

# 강섬유 보강 터널 라이닝 콘크리트의 성능 평가

## Performance Estimation of Tunnel Lining Concrete Reinforced Steel Fiber

전찬기\*      김수만\*\*      이명수\*\*\*      이종은\*\*\*\*      전중규\*\*\*\*\*  
Jeon, Chan Ki   Kim, Su Man   Lee, Myung Soo   Lee, Jong Eun   Jeon, Joong Kyu

### ABSTRACT

Tunnel lining is the final support of a tunnel and reflects the results of the interaction between ground and support system. Recently it is very difficult to support and manage the tunnel because the cracks on tunnel lining cause problems in supporting and managing tunnels. Therefore the analysis of the cracks is quite strongly required. The major role played by the steel fiber occurs in the post-cracking zone, in which the fibers bridge across the cracked matrix. Because of its improved ability to bridging cracks, steel fiber reinforcement concrete(SFRC) has better crack properties than that of reinforced concrete. In this study, mechanical behaviour of a tunnel lining was examined by model tests. The model tests were carried out under various conditions taking different loading shapes, thicknesses and leakage of lining, and volume content of steel fiber. From these model test, the cracking load, the failure load, deflection and cracking position and type were examined and the characteristics of deformation and failure for tunnel lining were estimated and researched.

### 1. 서 론

근년에 와서 자연환경의 훼손을 최소화하고 교통흐름의 안전성을 고려한 기하구조와 선형유지를 위해 터널의 건설이 지속적으로 증가하고 그 규모 또한 장대화 되어 3차로 이상의 대 단면 터널과 3km 이상의 장대터널이 건설되고 있는 추세이다.

특히, 국내에서 수행되는 NATM터널 공법의 설계시 대부분 1차 지보를 영구 구조물로 간주하고 있으며, 어떠한 형태로든 1차 지보재에 의해 안정되고 내부 라이닝은 터널의 구조적 기능보다는 부수적 기능 유지를 목적으로 하기 때문에 배수형 터널에서는 자중만 견딜 수 있는 구조로 설계된다.

그리고 현장의 지반 특성과는 전혀 무관하게 양호한 경암지반과 연약한 충적토사 지반에서도 동일하게 설계되고 있는 실정이다. 이는 장기적인 터널 안정성 측면에서 볼 때 연약한 토사지반에서는 외부 또는 내부의 환경적·하중조건 변화에 매우 민감한 것이 전혀 반영되지 못하고 있다는 점이다.

이와 같이 NATM터널에서는 여러 가지 문제점들을 내재하고 있으며 그 중에서 2차 라이닝에서의 가장 큰 문제점은 균열이며, NATM터널에서 2차 라이닝은 자중만을 견디도록 설계하기 때문에 두께

\* 정희원, 시립인천전문대학 공학부 교수, 공학박사, E-mail: ckjeon@icc.ac.kr  
\*\* 정희원, 수원대학교 토목공학과 교수, 공학박사, E-mail: smkim@mail.suwon.ac.kr  
\*\*\* 정희원, 시립인천전문대학 공학부 교수, 공학박사, E-mail: mslee@icc.ac.kr  
\*\*\*\* 정희원, 수원대학교 토목공학과 박사과정, E-mail: jelee1950@daum.net - 발표자  
\*\*\*\*\* 정희원, 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원, 공학박사, E-mail: jkjeon31@hanmail.net

가 얇다는 점과 1차 지보재인 숏크리트와 직접 접하게 되어 축력과 모멘트가 직접 전달되는 역학적 사항에 대해서는 고려되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 NATM터널의 2차 라이닝에서 발생하는 균열 중 콘크리트 라이닝의 역학적 원인에 의한 균열 방지, 대책 및 안정성을 확보하기 위한 목적으로 강섬유를 혼합한 라이닝 시험체에 대한 모델실험을 실시하여 NATM터널의 설계와 시공 및 유지관리에 있어서 합리적인 관리체계 수립에 도움을 주고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 1) 시멘트

보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Item Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (m <sup>2</sup> /kg)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.10	3.32	2.11	2.58	3.15	311.2

2) 골재 : 굵은 골재는 최대치수 19mm, 비중 2.62, 흡수율 0.78% 및 조립률 6.9인 부순돌을 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.60, 흡수율 0.94% 및 조립률 3.0인 바다모래를 세척하여 사용하였다.

#### 3) 강섬유

국내 G사의 평균인장강도가 800~1,200 MPa이며, 형상계수 40이상인 포스화이버 강섬유를 사용하였다.

### 2.2 실험방법

1) 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 : 강섬유를 0, 0.5 및 1.0%로 혼합한 콘크리트의 압축강도 및 인장강도를 알아보기 위한 시험은 KS F 2403, 2405에 따라  $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작한 후 각 재령별 압축강도 및 인장강도를 측정하였다.

2) 콘크리트 라이닝 모형실험 : 콘크리트 라이닝의 축소 모형 시험체는 라이닝 두께 60mm, 외부반경 300mm로 된 강재 거푸집에 배면 공동 현상을 고려하기 위하여 라이닝 모형의 천단부 두께를 각각 0, 20 및 40% 작게 하여 시험체를 제작하였다. 그리고 라이닝의 변형상태를 확인하기 위하여 라이닝 시험체의 내측에 콘크리트용 게이지 및 변위계를 부착하여 하중 단계별 변형을 및 처짐을 측정하였다 (그림 1 및 그림 2 참조).

## 3. 실험결과

### 3.1 압축강도 및 인장강도

강섬유를 콘크리트의 체적의 0, 0.5 및 1.0%로 달리하여 제조한 콘크리트의 압축강도 및 인장강도를 각 재령별로 측정한 결과를 정리한 것이 그림 3 및 그림 4이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 강섬유를 혼합함으로써 콘크리트의 압축강도는 기준콘크리트보다 큰 값을 나타내었다. 재령 28일에서 C-0.0,

C-0.5 및 C-1.0 콘크리트의 압축강도는 각각 24.5, 25.1 및 26.9 MPa를 나타내었으며, 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도는 조금씩 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 4에서 T-0.0, T-0.5 및 T-1.0 콘크리트의 인장강도는 각각 2.0, 2.3 및 2.6 MPa의 결과를 나타내었으며, 강섬유를 콘크리트 체적의 0.5 및 1.0% 혼입한 시험체의 인장강도는 강섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 인장강도보다 각각 15 및 30%가 증가하였음을 알 수 있었다.

### 3.2 콘크리트 라이닝 모형 시험체

그림 5는 터널 라이닝 콘크리트의 천단부의 두께가 60mm이며, 천단부 20° 범위에 강섬유 혼입률을 각각 0.0, 0.5 및 1.0%로 하여 하중-처짐곡선을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 최대하중은 증가하였으며, 최대 처짐은 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다.

터널 라이닝 콘크리트의 두께부족 및 배면 공동현상에 따른 라이닝 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 라이닝 콘크리트 모형 시험체의 천단부 공동의 크기를 모형 두께의 100%(60mm), 80%(48mm), 60%(36mm)로 하였으며, 천단부 20° 범위에 강섬유 혼입률은 0.5%로 하여 제조한 시험체에 대한 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이 그림 6이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 라이닝 콘크리트 모형의 천단부 두께가 작을수록 최대하중은 작아지고, 처짐은 증가하는 결과를 얻었다.

이러한 결과는 부분적으로 라이닝 두께가 얇은 부분에서는 큰 응력이 발생함을 알 수 있었고, 라이닝 두께 감소는 단면적 보다는 단면 이차 모멘트에의 영향이 지대하므로 약간의 외력으로도 인장파괴를 유발시켜 균열의 원인이 될 수 있음을 알 수 있었다.

## 4. 결론

- 1) 강섬유를 0.0, 0.5 및 1.0% 혼입한 제조한 강섬유 보강 콘크리트의 압축강도 및 인장강도는 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 조금씩 증가하는 경향을 나타내었으며, 이러한 결과는 콘크리트 내 강섬유가 미세균열 제어작용과 구속효과에 기인되기 때문으로 생각된다.
- 2) 터널 라이닝 콘크리트 모형 두께를 60mm로 하여 천단부 20° 범위에 강섬유를 0.0, 0.5 및 1.0%로 혼입한 시험체의 하중-처짐 곡선에서 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 최대하중은 16~25% 증가하였으며, 또한 최대 처짐은 15~22% 감소하는 결과를 나타내었다.
- 3) 터널 라이닝 콘크리트의 천단부의 두께를 각각 60, 48 및 36mm로 하여 천단부 20° 범위에 강섬유 혼입률을 각각 0.0, 0.5 및 1.0%로 한 시험체의 하중-처짐 곡선의 경우 라이닝 콘크리트 천단부 두께가 감소할수록 최대하중은 감소하였으며, 최대 처짐은 증가하는 결과를 얻었다.

이러한 결과는 부분적으로 라이닝 두께가 얇은 부분에서는 큰 응력이 발생함을 알 수 있었고, 라이닝 두께 감소는 단면적 보다는 단면2차모멘트의 영향이 지대하므로 약간의 외력으로도 인장파괴를 유발시켜 균열의 원인이 될 수 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- 1) 김영근, 김유석, 이대혁, 김성운(1998), "터널 콘크리트 라이닝에 발생하는 천단부 종균열에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 11~14
- 2) 전찬기, 박선규(1999), "강섬유 보강 패널구조의 보강효과 분석 및 인성평가 기법, 한국콘크리트학회지, 제11권 2호, pp. 209~220



그림 3. 콘크리트 라이닝 모형 강재 거푸집

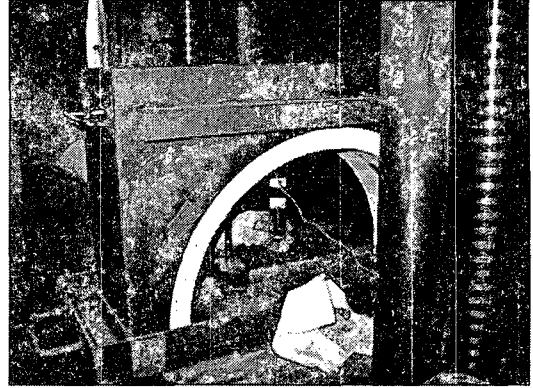


그림 4. 콘크리트 라이닝 모형 실험 장치

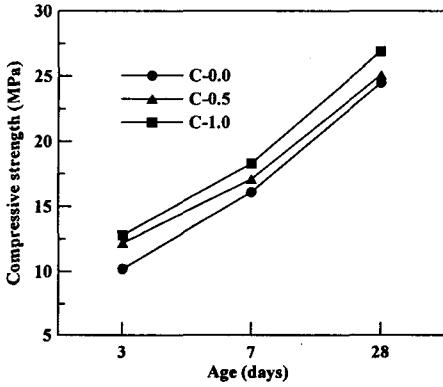


그림 3. 강섬유 혼입률에 따른 콘크리트의 압축강도

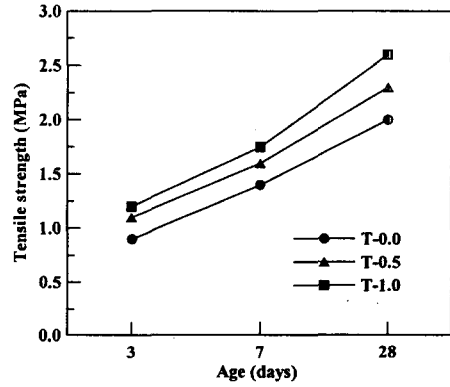


그림 4. 강섬유 혼입률에 따른 콘크리트의 인장강도

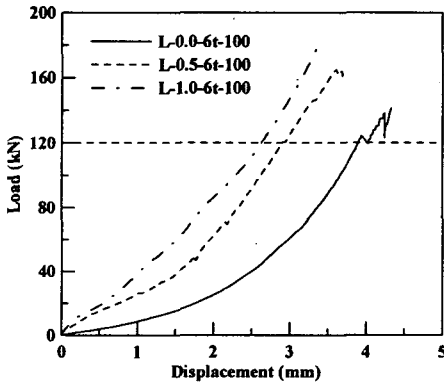


그림 5. 강섬유 혼입률에 따른 라이닝 콘크리트의 하중-처짐 곡선

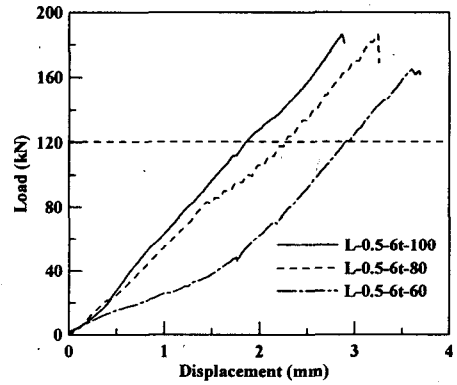


그림 6. 천단부 두께 변화에 따른 라이닝 콘크리트의 하중-처짐 곡선