

# 지하철 터널라이닝 콘크리트의 품질에 대한 미세구조적 평가

## Microstructural Evaluation on the Quality of Tunnel Lining Concrete in Subway Structures

김 성 수<sup>\*</sup>   김 동 규<sup>\*\*</sup>   이 규 필<sup>\*\*</sup>   정 호 섭<sup>\*\*</sup>   봉 원 용<sup>\*\*\*</sup>  
Seong-Soo Kim   Dong-Gyou Kim   Gyu-Phil Lee   Ho-Seop Jung   Won-Yong Bong

---

### ABSTRACT

Recently, as it has greatly increased the demand on the serviceability of subway, cable tunnel, the stability of the tunnel structures has been attracting the concern of engineers and researchers.

The purpose of this study is to identify the various characteristics of lining concrete in subway structures. The nondestructive technique such as the surface hardness method and the extend of carbonation by phenolphthalein indicator and chemical analysis due to XRD are considered. Also, the concrete core was cut in three pieces per tunnel for the exact evaluation of strength.

---

### 1. 서론

산업발전과 경제성장으로 인한 교통량의 처리문제와 국토 포화상태로 인하여 지하공간의 활용이 중요시 되고 있다. 특히 터널은 지반 내에 건설되는 대표적인 구조물로서 여러 가지 환경적 요인 및 터널의 기하형상, 지보공의 형식에 의하여 구조의 건전성이 큰 영향을 받는다.

일반적으로 콘크리트 구조물은 높은 내구성을 가지고 있다는 인식 때문에 별도의 유지관리를 하지 않고도 반영구적으로 사용할 수 있는 것으로 알려져 왔지만 철도터널은 공용기간이 증가함에 따라 진동, 소음, 매연 및 지하수위의 변화 등과 같은 주변 환경에 의하여 라이닝 콘크리트는 성능저하가 발생하므로 장기적인 측면에서 터널구조의 사용성 증대와 효과적인 유지관리를 위하여 정기적인 점검과 보수보강대책을 수립하여야 한다. 특히 재료적인 측면에서의 검토는 구조적 측면에도 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 논문에서는 지하철 터널라이닝 콘크리트의 내구성을 조사하기 위하여 2개 지하철(준공 후 30년~35년)의 터널라이닝 콘크리트 재료에 대한 특성분석을 위하여 물리적 화학적 방법을 통하여

---

\* 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원

\*\*\* 정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

콘크리트 라이닝의 성능저하 원인을 비교 분석하였다.

## 2 실험개요 및 방법

### 2.1 현장개요

· C지하철터널	35년 정도 된 지하철터널구조물로써 외부와의 거리가 5km이내 되는 위치에 있다.
· H지하철터널	30년 정도 된 지하철터널구조물로써 외부와의 거리가 10km이상 되는 위치에 있다.

표 1 지하철터널 현황

### 2.2 강도 조사

콘크리트 라이닝의 실제 강도 추정을 위하여 콘크리트 압축강도 시험방법 및 KS F 2422에 의해 압축강도를 측정하였다.

### 2.3 중성화측정

채취한 콘크리트 코어 공시체를 할렬하여 KS M 0015에 의한 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 2개면에서 총 10개의 중성화 깊이를 측정하였다.

### 2.4 X-Ray Diffraction(XRD)

분말법을 이용하여 채취한 시료를 대상으로 RINTD/max2500(RigaKu)을 이용하여 X선 회절분석을 실시하였으며, 측정조건은 CuKa(Ni Filter) : 30kV, 20mA, Scanning Speed: 6°/min, Full scale: 700cps, 2θ: 5~40°로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 압축강도 및 탄산화 깊이 측정 결과

그림 1은 2개의 터널 라이닝 콘크리트의 압축강도를 측정한 후 설계기준강도에 대한 비로써 나타낸 결과이다. H 터널의 H 2 코어 시료에서의 압축강도가 설계기준강도에 조금 못 미치는 값을 나타낸 반면, 다른 터널 라이닝 콘크리트 코어의 압축강도는 설계기준강도를 모두 초과하는 것을 볼 수 있으므로 콘크리트 강도 저하로 인한 안전성 문제는 크게 우려되지 않는 것으로 평가 된다.

그림 2는 터널 라이닝 콘크리트의 중성화 깊이를 나타낸 결과이다. 2개 터널의 탄산화 깊이를 보면 평균적으로 C 터널은 20mm, H 터널은 30mm의 탄산화 깊이를 나타내었다.

일반적으로 대기 중의 이산화탄소가 약 370ppm 정도인 반면 지하철 터널의 경우 3000ppm 이상으로 조사되어 있다. C터널의 경우 H터널과 비교해서 외부와의 거리가 가까운 C터널에서 이산화탄소 및 아황산가스의 농도가 상대적으로 작기 때문에 H터널 보다탄산화 깊이가 작게 나타난 것을 알 수 있다.

### 3.2 XRD에 의한 미세구조분석 결과

2개의 터널에 대한 XRD 분석결과를 나타낸 것이 그림 3과 그림 4이다. 그림에서와 같이 깊이별 반응 생성물을 보면 골재 피크에서 기인 된 Quarts 피크가 상대적으로 많이 생성된 것을 볼 수 있다.

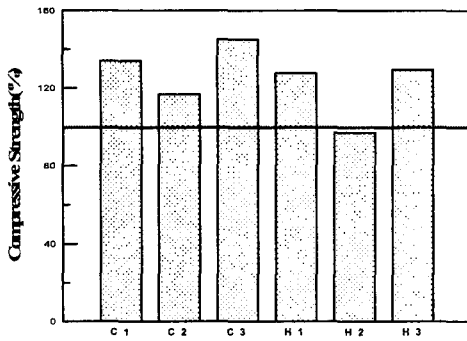


그림 1 터널 라이닝 콘크리트 코어의 압축강도

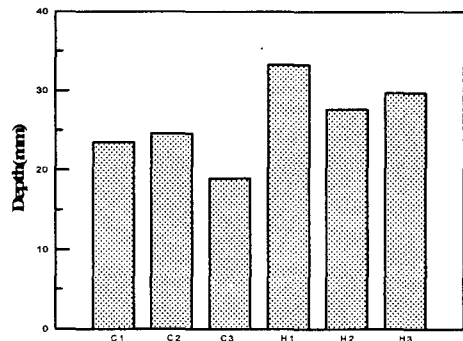


그림 2 터널 라이닝 콘크리트 코어의 탄산화 깊이

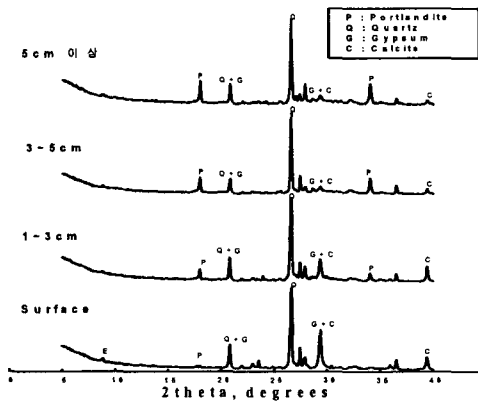


그림 3 C터널의 XRD 분석결과

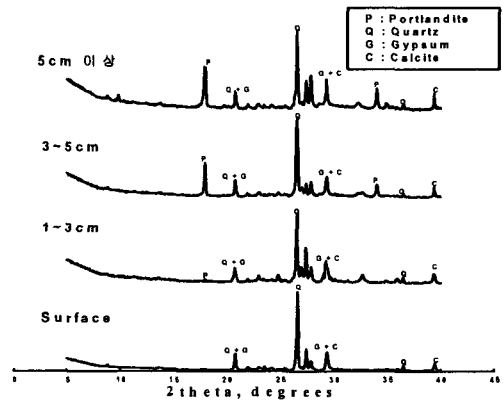


그림 4 H터널의 XRD 분석결과

그림 3은 C 터널에 대해 깊이별로 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 표면부분에 비해 내측 부분의 분석결과를 보면 Portlandite, Calcite, Quartz 및 소량의 Ettringite 피크가 검출되므로써, 비교적 건전한 상태를 나타내었다. 그러나, 표면부분의 분석결과를 보면 내측부분에 비해 Portlandite 피크가 상대적으로 감소한 것을 볼 수 있고, 또한 Gypsum 및 팽창성 물질인 Ettringite 의 피크도 상대적으로 증가한 것을 볼 수 있다.

한편, 그림 4는 H 터널에 대한 XRD 분석결과를 나타낸 것으로써, C 터널의 XRD 분석결과와 매우 유사한 결과가 나타남을 확인할 수 있었다.

전체적으로, 두 터널 모두 탄산화 된 표면부분에서의 XRD 분석결과를 보면 Portlandite 의 피크가 내측부분에 비해 감소한 것을 볼 수 있다. 이것은  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  가  $\text{CO}_2$  와 반응하여 나타난 결과라 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 터널 라이닝 콘크리트의 내구성능을 평가하기 위해 코어 분석을 통한 강도조사, 탄

산화, 및 XRD 분석을 실시하였으며, 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 터널 라이닝 콘크리트 코어 공시체의 압축강도 시험결과 H 터널의 H 2 시료만 제외 하고는 모든 코어 공시체에서 설계기준강도를 초과하는 값을 나타낸 것을 볼 수 있고, 콘크리트의 안정성 여부는 크게 이상이 없는 것으로 사료된다.
- 터널 라이닝 콘크리트 코어 공시체의 탄산화 깊이 시험결과 C·H 터널이 평균적으로 각각 20mm, 30mm 정도 측정된 것을 볼 수 있다. 이는 터널의 경우 환경적인 요인에 기인하여 탄산화가 다소 빠르게 진행됨을 알 수 있다.
- 탄산화 된 부분에서의 XRD 분석결과를 보면  $\text{Ca(OH)}_2$  가  $\text{CO}_2$  와 반응하여 내측부분에 비해 Portlandite 의 피크가 감소한 것을 볼 수 있고, 또한 위의 반응으로 인한 Calcite 의 피크가 나타난 것을 확인할 수 있다.

#### 참고자료

1. 서울특별시지하철공사, 지하철 1~4호선 정밀안전진단보고서 2001.
2. Wegmuller MC. Einflusse des Bergwassers auf Tiefbau/Tunnelbau. Staubli AG, Zurich, 2001, p. 215
3. M. Romer et al. / Cement & Concrete Composites 25 (2003) 1111~1117