

구조물의 내화공법에 대한 ECC 적용 가능성

New Fire Resistant Methods of RC Structures Using ECC

김정희* 전병일* 이명호** 정재민*** 안상로****

Kim, Jung Hee Chun, Byung Il Lee, Myung Ho Chung, Jae Min Ahn, Sang Ro

ABSTRACT

Fire safety is one of the important factors to be examined when applying ECC to actual concrete structures. The purpose of this study is to confirm whether the fire resistance of ECC satisfies the fire resistant requirements in order to use the fire protection material in concrete structures. Employed temperature curve are HC and RABT criterion, which are severe in various criterion of fire temperature in concrete structures. The test results show that ECC did not undergo any deterioration of fire resistance nor cause explosive spalling, which had been anticipated due to the presence of organic fibers. With comparison of current concrete and fire-resistance materials, the experimental results of ECC shows the better fire resistance performance than the other.

요약

화재에 대한 안전성 확보는 ECC 등과 같은 신소재를 실제 구조물에 적용 또는 실용화하기 위해 필요한 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문은 콘크리트 구조물에 있어서 내화층을 ECC로 사용하는 공법에 대하여, 이러한 ECC가 규준에서 요구하는 내화성능을 만족하는지 여부를 실험적으로 검토하기 위한 것이다. 이를 위하여 구조물의 화재 온도조건인 HC 및 RABT 화재온도이력곡선을 적용하여 실험을 수행하였다. 실험결과 ECC는 폭발 및 화재상태에서의 모체콘크리트에 열화가 발생하지 않았다. 또한 기존 콘크리트 및 내화소재와의 상대 비교에 있어서도 ECC가 가장 우수한 내화성능을 보이고 있음을 알 수 있었다.

* 정회원, (주)피엔알시스템 기술연구소, 선임연구원

** 정회원, (주)피엔알시스템, 기술이사

*** 정회원, 한국철도시설공단, 공박

**** 정회원, 한국시설안전공단, 공박

1. 서 론

최근 세계적으로 터널 대형 화재사고가 빈번히 발생하고 있다. 실제 화재 사고사례로 부터 터널의 최대온도는 1,000~1,200℃로써 이러한 온도는 터널 구조에 심각한 피해를 발생시킬 수 있다¹⁾. 또한 화재발생시 인명 대피시간의 확보를 위하여 5km이상의 터널에서는 비구조 부재인 라이닝에도 내화성능을 확보하도록 권장하고 있는 실정이다. 이러한 구조물에 내화성을 만족시키기 위해 적용되는 소재는 내화성능뿐만 아니라 강도, 내구성능, 보수성능 등을 동시에 발휘해야 하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 고장력 폴리비닐알콜(PVA) 섬유를 시멘트 체적비 대비 2% 투입하여 직접인장 상태에서 유사변형경화(Pseudo strain hardening) 및 다수 미세균열(Multiple crack) 특성과 함께 3~6%의 인장 변형능력을 갖는 고인성시멘트복합체(Engineered Cementitious Composite, ECC)는 균열제어 및 박리·박락 방지, 인장력 부담, 내구성, 피로성능이 매우 우수하기 때문에, 내화성능을 향상시키는 경우 전술한 터널라이닝의 내화복합체 재료로 매우 적합할 것으로 판단된다.²⁾

그러므로 본 논문은 콘크리트 구조물에 있어서 내화층을 ECC로 사용하는 경우, 이러한 ECC가 규준에서 요구하는 내화성능을 만족하는지 여부를 실험적으로 검토하고자 하였다. 이를 위하여 구조물의 화재 온도조건인 HC 및 RABT 화재온도이력곡선을 적용하여 실험을 수행하였다.

2. HC에 의한 ECC 소재 자체의 내화성능 평가

2.1 내화시험 개요

내화시험은 ECC의 폭렬특성 및 내부온도 측정을 위한 100×200mm의 원주형 공시체를 이용하여 실시하였다(그림 1). 사용된 ECC 재료는 내화성능을 향상시킨 기성제품을 이용하였다²⁾. 또한 비교를 위하여, 기존 구조체의 보수재료로 사용되는 폴리머시멘트모르타르(이하 PCM) 및 섬유복합물탈(섬유 1.15% 혼입)을 변수로 설정하였다. 도입된 시간가열온도곡선은 HC(Hydro-Carbon EC1) 곡선을 적용하였다.



(a) 시험체 설치상황(시험전) (b) 시험 이후 시험체 현황
그림 1. HC에 의한 내화시험 전경(한국방재시험연구원)

2.2 내화시험 결과

그림 2 및 그림 3은 내화시험 결과를 나타낸 것이다. 기존 PCM의 경우 내화시험 이후 5분경부터 폭렬이 발생하기 시작하여 시험체 표면의 대부분에 발생되었고(그림 2(a)), 깊이는 최대 18mm로 나타났다. 또한 섬유복합물탈에서도 폭렬 수 및 깊이는 PCM 보다 작았으나, 폭렬이 부분적으로 발생하고 있음을 알 수 있었다(그림 2(b)). 그러나 ECC의 경우는 폭렬 및 균열이 발생하고 있지 않음을 알 수 있었다(그림 2(c)). 이러한 이유는 FR-ECC의 경우 시멘트 복합체



(a) PCM (b) FRC (c) FR-ECC
그림 2. 폭렬 및 균열 발생상황

표 1. FR-ECC의 열적특성

평가 항목	ECC		비교(PCM)
	측정	자체기준	
열전도율 (W/m·℃)	0.463	0.5이하	1.4~2.0
비열 (J/g·K)	1.49	1.0 이상	1.0~1.3
가스유해성 시험결과	합격	합격	

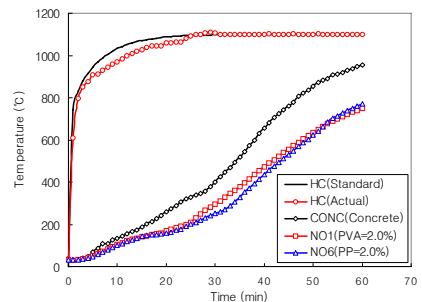


그림 3. 재료별 내부온도 분포특성

내에 혼입된 다량의 섬유가 용융되면서 수증기압을 외부로 배출하기 때문으로 판단되었다. 내부온도 특성 또한 일반적인 PCM에 비하여 ECC의 내부온도가 낮게 평가되고 있음을 알 수 있었다(그림 3). 가열 후 30분에서의 온도분포는 PCM 및 FR-ECC 2타입이 각각 400℃, 290℃, 및 251℃로써 ECC가 일반적인 PCM에 비하여 28%, 35% 낮게 나타남을 알 수 있었다.

3. RABT 내화곡선에 대한 ECC의 내화성능 평가

3.1 내화시험 개요

ECC에 대한 내화성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같이 360×150mm, 깊이 150mm의 접합부에 ECC를 충전하여 시험체를 제작하였다. 또한 비교검토를 위하여 동일한 용도의 2가지 모르타르를 변수로 설정하였다. 대상으로 하는 재료의 구성성분 및 압축강도 특성은 표 2와 같다. 도입 화재가열 이력곡선은 독일 및 일본에서 보편적으로 사용하고 있는 RABT 곡선을 이용하였다. 즉 시험시작 후 5분내 1,200℃에 도달하여 60분간 지속된 이후 110분 동안 냉각(총 170분)시키는 방법(RABT-ZTV (Train))을 적용하였다. 또한 시험체는 1면 열 재하로 이외의 모든 면은 외기에 노출하였으며, 시험체 가열면적은 550mm×550mm로 하였다.



그림 4. 실험체 제작 현황

표 2. 대상 모르타르의 배합 및 물성값

Mortar	fiber	fiber contents %	W/C wt.	Slump cm	Table flow mm	Density kg/m ³	Temp. in material °C	Environmental temp. °C	Compressive strength, MPa		
									7days	28days	30days
ECC	PVA	2.0	0.18	6.5	131×130	1,663	33.1	25.8	19.2	50.7	53.5
M-10H	PP	2.7	0.15	1.0	109×107	2,078	35.2	30.2	27.3	61.6	72.1
S96C	PP	2.7	0.13	6.5	151×148	2,273	30.9	29.7	34.6	62.7	77.5

3.2 시험 결과

내화시험결과 폭발 및 균열특성을 표 3에 정리하였다. 폭발현상은 ECC 및 S96C 시험체가 발생하지 않은 반면, M-10H 시험체에서는 1/4정도 폭발에 의한 탈락이 관찰되었다. 또한 시험 종료 후 화해 피해를 관찰한 결과 충전재의 종류에 상관없이 충전재와 모체콘크리트 사이에서 균열이 발생하였으며, M-10H 및 S96C 시험체에서는 충전재를 가로지르는 균열도 관찰되었다. 균열폭은 ECC 시험체가 0.2~

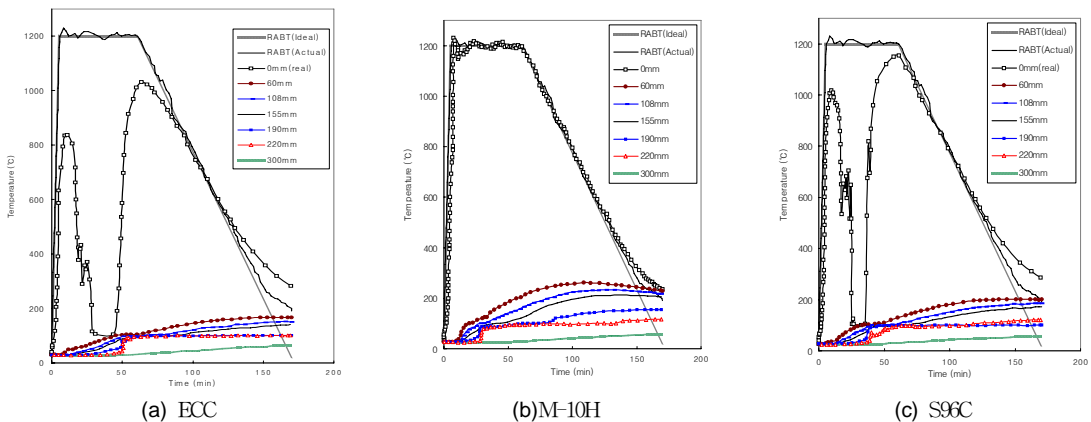


그림 5. 실험결과(내부 온도 이력 분포)

0.3mm로 나타난 반면, 비교대상 시험체에서는 최대 2mm로 나타났다. 시험체의 화재시간-온도곡선을 그림 5에 나타냈다. 충전재의 사용 재료별 온도특성은 ECC가 가장 낮은 특성을 보였으며, 철근 위치인 표면으로부터 60mm에서의 온도는 각각 165℃, 261℃, 201℃로 한계온도 350℃이하임을 알 수 있었다. 이를 통하여 ECC가 가장 우수한 내화성능을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

4. 내화공법으로의 ECC의 적용가능성

4.1 내화공법으로의 적용성

내화공법으로서 ECC를 적용할 수 있는 방안은 부재에 내화층을 형성하여 표층부의 온도상승 및 온도구배를 저감시키는 방안을 고려할 수 있다. ECC의 도포 개념을 그림 6에 나타냈다. 시공방법은 내화모르타르를 시공현장에서 물과 혼합하여 뿔칠 또는 미장하고 마감하는 것으로 이루어 질 수 있다. 또한 시공 전에는 구조체 표면을 고압수 등으로 세정하고 사전에 박리·탈락을 방지하는 금속 망 또는 지지대를 설치하여 화재 시 또는 화재 후 내화모르타르의 박리·탈락을 방지해야 한다.

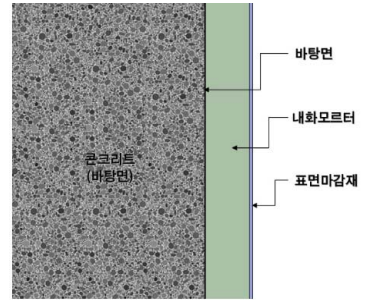


그림 6. ECC 도포 개념도

4.2 ECC의 시공성능

ECC는 현장에서 별도의 계량공정 없이 간편하게 제조할 수 있으며, 프리팩트 폴리머 시멘트 복합체와 단섬유제품 및 물을 팬타입믹서에 일괄 투입한 후 3분 이상 비빔하여 제조한다. 한편 ECC의 시공은 미장시공 및 뿔칠시공 모두 가능하며, 뿔칠시공(그림 7)의 경우 현재 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 스퀴즈 타입 압송펌프를 사용해도 뿔칠이 가능하다. 이는 종래의 섬유를 다량 혼입한 모르타르 제품의 경우 특수한 뿔칠장비가 필요한 것에 반하여 기술개발을 통하여 뿔칠 성능을 개선함으로써 기존 장비의 사용이 가능하게 된 결과이다. ECC의 압송거리는 수평 최대 약 60m, 수직 최대 약 25m까지 가능하였으며, 이때 1회 뿔칠두께가 벽면에서는 최대 200mm, 천정면에서는 최대 100mm까지 가능하여 국내 대부분의 터널에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

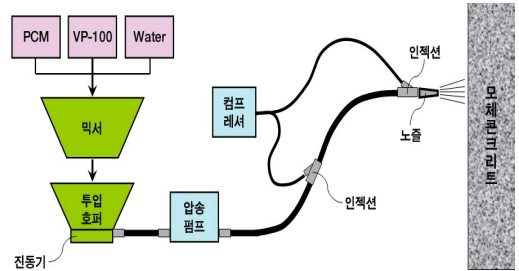


그림 7. 고인성모르타르의 뿔칠시공시스템

5. 결 론

ECC는 기존의 대표적인 보수재료인 PCM의 제 요구사항을 만족하고 있을 뿐만 아니라 내화성능까지 우수하기 때문에 터널등과 같은 구조물의 내화성능 확보 및 보수/보강에 매우 적합한 재료라 할 수 있다. 또한 재료의 역학적 성능인 휨 및 인장하중 하에서의 변형성능 및 균열제어성능 등이 탁월하여 하자 발생을 및 유지관리비용의 저감이 가능하고, 구조물의 고내구화가 가능할 것으로 판단되며 향후 활용 확대가 기대된다.

참고문헌

1. Haukur, I., and Anders, L., "Recent Achievements Regarding Measuring of Time-Heat and Time-Temperature Development in Tunnel", Safe & Tunnels, 1st International Symposium, Prague, 2004. pp87-96.
2. 특허 "고인성·고내화성 혼합 모르타르 조성물과 이를 이용한 보수공법 및 이의 시공장치", PNR SYSTEM