

## 불에 강한 미래형 건설 신재료

허영선(화재안전연구소 수석연구원)

국가적인 차원에서 재난으로부터 국민의 생명과 안전을 보장하고, 국민 삶의 질을 높이는 것은 미래사회에서 핵심적으로 다뤄야 할 항목에 해당한다. 전국적으로 분포된 건설 관련 인프라(터널, 교량, 빌딩 등)는 노후화에 따른 구조물 붕괴뿐만 아니라 화재, 폭발, 지진 발생 등에 따라 많은 위험요소를 내포하고 있다. 특히, 화재가 발생한 상황에서 건설구조물의 구조적 안정성을 유지할 수 있는 성능은 피난민을 구출하기 위해 진입한 구조대원들의 인명피해와도 직접 관련되어 있다. 2001년 미국에서 발생한 9·11테러에서 343명의 소방관과 100여 명의 경찰 관련 직원의 사망은 이러한 문제점에 기인한 것이다. 그렇다면 이러한 문제점을 해결하는 방법은 뭐가 있을까? 여기서는 이를 해결하는 방안으로 화재분야 미래형 신 건설재료에 관한 내용을 다뤄보고자 한다.

### 현 시스템의 한계

국내 ICT 기술은 세계적인 경쟁력을 가지고 건설, 환경, 에너지, 교통, 유통 등 사회 전반에 활력을 불어넣고 있으나, 아직 건설 구조물의 재난안전 분야에서는 기술적 답보상태에 있고, 효과적인 안전성 확보에 활용되고 있지 않는다. 건설구조물의 재난안전을 확보할 수 있는 통합시스템의 개선을 선도할 주체가 없으며, 재난으로부터 안전한 건설 구조물에 대한 수요자 측면에서 기술을 선도하고 국가적 차원의 보급을 추진하지 못하고 있다.

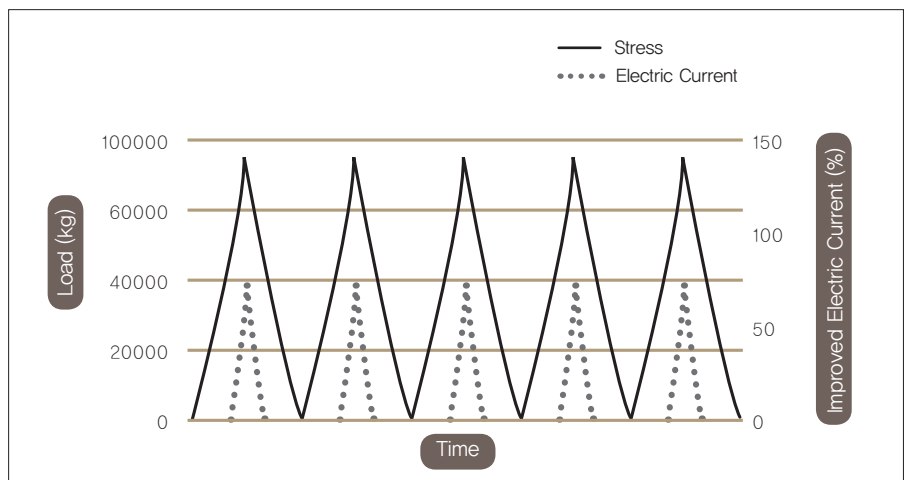
### 자기센싱 기술이 탑재된 신 건설재료

화재를 포함해 지진, 크리프 진행 등 외부 환경요인에 의한 구조물 내부 응력증가 수준을 지속적으로 실시간 모니터링 할 수 있는 기술 개발이 추진되고 있다. 도전선 섬유 혼입을 통해 전기가

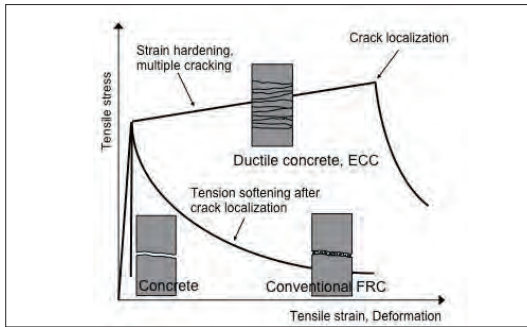
- 균열 발생부위에 외부 자극을 가해서 self-assembly 기능유도
- 전류의 발생으로 철근 부식 (부식전류 소모) 차단
- Piezoresistivity 성질 구현
- Wireless 통신기술 구현
- 화재, 지진, 크리프 파괴 (건축물 온도변경, 터널, 교량) 등으로 부터 안전한 구조물 제공

Electro conductive fiber

### 전기가 통하는 콘크리트의 개념도



시멘트 복합체에 전기전도성 섬유를 혼입해 Piezoresistivity 성질 구현(외부 하중변화와 전류량 변화가 동시에 거동 → 자기센싱 실현, EGC에도 적용가능성 확인)



(a) Strain hardening behavior of ECC



(b) Ductile failure of ECC

**Mechanical properties of ECC(ECC의 장점)**

통하는 전도성 콘크리트를 제조함으로써 자기센싱 구조물의 실현이 가능해지고, 자기치유 기술과 결합해 무한 생명 콘크리트 구조물까지도 기대할 수 있게 된다.

**ECC(Engineered cementitious composites)의 자기 치유 성능**

1990년 초반에 Michigan 대학교 Victor Li 교수팀에서 개발된 ECC는 일반 콘크리트의 가장 큰 단점으로 여겨왔던 취성파괴 거동을 획기적으로 증진해 기존 콘크리트 대비 50배 이상의 연성 파괴 성능을 성취 및 균열을 60 $\mu$ m 이하로 제어하는 것을 성공한 바 있다. 최근에는 ECC에서 발생한 균열이 자기치유 성능이 있음을 보고하면서 미래형 건설 구조물의 실현을 앞당기고 있다.

**화재의 상황에서 강도가 증진하는 지오폐리머**

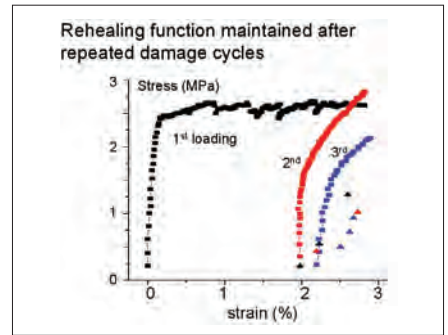
지오폐리머는 기존의 콘크리트와 비교해 이산화탄소 배출이 적은 환경 친화형 건설재료로 잘 알려져 있다. 호주 Monash 대학에서는 2010년도부터 고온에서의 지오폐리머 열성질을 연구하기 시작해 수십 편의 논문을 발표한 바 있는데, 이에 따르면 고온에 노출된 지오폐리머는 오히려 강성이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

**불에 강한 미래형 건설 신재료**

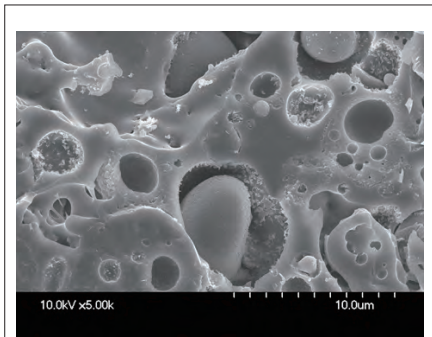
앞서 소개된 지오폐리머는 화재에 강하지만,

취성파괴라는 큰 단점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 Michigan 대학교의 Victor Li 교수팀과 호주 Swineburne 대학의 Jay Sanjayan 교수팀에 의해 두 재료를 섞어서 만든 EGC(engineered geopolymers composites)의 개발이 한창 추진되고 있다. EGC는 앞서 소개된 전기전도성, 연성, 화재안전성 뿐만 아니라 환경친화형 재료에 해당하므로 미래 우리 사회에 꼭 필요한 건설재료가 될 수 있을 것으로 기대해 본다.

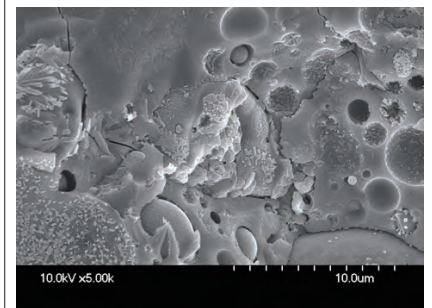
자료 : 허영선, 박정준, 시멘트 복합체에 Wireless 통신기술 적용, 한국건설기술연구원 2015 No Fear 최종 보고서 pp.195-221  
 Motohiro Ohno, Victor Li(2014) A feasibility study of strain hardening fiber reinforced fly ash-based geopolymers composites, Construction and Building Materials Vol. 57, pp. 163-168  
 Zhu Pan, Jay G Sanjayan, B.V. Rangan(2009) An investigation of the mechanisms for strength gain or loss of geopolymers mortar after exposure to elevated temperature, Materials and Structures Vol. 44, pp.1873-1880  
 Nazari Ali, Sanjayan Jay G (2015) Compressive strength of functionally graded geopolymers: Role of position of layers, Construction and Building Materials Vol. 75, pp. 31-34



Self-healing of ECC(ECC의 장점)



화재 전



화재 후

고온에서 조적이 치밀해 지는 지오폐리머