고인성 외곽 거푸집의 역학성능 및 이를 활용한 고강도 RC기둥의 내화성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Ductile Outline Form and Fire Resistance of High Strength RC Column

노 형 남* 김 재 환** 김 용 로*** 김 욱 종**** 권 영 진***** 이 상 수******
Rho, Hyoung-Nam Kim, Jae-Hwan Kim, Yong-Ro Kim, Wook-Jong Kwon, Young-Jin Lee, Sang-Soo

Abstract

With recent trend in domestic and global market requiring architectures' conversion into skyscrapers seasoned with the features of landmarks, structural problems in relation with explosive spatting during fire emergencies are arising as controversial issues. Accordingly, many productive researches have been made in relation to the reinforcement techniques for improving fire resistance and the number of applications in the field is gradually increasing. In this study, a ductile outline form using ECC (Engineered Cementations Composites) was made with improvements on the structure and fire resistance to examine its applicability. Also, currently in Japan, the number of studies and applications is increasing focusing on reduction of construction time and improvement of workability with application of Half-PCa method. However, using such method of construction, large structural members decrease the utilization of space and architecture-wise, there is a disadvantage of the weight increase. Therefore, in such context, it would be worth reducing the weight of the structural members by reducing the size using ECC. In addition, its excellent pseudo strain-hardening due to fiber may have great effects on seismic designs. In the mean time, this study planned 3 equal conditions for mix water, PVA fiber and additives excluding binder and refractory to evaluate the mechanical properties of resistance against pressure and internal force. Finally, an evaluation was executed on the fire resistance of the newly made ductile outline form.

As a result, from ECC- Ⅰ to ECC-Ⅲ, all showed excellent mechanical properties due to pseudo strain-hardening and in the fire resistance test conducted with ISO 834 heating curve, most of them tended to be in the range of the reference temperature (538℃-180min), so there was no occurrence of any explosive spatting.

키 워 드 : 고인성, 외곽 거푸집, 고장력 PVA섬유, 내화성능
Keywords : High-Ductility, Outline Form, High-Tention PVA Fiber, Fire Resistance

1. 서 론

최근 국내는 급속한 경제성장으로 인해 인구집중현상에 대한 대책과 건축물의 랜드마크적인 요소를 추구하고 있는 가운데 건축물의 초고층화가 요구되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 초고층화에 따른 건축 재료는 고강도 콘크리트가 필수 불가결한 것이며, 사진 1과 같이 높은 수밀성으로 인해 화재시 폭렬에 의한 구조적 문제점을 야기시킬 수 있다. 때문에 최근 국내는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 RC구조체에 내화보드나 석고뿜칠 등 여러 가지 내화보강 기법에 관한 사례들이 등장하게 되었지만, 이러한 기법들은 이미 일본에서 여러 시험을 거쳐 요구성능에 만족하지 못하는 것으로 알려져 있다.

또한, 섬유를 이용하여 내화성능에 적용시킨 고인성 콘크리트에 관한 연구사례도 있지만 섬유혼입에 따른 유동성 및 시공성 저하로 인해 적용사례는 극히 미미한 실정이며, 최근 다양한 건축 자재로서 2차 제품을 적용시킨 사례가 점차 증가 하고 있어 시공성과 공기단축에 의한 경제적 비용부담을 줄이고자 하는 관심이 대두되고 있는 실정이다.

* 국립한밭대학교 공과대학 건축공학과 석사과정, 정회원
** (주)AMS엔지니어링 기술이사, 공박, 정회원
*** 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 주임연구원, 공박, 정회원
**** 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 책임연구원, 공박, 정회원
***** 호서대학교 소방방재학과, 교수, 공박, 정회원
****** 국립한밭대학교 공과대학 건축공학과, 교수, 공박, 정회원

사진 1. 화재에 의한 폭렬 현상

따라서, 본 연구에서는 ECC(Engineered Cementitious Composites)를 이용한 고인성 외곽 거푸집을 제조하여 2차 제품으로서 구조체에 적용 가능한 역학적 성능을 분석하고, 내화성능 검증을 통한 폭렬 발생 유무를 파악하여 영구적인 거푸집으로서 적용 가능성을 검토하고자 하였으며, 앞으로 고인성 메커니즘을 이용한 2차 제품 개발에 있어서 기초적인 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

현재 일본에서는 Full-PCa공법과 Hlaf-PCa공법을 현장에 적용시키는 사례가 점차 증가하고 있으며, 특히 사진 4와 같이 Half-PCa공법을 주로 사용하고 있다. 이러한 Half-PCa공법은 철근을 격자모양으로 배근한 후 중공형인 거푸집형태로 콘크리트를 타설 성형하여 제작된 제품을 현장에서 배근된 구조체에 결합하여 콘크리트를 타설하는 공법으로 공기단축에 의한 경제적 비용부담과 시공성이 우수하고 품질을 안정적으로 확보할 수 있는 것이 장점이다.

그러나 이 공법은 철근배근 이격과 이음부의 비대화로 인해 부재두께 치수가 60~70mm로 공간적 활용율이 저하하며, 중량이 증대되는 것이 하나의 단점으로 부각되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 부재치수와 경량화 및 내화적으로 우수한 성능 개선을 위하여 그림 1과 같이 섬유를 이용한 고인성 모르타르 제품을 거푸집 형태로 타설 성형하여 철근을 배근한 후 안에 콘크리트를 타설하여 RC기둥 시험체를 제작하였다. 또한, 본 실험에서 사용된 배합표와 측정 항목은 표 1와 같으며, 사용된 고장력 PVA섬유의 외형은 사진 2에 나타난 바와 같다.

2.2 시험체 제작 및 실험방법

직접인장강도 측정용 시험체의 외형과 치수는 사진 5에 나타난 바와 같으며, 휨응력-변형곡선을 측정할 시험체는 10×10×40cm의 콘크리트용 휨몰드로 제작하였다. 그 후 제작된 시험체는 20±2℃, RH 60%의 실내에 24시간 존치한 후 탈형하여 20±2℃의 수중에서 재령 7일간 수중양생을 실시한 후, 기건 상태에서 21일간 양생을 실시하였다. 휨강도시험은 KS F2408에 준하여 실시하였으며, 휨 시험시 휨응력-변위곡선은 사진 2(a)와 같이 시험체의 중앙부 처짐량과 로드셀(Load cell)에 의한 휨응력에 의해 산정하였다.

표 1. 실험계획 및 고인성 모르타르의 배합

배합 기호	배합사항 (중량비%)						평 가 항 목
	PVA[1] (Vf.vol%)	W	결합재	규사	내화재	첨가재	
ECC[2]-Ⅰ	2.0	0.18	0.55	0.4	0.047	0.003	① 역학성능 ・직접인장 시험(재령 28일) ・휨응력-변형곡선(재령 28일) ② 내화성능 ・수열온도곡선(ISO 834) ・시험체 폭렬발생 유무
ECC-Ⅱ	2.0	0.18	0.58	0.39	0.027	0.003	
ECC-Ⅲ	2.0	0.18	0.51	0.4	0.087	0.003	

1) 섬유는 용적 백분율이며, 직경 39㎛, 길이 12mm의 고장력 PVA섬유를 사용함,
2) ECC - Engineered Cementitious Composites

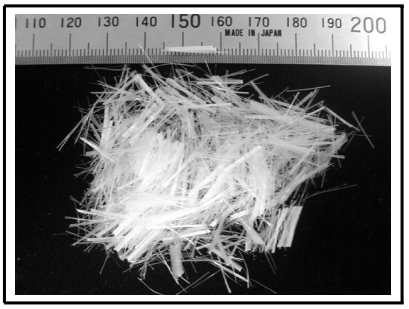
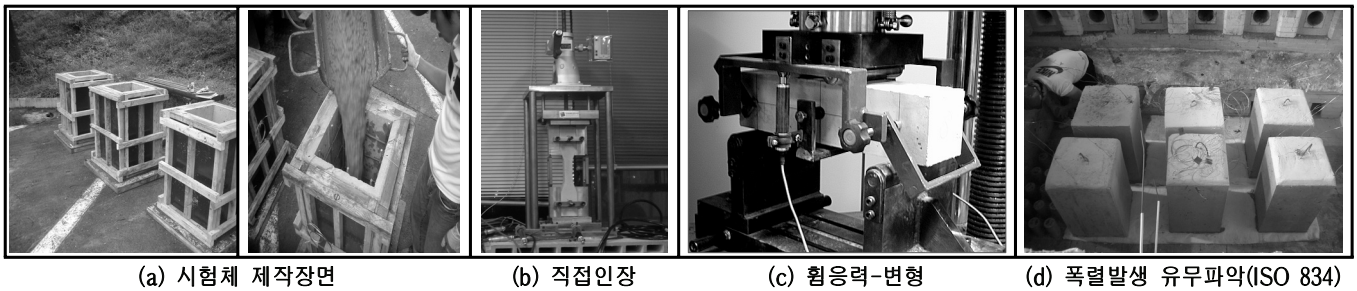


사진 2. 고장력 PVA섬유의 외형



(a) 시험체 제작장면 (b) 직접인장 (c) 휨응력-변형 (d) 폭렬발생 유무파악(ISO 834)

사진 3. 각종 시험장면

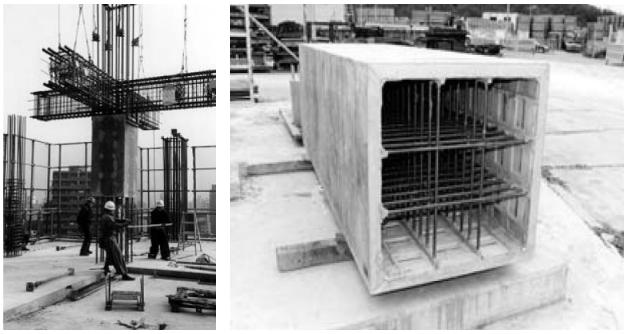


사진 4. Half-PCa 공법 적용사례(일본)

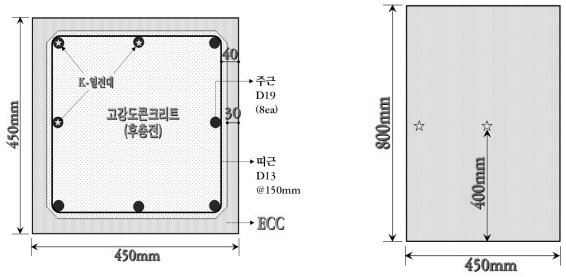


그림 1. 시험체 제작 치수

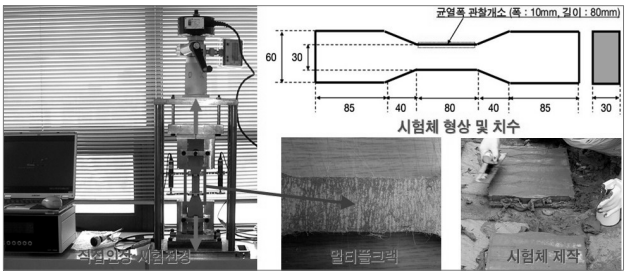


사진 5. 직접인장강도 시험체 치수 및 균열 성상

한편, 고인성 외곽 거푸집 제작은 사진 6과 그림 2에 나타난 바와 같이 60ℓ 의 강제식 팬믹서를 사용하여 결합재, 규사, 내화재, 첨가제를 선투입하여 건비빔을 30초간 실시한 후, 배합수와 PVA섬유를 투입하여 모르타르 비빔을 약 210초간 실시하여 총 240초의 비빔시간이 소요되었으며, 비빔이 완료된 ECC를 준비된 외곽 거푸집 틀에 타설하여 약 28일간 기건 양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고인성 외곽 거푸집의 역학성능

3.1.1 직접인장성능

그림 3은 각 시험체의 직접인장강도를 측정하여 비교한 것으로서 각각 거의 동등한 경향을 나타내었다. 그러나 ECC-Ⅲ의 경우 인장강도에 있어 다소 낮은 경향을 나타내어 배합사항에 있어 ECC-Ⅰ과 ECC-Ⅱ보다 결합재량이 상대적으로 줄어들어 강도발현에 다소 취약한 것으로 판단된다.

한편, 변형율은 대부분 3.8~4.0(%)까지 유지되었으며, 사진 5와 같이 멀티플 크랙에 의한 유사변형경화성능이 우한 것으로 나타나 내진에 적용 가능한 건축 구조체의 새로운 연구 효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

3.1.2 휨성능

그림 4는 각 시험체의 휨응력-변형 곡선을 나타낸 것으로서 ECC-Ⅰ, ECC-Ⅱ, ECC-Ⅲ는 각각 15.64, 15.63, 14.17(MPa)로 나타나 직접인장강도와 마찬가지로 ECC-Ⅲ의 경우만 다소 낮은 휨강도를 보이고 있을 뿐, 대부분 거의 동등한 휨응력-변형을 나타내고 있었다.

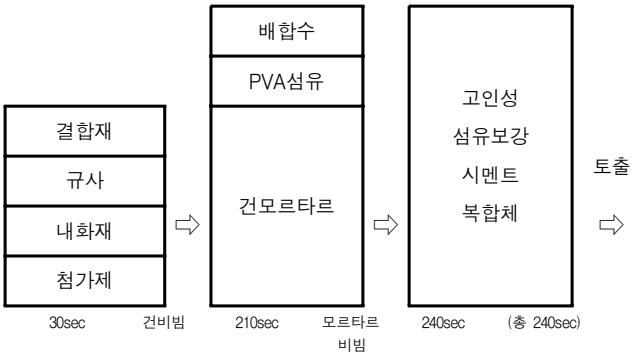
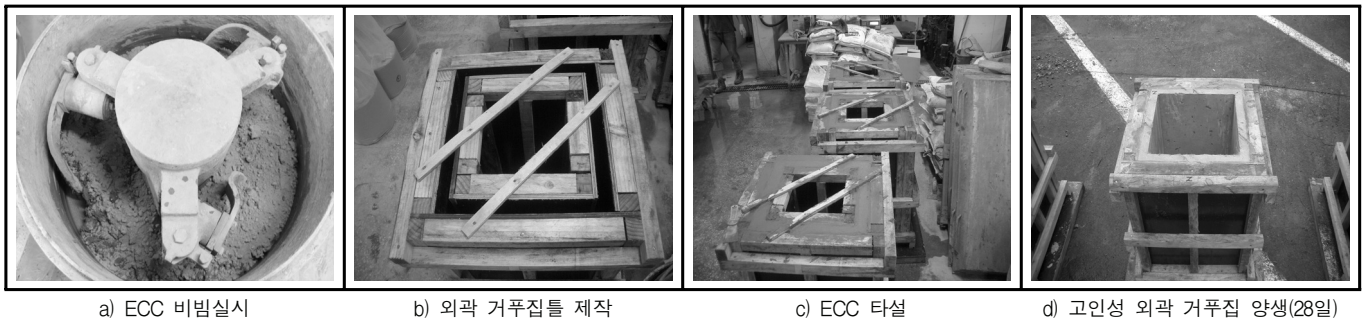


그림 2. ECC 비빔 방법



a) ECC 비빔실시 b) 외곽 거푸집틀 제작 c) ECC 타설 d) 고인성 외곽 거푸집 양생(28일)

사진 6. 고인성 외곽 거푸집 제작 장면

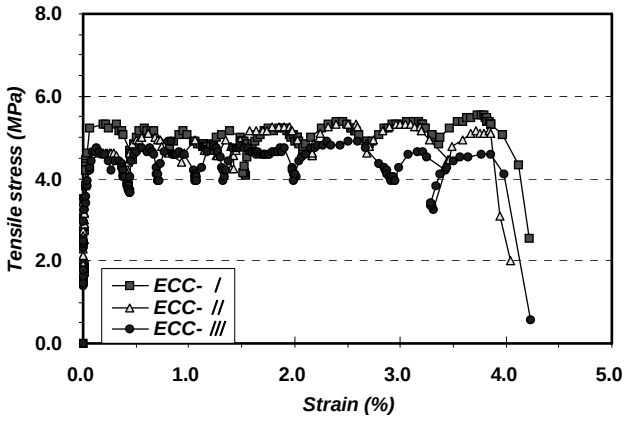


그림 3. 직접인장강도의 변화

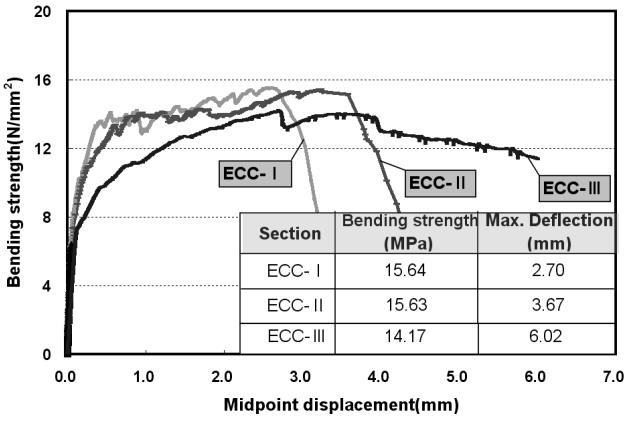


그림 4. 휨응력-변형 곡선

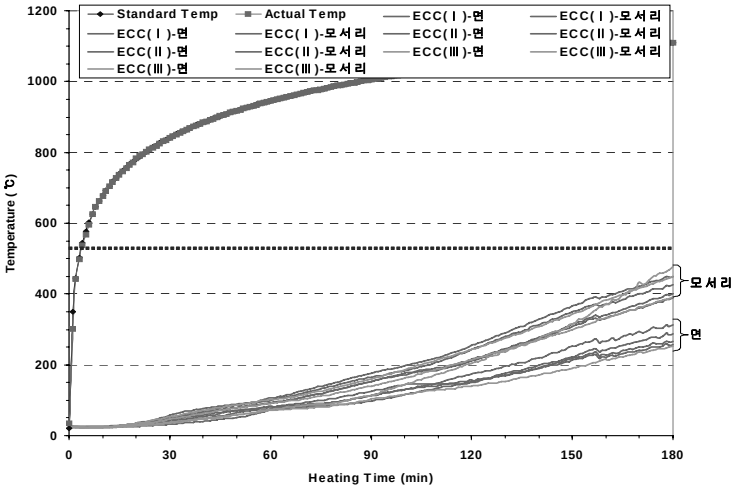


그림 5. ISO 834가열곡선에 따른 수열온도의 변화

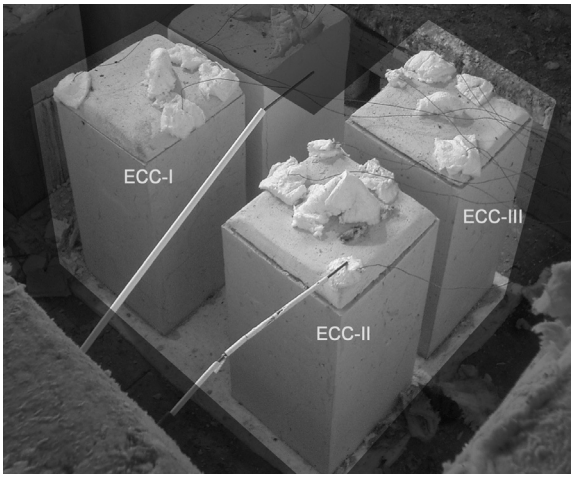


사진 7. 폭렬 후 시험체 성상

표 2. 시간 및 부위별 수열온도

종류	측정위치	측정깊이	1hr(℃)	2hr(℃)	3hr(℃)
ECC-Ⅰ	모서리	40mm	101	243	431
	면		72	170	307
ECC-Ⅱ	모서리		106	254	453
	면		75	150	285
ECC-Ⅲ	모서리		109	209	491
	면		73	140	395

특히, 변형율의 경우 휨강도와는 반대로 각각 2.70, 3.67, 6.02를 나타내어 오히려 ECC-Ⅲ의 변형율이 상대적으로 우수한 것을 알 수 있었다.

이는 결합재량 보다 상대적으로 PVA섬유 혼입량이 증대되는 것에 따른 섬유의 가교작용의 증대로 인한 것으로 판단되며, 직접인장강도 분석에서 언급한 바와 같이 유사변형경화성능이 우수한 것으로 나타나 내진성능으로서의 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 고강도 RC기둥의 내화성능

그림 5는 섬유를 혼입한 고인성 외곽 거푸집 시험체의 ISO 834가열곡선에 따른 수열온도곡선을 나타낸 것으로서 ECC-Ⅰ, ECC-Ⅱ, ECC-Ⅲ는 각각 가열 시간(180min)을 기준으로 모서리의 주 철근 온도에서는 431, 453, 491(℃)로 나타났으며, 면의 주 철근 온도에서는 각각 307, 285, 395(℃)로 나타나 모두 기준 온도인 538℃이내에 만족하는 것으로 나타났다.

이에 따라 사진 7에 나타난 바와 같이 폭렬시험 후 각 시험체의 성상은 균열이나 폭렬발생이 전혀 일어나지 않았다.

이는 고인성 복합체 내에 혼입된 다량의 섬유가 용융되면서 빠르게 수증기압을 외부로 배출하기 때문에 폭렬에 의한 파괴성상은 일어나지 않은 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 고인성 외곽 거푸집 시험체의 역학 및 내화성능을 분석한 결론은 다음과 같다.

1) ECC-Ⅰ, ECC-Ⅱ, ECC-Ⅲ의 직접인장강도는 거의 동등한 것으로 나타났으며, 특히 결합재량이 더 많은 ECC

-Ⅰ과 ECC-Ⅱ의 경우가 다소 우수한 경향을 나타내었다.

2) 휨강도는 직접인장강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 휨응력-변형곡선에서는 상대적으로 섬유혼입량이 많은 ECC-Ⅲ가 다소 우수한 경향을 나타내고 있었다.
3) ISO 834곡선에 따른 폭렬시험 성능에서는 ECC-Ⅰ, ECC-Ⅱ, ECC-Ⅲ가 모두 기준 온도에 만족하는 것으로 나타났으며, 그로 인해 폭렬에 의한 파괴나 균열은 나타나지 않았다.

따라서, 본 연구에서 나타난 바와 같이 역학 성능에서는 유사변형경화 성능이 우수한 것으로 나타나 앞으로 건축구조물에 내진설계에 있어서 적용가능성 검토에 관한 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구에 사용된 재료는 (주)AMS엔지니어링의 제품을 지원받았으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 권영진 외 1명 ECC로 피복된 고강도콘크리트의 폭렬저감 및 열적특성에 관한 실험적 연구 KIC 제14호.2008
2. 김규용 외 3명 화재 시험시 내화 피복재 두께가 주철근의 온도에 미치는 영향 KCI 논문집 제17권 1호. 2005
3. 권영진 외 2명 화재 온도를 받는 고인성·고내화성 시멘트 복합체의 거동 KCI 논문집 제19권 2호. 2007
4. 김주상 외 5명 고인성 모르타르의 역학 및 수축특성에 관한 실험적 연구 대한건축학회 논문집 3권 1호. 2007