

# ECC 영구 거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥부재의 내화특성

## Fire Resistance Properties of High Strength Concrete Column using ECC Permanent Form

김 용 로\*                      송 영 찬\*\*                      김 옥 종\*\*\*                      이 도 범\*\*\*\*  
Kim, Yong Ro                      Song, Young Chan                      Kim, Ook Jong                      Lee, Do Bum

---

### ABSTRACT

In this study, it was investigated fire resistance properties of high strength concrete column using Engineered Cementitious Composites(ECC) permanent form as a countermeasure for explosive spalling of concrete on fire.

As a test result, it was appeared that ECC permanent form is available as fire resistance method of high strength concrete if it is developed manufacturing technique and scheme for application controlling heat penetration through interface of permanent form and high strength concrete, and setting up mix proportion and thickness of ECC.

### 요 약

최근 초고층 건축물 등에 적용되는 고강도콘크리트의 내화성능에 대한 문제점이 제기됨에 따라 국토해양부에서는 고강도콘크리트 내화성능 관리 기준을 고시한 바 있으며, 건설업계에서도 이에 대응하기 위해 다양한 기술 검토가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 고강도콘크리트의 취약점으로 제기되고 있는 화재시의 폭발문제에 대한 대응방안으로서 기존 연구를 통해 내화성능이 우수한 것으로 보고되고 있는 ECC를 영구거푸집으로 활용한 고강도콘크리트의 내화성능을 검토하였다.

ECC 영구거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥부재의 내화성능 검토 결과, 영구거푸집과 고강도콘크리트 계면으로의 열 침투를 제어할 수 있도록 부재 생산 및 구축 방안을 검토하고, ECC의 적정 배합 및 두께를 확보한다면 고강도콘크리트의 내화성능 확보기술로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 내화성 영구거푸집으로서의 단순 활용 방안 이외에 ECC의 우수한 물리적 성능을 활용하여 구조성능을 분담할 수 있는 방안으로의 지속적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

- 
- \* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 주임연구원, 공학박사
  - \*\* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 연구원
  - \*\*\* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 책임연구원, 공학박사
  - \*\*\*\* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 팀장, 공학박사

## 1. 서 론

최근 초고층 건축물 등에 적용되는 고강도콘크리트의 취약점으로서 화재시의 폭렬 현상에 의해 구조물의 안정성을 크게 저하시킬 수 있다는 문제점이 제기되고, 국토해양부에서는 이에 대한 대응방안으로 고강도콘크리트 내화성능 관리 기준을 고시한 바 있다.

이에 따라 고강도콘크리트의 내화성능을 확보하기 위한 다양한 연구개발이 진행되고 있으며, 건설 업계에서도 향후 지속적으로 적용이 증가될 것으로 예상되고 있는 고강도 콘크리트에 대해서 현장 적용성이 우수하고, 보다 효율적인 폭렬 방지 기술 개발을 수행하고 있는 상황이다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 내화성능 확보 및 부재 단면의 증대를 최소화할 수 있는 방안으로서 기존 연구를 통해 내화성능이 상당히 우수한 것으로 보고되고 있는 고성능 섬유보강 시멘트 복합체(Engineered Cementitious Composites, 이하 ECC)를 영구거푸집으로 활용하여 고강도콘크리트의 내화특성을 검토함으로써 향후 고강도콘크리트 내화성능 확보 기술로서의 적용을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 2. ECC 영구거푸집 개요

### 2.1 ECC의 개요

그림 1에서 보는 바와 같이 고인성 시멘트 복합재료의 일종인 ECC(High Performance Reinforced Cement Composites)는 일축인장응력하에서 복수 균열 특성과 변형경화특성을 나타내는 섬유보강 시멘트계 재료이로서, 금속과 유사한 연성과 파괴에너지를 보유하고 있는 재료로 보고되고 있다.

### 2.2 내화성 ECC 영구거푸집의 개요

내화성능 영구거푸집에 적용되는 ECC의 재료는 표 1에 나타낸 바와 같이 고장력 PVA 및 PE 섬유를 사용하여 고인성 및 내화성능을 보유하게 되고, 이와 같은 기본 재료 이외에 내화충전재를 혼입함으로써 내화성능을 보다 향상시킬 수 있도록 구성되어 있다.

또한, 열전도율이 일반적인 콘크리트에 비해 약 20배 정도 낮은 수준이며, 열팽창계수는 콘크리트와 유사한 수준으로서 내화성능 확보 및 콘크리트와의 일체 거동에 유리한 특성을 보유하고 있다.

한편, 영구거푸집을 구성하는 ECC 자체에 대한 예비시험으로서 원주형 공시체(∅100×200mm)를 활용하여 ISO 834 가열시험을 통해 검토한 결과 수열온도의 급격한 상승이 없이 폭렬 현상도 발생하지 않는 것으로 확인되었다.

또한, ECC 영구거푸집의 제조는 시공성의 조절에 의해 PC 공장에서 타설에 의한 거푸집의 제조와 원심성형에 의한 거푸집 제조가 가능하도록 하였다.

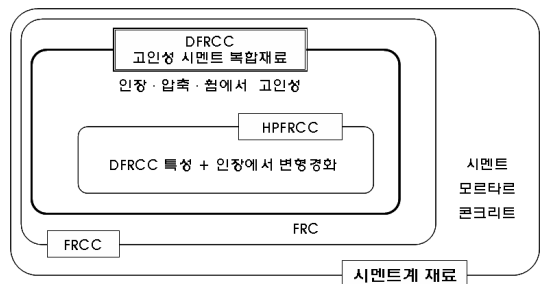


그림 1 각종 시멘트계 재료의 분류

표 1 영구거푸집용 ECC의 특성

구분	주요 내용		
구성 재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폴리머시멘트모르타르계</li> <li>• 사용섬유 : 고장력 PVA + PE</li> <li>• 내화충전재 : 중공세라믹체, 내화분말</li> </ul>		
열적 특성	항 목	ECC	CON'C
	열전도율(W/mK)	0.129	2.510
	열팽창계수(×10 <sup>-6</sup> °C)	12.2	12.6

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

ECC 영구거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥부재의 내화특성을 검토하기 위하여 표 2에 나타난 바와 같이 시리즈 I에서는 적정 피복두께를 설정하기 위하여 피복부의 ECC 두께를 3수준으로 설정하였고, 시리즈 II에서는 내화성 ECC에 적용되는 내화충전재의 종류를 3수준으로 설정하여 내화성능을 검토하였다. 또한, 내화성능 평가시 기존 실험을 통해 내화성능이 확인된 내화뿔철재를 시공한 시험체를 추가하여 내화성능을 상대 비교하였다.

표 2 ECC 영구거푸집 내화성능 시험 계획

시리즈	시험 요인 및 기호		시험 수준	시험체 크기
I	피복부 ECC 두께	PF10	두께 10mm	∅200×400mm
		PF20	두께 20mm	
		PF30	두께 30mm	
	내화뿔철재	HT	두께 27mm	200×200×400mm
II	ECC 내화충전재 종류	HP-A	충전재 A	450×450×800mm
		HP-B	충전재 B	
		HP-C	충전재 C	
	내화뿔철재	SH	두께 27mm	

#### 3.2 시험방법

고강도 콘크리트 기둥부재의 내화성능을 검토하기 위한 내화시험은 KS F 2257-1 건축 부재의 내화 시험방법의 표준가열곡선에 의해 3시간 내화시험을 실시하였다. 가열로는 국토해양부 고시 고강도 콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준에서 제시한 시험방법과 동일하게 진행하기 위하여 사진 1과 같은 수평바닥가열로에서 내화시험을 진행하였으며, 열전대는 상기 기준에 준하여 콘크리트 내부 주근에서의 온도와 ECC 피복의 차열성능을 검토하기 위해 주근 및 ECC와 콘크리트 계면에 설치하였다.



사진 1 수평바닥가열로 및 시험 장면

### 4. 실험결과 검토 및 분석

#### 4.1 피복부 두께에 따른 내화시험 결과

그림 1은 ECC 피복부 두께에 따른 고강도 콘크리트의 온도이력곡선을 나타낸 것으로서 PF10 및 PF30의 경우 각각 가열개시 약 50분 및 90분에 급격하게 온도가 상승되었으며, PF20의 경우 급격한 온도상승은 없었으나, 가열시간 180분에서 온도기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

기존 실험결과를 통해 ECC의 내화성능에는 문제가 없을 것으로 예상하였으나, 고강도콘크리트와 ECC의 계면으로 열이 침투하여 PF10 및 PF30의 경우 급격한 온도상승이 발생한 것으로 판단된다. 그러나, PF30의 경우 가열시간 90분까지는 비교적 안정적인 온도제어 효과가 나타났으며, PF20의 데이터를 토대로 하여 유추할 때, 계면의

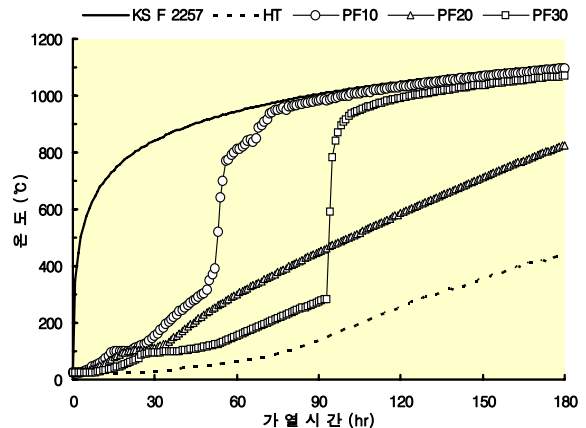


그림 1 ECC 피복부 두께에 따른 온도이력곡선

로의 열 침투가 제어된다면 고강도콘크리트의 내화성능 확보방안으로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4.2 내화충전재 종류에 따른 내화시험 결과

그림 2는 ECC 피복부 두께를 35mm로 설정한 후, 내화충전재 종류에 따른 고강도콘크리트의 온도이력곡선을 나타낸 것으로 내화충전재 종류에 따라 다소 차이는 있으나 모든 시험체에서 국토해양부 고시 고강도 콘크리트 내화성능 관리기준에서 제시된 온도기준을 만족하는 것으로 나타나 ECC 영구거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥부재의 내화성능 확보 가능성을 확인할 수 있었다.

또한, 시험종료 후 시험체의 외관에 대한 관찰 결과 ECC 피복부에는 다수의 방사형 균열이 보였으나, 피복부는 탈락되지 않았고, 사진 2에서 보는 바와 같이 고강도 콘크리트 모체에서 폭렬은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

고강도콘크리트 부재의 내화성능 확보 기술로서 적용을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 ECC 영구거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥 부재의 내화특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) ECC 영구거푸집과 고강도콘크리트 계면으로의 열 침투를 제어할 수 있도록 부재 생산 및 구축 방안을 검토하고, 내화성 ECC의 적정 배합 및 두께를 확보하면 고강도콘크리트의 내화성능 확보기술로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2) 내화성 영구거푸집으로서의 단순 활용 방안 이외에 ECC의 성능을 활용하여 구조성능을 분담할 수 있는 방안으로의 지속적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

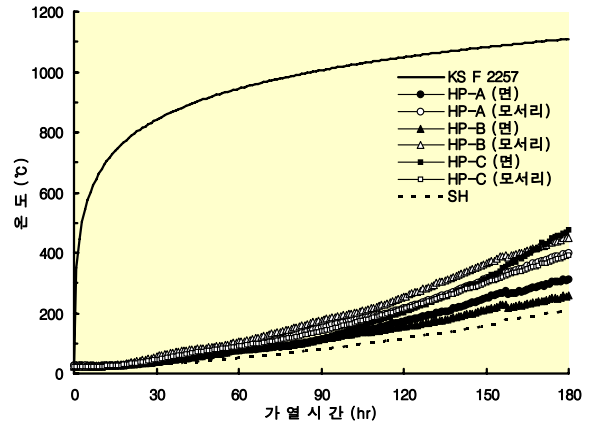


그림 2 내화충전재 종류에 따른 온도이력곡선



(a) HP-A (b) HP-B (c) HP-C (d) SH

사진 2 내화시험 전·후의 시험체 형상

### 참 고 문 헌

1. 권영진 외, 고인성 내화보수모르타르로 보수된 고강도콘크리트 부재의 내화특성에 관한 연구, 한국 콘크리트학회 2007년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.19 No.2, pp.909~912
2. 한천구 외, 비탈형 거푸집에 의한 고강도 콘크리트의 폭렬방지, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집, Vol.20 No.1, pp.865~868