 이었다. 상수도사업소에서 터널 지상부의 누수탐지 후 상수도관의 누수개소를 보수 조치한 후 터널내 누수량은 급격히 감소하였다. 누수보수 후 재차 측정한 잔류염소량은 0.11mg/l 로서 상수도가 아닌 적은 량의 지하수만 터널 내로 유입되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2.3 라이닝 공동조사

햄머드릴(Ø22mm)로 라이닝콘크리트를 8개소 천공하여 라이닝의 두께 및 공동깊이를 직접 측정하였다. 조사구간의 라이닝콘크리트의 설계두께는 35cm이며 조사한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 라이닝두께 및 공동깊이

구분	1	2	3	4	5	6	7	8
계(cm)	37	49	23	27	19	35	48	30
라이닝	14	47	14	13	17	30	40	14
공동	23	2	9	14	2	5	8	16

표 3. 경량기포모르타르 배합비

구분		경량기포모르타르		
		중량(kg)	용적( l )	
슬러리	기포레미탈	시멘트	628	199.4
		모래	158	59.6
		혼합재(Fly-ash)	33	14.7
	단위수량	326	326	
계 ①		1,145	599.7	
기포균	기포제	0.5	0.4	
	희석수량(水量)	24.5	24.5	
	공기량	-	475.4	
	계 ②	25	500.3	
합계 (①+②)		1,170	1,100	

### 3.2.4 라이닝 공동부 뒷채움

흔히 현장에서는 터널콘크리트라이닝을 타설하고나서 라이닝천정부의 공동발생에 대비하여 주입시공을 하고있지만 주어진거나 제시된 배합비가 없어 통상적으로 ASSM공법 적용당시 제정된 터널시방서 내용을 그대로 답습하고있는 실정이다. 그 내용은 원지반의 여굴과 1차 라이닝 무근콘크리트와의 사이를 채우는 것으로서 모르타르의 일축압축강도는 10~20kg/cm<sup>2</sup>정도를 요구하는 경량기포모르타르이다. 그러나 최근 NATM공법에서는 1차라이닝 역할을 하고있는 슛크리트와 원지반과의 사이에는 공동이 없을 뿐만 아니라 2차라이닝은 구조물의 수명연신과 설계조건 강화로 철근을 배근하고있는 실정이다. 따라서 NATM공법으로 설치된 터널의 철근콘크리트 라이닝에서 발견된 공동의 채움은 여굴부위 채움과는 다르게 주입모르타르의 강도를 강화시킬 필요가 있다. 경부고속철도 건설을 하면서 상리터널구간 하부에서 발견된 지하갱도를 일축압축강도 60kg/cm<sup>2</sup>의 경량기포모르타르로 채운사례를 참고하여 본 구간의 공동채움용 경량기포모르타르의 기준강도는 100kg/cm<sup>2</sup>으로 하였다.

표 4. 경량기포모르타르 시험결과

시험항목	시험결과	비고	
기포균 단위중량(kg/m <sup>3</sup> )	45	한국산업(주), 동물성단백질 기포제 사용	
슬러리 단위중량(kg/m <sup>3</sup> )	1,922	W/R : DIR 40%	
제품	FLOW치(cm)	17.5	cone size : Ø5×10H
	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )	1,307	
압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	건조밀도(kg/m <sup>3</sup> )	1,139	
	3일	62.6	
	7일	81.4	
	28일	(120)	기준치 100kg/cm <sup>3</sup> 이상

표 5. 무수축 모르타르 배합비

재료	시멘트	모래(mm)			Filler	특성 개신제	분산제	팽창제
		0~0.6	0.6~2.0	2.0~3.5				
Joint II 레미탈	34	60.7	-	-	1	1	0.17	3.13

표 6. 무수축 모르타르 시험결과

W/R (%)	FLOW (cm)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	Air (%)	입축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
				3일	7일	28일
18	22.5	2,125	7	203	254	320

가. 1차 공동부 뒷채움

'98. 10. 10에 1차로 공동부 뒷채움을 시공하였다. 주입을 위한 주입공은 9공을 설치하고 채움 재료는 한일시멘트 생산제품인 레미탈을 사용한 경량기포모르타르이다. 뒷채움에 들어간 주입량은 10.45m<sup>3</sup>(레미탈 215대)가 투입되었으며 모르타르의 배합비는 표 3과 같고 시험결과는 표 4와 같다.

나. 2차 공동부 뒷채움

1차시행한 주입시공 부위를 확인한 결과 부분적으로 덜 채워진 부위가 발견되어 무수축모르타르로 2차공동부 채움 주입시공을 하였다. 이때의 사용재료는 한일조인트II 레미탈 시중제품이다. 이에 대한 배합비는 표 5와 같고 시험결과는 표 6과 같다.

3.2.5 라이닝 면보강

폭 0.3~1.3mm의 균열 26개소(균열연장100m)를 예폭시 충전공법으로 보수 후 균열발생 집중부위와 철근피복두께 부족구간의 면적 62m<sup>2</sup>에는 탄소섬유 2겹 부착을 하였다.

표 7. 사례 2구간 터널손상현황

공종	규격	개소	수량	발생부위
균열	중·횡방향균열 폭 0.3~0.4mm	28	893m	· 본선터널천정, 아개, 벽체
공동	10cm 이하	285	91%	· 본선터널 천정
	10~30cm	21	6.7%	
	30~50cm	5	1.6%	
	50cm 이상	2	0.7%	

4. 라이닝 공동에 따른 변상사례 2

4.1 개요

본 손상구간은 ○-○○공구 1,120m(11k560~12k680)구간의 99년 상반기 정기하차점사시 발견된 복선터널 천정부 공동을 레미탈을 사용한 경량기포모르타르로 뒷채움 보강공사를 시행하였다. 본 구간의 시점측은 비교적 평지대로 구하상층 충전물인 충전층이 두껍게 분포하고 있으며, 특히 이 구간에는 N30/70E 방향선을 갖는 대규모 단층점토층이 노선을 횡단하고있다. 노선중간 지점인 주택지역은 중앙부가 솟은 소규모 구릉지를 형성하고 NE방향과 NW방향의 구조선을 갖는 절리가 혼재된 호상편마암이 분포하고 있으며 단층파쇄층이 발달되어있다. 또한 본 구간은 시공도중에 일부 선형측량의 오차발생으로 인하여 라이닝콘크리트의 두께가 좌우측이 비대칭이고 불규칙한 개소가 수 개소가 있는 상태이다. 라이닝의 손상현황은 표 7과 같다.

## 4.2 손상부위 조사

### 4.2.1 구조물조사

개통당시 본 구간 터널라이닝에 종균열이 다수 발생하여 보수 조치한 적이 있으나 '99년 상반기 정기하자검사 시 다수의 균열이 재발생 되었음을 발견하여 시공회사와 합동으로 Sta.11k560~12k960 구간 1,400m를 '99.7.27 ~ '99.8.13 기간동안 구조물 외관조사를 하였다.

### 4.2.2 라이닝 공동조사

전동차가 운행되지 않는 심야시간에 터널 내에 조립식 고소작업대를 설치하고 지질햄머와 햄머드릴(Ø22mm, L=42cm)로 1스판당 6~9m로 시공된 콘크리트라이닝에 2~3공을 뚫어 공동깊이를 조사하였다. 조사결과는 표 7 과 같다.

### 4.2.3 라이닝 공동부 뒷채움

본 구간의 라이닝공동부 뒷채움작업은 '99.12.26 ~ '00.5.8 기간중 실작업일은 116일이 소요되었으며 직경 38mm의 주입구를 4m간격으로 187공을 설치하였다. 채움을 위한 그라우팅량은 186m<sup>3</sup>, 레미탈 1,800포가 투입

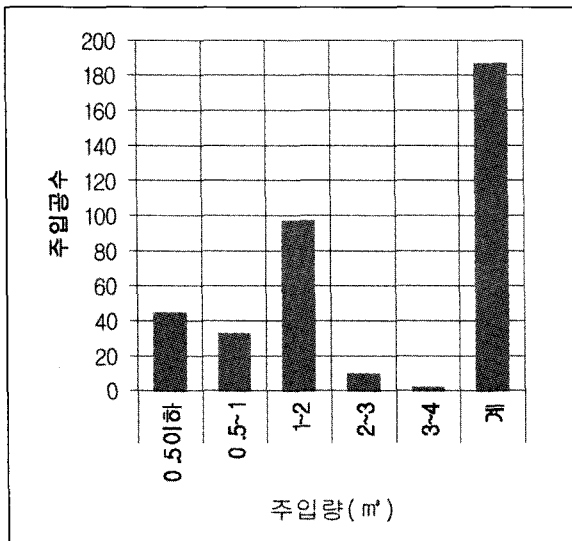


그림 3. 공동부 채움량별 주입공수

되었다. 187공중 최대주입량은 11k856 지점의 4.14m<sup>3</sup>(레미탈 40포), 최소주입량은 11k578 지점의 0.21m<sup>3</sup>(레미탈 2포)로 조사되었으며 1공당 평균 0.99m<sup>3</sup>의 주입량이 채움시공되었다. 본 구간의 공동부 채움량별 주입공수 분포는 그림 3과 같다.

### 4.2.4 라이닝 면보강

콘크리트라이닝 배면공동부 뒷채움 시공을 완료하고 나서 균열연장 893m를 에폭시 충전공법으로 보수하였다. 콘크리트라이닝의 두께가 부족하고 종균열 발생 집중 부위 6개소 330m<sup>2</sup>에는 탄소섬유부착 보강시공을 하였다.

## 5. 터널 콘크리트라이닝의 균열

### 5.1 개요

터널구조물의 경우 지중구조물이라는 특수성으로 인하여 결함 및 변상의 원인을 규명하는 것이 쉽지 않고, 안전성을 평가하는 것이 어렵기 때문에 객관적인 면보다는 주관적으로 판단하는 경향이 많아 그 결과에 대한 문제점이 빈번히 제기되고 있는 실정으로서 이와 같은 제반문제점을 해결하는데 조금이나마 도움이 될 수 있도록 지하철본선구간의 터널을 대상으로 콘크리트라이닝에 발생된 균열을 검토하여 터널주변의 지질에 따라 어떠한 양상을 보이는지 분석하였다. 분석대상으로 다룬 터널은 40개 공구이며 순수한 터널연장은 약 40,000m에 달한다.

### 5.2 터널라이닝의 균열현황

터널라이닝의 균열은 여러 가지 형태가 있으나 여기에서는 유지관리상 주로 비중있게 취급하는 대표적인 균열로서 종방향균열, 횡방향균열, 사방향균열 및 망상균열을 조사대상으로 하였으며 균열개소는 실제적으로 매우 적은 양으로서 표에서 비교하기 쉽도록 100배를 하였으며

로 본고에서의 평균m당 수량과 년도별 m당 수량은 100m당 균열개소를 나타낸 것으로 보아야 한다.

### 5.2.1 년도별 및 지질별 균열현황

#### 가. 단선병렬 터널

표 8, 표 9, 그림 4 참조

#### 나. 복선 터널

표 10, 표 11, 그림 5 참조

#### 다. 유치선 터널

표 12 참조

### 5.2.2 균열종류에 따른 터널형태와 지질과의 상관관계

터널라이닝의 종방향균열, 횡방향균열, 사방향균열 및 망상균열을 단선병렬터널, 복선터널, 유치선터널의 경우로 구분해서 터널주변의 토사, 풍화암, 연암, 경암 등 지질별 상관관계를 알아보기 위해서 표 8, 표 9, 표 10, 표

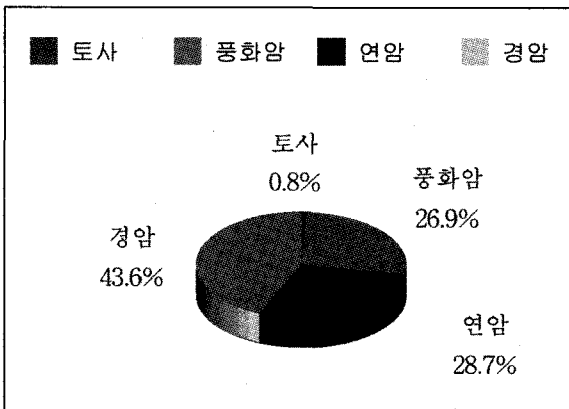


그림 4. 단선병렬 터널주변 지질분포 현황

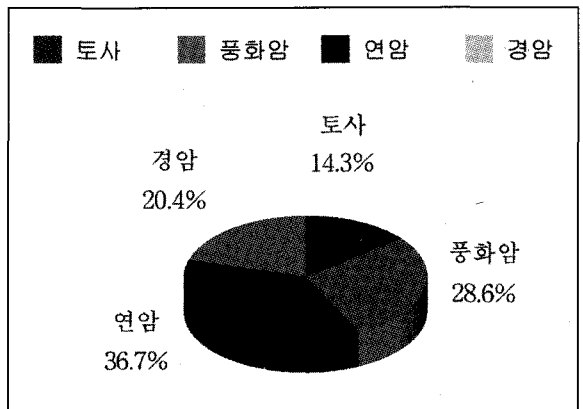


그림 5. 복선터널주변 지질분포 현황

표 8. 단선병렬 터널균열(개소/100m):토사,풍화암

년도별	계	소계	토사(170m)				풍화암(6,044m)					
			중 균열	횡 균열	사 균열	망상 균열	중 균열	횡 균열	사 균열	망상 균열		
계	수량	1,208	8	5	2	1	-	1200	537	494	120	49
	m당	-	4.7	2.9	1.2	0.6	-	19.9	8.9	8.2	2.0	0.8
평균	수량	-	2.0	1.3	0.5	0.3	-	299	134	123	30	12
	m당	-	1.23	0.73	0.3	0.2	-	5.0	2.2	2.1	0.5	0.2

표 9. 단선병렬 터널균열(개소/100m):연암,경암

년도별	계	소계	연암(6,435m)				경암(9,806m)					
			중 균열	횡 균열	사 균열	망상 균열	중 균열	횡 균열	사 균열	망상 균열		
계	수량	2,921	741	429	188	77	47	2,180	1,182	699	160	139
	m당	-	11.5	6.7	2.9	1.2	0.7	22.2	12.1	7.1	1.6	1.4
평균	수량	-	185	107	47	19	12	545	295	175	40	35
	m당	-	2.9	1.7	0.7	0.3	0.2	5.6	3.0	1.8	0.4	0.4



표 10. 복선 터널균열(개소/100m):토사, 풍화암

년도별	계	토사(2,410m)						풍화암(4,830m)					
		소계	종	횡	사	망상	소계	종	횡	사	망상		
			균열	균열	균열	균열		균열	균열	균열	균열	균열	
계	수량	1,527	250	70	133	33	14	1,277	491	555	111	120	
	m당	-	10.4	2.9	5.5	1.4	0.6	26.5	10.2	11.5	2.3	2.5	
평균	수량	-	62	17.5	33	8	3.5	320	123	139	28	30	
	m당	-	2.7	0.7	1.4	0.4	0.2	6.6	2.5	2.9	0.6	0.6	

표 11. 복선 터널균열(개소/100m):연암, 경암

년도별	계	연암(6,201m)						경암(3,444m)					
		소계	종	횡	사	망상	소계	종	횡	사	망상		
			균열	균열	균열	균열		균열	균열	균열	균열	균열	
계	수량	2,564	1,461	716	536	133	76	1,103	475	456	108	64	
	m당	-	23.4	11.5	8.6	2.1	1.2	32.0	13.8	13.2	3.1	1.9	
평균	수량	-	365	179	134	33	19	276	119	114	27	16	
	m당	-	5.9	2.9	2.2	0.5	0.3	8.1	3.5	3.3	0.8	0.5	

표 12. 유치선 터널균열(개소/100m)

년도별	계	연암(360m)						경암(300m)					
		소계	종	횡	사	망상	소계	종	횡	사	망상		
			균열	균열	균열	균열		균열	균열	균열	균열	균열	
계	수량	112	97	47	34	13	3	15	11	2	-	2	
	m당	-	26.8	13.0	9.4	3.6	0.8	5.1	3.7	0.7	-	0.7	
평균	수량	-	24.4	11.8	8.5	3.3	0.8	3.8	2.8	0.5	-	0.5	
	m당	-	6.8	3.3	2.4	0.9	0.2	1.3	0.9	0.2	-	0.2	

11, 표 12를 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9에 표현을 하였다.

가. 터널형태와 균열의 관계

그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9를 보면 종방향균열과 횡방향균열이 월등히 많고 사방향균열과 망상균열은 숫자가 상당히 적음을 알 수 있다. 단선병렬터널의 경우 균열 종류별 4년간 누계량의 분포현황을 <표 8>과 <표 9>에서 보면 종방향균열 1,567개소(52.1%), 횡방향균열 1,383개(33.5%), 사방향균열 358개(8.7%), 망상균열 235개(5.7%)이므로 종방향과 횡방향균열이 85.6%를 차지하고 있다. 복선터널의 경우 마찬가지로 표 10과 표 11에서 종

방향균열 1,752개(42.8%), 횡방향균열 1,680개(41.1%), 사방향균열 385개(9.4%), 망상균열 274개(6.7%)를 보이고 유치선터널은 표 12에 종방향균열 58개(51.8%), 횡방향균열 36개(32.1%), 사방향균열 13개(11.6%), 망상균열 5개(4.5%)로서 단선병렬터널, 복선터널, 유치선터널 등 터널형태의 구분 없이 종합해서 균열분포 현황을 검토하면 종방향균열 3,963개(47.6%), 횡방향균열 3,099개(37.2%), 사방향균열 756개(9.1%), 망상균열 514개(6.1%)가 된다.

이는 콘크리트의 건조수축 및 신축작용 등의 영향으로 발생되고 터널의 단면력에 영향을 비교적 적게 미치는 횡방향균열보다 구조물의 단면력에 어느 정도 영향을 미칠

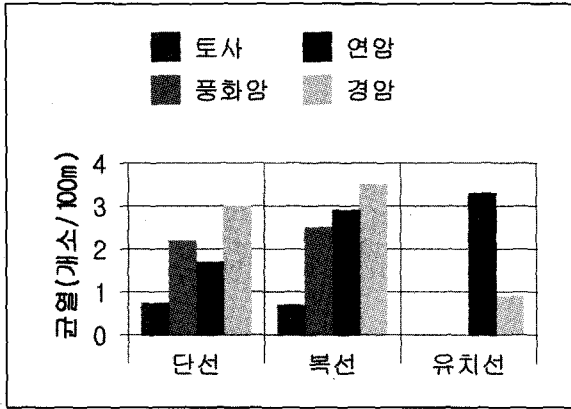


그림 6. 터널라이닝 종방향균열 현황

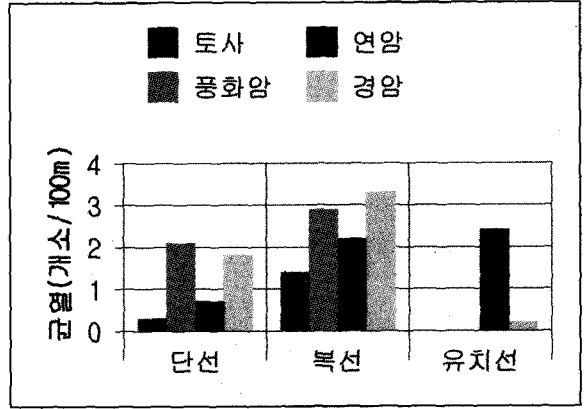


그림 7. 터널라이닝 횡방향균열 현황

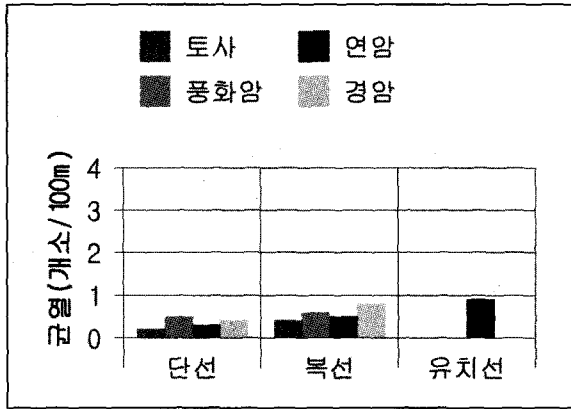


그림 8. 터널라이닝 망상균열 현황

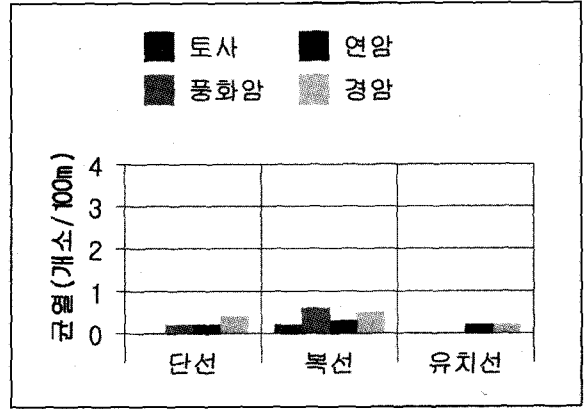


그림 9. 터널라이닝 사방방향균열 현황

수 있는 종방향균열이 1.3배나 많음은 여러 가지로 원인을 분석해 볼 필요가 있다.

나. 터널주변 지질과의 관계

가) 종방향 균열(그림 6 참조)

단선병렬터널과 복선터널의 경우 토사, 풍화암, 연암, 경암 등의 지질구분에 따라 단선병렬터널의 연암에서 약간 불규칙함을 보이지만 미고결층(토사, 풍화암)보다는 고결층(연암, 경암)에서 균열량이 증가함을 알 수 있다. 또한 유치선터널은 대단면 터널로서 토사나 풍화암과 같이 미고결층에는 건설되지 않고 지반이 안정된 고결층에 주로 건설되어 토사와 풍화암에

대한 균열이 없음을 횡방향균열, 사방방향균열, 망상균열도 마찬가지이다.

나) 횡방향 균열(그림 7 참조)

종방향 균열과 같은 양상으로 볼 수 있다.

다) 사방방향 균열(그림 8 참조)

균열발생 숫자는 종방향 균열이나 횡방향 균열에 비해서 현격히 적지만 지질별 균열 발생 형태는 비슷한 양상을 보이고 있다.

라) 망상균열(그림 9 참조)

사방방향 균열과 같은 양상으로 볼 수 있다.

상기 내용을 검토해 볼 때 터널굴착 막장의 지질이 토

사, 풍화암 등 미고결층에서는 발파를 하지 않고 부레이 커 등을 이용한 기계식 굴착방법을 적용하고 연암, 경암 등에서는 대부분 발파를 하게되어 터널의 굴착선이 여굴 발생으로 불규칙하게 되거나 미고결층 굴착보다는 굴착면 상태가 울퉁불퉁하여 콘크리트라이닝 두께가 부분적으로 일정하지 못하여 응력의 전이경로가 불균등하고, 터널 천정부의 공동채움 미흡으로 인한 원인과 굴착시 발파로 인하여 터널주위의 암반이 손상을 받아 터널에 이완하중으로 작용하는 등의 원인으로 연약한 지반에 건설된 터널보다 발파를 하는 암반에 건설된 터널에서 균열이 많다는 것을 알 수 있다.

또한, 지하철의 단선병렬터널은 횡방향 중심간격 15m를 유지하는 쌍굴터널이다. 따라서 좌우터널의 상호작용으로 인해서 라이닝의 균열발생이 일부 불규칙한 상태를 보이기도 하지만 1-Arch 터널인 복선터널에서는 터널 주변 지질에 따라 균열발생은 규칙적인 양상을 보인다.

## 6. 맺음말

국내의 학계나 업계의 공통적인 시각은 구미 각국이나 구라파를 살펴봐도 우리 나라가 세계적으로 터널공사

를 가장 많이 하고있다는 것이다. 금년에는 터널공학회도 발족되어 좀더 체계있는 터널관련 학술활동과 현장에 기술제공이 활발해질 것으로 기대된다. 터널은 공사도중 하늘을 보게되는 붕락사고 없이 무사히 관통을 해야하지만 작금의 터널은 과도한 설계나 경직된 안전관리로 인하여 비경제적인 시공을 하는 것은 지양되어야 한다. 또한 설계나 시공에 있어서 상당한 부분에 유지관리부서의 의견을 청취하여 반영되어야 사용성이 확보된 시설물로서 안심하고 공용성으로 제공할 수 있는 것이다. 또한 해가 갈수록 환경문제가 크게 대두되고 있음을 감안하여 우리 터널분야에서도 환경친화적인 터널이 건설될 수 있도록 다 같이 연구하고 노력을 아끼지 말아야 한다.

### [약 령]

#### 서강천

- 인하공대 졸업('72), 고려대 산업정보대학원('01)
- 서울시 지하철건설본부, 서울지하철공사 (한강하저터널 공사감독 '92~'94)
- 대한토목학회 편집위원('98)
- 서울도시철도공사 시설관리처장
- 한국터널공학회 이사,
- 한국지반공학회 터널위원회 운영위원.
- 외래강사(건설기술교육원, 시설안전기술공단, 한국건설감리협회)