

구조체 보호를 위한 고내화성 마감재 적용에 관한 실험적 연구

Development of Inorganic Fire Protection Materials for High Strength Concrete

정 석 조^{*} 송 훈^{**} 권 춘 우^{*} 김 영 업^{*} 추 용 식^{**} 이 종 규^{***}

Jung, Suk Jo Song, Hun Kwon, Choon Woo Kim Young Yup Chu, Yong Sik Lee, Jong Kyu

ABSTRACT

Nowaday, High strength concrete(HSC) has been mainly used in high rise building. HSC have superior property as well as improvement in durability compared with ordinary strength concrete. In spite of durability of HSC, explosive spalling in concrete front surface near the source of fire occurs serious problem in structural safety. Thus, this study is concerned with experimentally investigation fire resistance of the inorganic fire protection materials at high temperatures up to 800°C. From the test result, developed inorganic binder becomes general that with rising temperature the compressive strength of the material increases in tendency. Therefore, the results indicate that it is possible to fireproof panels, fire protection of materials, etc.

1. 서론

최근 건축물의 고층화 및 대형화에 따라 고강도콘크리트를 적용한 건축물이 증가하고 있다. 고강도 콘크리트는 초고층이나 주상복합 건축물 등의 상부하중을 받는 기둥에 주로 적용되며 조적이 치밀하며 내구성이 우수하고 일반콘크리트에 비해 효율적인 공간 활용이 가능하다는 장점을 지닌다. 그러나 화재와 같은 고온에는 취약하여 내력저하 및 폭발과 같은 단면결손이 발생하기 쉽다. 특히, 고강도콘크리트의 폭발현상은 화재발생시 갑작스럽게 고온에 노출되어 표층부의 온도가 급격히 상승하는 경우 내부에서 수증기의 발생과 과다생성으로 인한 응축과 표층부에 집중되어 수증기압이 형성되거나, 압축이나 인장을 받는 부재에서 고온에 의한 부재의 신축이 구속되어 발생하는 열응력에 기인하는데 폭음과 함께 콘크리트의 표면이 비산하여 박락하며 구조내력을 현저하게 저하시킨다. 현재의 철근콘크리트 구조의 경우 법규에서 정하는 구조로는 3시간의 내화성능을 만족하기 어려우며, 또한 폭발현상이 발생하는 경우는 구조안전성에도 심각한 영향을 미치게 된다. 이와 같은 문제에도 불구하고 콘크리트 부재는 당연 내화구조로 인식되어 대비책이 소홀했었으나 최근 고강도콘크리트의 폭발현상에 대한 인식이 고취되어 이에 대한 대책을 수립하고 있다. 일본에서도 2000년도 이후 고강도콘크리트를 적용하는 경우 내화성능에 대한 검증을 요구하고 있어 건설 각사에서도 기술개발을 서둘러 성능인정을 취득한 공

* 정회원, 요업기술원, 세라믹·건재본부 연구원

** 정회원, 요업기술원, 세라믹·건재본부 선임연구원

*** 정회원, 요업기술원, 세라믹·건재본부 책임연구원

법들이 제시되었다. 이들의 내용은 메탈라스 및 배근방법을 변경하여 콘크리트 부재의 폭렬현상에 대비하거나 유기섬유의 혼입이나 석고보드 및 규산 칼슘보드를 이용한 방법이 주를 이룬다. 이 중 석고보드나 내화물 등을 부착하여 부재에의 직접적인 화염을 방지하고 부재의 온도상승을 저지하는 공법은 가장 효율적인 수단으로 다른 공법들에 비해 유효하다 할 수 있다. 하지만 석고보드나 내화물 등은 강도가 낮아 파손이 쉽고 법규에서 요구하는 내화시간을 만족하기 위해서는 단면이 증가하는 등의 문제점이 발생한다. 또한 이들은 기존의 철골조나 내화구획 등에 사용되었고 고강도콘크리트로 적용된 구조체 보호의 용도로는 적합하지 않다.

본 연구에서는 상기와 같은 문제점을 해결하고 고강도콘크리트에 적용함에 있어 효율적인 내화성능 확보가 가능한 고내화성 마감재 제조기술을 개발하고자 하며 마감재에 적용할 수 있는 무기결합재에 대해 기초적인 내화특성 확인을 목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용 재료

본 연구의 무기결합재 제조에 사용된 재료로는 국내 B사에서 배출된 플라이애쉬를 사용하였으며, 메타카올린은 국내 K사의 제품을 사용하였다. 알칼리자극제로는 수산화칼륨과 액상규산나트륨을 사용하였고 12몰의 알칼리 활성화 용액을 제조하였다. 제조된 알칼리용액의 pH는 14이었으며 각 사용재료의 물리적 성질은 표1과 같다. 시멘트 모르타르의 물시멘트비를 48.5%로 하였고, 무기결합재의 고체/액체비 73%로 하였으며 표2와 같다.

표1. 사용재료

시멘트	C	보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.16(g/cm ³)
잔골재	S	주문진 표준사
플라이 애쉬	F	Blain 3764cm ² /g 밀도 : 2.3(g/cm ³)
메타카 올린	M	Blain 9812cm ² /g 밀도 : 2.5(g/cm ³)
액상규산 나트륨	N	KS의 3호

표2. 실험 배합비

Series	S/L (%)	Unit weight (wt. %)							Flow (%)
		Solid				Liquid			
		C	F	M	S	Water	K	N	
Plain	48.5	26	-	-	62	12	-	-	90
S1	73	-	12	12	60	-	8	8	80
S2	73	-	12	12	60	-	12	4	92

2.2 실험 방법

모르타르의 배합시험은 혼합용적 5.7ℓ인 강제식 믹서를 사용하였으며, 재료투입은 재료의 균질성을 위하여 선비빔을 실시하였으며 이 후 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 준하여 50×50×50mm의 공시체를 제작하였다. 이렇게 제작된 공시체는 재령 3, 7, 28일까지 23±2℃의 온도에서 수중양생(Plain) 및 23±2℃, 습도 50±20%에서 기중양생(S1, S2)을 실시하였다.

내화성능 평가는 각 시험체에 대해 200, 400, 600, 800℃의 온도에서 1시간 가열하고 상온으로 냉각하여 압축강도, 수화물 및 미세구조의 변화를 측정하였다. 내화시험시의 시험체 재령은 3, 7, 28일이며 수화물 및 미세구조는 각각의 재령에서 채취한 시료를 아세톤에 침지한 후 온도 45℃에서 저온 건조하여 측정하였다. 수화 및 미수화물을 개략적 관찰은 XRD를 이용하였고 미세구조는 SEM을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 내화성능 평가

그림1과 그림4는 Plain의 온도변화에 따른 압축강도의 변화 및 XRD를 나타낸 것이다. 보통포틀랜드 시멘트 수화물의 경우 C-S-H계 수화물, 에트린자이트, 모노설페이트, 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 생성되어 온도의 상승에 따라 화학적으로 결합된 수분이 탈수한다. 그러나 약 400°C 이하에서 오히려 상온 양생보다 수화반응이 활발하게 일어남을 관찰할 수 있었는데 이는 고온에서의 온도유지시간이 1시간으로 상대적으로 작았기 때문으로 사료된다. 그러나 600°C 이상의 온도범위에서는 수산화칼슘이 탈수함에 따라 압축강도는 급속히 저하하였고 28일에서 약 13MPa의 압축강도 값을 나타내었다. 이는 화재발생 시 등의 고온 환경에서 구조안전성에 영향을 줄 수 있다.

그림2와 그림3은 제조된 무기결합재의 온도변화에 따른 압축강도의 변화이다. 플라이애쉬와 메타카올린을 주성분으로 제조된 무기결합재는 자체적으로 수화할 수 있는 잠재수경성을 거의 발휘하지 못하지만 자극제로 강 알칼리용액 및 규산알칼리용액을 사용하여 응결·경화시킬 수 있다. 또한, 고온에서 알칼리 활성화 반응을 시킨 무기결합재는 상온에서 보다 오히려 더 높은 물리적 특성을 나타내었는데 이는 반응이 고온에서 더 잘 일어나며 좀 더 치밀한 입자사이의 결합(-Si-O-Al-O)으로 상대적으로 우수한 물리적 특성을 나타내기 때문이다.

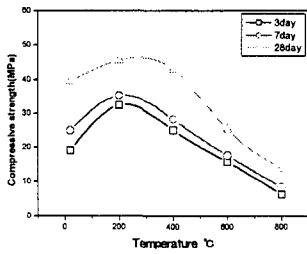


그림1. Plain - 압축강도

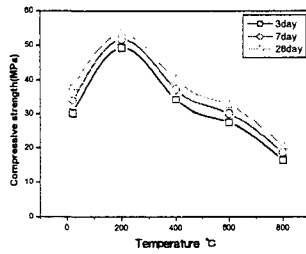


그림2. S1 - 압축강도

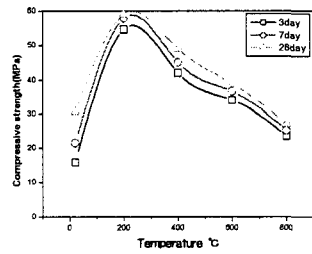


그림3. S2 - 압축강도

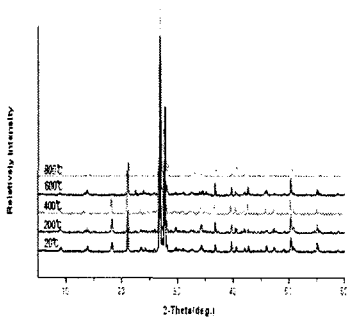


그림4. Plain - XRD (28day)

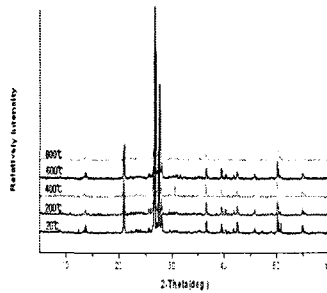


그림5. S1 - XRD (28day)

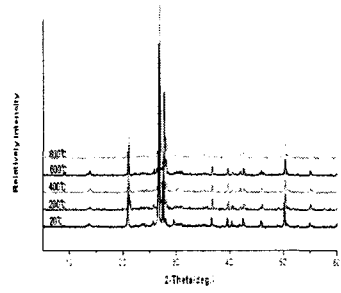


그림6. S2 - XRD (28day)

3.2 내부미세구조 관찰

그림7은 무기결합재의 알칼리 활성화 모형을 나타내었다. 알칼리성 자극물질을 첨가하여 OH^- 이온이 공급되면 플라이애쉬 표면을 지속적으로 침입함으로써 구 표면에 알칼리 반응이 일어나며 결과적으로 구의 안쪽과 바깥쪽에 반응생성물이 생성되게 된다. 또한, 온도가 증가할수록 알칼리 반응을 하는 내부에 포위되어 있던 이온들을 더 많이 용출시킴과 동시에 반응이 더 활발해지며 더 높은 압축강

도를 나타낸다. 더불어 알칼리 활성화 반응에 의한 경화체의 경우 시멘트 수화물과 달리 수산화칼슘을 형성하지 않으며 Calcium의 열저항 특성 등으로 인해 600℃ 정도의 고온에서도 강도 저하율이 크지 않았으며 오히려 조금 증가하는 경향을 보였다.

그림9와 그림10은 상온(20℃)과 고온(800℃)에서 양생한 Plain의 미세구조로서 앞서 서술한 바와 같이 온도 상승으로 시멘트 수화물의 탈수현상을 관찰할 수 있었다.

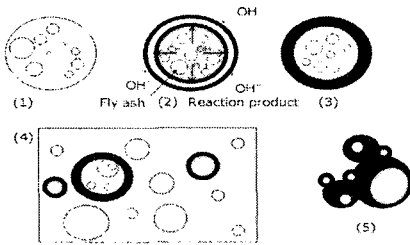


그림7. Model of the activator Fly-ash

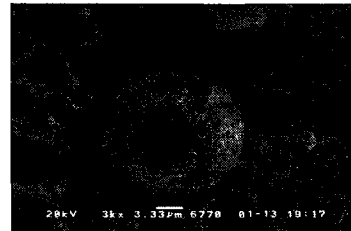


그림8. S2 - 400℃ SEM (3day)

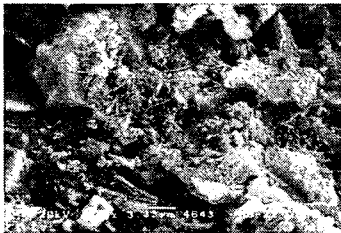


그림9. Plain - 20℃ SEM (3day)

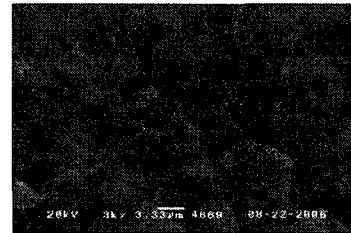


그림10. Plain - 800℃ SEM (3day)

4. 결론

고내화성 무기결합재 보드는 천연원료를 사용하는 석고보드나 규산 칼슘보드와는 달리 산업부산물인 플라이애쉬를 사용하며 미분말 형태로 포집되기 때문에 분쇄가 필요 없어 경제적인 측면에서도 우수하며 적절한 수급 및 재활용 측면에서도 유리하다. 또한, 규산 알루미늄질을 주성분으로 하기 때문에 고내화성 무기결합재 내화보드의 제조에 양호한 조건을 갖추었다고 할 수 있으며 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 무기결합재는 고온에서의 압축강도 저하의 정도가 작았으며 열적인 안정성을 가진다. 이와 같은 결과는 수화반응이 아닌 알칼리 활성화 반응에 의한 세라믹결합에 기인한다.
- 2) 제조된 무기결합재는 기존의 시멘트 경화체에 비해 고온에서도 우수한 물리적 특성을 보여 구조체 보호를 위한 고내화성 무기결합재료의 이용이 가능하다.

참고문헌

1. 콘크리트 표준시방서 해설, 한국콘크리트학회, 2003
2. Davidovits, J., Geopolymer Properties and Chemistries, Proceeding Geopolymer '88, Geopolymer Institute, 1988, pp. 25-67
3. Xu, H. van Deventer, J. S. J., The effect of alkali metals on the formation of geopolymeric gels from alkali-feldspars. Colloids and Surfaces A - Physicochemical and Engineering Aspects 2003, 216, 27-44.