

나노 수산화알루미나를 이용한 건설소재의 내화성능 개선연구

A Study on Performance of Building Material using nano-hydrated Aluminum for Fire-Resistance

조병완* 박종빈**

Jo, Byung Wan Park Jong Bin

Abstract

An increasing interest in fire safety engineering can currently be identified in Korea and overseas. The fire-resistant characteristics of spray coating material for fire protection with or without nano $\text{Al}(\text{OH})_3$ colloid has been experimentally investigated and the results are presented in this paper. The fire-resistance characteristics of spray coating material with nano $\text{Al}(\text{OH})_3$ were superior to those without $\text{Al}(\text{OH})_3$. Especially, spray coating material with nano material showed that thermal characteristic in the early days was remarkably excellent.

1. 서론

최근 산업이 고도의 발전함에 따라 구조물이 고층화 및 대형화 되어지면서 고품질의 재료, 고효율의 시공방법, 자원 재활용 및 경제성의 극대화가 요구되고 있으며, 이를 충족시키는 구조재료로서 강재는 고품질, 고강도등의 측면에서 우위를 확보하고 있다⁽¹⁾. 하지만 강재는 화재와 같은 일시적인 충격으로 인하여 인장강도 등의 저하를 통해 최종적으로 구조물의 붕괴에 도달하는 결과를 초래할 수 있다⁽²⁾. 그러므로 각 국에서는 일정 규모의 건축물에 적용되는 구조용 강재에 대하여 내화성능 확보를 위한 내화피복을 의무화하고 있다⁽³⁾. 하지만 기존의 내화피복재의 성능은 그 한계가 있다. 한편 현재 나노기술이 점차 그 응용분야를 확대해 가고 있다. 나노기술은 산업의 여러 분야에 응용하여 전반적인 산업기술의 혁신적 진보를 목표로 하는 기술이다. 현재 이러한 나노기술을 재료, 운송, 반도체, 의학, 화학, 환경 등 다양한 분야로의 응용이 시도되고 있으나, 아직 건설분야로의 응용연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 나노 소재를 이용하여 내화 피복재를 극대화 시켜 화재와 같은 충격 후에도 거의 변형이 없는 고성능·고기능의 내화 피복재를 개발하고 궁극적으로 나노기술의 건설분야로 적용가능성을 통해 구조물의 안정화에 기여하고자 함이다.

2. 실험내용

본 연구는 나노기술을 건설분야로 응용하기 위한 일환으로 기존의 내화피복재의 내화성능을 향상하

* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 교수

** 정희원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정

고자 하였다. 본 연구에서 사용되어진 Aluminum hydroxide는 무기계의 대표적인 내화소재로써 무독성, 저발열성이며, 분해도가 약 200℃이다. 이러한 Aluminum hydroxide의 내화 원리는 약 200℃에서 Aluminum oxide와 수분으로 분해되어진다. 이렇게 생성되어진 수분은 열의 유입을 차단하여 내화 성능을 발휘하는 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁾.

2.1 실험재료

본 연구의 실험재료는 내화용 피복재, 나노 Aluminum hydroxide가 사용되어졌다. 기존의 내화용 피복재는 퍼라이트, 시멘트, 석고플라스터, 실리카 등으로 구성되어 있는 K사의 내화피복재를 사용하였으며, 그 특성은 표 1과 같다. 또한 침강법을 이용하여 평균입경이 100nm인 다각형 입형의 나노 Aluminum hydroxide 제조하였다.

표 1 내화피복재 특성

구 분	밀 도	부착강도	분진도	백색도
내 용	0.35 g/cm ³	6700 kgf/m ²	0.01 g	85 이상

2.2 실험방법

본 실험에서는 나노소재의 입자간의 흡착력을 고려하여 Aluminum hydroxide 나노소재를 물에 분산한 콜로이드 상태로 준비하였다. 준비된 Aluminum hydroxide 나노소재를 나노피복재에 응용 유무에 따른 내화특성을 비교하였다. 내화성능 특성은 KS 2257-1의 건축부재의 내화시험방법에 의거하여 측정하였으며, 외부의 하중 재하 없이 매트릭스의 온도에 따른 열적 특성 변화를 평가하였다. 내화실험은 철근의 구조적 변형한계에 도달하는 강재의 평균온도(538℃)^{(1),(6)} 보다 높은 650℃에서 1시간 동안 가열한 경우(Test 1)와 1시간 동안 925℃에 도달하도록 가열(1시간 내화특성)한 경우(Test 2)를 ASTM E 119에서 규정하고 있는 표준가열온도 곡선 조건에 따라 수행하였다. 또한 내부에 수분이 포함된 공극이 열을 받으면 공극내의 수분이 팽창하여 내부응력을 상승시키거나 증발되고, 증발되지 않는 수분은 내부 공극으로부터 이탈되는 경우가 생긴다⁽⁵⁾. 따라서 열적 특성변화에 영향을 미치는 중요한 인자 중에 하나인 중량 손실율을 측정하였다.

2.3 시험체 제작

본 연구에서는 표 2에서 보는 바와 같이 Aluminum hydroxide 나노소재의 응용 유무에 따른 배합별 각 3개씩 배합을 하였으며, 시험체 내부의 온도를 측정하기 위해 K타입 열전대선을 시험체의 중앙과 끝단에 하나씩 설치하였고, 상온(20±3℃)에서 7일간 공기중 양생을 실시한 후 내화실험을 실시하였다.

표 2 Mixing

Specimen	Spray material	Aluminum hydroxide	Water
Type 1	1400 g	-	2128 g
Type 2	1400 g	84 g	g
Type 3	1400 g	40 g	g

3. 실험결과

본 연구는 Alumina hydroxide 나노 소재를 혼입의 유무 및 온도에 따른 내화실험을 하였으며, 중량

손실율을 측정하였다.

3.1 외관

내화 실험을 실시한 후의 외관 상태는 Fig. 1~3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 내화피복재의 경우에는 표면이 검게 탄 형상을 쉽게 관찰할 수 있었으나, Alumina hydroxide 나노 소재를 사용한 시험체는 가열전의 모습과 거의 비슷한 형상을 보여주고 있었다.

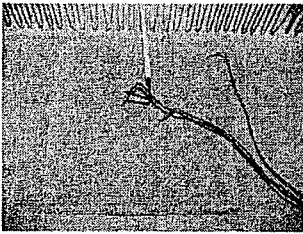


Fig. 1 The surface of specimen type 1 after fire test

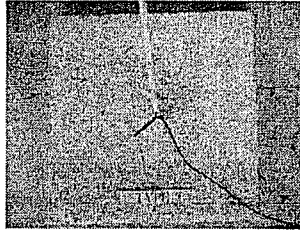


Fig. 2 The surface of specimen type 2 after fire test

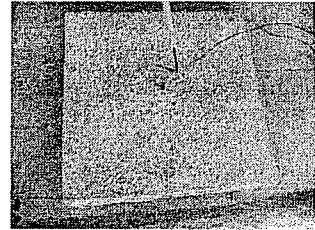


Fig. 3 The surface of specimen type 3 after fire test

3.2 중량손실율

표 3은 각 시험체의 중량 손실율을 보여주고 있다. 표 3에서 보는 바와 같이 나노 소재가 혼입된 시험체의 경우가 혼입이 되지 않은 경우 보다 중량 감소가 큰 것을 볼 수 있었다. 이는 혼입된 나노 Alumina hydroxide가 약 200℃에서 분해하여 Aluminum oxide와 수분으로 분해되고, 분해된 수분이 증발되어짐에 따른 것으로 판단되어진다.

표 3 중량손실율

구 분	20℃	내화실험 후 중량		중량감소율	
		Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Type 1	11.97 kg	10.98 kg	-	8.2 %	-
	11.51 kg	-	10.64 kg	-	7.6 %
Type 3	11.39 kg	9.77 kg	-	14.2 %	-
	11.06 kg	-	10.11 kg	-	8.6 %

3.3 내부온도

기존의 내화피복재와 Alumina hydroxide 나노 소재가 혼입된 내화피복재의 고온가열에 따른 내부 온도의 변화를 측정한 결과는 Fig. 5~10과 같다. 1시간 내화성능을 측정 결과는 Fig. 8~10에서 보는 바와 같이 시험체 모두 내화성능에는 만족하는 성능을 보였지만, Test 1에서 얻어진 결과와 유사하게 Type 2, 3이 Type 1보다 우수한 내화성능을 보이는 것으로 나타났다. 1시간 내화 후의 최종 내부온도는 Type 1은 약 500℃를 나타냈으며, Type 2, 3는 약 400℃로써 약 100℃의 차이를 보였다. 특히, Type 1 시험체는 가열초기부터 내부온도가 급격하게 증가되어지는 것을 관찰할 수 있었지만, Type 2 및 3의 경우에는 가열 초기 10분 정도까지는 내부온도가 증가하였으나, 가열 10분 이후에는 내부온도의 증가율이 급격히 작아짐을 볼 수 있어 가열 초기의 내화성능이 우수해졌음을 볼 수 있었다. 이러한 경향은 나노 Alumina hydroxide가 열의 유입을 차단하고, 또한 분해되어진 Alumina hydroxide가 Alumina를 생성하여 조적을 치밀하게 함으로 인한 것으로 판단되어진다.

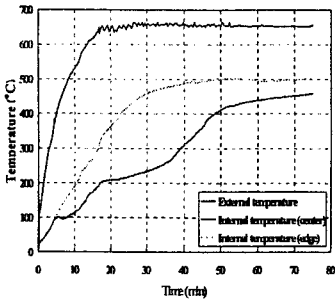


Fig. 5 The Internal temperature of Type 1 by test 1

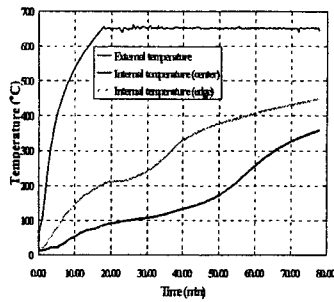


Fig. 6 The Internal temperature of Type 2 by test 1

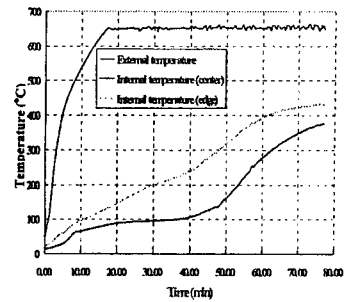


Fig. 7 The Internal temperature of Type 3 by test 1

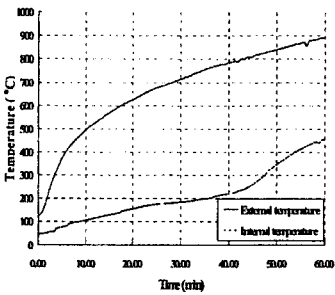


Fig. 8 The Internal temperature of Type 1 by test 2

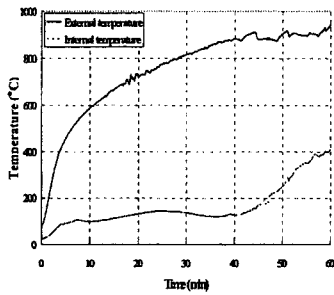


Fig. 9 The Internal temperature of Type 2 by test 2

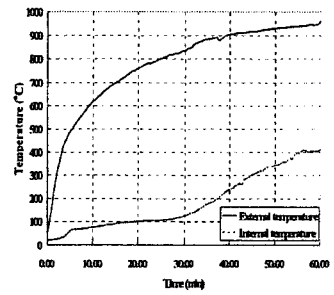


Fig. 10 The Internal temperature of Type 3 by test 2

4. 결론

본 연구에서는 나노소재를 건설분야로 응용하여 고성능의 건설소재를 개발하기 위한 일환으로 나노소재의 유무에 따른 내화피복재를 비교·분석을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 나노소재를 응용한 내화피복재는 고온으로 가열 후의 내부온도가 기존의 내화피복재에 비해 약 100°C 정도 낮아짐을 볼 수 있었으며, 특히 초기에 열에 대한 저항성이 우수한 내화 성능을 나타내는 것으로 판단되었다.
2. 나노소재가 혼입되어짐에 나노소재의 내화특성 뿐만 아니라, 치밀한 조직이 내화성능을 우수하게 만드는 요인으로 판단되어졌다.
3. 이상의 연구를 통하여 소량의 나노소재를 이용하여 보다 우수한 건설소재를 개발할 수 있음을 제시하였고, 앞으로 보다 많은 나노소재의 건설분야로의 응용연구는 기존에는 발휘할 수 없었던 고성능의 소재를 개발할 수 있는 기초가 되었다고 판단되어졌다.

참고문헌

1. 포항산업과학 연구원(1999) 강재 허용온도 산정연구
2. 포항산업과학 연구원(1995) 강구조 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구, 대한건축학회
3. 권인규(1999) 국내 강구조 내화구조 고찰 및 향후 발전 방향에 대한 제언, 한국강구조학회지, 제 11권 제 3호
4. 고병열, 김은선, 박영서(2002) 심층정보분석보고서 - 난연제
5. 허성무(2003) 나노소재를 이용한 콘크리트의 내화성능 개선연구, 한양대학교
6. 권인규(2002) 구조용 강재의 내화특성에 관한 실험적 연구, 한양대학교