

# 셀룰로오스 섬유를 사용하는 고성능 콘크리트의 내화특성

## Properties of Fire Resistance of High Performance Concrete Using Cellulose Fiber

김경민\*    주은희\*\*    황인성\*\*\*    지석원\*\*\*\*    이성연\*\*\*\*\*    한천구\*\*\*\*\*  
Kim, Kyoung Min    Joo, Eun Hi    Hwang, Yin Seong    Jee, Suk Won    Lee, Seong Yeun    Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This paper is to investigate the fire endurance of high performance concrete with the contents of cellulose fiber. According to test results, the use of CL lead to decrease in fluidity. For compressive strength, the use of CL had no influence on compressive strength. For spalling properties, plain concrete showed a severe spalling failure. The use of CL protected from spalling of concrete, but most specimens had scale failure and partial destruction of specimens. This is due to the insufficient fiber length and diameter of CL fiber, which was unable to discharging the internal vapour pressure. For this reason, CL fiber can not be used to protect from spalling oh high performance concrete. Residual strength was observed to 5~7% of original strength.

### 1. 서 론

고성능 콘크리트의 폭열이란 조직이 치밀한 콘크리트가 화재시 갑작스런 고열을 받게 되면 내부 수증기압이 발생하고, 이러한 내부 수증기압이 콘크리트의 인장강도를 초과하면 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 현상으로, 구조부재의 피복두께 결손과 함께 철근노출에 의한 온도상승으로 구조체의 내력저하를 초래하기 때문에 내화구조상 반드시 해결해야할 문제점으로 지적되고 있다.

따라서, 최근에는 고성능 콘크리트의 폭열방지를 목적으로, 내열성이 작은 유기섬유로 폴리프로필렌 섬유의 혼입에 의해 폭열을 방지<sup>1)2)</sup>할 수 있는 것으로 보고되고 있으나, 셀룰로오스(이하 CL섬유) 등 기타의 섬유에 의한 폭열방지성능을 검토한 연구자료는 거의 없는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 최근 균열저감 목적으로 보급이 확대되고 있는 CL섬유를 대상으로, 이의 혼입량 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성과 화재를 상정하여 내화시험을 실시한 후 폭열성상 및 잔존 압축강도 특성 등을 검토하므로써, 화재시 고성능 콘크리트의 내화특성에 대하여 검토하고자 한다.

\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 연구원

\*\* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 담당중역

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 호칭강도 40 MPa의 실무 시공조건을 고려하여 플라이애쉬를 15% 치환한 34%의 1수준에 대하여 CL섬유를 혼입하지 않은 플레인과 CL섬유의 혼입량을 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 및 1.8kg/m<sup>3</sup>으로 총 7배치를 실험계획하였다.

이때, CL섬유를 혼입하지 않은 플레인은 목표 슬럼프플로우를 고유동 콘크리트의 범위인 600±100 mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였고, CL섬유 혼입량 변화에 따라 동일하게 적용하였다. 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

실험요인				실험사항	
W/B (%)	목표 플로우 (mm)	목표 공기량 (%)	CL섬유 혼입량 (kg/m <sup>3</sup> )	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
34	600±100	4.5±1.5	· 0(플레인) · 0.3 · 0.6 · 0.9 · 1.2 · 1.5 · 1.8	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용 적질량	· 압축강도 (3, 7, 28일) · 내화시험(3시간) - 잔존압축강도 - 중량감소율

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE제 (%)	절대용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )				질량배합 (kg/m <sup>3</sup> )			
					C	FA	S	G	C	FA	S	G
34	168	46	1.0	0.014	157	34	274	322	420	74	708	840

CL섬유 혼입량 변화에 따라 동일 배합 적용

### 2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도 3.15g/cm<sup>3</sup>, 3,203cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재로 잔골재는 경남 창녕군 현창산 강모래(밀도 2.58g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.81), 굵은골재는 경남 진해시 용원산 25mm 부순 굵은골재(밀도 2.61g/cm<sup>3</sup>, 조립률 6.56)를 사용하였다. 혼화재료로 고성능감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, 플라이애쉬(밀도 2.22g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,850cm<sup>2</sup>/g)는 보령 화력산을 사용하였고, CL섬유(밀도 1.5g/cm<sup>3</sup>, 길이 2.9mm)는 국내산 S사 제품을 사용하였다.

### 2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였는데, 섬유 혼입시 섬유분산이 잘 되도록 물에 희석하여 투입한 후 비빔을 실시하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 구하였으며, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 내화시험 후 잔존압축강도는 KS F 2405, 내화시험은 한국건설기술연구원의 바닥용 가열로 내에  $\Phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체를 수직으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시하였다.

내화시험 후 공시체의 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 중량감소율은 내화시험 전후 각 공시체의 중량을 측정하여 백분율로 구하였다.

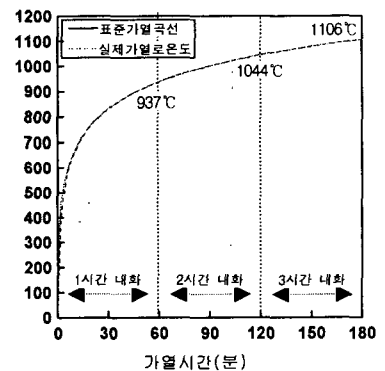


그림 1. 표준가열곡선과 실제 가열곡선

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 2는 CL섬유 혼입량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 실험결과로, 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저, CL섬유를 혼입하지 않은 플레인은 목표 슬럼프플로우 및 공기량의 범위를 만족하였고, CL섬유 혼입량 변화에 따른 유동성은 혼입량이 증가할수록 저하하였는데, 이는 CL섬유 혼입에 따른 수분흡착으로 단위수량이 감소한 것에 기인된 결과로 사료된다. 또한, 공기량은 CL섬유 혼입률 변화에 따라 다소 증감의 차이는 있으나 목표 공기량의 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

#### 3.2. 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 CL섬유 혼입량 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. CL섬유 혼입량 변화에 따른 압축강도는 다소 증감의 차이는 있으나, 플레인과 비교하여 큰 차이가 아닌 것으로 사료된다.

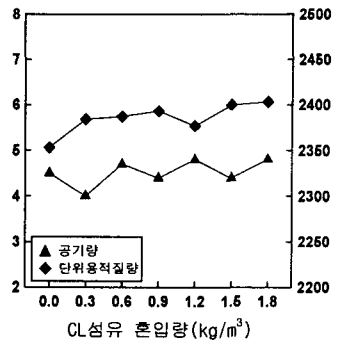
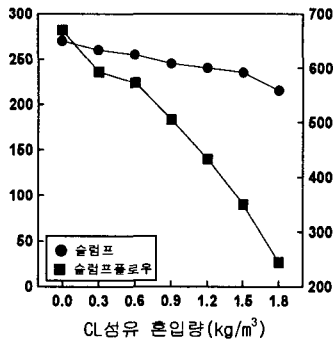


그림 2. CL섬유 혼입량 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량

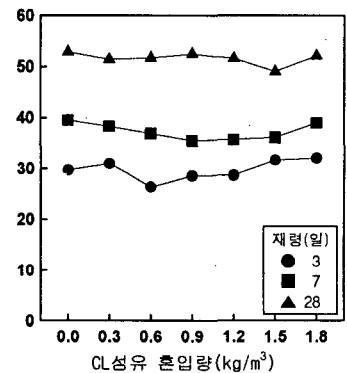


그림 3. CL섬유 혼입량 변화에 따른 재령별 압축강도

#### 3.3. 폭열 특성

사진 2는 CL섬유의 혼입량 변화에 따른  $\Phi 100 \times 200$ mm 공시체에 대하여 내화시험을 실시하고 난 후의 폭열모습을 나타낸 것이다.

먼저, CL섬유를 혼입하지 않은 플레인은 급격한 고온과 내부 수증기압의 영향으로 심한 폭열이 발생하였는데, 특히, 1개의 공시체는 형상을 알 수 없을 정도의 파괴 폭열이 발생하였다.

또한, CL섬유의 혼입량 변화에 따른 폭열특성으로는 CL섬유의 혼입량에 따라 일부 폭열이 방지되어 공시체의 형상을 유지한 것과 박리폭열 및 공시체의 형상을 알 수 없을 정도의 심한

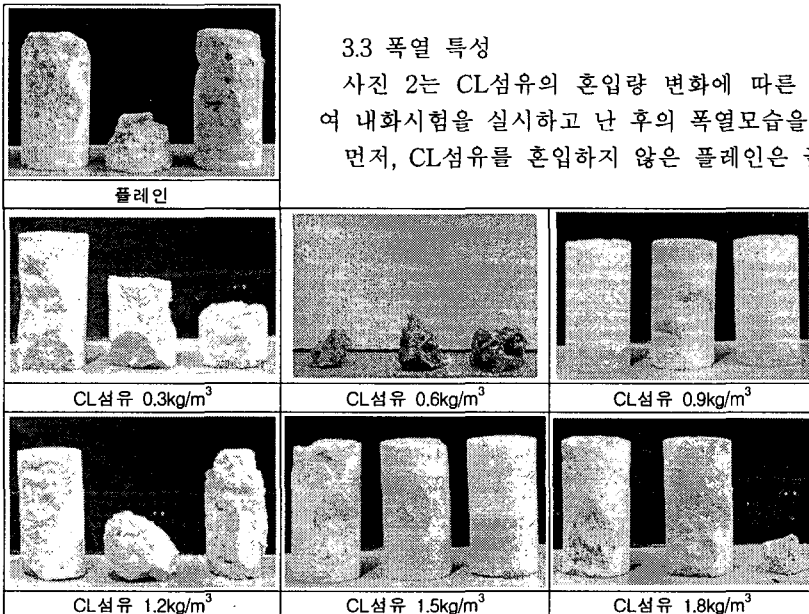


사진 2. CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 폭열 모습

파괴폭열도 발생하는 것으로 나타났다. 이는 CL섬유가 고온에 녹아 내부 수증기압을 배출하여 일부 폭열을 방지하는 경우도 있으나, 근본적으로는 CL섬유의 평균 길이 및 직경이 작아 내부 수증기압을 효과적으로 배출할 수 없어 폭열이 발생하는 것으로 판단된다.

그림 4는 CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 압축강도 및 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

가열후 압축강도는 전반적으로

폭열과 내부균열 등의 영향으로 급격히 저하하였고, 잔존압축강도율도 5~7%로 매우 작게 나타났다. 또한, CL섬유 혼입에 따라서는 혼입량 0.3 및 0.6kg/m<sup>3</sup>을 제외하고 플레인보다 다소 증진되었으나, 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다.

그림 5는 CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 중량감소율을 나타낸 것이다.

CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 중량감소율은 폭열과 관련하여 CL섬유 혼입량 0.9 및 1.5kg/m<sup>3</sup>가 15% 이하로 가장 양호하였고, CL섬유 혼입량 0.6kg/m<sup>3</sup>은 95% 이상으로 대부분 파괴되었으며, 플레인과 기타의 경우는 40% 전후 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 CL섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 특성과 내화시험 후 폭열성상 및 잔존압축강도 등 내화특성을 분석한 것으로, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, CL섬유 혼입량 증가에 따른 유동성은 저하하였고, 공기량은 목표 공기량의 범위를 만족하였으며, 경화 콘크리트의 압축강도는 플레인과 비교하여 큰 차이가 없었다.
- 2) 내화시험 후 폭열특성으로, CL섬유는 혼입량 증가에 따라 일부 폭열이 방지되는 경우도 있었으나, 대부분 박리 및 파괴폭열이 발생하였는데, 이는 CL섬유의 평균 길이 및 직경이 작아 내부 수증기압을 효과적으로 배출할 수 있는 충분한 가교역할을 하지 못함에 기인한 것으로 사료된다.
- 3) 내화시험 후 잔존압축강도는 공시체 크기 및 내부균열 등의 영향으로 급격히 저하하였고, 잔존압축강도율도 CL섬유 혼입량 0.3 및 0.6kg/m<sup>3</sup>을 제외하고 대부분 5~7%로 매우 작게 나타났다.

#### 참고문헌

1. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성 ; W/C 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 고온시 성상, 대한건축학회 구조계 논문집, 제16권 10호, pp. 81~88, 2000. 10
2. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성 ; 골재종류 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭열 특성에 관한 연구, 콘크리트학회논문집 제 11권 제5호, pp. 69~77. 1999. 10

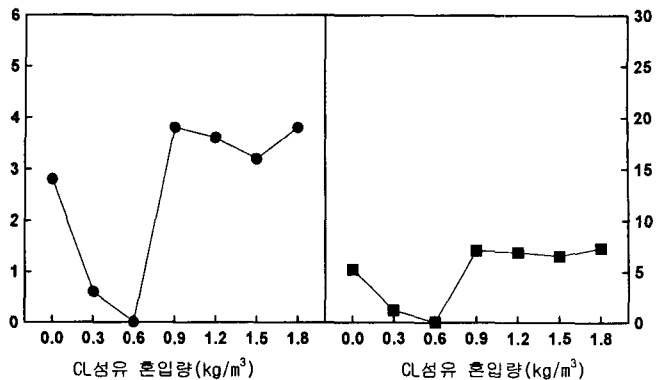


그림 4. CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 압축강도 및 잔존압축강도율

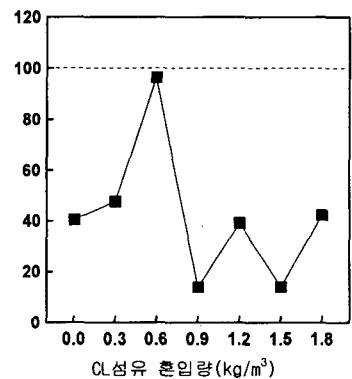


그림 5. CL섬유 혼입량 변화에 따른 가열후 중량감소율