

ECC 영구거푸집의 내화성능 및 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fire Resistance and Mechanical Properties of ECC Permanent Form

김 용 로* 송 영 찬** 오 재 근** 김 재 환*** 김 옥 종**** 이 도 범*****

Kim, Yong-Ro Song, Young-Chan Oh, Jae-Keun Kim, Jae-Hwan Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum

Abstract

It was investigated fire resistance properties and mechanical properties of high strength concrete column using ECC(Engineered Cementitious Composites) permanent form by KS F 2257 Methods of fire resistance test for elements of building construction and compression test for application of precast concrete column method of high rise building in this study.

As a test result, it was appeared that ECC permanent form is available as fire resistance method of high strength concrete and new precast concrete construction method for facilitating construction of high rise building

키 워 드 : 고강도콘크리트, ECC 영구거푸집, 내화성능, 역학적 특성

Keywords : High strength concrete, Engineered cementitious composites permanent form, Fire resistance, Mechanical property

1. 서 론

최근 건축물의 초고층화가 추세에 따라 고강도콘크리트의 적용이 증가되고 있으며, 고강도콘크리트의 단점으로 지적되고 있는 내화성능을 확보하기 위한 다양한 기술이 개발되고 있다.

또한, 일본 등 선진외국의 경우 현장 타설시 고강도콘크리트의 시공성 문제 해결, 공기단축 및 구조체 품질의 안정적 확보 등의 목적으로 초고층 건축물에 있어서 Full-PC 또는 Half-PC 공법의 적용 사례가 증가되고 있는 상황이다.

한편, 이와 같은 PC 공법의 적용에 있어서 공장에서 제작된 PC 부재의 운반 및 현장에서의 양중 문제 등을 고려하여 그림 1과 같이 중공형의 기둥부재를 적용하여 시공된 실적이 보고되고 있다.^{1,2)}

그러나 기존에 개발된 중공형 대단면 기둥부재의 경우 콘크리트의 역학적 특성에 기인하여 피복부 두께를 감소시키는데 한계가 있으며, 내화성능 확보에도 문제가 제기되고 있는 실정이다.

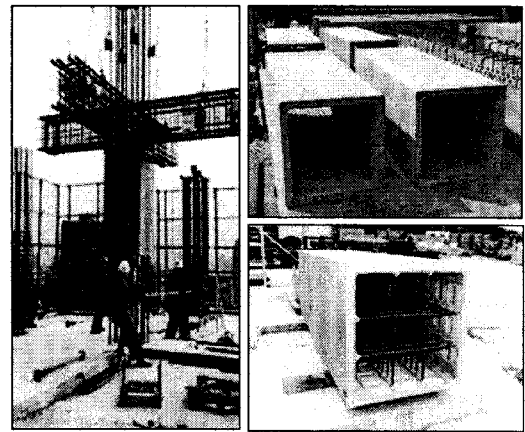


그림 1. 중공형 PC 부재 적용 사례

이에 본 연구에서는 일반적인 콘크리트의 단점을 극복한 고인성 재료로 제시되고 있는 ECC (Engineered Cementitious Composites)^{3,4)}를 이용한 영구거푸집의 내화성능 및 역학적 특성을 검토함으로써, 향후 초고층 건축물 시공에 있어서 PC 공법 적용을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

ECC 영구거푸집의 내화성능 및 역학적 성능을 검토하기

* 대림산업(주) 건축연구지원팀 선임연구원, 공학박사, 교신저자(kyr8447@daelim.co.kr)
** 대림산업(주) 건축연구지원팀 연구원
*** (주)AMS Eng. 기술이사, 공학박사
**** 대림산업(주) 건축연구지원팀 책임연구원, 공학박사
***** 대림산업(주) 건축연구지원팀 팀장, 공학박사

위한 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 기존 연구를 통해 내화모르타르로 적용되고 있는 ECC를 활용하여 원심성형에 의해 제작된 두께 20mm의 영구거푸집의 내화성능 및 기초적인 역학적 특성을 검토하고자 하였다.

2.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용한 재료로서 영구거푸집 제조에 적용된 ECC의 경우 표 2와 같은 배합으로 구성되어 있으며, 영구거푸집에 충전하는 고강도콘크리트의 배합은 표 3과 같다.

2.3 시험체 제작 및 시험 방법

ECC 영구거푸집의 내화성능 및 역학적 특성 검토를 위한 시험체는 그림 2와 같이 $\phi 200 \times 300$ mm의 원심성형용 거푸집을 이용하여 두께 20mm의 ECC 영구거푸집을 제작한 후, 영구거푸집 내부에 고강도콘크리트를 충전하여 제작하였다.

표 1. ECC 영구거푸집의 성능검토 시험 계획

배합 구분	ECC 영구거푸집두께 (mm)	피복 두께 (mm)	평가항목
Plain	-	30	<ul style="list-style-type: none"> 하중-변위관계 축압축내력 (kN) 축압축강성 (kN/mm) 균열패턴 압축강도 (MPa) 3시간 내화시험
ECC-A	20		
ECC-B			

표 2. ECC의 배합 비율 (중량비%)

구분	비밀수	결합재	규사	내화재	첨가재	PVA ¹⁾
ECC-A	18	58	39	2.7	0.3	2.0
ECC-B	18	55	40	4.7	0.3	2.0

1) PVA 섬유는 용적비로, 전체용적에 대한 비율임

표 3. 고강도콘크리트 배합

W/B (%)	S/a (%)	단위질량 (kg/m ³)				
		W	OPC	BFS	S	G
28.0	45.0	165	413	177	729	901

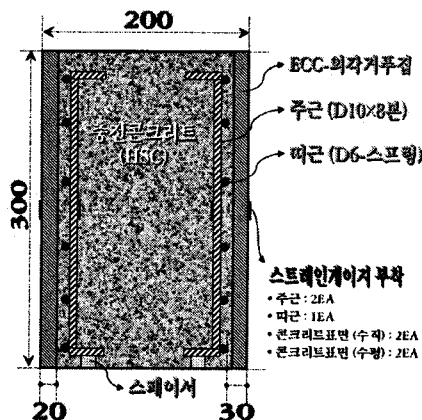


그림 2. 시험체 제작 단면



그림 3. ECC 영구거푸집의 압축시험 장면

내부의 철근 배근은 주근의 경우 D10 8본, 띠근의 경우 D6의 나선철근을 50mm 간격으로 하여 제작하였다.

시험방법으로서 내화시험의 경우 KS F 2257에 준하여 3시간 내화시험을 실시하였으며, 역학적 성능 평가의 경우 사진 1과 같이 압축시험을 실시하여 하중-변위, 압축내력 및 강성 등을 검토하였다.

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 내화성능 평가 결과

그림 4는 ECC 영구거푸집을 사용한 고강도콘크리트 시험체의 내화시험 결과를 나타낸 것으로서 가열 3시간 경과 후 피복두께 30mm 위치에서의 수열온도가 478℃로 나타나 고강도콘크리트 기동보의 국토해양부 관리기준인 평균온도 538℃, 최고온도 649℃ 이하를 만족하는 것으로 확인되었다.

한편, ECC 영구거푸집으로 제작된 고강도콘크리트 시험체는 내화시험 종료 후, 외관 관찰 결과 ECC 영구거푸집 표면에 망상형 균열이 관찰되었으나, 시험체의 폭렬 현상은 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

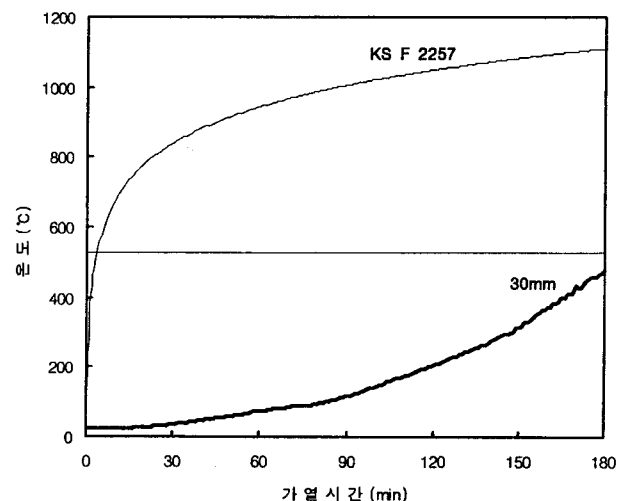


그림 4. ECC 영구거푸집의 3시간 내화시험 결과

3.2 역학적 특성 평가 결과

그림 5는 시험체 종류별 압축강도 평가 결과를 나타낸 것으로서 압축강도의 경우 일반 고강도콘크리트인 Plain 시험체가 507MPa, ECC 영구거푸집을 활용한 시험체인 ECC-A 및 ECC-B는 각각 671MPa, 630MPa의 수준으로 나타나 Plain 시험체에 비해 ECC 영구거푸집을 활용한 시험체가 약 25~33% 정도 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

ECC 영구거푸집 자체의 압축강도는 Plain 시험체의 약 74% 수준인 373MPa로 ECC 자체의 압축강도는 크지 않지만, 이를 활용한 시험체의 압축강도가 향상된 것은 강관콘크리트와 유사하게 ECC 영구거푸집의 구속효과에 기인하는 것으로 판단된다.

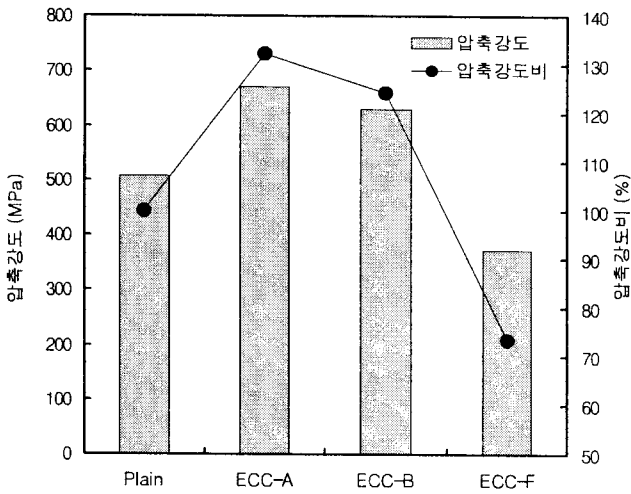


그림 5. 시험체 종류별 압축강도 평가 결과

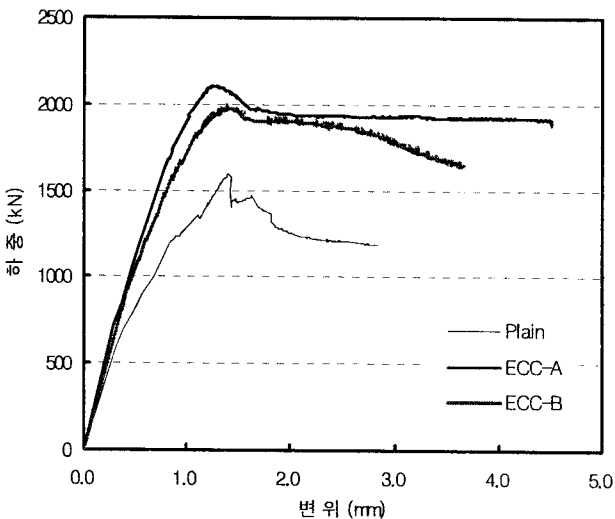


그림 6. 시험체 종류별 하중-변위 관계

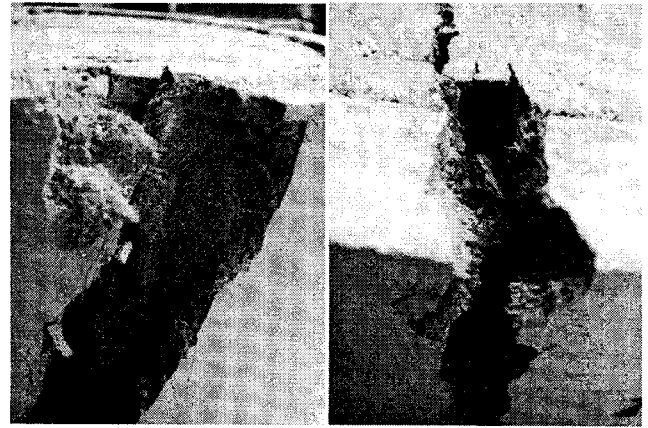


그림 7. ECC 영구거푸집 시험체 균열 부위 상세

또한, 그림 6은 시험체 종류별 하중-변위의 관계를 나타낸 것으로서 최대하중까지의 강성저하에 있어서 Plain 시험체는 하중의 증가에 따른 매크로 균열의 발생에 의해 단계적으로 저하하는 것으로 나타났으나, ECC 영구거푸집을 활용한 시험체의 경우 그림 7에 나타난 바와 같이 다량의 섬유가 포함되어 인성이 높은 ECC의 특성에 기인하여 표면에 다수의 마이크로 균열이 발생함에 따라 강성이 안정적으로 저하하는 것으로 나타났다.

한편, ECC 영구거푸집만을 제작하여 가력한 ECC-F 시험체의 경우 하중이 거의 선형으로 증가하다가 급격히 저하하는 형태를 나타냈다.

시험체 종류별 압축강성 및 연성비는 그림 8에서 보는 바와 같이 나타난 바와 같이 압축강성의 경우 Plain 시험체가 1,862kN/mm, ECC-A 및 ECC-B의 경우 각각 2,464kN/mm, 2,187kN/mm으로 나타나 ECC 영구거푸집의 적용에 의해 압축강성도 증가되는 것으로 나타났다.

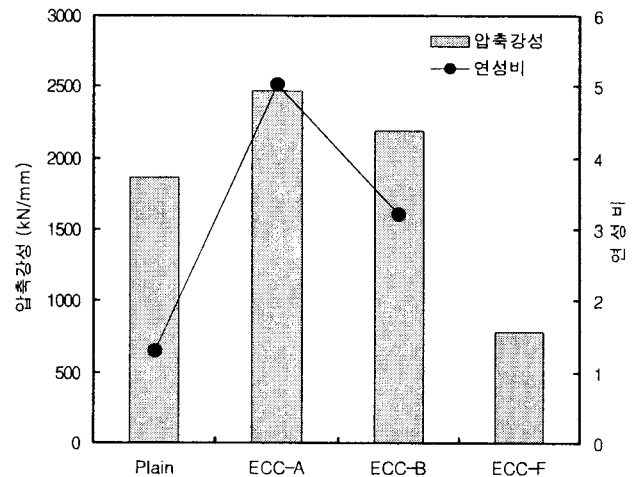


그림 8. ECC 영구거푸집 시험체 균열 부위 상세

또한, 연성비의 경우 Plain 시험체가 1.303, ECC-A 및 ECC-B의 경우 각각 5.017, 3.216의 수준으로서 ECC 영구거푸집의 적용에 의해서 연성비가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 ECC 영구거푸집의 적용에 의해 철근콘크리트 부재의 휨 극한강도 이후 연성적 거동을 확보하기 위한 철근 비 측면에서도 유리할 것으로 판단되며, 금번 연구에서는 평가되지 않았으나, 내진성능도 크게 향상될 것으로 예상된다.

4. 결 론

향후 초고층 건축물 시공에 있어서 PC 공법 적용을 위한 기초 자료를 확보하기 위하여 ECC 영구거푸집의 내화성능 및 역학적 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) ECC 영구거푸집을 사용한 고강도콘크리트 시험체의 내화시험 결과 국토해양부 관리기준에서의 3시간 내화성능을 확보할 수 있었으며, 폭열 억제 효과가 있는 것으로 확인되었다.
- 2) ECC 영구거푸집의 역학적 특성 평가 결과 일반 고강도 콘크리트 시험체에 비해, 압축강도 및 압축강성이 증가 되는 것으로 나타났으며, 연성비도 크게 증가되는 것이 확인되었다.
- 3) 금번 연구 결과 ECC 영구거푸집의 구속효과에 의한 고강도콘크리트 부재의 역학적 성능을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 변형능력도 크게 향상되는 것으로 나타나, 향후 영구거푸집 제조 공법 및 현장 조립 공법에 대한 지속적인 연구를 통해 기존 PC 공법의 단점을 해결할 수 있는 초고층 건축물의 새로운 PC 공법으로의 개발이 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김용로 외, ECC 영구 거푸집을 활용한 고강도콘크리트 기둥 부재의 내화특성, 한국콘크리트학회 2008년도 가을학술발표회 논문집 제20권 제2호, 2008. 11, pp.957~960
2. 이상수 외, 고인성 외곽 거푸집의 역학성능 및 이를 활용한 고강도 RC기둥의 내화성능에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집 제8권 제2호, 2008. 11, pp.199~203
3. 日本コンクリート工學協會, 高靱性セメント複合材料の性能評價と構造利用研究委員會報告書, 2004. 5
4. 細矢 博ほか, 外殻PCaを用いた鉄筋コンクリート柱工法の開発, 日本建築學會技術報告集, 第14號, 2001. 12, pp.113~118