

# 도심 지하철 터널의 유지관리 계획 분석 사례



**우종태**  
경북대학 토목설계과 교수



**이 송**  
서울시립대학교 토목공학과 교수

## 1. 서론

최근 들어 사회기반시설 확충의 필요성에 따라 제한된 지상환경을 보존하고, 국토의 효율적인 활용을 위해 지하철, 도로, 국철 및 고속철도 공사 등에서 터널 건설이 급격히 증가되어 터널구조물의 설계 및 시공기술 수준은 많이 향상되고 있다. 특히, 터널의 안전성 해석기술의 경우는 기존의 공사시공실적 및 각종 정밀 수치해석기술로 인해 설계단계에서 터널구조물에 작용하는 외력 및 역학적 거동예측을 수행함으로써 터널공사의 시공관리 및 안전관리에 많은 도움을 주고 있다.

현재 국내에서 건설되는 많은 터널공사는 NATM공법으로 시공되었으며, 이 공법은 터널 지보재로 하여금 지반의 강도약화를 최대한 억제하여 지반이 가지고 있는 내하능력을 적극적으로 활용하면서 지속적인 계획관리가 바탕이 되는 공법으로 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성과 경제성을 도모하기 위한 공사중계획은 광범위하게 시행되고 있으나, 이에 대한 분석기법등의 연구성과 활용은 미미하며, 완공된 터널구조물의 공용기간중 지속적인 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관

적이고 연속적인 자료를 제공하는 유지관리계획은 최근 들어 필요성이 부각되어 많은 터널현장에 적용하는 사례가 급속하게 증가되고 있으나, 장기간 측정된 계획 실적도 적고 합리적인 분석방법 연구도 거의 없는 실정이다.

터널현장에서 계획은 필수적인 사항이나 투자되는 계획비용과 기술자들의 노력에 비해 계획결과의 활용도는 전반적으로 낮은 실정인데 이는 합리적인 분석기법 및 관리기준이 정립되어 있지 않고 터널 시공관리와 계획관리가 별도로 수행되므로 인해 계획의 중요성보다는 시공관리 위주의 공사관리가 주된인 것으로 생각된다.

특히, 터널에서의 유지관리계획은 대표단면 위주의 계획으로 계획지점 및 계획항목이 터널길이에 비해 소수의 단면에만 한정되므로 적은 단면의 계획결과로부터 콘크리트 라이닝의 전반적인 응력상태를 추정하거나 계산하는 것은 어려운 실정이다.

유지관리계획에 의한 터널 라이닝의 역학적 거동 연구는 Eisentein & Nahhas가 캐나다 Edmonton 지역 우수처리용 터널에서 콘크리트 라이닝에 변형률계 등의 계획기를 설치하여 강지보재와 목재 보강재와 합성으로 만들어진 콘크리트 라이닝과 프리캐스트 세그먼트 라이닝의

작용응력을 비교하였다.

Leger & Roussel은 프랑스 Chamoise 터널에서 콘크리트 라이닝의 구속력과 변형에 대해 토압계와 변형률계를 설치해 경향분석을 하였고, Curtis & Spaul & Moore은 영국과 프랑스를 연결하는 Channel 터널에서 콘크리트 라이닝에 설치된 변형률계와 광탄성 응력계를 주기적으로 계측하여 이론치와의 비교로 터널의 안전성을 확인하고 보수 보강시기 등의 결정에 적용하였다.

Maeda & Obata는 일본 Seikan 터널이 약 24 kgf/cm<sup>2</sup>의 큰 수압을 받는 해저부 장대터널의 항구적 기능 보존을 위해 콘크리트 라이닝의 변형을 주기적으로 계측하여 터널의 건전도를 파악하였으며, Feldman & Buechel은 미국 보스톤 Red Line 지하철 터널 콘크리트 라이닝에 변형률계와 균열측정계 등을 설치하여 계측기 종류별 성능을 평가하고 측정된 변위와 균열을 평가하여 터널 유지관리에 적용한 바 있다.

국내에서는 이 송, 우중태가 서울지하철 유지관리계측

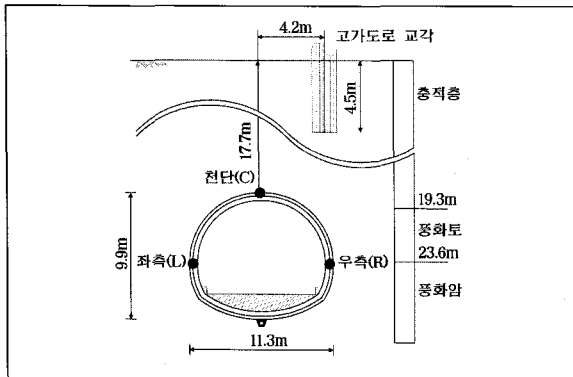
결과를 분석하여 터널 라이닝의 역학적 거동을 분석한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 장기간 계측이 수행된 서울지하철 풍화대 통과 터널 4개 현장과 유로터널 및 캐나다 Edmonton 터널의 유지관리계측 결과인 콘크리트 라이닝 응력과 철근응력을 분석하고, 허용응력과 비교하여 터널의 최종 지지부재인 콘크리트 라이닝의 안전성을 검토하는 등의 터널 콘크리트 라이닝의 유지관리계측 분석 사례를 제시하고자 한다.

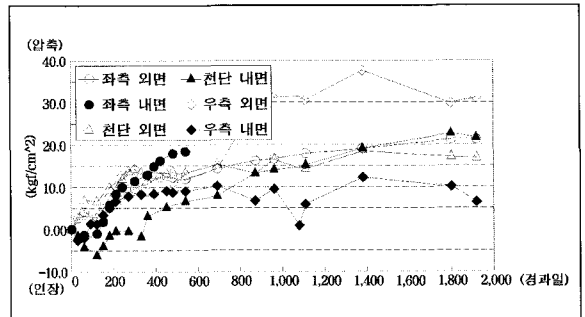
## 2 유지관리계측 분석 사례

### 2.1 A 터널

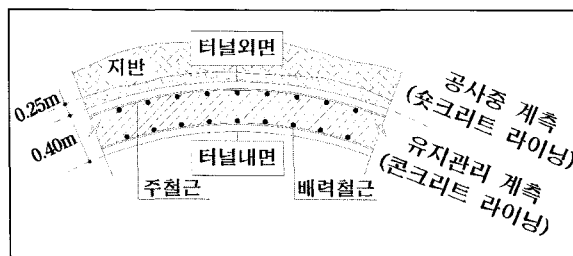
지하철 5호선 ○○○교차로 횡단구간의 풍화대를 통과하는 마제형 복선터널로 토피는 17.7m, 터널 폭은



(a) 계측 위치도

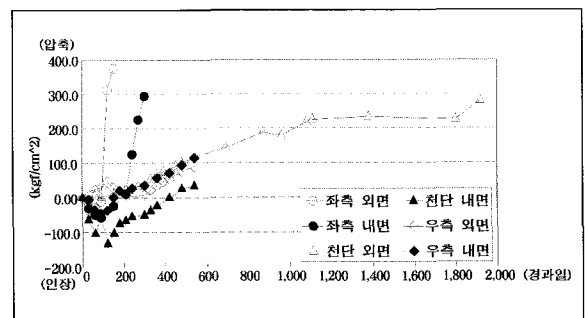


(a) 콘크리트 라이닝 응력



(b) 계측 상세도

그림 1. A 터널 유지관리계측 위치도 및 상세도



(b) 콘크리트 라이닝 철근응력

그림 2. A 터널 유지관리계측 경시도

11.3m, 높이는 9.9m이며, 철근 콘크리트 라이닝은 40cm 두께로 시공되었고, 터널 천단부 우측에 2차로의 고가도로가 위치해 있으며, 계측 위치도 및 계측 상세도는 그림 1 (a), (b), 유지관리계측도는 그림 2와 같다.

유지관리계측 측정 중에 '95.8.24 홍수시 ○○○역 개착 정거장의 하수암거가 월류되어 지하철 5호선 영등포에서 공덕동까지 약 4.5km가 침수되는 사고가 발생하여 '95.9.15까지 약 30~40m 높이의 수압작용으로 인해 일부 계측기가 망실되었다.

계측 경시도에서 콘크리트 라이닝 응력은 외면에서는 압축응력, 내면에서는 초기에 인장응력을 보이다가 압축응력으로 전환되는 양상을 보였고, 압축응력의 크기는 최대 38 kgf/cm<sup>2</sup>, 인장응력의 크기는 최대 6 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다. 휨에 의한 아치단면의 콘크리트 응력분포는 일반적으로 외측단면에서는 압축응력, 내측단면에서는 인장응력이 발생되므로 허용응력 설계법으로 평가 할 경우 외측 단면은 콘크리트의 허용 압축응력  $f_{cm} = 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 평가할 수 있으며, 내측단면은 콘크리트의 휨 인장강도인 파괴계수  $f_t = 2.0 \sqrt{f_{ck}} = 28.9 \text{ kgf/cm}^2$ 로 비교 평가할 수 있다.

철근의 응력은 콘크리트 라이닝 응력과 동일하게 외면에서는 압축응력, 내면에서는 초기에 인장응력을 보이다가 압축응력으로 전환되는 양상을 보였고, 압축응력의 크기는 최대 375 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위이며, 인장응력의 크기는 최대 132 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다. 초기부터 최근까지 약 60개월 계측이 실시된 천단 외면의 콘크리트 라이닝 및 철근은 압축응력이 작용하고 있으며, 최근 콘크리트 압축응력은 17.08 kgf/cm<sup>2</sup>로 월평균 0.29 kgf/cm<sup>2</sup>가 증가하였고, 철근의 압축응력은 226.39 kgf/cm<sup>2</sup>로 월평균 3.77 kgf/cm<sup>2</sup>가 증가하여 이론상의 탄성계수비  $n = E_s / E_c = 133 / \sqrt{f_{ck}} = 9$ 보다 큰 값을 나타냈다.

허용응력 설계법으로 비교할 경우 콘크리트라이닝의 허용 압축응력은 84 kgf/cm<sup>2</sup>로 이 값의 20%정도가 작용되고 있으며, 철근의 허용 압축응력  $f_{sm} = 0.5 f_s = 0.5 \times 3,000 = 1,500 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 이 값의 15%가 작용하고 있

는 것으로 나타났다.

강도 설계법으로 비교할 경우 부재응력은 설계작용하중 단면적 강도감소계수 설계기준강도로 표현되므로 콘크리트 라이닝 압축응력은  $0.85 \times 210 = 178.5 \text{ kgf/cm}^2$ 로 계산되어 이 값의 10%정도가 작용되고 있으며, 철근응력은 3,000 kgf/cm<sup>2</sup>로 이 값의 8%정도가 작용되고 있는 것으로 나타났다.

## 2.2 B 터널

지하철 ○호선 ○○하저터널 여의도구간 풍화토를 통과하는 원형성 마제형 단선터널로 한강수위는 평상시 4m, 최고 홍수시 15m이며, 토피는 23.6m, 터널 굴착직경은 7.8m, 철근 콘크리트 라이닝은 50cm두께로 시공되었으며, 계측위치는 그림 3, 유지관리계측 경시도는 그림 4, 변형률계 설치는 사진 1과 같다.

계측 경시도에서 콘크리트 라이닝은 외면에서 압축응력, 내면에서는 인장응력을 보였고, 압축응력의 크기는 최대 18 kgf/cm<sup>2</sup>이며, 인장응력의 크기는 최대 6 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다.

철근의 응력은 콘크리트 라이닝과 동일하게 외면에서는 압축응력, 내면에서는 인장응력을 보였고, 압축응력의 크기는 최대 54 kgf/cm<sup>2</sup>, 인장응력의 크기는 최대 115 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다.

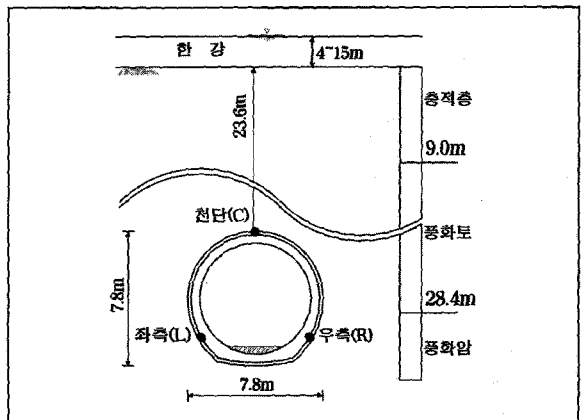
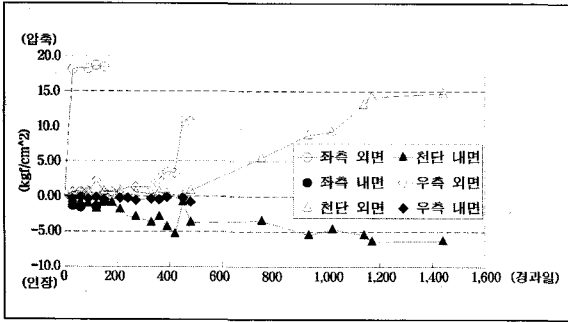
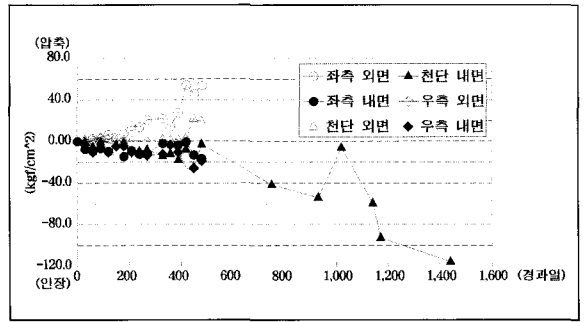


그림 3. B 터널 유지관리계측 위치도

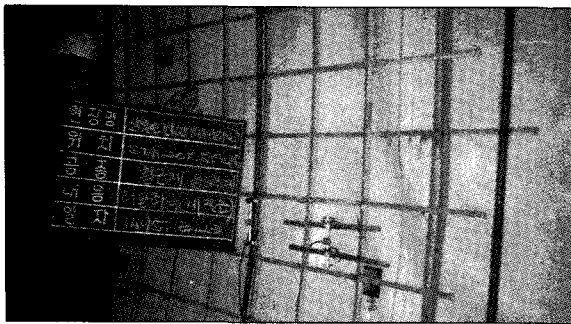


(a) 콘크리트 라이닝 응력



(b) 콘크리트 라이닝 침강응력

그림 4. B 터널 유지관리계측 경시도



(a) 우측 외면



(b) 우측 내면

사진 1 B 터널 변형률계 설치 사진

최근까지 계측이 실시된 천단 내면의 콘크리트 라이닝 및 철근은 인장응력이 작용하고 있으며, 콘크리트의 인장응력은 6.3 kgf/cm<sup>2</sup>이며, 철근의 인장응력은 115.8 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

크기는 최대 27 kgf/cm<sup>2</sup>, 철근의 압축응력의 크기는 최대 285 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다. 천단외면의 최근 콘크리트 압

### 2.3 C 터널

지하철 5호선 ○○하저터널 마포구간 풍화암을 통과하는 원형성 마제형 단선터널로 한강수위는 평상시 6m, 최고 홍수시 17m이며, 토피는 21.5m, 터널 굴착직경은 7.5m이고, 철근 콘크리트 라이닝은 50cm두께로 시공되었으며, 계측위치는 그림 5, 유지관리계측 경시도는 그림 6과 같다.

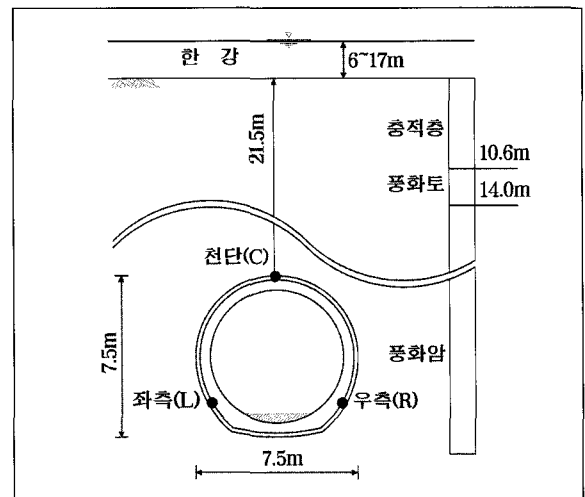
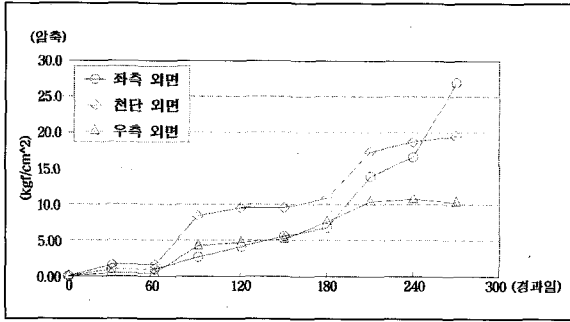
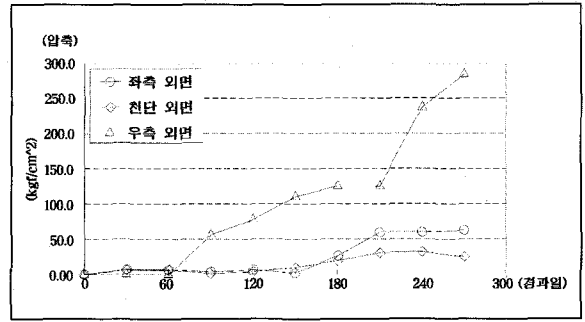


그림 5. C 터널 유지관리계측 위치도

계측 경시도에서 콘크리트 라이닝 및 철근은 외면에서 모두 압축응력을 보였고, 콘크리트라이닝의 압축응력의



(a) 콘크리트 라이닝 응력



(b) 콘크리트 라이닝 철근응력

그림 6. C 터널 유지관리계측 경시도

축응력은  $10.3 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 철근 압축응력은  $284.3 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

### 2.4 D 터널

지하철 6호선 ○○○ 횡단구간 풍화암을 통과하는 마제형 단선 병렬터널로 토피는 18.9m, 굴착폭은 7.3m, 높

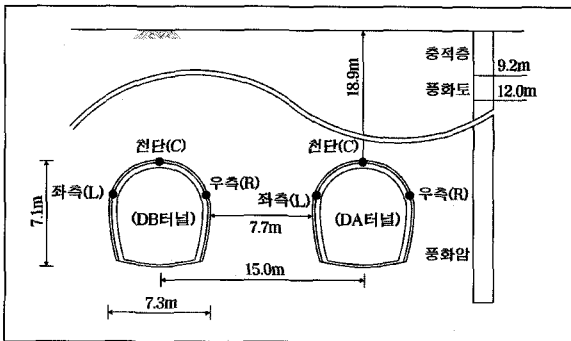


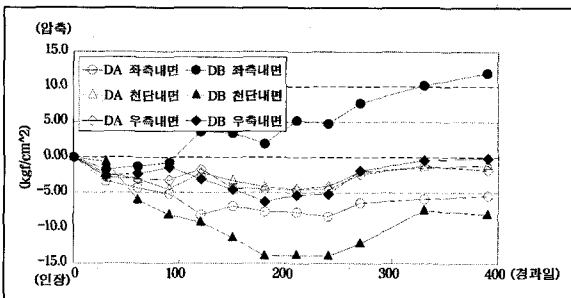
그림 7. D 터널 유지관리계측 위치도

이는 7.1m이고, 양 터널 중심간거리는 15m이나, 내면 이격거리는 7.7m이며, 철근 콘크리트 라이닝은 50cm두께로 시공되었으며, 계측위치는 그림 7, 유지관리계측 경시도는 그림 8과 같다.

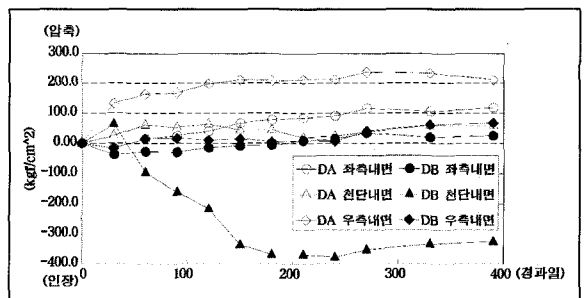
계측 경시도에서 콘크리트 라이닝 내면응력은 DA, DB 터널에서 거의 인장응력을 보였고, 크기는 DA터널에서 최대  $8 \text{ kgf/cm}^2$ , DB터널에서 최대  $14 \text{ kgf/cm}^2$ 를 보였다. 철근응력은 DA터널에서 압축응력을 보였고, 크기는 최대  $237 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, DB터널에서는 압축응력이 최대  $67 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 인장응력이 최대  $378 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

본 터널은 단선 병렬터널로 내측터널 이격거리가 터널 직경의 약 1.1배로 근접시공 완료 후 이로 인한 상호간섭의 영향은 유지관리계측에서는 발생하지 않는 것으로 판단된다.

콘크리트 라이닝 응력은 각 터널 외측에서의 평균값이



(a) 콘크리트 라이닝 응력



(b) 콘크리트 라이닝 철근응력

그림 8. D 터널 유지관리계측 경시도

DA터널에서 인장 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>, DB터널에서 압축 6.1 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였고, 터널 내측에서 DA터널은 인장 5.8 kgf/cm<sup>2</sup>, DB터널은 인장 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>로 약간 상이한 값을 보였다.

콘크리트 라이닝 철근응력은 각 터널 외측에서의 평균 값이 DA터널에서 압축 182.3 kgf/cm<sup>2</sup>, DB터널에서 압축 20.2 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였고, 터널 내측에서 DA터널은 압축 60.0 kgf/cm<sup>2</sup>, DB터널은 압축 18.9 kgf/cm<sup>2</sup>로 큰 차이를 보여 근접시공에 따른 상호간섭 영향은 유지관리계측에서는 발생하지 않은 것으로 판단된다.

### 2.5 E 터널

E 터널은 영국 Folkestone에서 프랑스 Frethun을 연결하는 Euro channel이며, 터널 개요는 전체연장이 49.2km로 해서 터널부가 37.5km, 육지 터널부가

표 1. E터널 유지관리계측기 설치 현황

위치	구분	계측항목
11k998	EA터널 (육지부 보조터널)	내공변위계 콘크리트 라이닝 응력계 광탄성응력계
19k800	EB터널 (해저부 보조터널)	압력계 하중계 지하수위계



비고

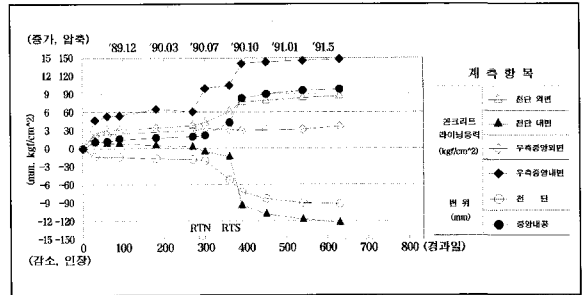
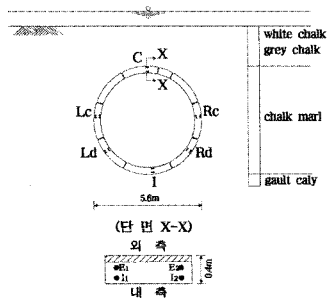


그림 9. EA 터널 유지관리계측 경시도

11.7km이며, 토피는 약 40~140m, 해수면에서의 수심은 10~50m에 위치해 있다.

터널 굴착공사 완료 후 대표단면 계측지점을 선정하여 프리캐스트 콘크리트 라이닝 제작시에 표 1과 같이 유지관리 계측기기를 설치하였다.

#### 2.5.1 EA 터널

육지부 보조터널인 EA 터널의 유지관리계측 경시도는 그림 9와 같다.

EA 터널 계측경시도에서 EA 터널인 육지부 보조터널 주변 터널공사 현황은 북측의 주터널(RTN)은 '90.7.15 관통하였으며, 남측의 주터널(RTS)은 '90.10.2 관통하였다.

터널의 이격거리를 보면 양 터널 중심간 거리는 15m이나, 실제 내면의 이격거리는 7.9m로 5.6m 터널 직경의 1.4배 밖에 이격되지 않아 계측 결과에서 터널 근접시공에 따른 간섭의 영향이 있는 것으로 확인되었다.

계측결과와 경시도에서 천단 콘크리트 라이닝 응력은 외면에서 압축응력이 초기부터 '90.7월 이전에는 최대 38 kgf/cm<sup>2</sup> 범위를 보이다가 근접시공이 시행된 '90.7월 이후에는 인장응력으로 전환되어 최대 122 kgf/cm<sup>2</sup>로 콘크리트의 휨 인장강도인 파괴계수  $f_t = 2\sqrt{f_{ck}} = 2\sqrt{280} = 33.5 \text{ kgf/cm}^2$ 를 크게 초과하여 천단 콘크리트 라이닝에 균열이 발생되었다.

또한, 우측 중앙벽체 콘크리트 라이닝 응력은 외면에서

압축응력이 '90.7월 이전에는 최대 29 kgf/cm<sup>2</sup>이며, 내면에서는 압축응력이 최대 61 kgf/cm<sup>2</sup>를 보이다가 근접시공이 시행된 '90.7월 이후에는 최대 148 kgf/cm<sup>2</sup>로 급격하게 증가되었다.

콘크리트 라이닝의 변위를 보면 천단은 최대 9.2mm가 감소하였는데 근접시공이 시행된 '90.7월에는 2.0mm에서 5.2mm, '90.10월에는 5.2mm에서 7.2mm로 급격하게 감소하였으며, 중앙 내공변위는 최대 9.8mm가 증가하였는데 근접시공이 시행된 '90.7월에는 2.2mm에서 4.3mm, '90.10월에는 4.3mm에서 8.3mm로 급격하게 증가되어 천단 변화량과 유사한 값을 보였다.

콘크리트 라이닝에 균열발생은 '90.10월 남측 주터널인 RTS 통과시 EA터널인 육지부 보조터널 천단부에서 발생하였는데, 이 때 천단외면의 콘크리트 라이닝 압축응력은 76.5 kgf/cm<sup>2</sup>, 천단내면의 인장응력은 94.3 kgf/cm<sup>2</sup>, 천단은 7.2mm가 감소하였으며, 우측 중앙벽체 외면의 콘크리트 라이닝 압축응력은 30.1 kgf/cm<sup>2</sup>, 내면의 압축응력은 140.2 kgf/cm<sup>2</sup>, 중앙 내공변위는 8.3mm가 증가하여, 국내 유지관리계측 관리기준인 콘크리트 라이닝 휨 인장강도 30 kgf/cm<sup>2</sup>와 변위 4mm와는 큰 차이를 보이고 있다.

균열 발생시의 응력과 변위를 수렴단계의 값과 비교하면, 천단외면의 콘크리트 라이닝 압축응력은 88%, 천단내면의 인장응력은 77%, 천단침하는 78%이며, 우측 중앙벽체 외면의 콘크리트 라이닝 압축응력은 82%, 내면의

압축응력은 95%, 중앙 내공변위는 85%의 값을 보여 전체적으로 균열 발생시의 응력과 변위는 수렴단계 값에 약 80~90%의 범위인 것으로 분석되었다.

계측 경시도를 보면 계측 초기부터 근접시공으로 인한 콘크리트 라이닝에 균열이 발생된 시기 및 수렴단계까지의 천단 외면과 내면의 콘크리트응력 경시도 형상과 천단 변위 및 중앙 내공변위의 경시도 형상이 거의 같은 것으로 확인되어 상호 연관성이 있는 것으로 판단된다.

수렴단계의 응력과 변위를 보면 콘크리트 라이닝의 최대 압축응력은 우측중앙내면에서 147.9 kgf/cm<sup>2</sup>로 설계 기준강도 280 kgf/cm<sup>2</sup>의 약 53%가 발생되었으며, 인장응력은 천단내면에서 122.4 kgf/cm<sup>2</sup>로 콘크리트 휨 인장강도인 파괴계수 33.5 kgf/cm<sup>2</sup>의 365%로 크게 발생되어 철근 콘크리트 프리캐스트 라이닝으로 인한 보강효과가 크게 작용된 것으로 판단되었다.

변위는 천단에서 최대 9.2mm가 감소하였는데 천단부에서만 감소된 것으로 볼 경우 터널 내면직경이 4.8m로 수직 변형률은 0.0019이며, 중앙 내공변위는 최대 9.8mm가 증가하였는데, 우측 중앙벽체에서만 증가된 것으로 볼 경우 수평 변형률은 0.0020으로 수직변형률과 같은 값을 나타내고 있으며, 콘크리트의 극한변형률 0.003의 67%가 발생된 것으로 분석되었다.

## 2.5.2 EB 터널

해저부 보조터널인 EB터널의 유지관리계측 경시도는

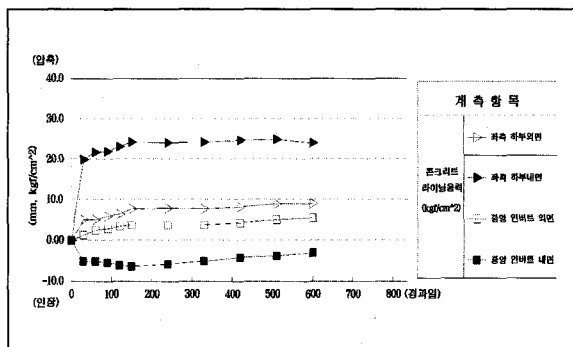


그림 10. EB 터널 유지관리계측 경시도

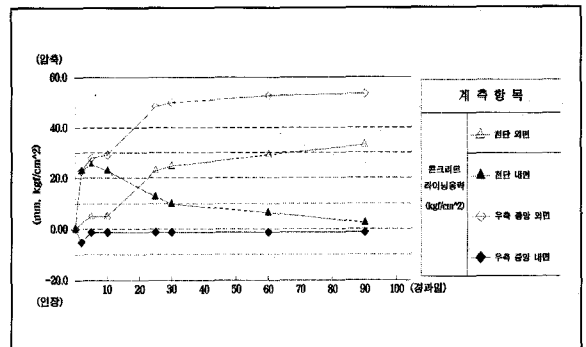


그림 11. F 터널 유지관리계측 경시도

그림 10과 같다.

그림 10의 EB 터널 계속경시도에서 수렴단계시 콘크리트 라이닝 응력은 좌측하부 벽체외면에서 압축응력 9.0 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였으며, 중앙바닥 인버트 외면에서 압축응력 5.5 kgf/cm<sup>2</sup>와 내면에서 인장응력 약 5.0 kgf/cm<sup>2</sup>가 발생되어 전체적으로 콘크리트 라이닝에 작용하는 응력은 작은 것으로 분석되었다. 변위는 천단 및 중앙내공이 0.5mm의 미소한 값을 보였다.

### 2.6 F 터널

F 터널은 캐나다 Edmonton 지역 우수처리용 터널이며, 터널 개요는 전체 연장이 1.4km이며, 터널규격은 직경 2.5m의 원형터널로 건설되었다.

터널 굴착공사 완료 후 대표단면 계속지점을 선정하여 프리캐스트 콘크리트 라이닝 제작시에 표 2와 같이 유지관리 계속기기를 설치하였으며, 계속 경시도는 그림 11과 같다.

F 터널 계속경시도에서 프리캐스트 콘크리트 라이닝 응력의 수렴값은 천단외면에서 33.1 kgf/cm<sup>2</sup>, 내면에서 2.5 kgf/cm<sup>2</sup>, 우측 중앙외면에서 53.5 kgf/cm<sup>2</sup>의 압축응

력을 보였으며, 우측 중앙내면에서 1.3 kgf/cm<sup>2</sup>의 인장응력을 나타냈다.

### 3. 결론

본 고에서는 장기간 계속이 수행된 서울지하철 풍화대 통과 터널 4개 현장과 유로터널 및 캐나다 Edmonton 터널의 유지관리계측 결과인 콘크리트 라이닝의 응력과 철근응력을 분석하였고, 콘크리트 라이닝의 응력을 허용응력과 비교하여 터널의 최종 지보부재인 콘크리트 라이닝의 안전성을 분석한 결과 터널의 최종 지보부재인 콘크리트 라이닝은 천단외면에서는 압축응력을 지속적으로 받아 최대 17 kgf/cm<sup>2</sup>로 허용 압축응력 84 kgf/cm<sup>2</sup>의 20% 정도에서 수렴하였고, 천단내면에서는 인장응력을 지속적으로 받아 최대 7 kgf/cm<sup>2</sup>에서 수렴하여 콘크리트의 휨 인장강도인 파괴계수 28.9 kgf/cm<sup>2</sup>에 24%정도로 콘크리트 라이닝은 안전한 것으로 판단된다.

터널의 최종 지보부재인 콘크리트 라이닝 철근응력은 천단외면에서는 압축응력을 지속적으로 받아 최대 226 kgf/cm<sup>2</sup>에서 수렴하였고, 천단내면에서는 인장응력을 지속적으로 받아 최대 115 kgf/cm<sup>2</sup>에서 수렴하여 철근의 허용응력인 1,500 kgf/cm<sup>2</sup>에 최대 15%정도로 콘크리트 라이닝은 안전한 것으로 판단된다.

향후 많은 유지관리계측 결과를 이용한 터널 라이닝의 역학적 특성분석이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

표 2. F 터널 유지관리계측기 설치 현황

위치	구분	계측항목
단면 2	F 터널	매립형 변형률계 표면부착형 변형률계
비고		

### 참고자료

1. 우종태, 이송(2001), "유지관리계측에 의한 터널라이닝의 안전성 분석", 대한토목학회 학술발표회논문집, 터널분과 HD135546, pp.1-4
2. 우종태, 변영근, 이송(2001), "유지관리계측에 의한 콘크리트 라이닝의 안전성 분석", 한국구조물진단학회 기술학술발표회논문집, pp.351-356
3. Curtis,D.J, Spaul,J.A, (1996) "Monitoring of the UK



- Tunnel Linings", Engineering Geology of The Channel Tunnel, pp.277-286
4. Eiselein,Z, Nahhas,F.El and Thomson,S, (1979) "Pressure Displacement Relations in Two system Tunnel Lining", Proceedings of 6th PanAmerican Conference on Soil Mechanics, pp.85-948.
  5. Maeda,K. & Obata,T, (1992) "The Measurement of The Behavior at The Undersea Portion of The Seikan Tunnel", ねり工學研究發表會 論文集2卷, pp.143-148
  6. Moore,D.R & A. Crease, (1996) "Tunnel Instrumentation", Engineering Geology of the Channel Tunnel, pp.287-294
  7. Nahhas,F.El, Kadi,F.El and Ahmed,A.I, (1992) "Int-

eracting of Tunnel Linings and Soft Ground", Tunneling and Underground space Technology, Vol, No.1, 1992, pp.33-43

#### [약 력]

##### 이 승

- 고려대학교 대학원 토목공학과 공학박사
- 토질 및 기초 기술사
- 서울시립대학교 토목공학과 교수

##### 우종태

- 서울시립대학교 대학원 토목공학과 공학박사
- 토목시공기술사, 토목품질시험기술사
- 경북대학 토목설계과 교수