

# 폴리프로필렌 섬유 혼입 모르타르의 내화성능 평가

## Evaluation of Fire-Resistant Performance for Polypropylene Fiber-Mixed Mortar

이 찬 영\*  
Lee, Chan Young

심 재 원\*\*  
Shim, Jae Won

안 태 송\*\*\*  
Ahn, Tae Song

임 채 혁\*\*\*\*  
Lim, Chaehyeok

### ABSTRACT

In this study, evaluation of fire-resistant performance for polypropylene fiber-mixed mortar was performed to establish specification for stability of tunnel structure against fire afterward. In the fire-resistant performance test with mix proportion of polypropylene fiber, cracks were observed for mortar under 0.15% of fiber content, but micro-cracks were remarkably reduced for mortar more than 0.2% of fiber content. From the results, we are concluded that optimal mix proportion of polypropylene fiber is 0.20~0.25%.

### 1. 서론

최근 세계적으로 터널 및 지하구조물에서의 대형화재로 인해 경제·사회적으로 심각한 손실이 발생하고 있는 실정이다. 이처럼 폐쇄된 공간인 터널 및 지하구조물 내의 화재는 구조체의 강도저하로 인한 붕괴 및 인명피해 뿐만 아니라 사회기반시설인 교통망을 장시간 끊어놓게 되는 등 큰 문제를 야기한다. 콘크리트는 내화성이 우수한 재료로 널리 사용되어 왔으며 일반강도의 보통 콘크리트는 화재시 폭열에 대한 심각한 우려가 발생하지 않아 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않았으나 콘크리트의 고강도화가 진행되어져 가면서 일반강도의 보통 콘크리트와는 달리 내외부 조직이 치밀해져 화재시 갑작스러운 고열을 받게 되면 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 폭열현상이 발생하여 균열 및 피복두께의 결손과 함께 철근의 온도상승으로 철근콘크리트 구조체의 내력저하를 초래하게 된다. 따라서 이러한 콘크리트의 취성 거동을 연성거동으로 유도하고 인장저항능력의 증대, 국부적인 균열의 생성 및 성장을 억제하며 콘크리트의 폭열 현상을 효과적으로 방지할 수 있는 콘크리트에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 터널내 화재 발생시 구조물 안정성에 대한 관련 시방 규정을 도출하기 위하여 콘크리트 폭열 방지에 효과적인 것으로 알려져 있는 폴리프로필렌 섬유보강 모르타르의 내화성능을 평가하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 실험변수 및 배합

폭열을 방지할 수 있는 최적의 방법을 도출하고자 기존 연구자료 등을 통한 결과들의 분석과 섬유 혼입율에 따른 작업성을 고려하여 폴리프로필렌 섬유 혼입률의 범위를 0~0.25%로 하였으며 표 1과 같은 배합을 선정하였다.

#### 2.2 사용재료

본 연구에서는 망사형 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며 일반적인 물성은 표 2와 같다. 시멘트는

\* 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원

\*\* 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

\*\*\* 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원

\*\*\*\* 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

KS L 5201을 만족하는 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트 사용하였으며 물리적 특성은 표 3과 같다. 잔골재는 비중 2.6, 흡수율 0.67의 강모래를 사용하였으며 잔골재의 입도는 <그림 3.1>과 같이 KS 입도표준 범위를 만족하였다. 또한 잔골재의 조립률은 2.86으로 KS F 2526의 잔골재의 조립률 허용범위인 2.3~3.1만족하였다.

표 1. 배합설계

| 구분  | W/C(%) | C : S    | 폴리프로필렌 혼입률*(V <sub>f</sub> %) | 유동화제(%)** |
|-----|--------|----------|-------------------------------|-----------|
| P00 | 50     | 1 : 2.18 | 0.00                          | 0.2       |
| P05 |        |          | 0.05                          |           |
| P10 |        |          | 0.10                          |           |
| P15 |        |          | 0.15                          |           |
| P20 |        |          | 0.20                          |           |
| P25 |        |          | 0.25                          |           |

\* : 전 체적에 대한 혼입율  
\*\* : 시멘트량에 대한 혼입율

표 2. 폴리프로필렌 섬유의 물성

| 명칭                   | 재질                        | 흡습성 | 비중   | 융해점 (°C) | 발화점 (°C) | 인장탄성계수 (MPa) | 기타        |
|----------------------|---------------------------|-----|------|----------|----------|--------------|-----------|
| 폴리프로필렌 방사형 (PM type) | Homopolymer Polypropylene | 없음  | 0.91 | 162      | 590      | 350~770      | 내알칼리성 내산성 |

표 3. 시멘트의 물리적 특성

| 구분        | 분말도 (cm <sup>2</sup> /g) | 비중   | 안정도 (%) | 압축강도 (MPa) |        |         |
|-----------|--------------------------|------|---------|------------|--------|---------|
|           |                          |      |         | 3 days     | 7 days | 28 days |
| 1종시멘트     | 3,488                    | 3.15 | 0.08    | 22±2       | 30±2   | 38±3    |
| KS L 5201 | 2,800                    | -    | 0.8↓    | 13↑        | 20↑    | 29↑     |

### 2.3 압축강도시험

폴리프로필렌 섬유 혼입률에 따른 압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS L 5105에 의하여 모르타르의 압축강도 실험을 실시하였다. 50×50×50mm의 입방체 공시체를 9개 제작하여 재령 7일, 14일, 28일에서 재령 당 3개씩의 압축강도를 측정하였으며 실험은 2회 반복 실시하였다. 공시체는 24시간의 초기양생 후에 23±2°C의 항온조건으로 수중양생을 실시하였다.

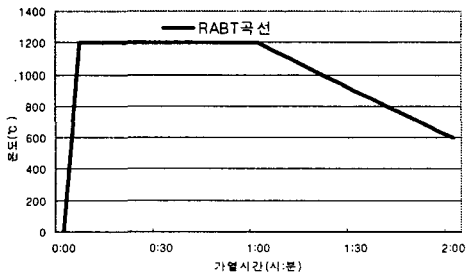


그림 1. RABT곡선

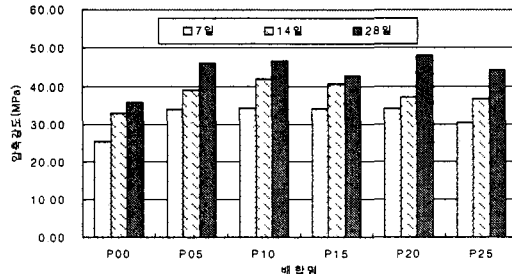


그림 2. 폴리프로필렌섬유 혼입률에 따른 압축강도

### 2.4 내화시험

내화시험은 내화(전기)로에서 그림 1과 같은 RABT 시간가열온도곡선에 따라 실시하였다. 이 RABT 곡선<sup>1, 2)</sup>은 경우에 따라 최고온도가 30분에서 55분까지 유지되나 본 연구에서는 국외에서 가장 많이 적용하고 있는 55분간 최고온도를 유지하게 하는 RABT 시간가열온도곡선을 적용하여 실험을

실시하였고 시편은 일방향으로 열이 가해지도록 하였다.

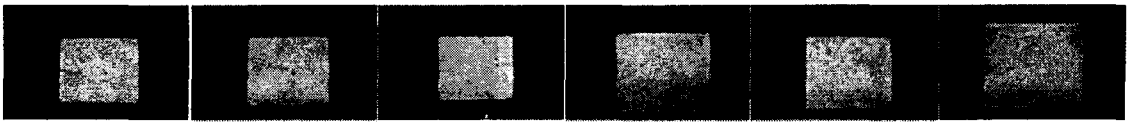
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 압축강도

폴리프로필렌 섬유 혼입률별 모르타르의 압축강도 결과는 그림 2와 같다. 시험결과 섬유가 혼입되지 않은 공시체의 압축강도보다 섬유가 혼입된 공시체의 압축강도가 증가하는 경향을 보여주었다. 그러나 섬유 혼입량의 증가와 압축강도 증진 사이의 비례관계는 성립되지 않았다. 이는 일반적으로 섬유 보강 콘크리트는 섬유의 혼입률이 증가할수록 휨성능 및 균열제어 성능은 어느 정도 비례적으로 증가하지만 압축강도의 경우에는 큰 영향을 미치지 않고 섬유의 혼입에 따라 약간 증가하거나 감소한다는 기존 연구결과와 일치하는 결과라 할 수 있다. 즉, 본 연구에서는 섬유의 혼입에 따라 압축강도가 약간 증가하는 것으로 나타났으나 섬유 혼입률의 변화에 대해서는 영향을 받지 않았다.

#### 3.2 내화시험

내화시험 후 표면관찰 결과는 그림 3과 같다. 모든 종류의 배합에서 직접적인 폭열은 발생되지 않았으며, 그 원인은 물-시멘트 비가 50%로 비교적 커 콘크리트 내의 수분함량이 많고, 내화시험용 모르타르 공시체의 크기가 작아 내부 공극압이 비교적 적게 발생되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 내부 공극압이 외부로 팽창하려는 힘에 의해 발생된 것으로 판단되는 심각한 균열이 표면에서 관찰되었다. 폴리프로필렌 섬유를 혼입하지 않은 P00 및 폴리프로필렌섬유를 혼입한 P05, P10에서는 크기가 큰 균열이 발생하였으며 특히, 폴리프로필렌 섬유가 혼입되지 않은 P00은 다른 배합에 비해 가장 큰 폭의 균열이 관찰되었다. 모르타르 표면에 발생한 균열의 폭은 섬유의 혼입률이 증가할수록 감소하였으며 P15 배합부터는 폭이 큰 균열은 관찰되지 않고 미세균열이 다량 발생하였는데 섬유의 혼입률이 증가할수록 미세균열의 수가 감소하는 경향을 보였다. 내화시험시 폴리프로필렌 섬유가 용해되어 내부의 공극압을 외부로 배출하도록 네트워크를 형성함으로써 어느 정도 균열을 발생시킨다. 그러나 화재 발생시 콘크리트의 균열은 공극압을 배출시키는 네트워크에 의한 것보다는 내부 공극압에 의해서 더욱 많은 양이 발생하기 때문에 폴리프로필렌 섬유 혼입률이 증가하면 내부 공극압에 의한 균열을 방지하기 때문에 혼입률이 증가할수록 모르타르 표면의 미세균열의 수는 감소하는 경향을 보였다.



(a) P00 (b) P05 (c) P10 (d) P15 (e) P20 (f) P25  
그림 3. 내화시험 후 공시체 표면 사진

#### 3.3 중량변화 및 잔류압축강도

내화시험 전·후의 중량변화 결과는 그림 4와 같다. 폴리프로필렌 섬유 혼입률별 모르타르의 중량 변화는 약 13.0~13.7% 정도 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 내화시험 기간에 폴리프로필렌 섬유의 용해와 시멘트 페이스트에 포함되어 있는  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 분해로 인하여 중량 손실이 발생하였기 때문이라 판단된다. 또한 폴리프로필렌 섬유가 혼입되지 않은 모르타르의 중량변화 역시 섬유가 혼입된 모르타르와 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 폴리프로필렌 섬유의 중량이 모르타르 공시체의 중량에서 차지하는 부분이 미소하고 폴리프로필렌 섬유를 혼입하지 않은 P00 배합의 중량손실이 다른 공시체에 비하여 큰 것으로 보아 폴리프로필렌 섬유가 형성하는 미세통로가 형성되지 않아  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 분해가 좀 더 크게 일어남으로써 폴리프로필렌 섬유의 용해에 따른 손실과  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 분해에 의해 발생하는 손실이 서로 비슷하게 발생하기 때문에 섬유를 혼입한 것과 혼입하지 않은 공시체의 중량 차이는 거의 발생하지 않은 것으로 사료된다.

폴리프로필렌 섬유 혼입률 잔류압축강도 시험결과는 그림 5와 같다. 섬유의 혼입률에 상관없이 비슷한 결과를 보였는데 이는 폴리프로필렌 섬유의 혼입은 콘크리트의 폭열 방지에 효과적인 작용을 할

뿐 강도저하를 방지하는 데에는 영향이 없는 것으로 판단된다. 이처럼 강도가 감소하는 것은 1200℃에 노출시 골재의 변형과 시멘트 페이스트의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 분해로 인한 시멘트 페이스트와 골재 사이의 결합력 저하와 열에 의한 미세균열 발생 및 폴리프로필렌 섬유가 용해된 공간이 콘크리트의 공극으로 남아있기 때문에 강도가 저하된 것으로 판단된다.

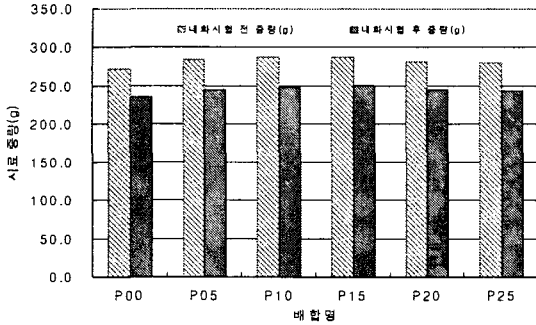


그림 4. 내화시험 전·후 중량변화

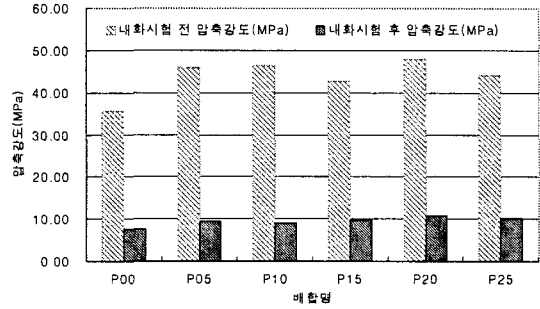


그림 5. 내화시험 전·후 잔류압축강도

#### 4. 결론

본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유 혼입률별 모르타르의 폭열방지를 위한 물리·역학적 성능 및 내화시험을 실시하였다. 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리프로필렌 섬유 혼입률별 압축강도는 섬유가 혼입되지 않은 공시체의 압축강도보다 다소 높은 결과를 보여주었으며 모든 배합에서 안정된 강도 발현을 보였다.
2. 내화시험 후 모르타르 공시체는 직접적인 폭열이 발생하지 않았으나 폴리프로필렌 섬유가 혼입되지 않은 배합과 섬유가 0.05% 및 0.10% 혼입된 배합에서는 심각한 균열이 발생하였고, 나머지 배합에서는 미세균열이 발생하였다. 폭이 가장 큰 균열은 섬유가 혼입되지 않은 공시체에서 발생하였으며, 섬유의 혼입률이 증가할수록 균열의 폭 및 발생량은 감소하였다. 이는 폴리프로필렌 섬유를 혼입함으로써 모르타르 내에 수증기와 열기를 배출할 수 있는 미세통로를 형성해 줄으로써 공극압의 팽창에 의한 폭열 현상을 억제하였기 때문이다.
3. 내화시험 전·후 중량변화 및 잔류압축강도 측정결과 폴리프로필렌 섬유 혼입률 중량 및 잔류 압축강도의 변화는 크게 일어나지 않아 섬유의 혼입 유무에 따른 중량변화의 영향은 적은 것으로 판단된다. 잔류 압축강도의 경우 1200℃ 고온에 노출되면  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 분해되어 시멘트 페이스트와 골재 사이의 결합력이 저하되고 열에 의한 미세균열 발생 및 폴리프로필렌 섬유의 용해로 인한 공극이 발생하기 때문에 강도의 손실이 큰 것으로 판단된다.

폴리프로필렌 섬유의 혼입률이 0.10%이하에서는 육안으로 관찰되는 폭이 큰 균열이 발생하였으며, 혼입률 0.15%에서는 다량의 미세균열이 발생하는 결과를 보여주었다. 그러나 섬유의 혼입률이 0.2%이상 이 되면 내화시험 후 모르타르 공시체의 표면에 미세균열이 현저히 감소하는 결과가 관찰되었다. 따라서 본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유의 혼입률의 범위는 0.20~0.25%가 적절하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. Gabriel, A. K., "Passive fire protection in tunnel, Concrete for the Construction Industry", Vol. 37, No. 2, pp. 31~36, 2003
2. Haukur I., Anders L., "Recent Achievements Regarding Measuring of Time-Heat and Time-Temperature Development in Tunnel", Safe & Tunnels, First International Symposium, Prague, pp. 87~96, 2004