

나노소재를 이용한 콘크리트의 내화성능향상 연구

A Study on Fire-Resistant Improvement of Concrete with nano size materials

조병완* 박종빈** 최해운**

Jo, Byung Wan Park, Jong Bin Choi, Hae Yun

ABSTRACT

Recently, Since the advanced nano technology develops unique physical and chemical properties different from those of the conventional materials. Normal concretes mixed with nano size materials have been studied to improve the fire-resistance with high strength and lower heat conductivity.

In this pilot study, the nano-particle contents in the specimens ($\Phi 10 \times 20$ cm) were 0, 2, 4, and 6% by weight of cement, and fire-temperatures 800°C was considered.

The results show that as the nano-particle contents increases, fire resistance of concrete are superior to those of the ordinary concrete. Also, the experimental results show that fire resistance of nano Aluminum hydroxide dispersed concrete are superior to those of the nano-SiO₂ concrete.

1. 서론

내화성이란 화재로부터 보호되고 고열환경에 견디는 재료적 특성으로써, 화재온도 $1,000^\circ\text{C}$ 정도의 고온에서 30분에서 3시간정도를 받은 경우 콘크리트 중에 매립된 철근등을 소정의 온도이하로 유지하기 위한 피복역할을 유지하면서 구조물의 큰 변형이나 붕괴등을 막기 위한 소요 압축강도 및 영계수 등의 성능을 가지고 있는 성질을 말한다. 일반적으로 콘크리트는 다른 구조재료에 비해서 열전도율 또는 열확산계수가 현저히 낮아서 구조체의 내화구조 또는 방화구조 재료로 널리 사용된다. 또한 콘크리트는 고온에서 완전붕괴에 도달하기까지의 에너지 소산 능력이 우수하기 때문에 화재 등과 같은 비상 상황에서 건물 사용자가 충분한 대피시간을 확보할 수 있도록 해준다. 그러나 이와같은 장점에도 불구하고 화재시 가열에 의해 콘크리트 구조물에는 구조전체에 걸쳐 열응력과 열변형에 의한 손상뿐 아니라 기동, 보, 바닥판 등에 폭열(爆裂)현상과 같은 국부적인 파괴가 생기게 된다.

이에 선진각국에서는 화재시 콘크리트의 응력 및 열변형에 의한 피해를 규명하기 위하여 석회암, 탄산염암 및 팽창골재 등을 사용한 콘크리트 고온의 열하중 충격시의 역학적 성질, 특히 응력과 변형의 관계에 대한 많은 시험과 연구가 수행되어 왔으며, 콘크리트의 취약성 등에 기인하는 변형 등에 대한 원인 규명이 이루어지고 있다. 또한 국내에서는 고온으로 가열하고 난 후 상온에서 냉각된 콘크리트를 대상으로 압축강도, 탄성계수등의 열적 특성에 대한 연구를 시작으로 고온에서의 콘크리트 재료 모델과 열거동해석에 대한 이론적 연구등이 이루어졌지만 콘크리트의 내화성능을 개선하기 위한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 나노분말소재 중 나노실리카 분말과 나노 Aluminum hydroxide을 콘크리트에

*정회원 · 한양대학교 토목공학과 정교수 · 공학박사
**정회원 : 한양대학교 토목공학과 박사과정

혼입하면 강도가 증대되고 열전도율이 낮아져 내화성능이 향상될 것이라는 점에 착안하여 고온에서 나노실리카 분말 혼입 콘크리트와 나노Aluminum hydroxide 혼입 콘크리트의 보통콘크리트와의 내부 온도 비교·검토하였다. 이를 위해 나노실리카 분말과 나노Aluminum hydroxide 혼입률은 0%, 2%, 4% 및 6%, 실험온도는 800℃로 설정하여 실험체(Φ10×20cm)를 제작, 내부온도 측정 등을 수행하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 규정된 규격을 만족하는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학조성 및 물리적 특성은 표 2.1 및 표 2.2와 같다.

표 2.1 시멘트의 물리적 성질

종류	비중	분말도 (cm^2/g)	응결시간(H)		압축강도(kgf/cm^2)		
			초결	종결	3일	7일	28일
보통	3.15	3.341	3.52	6.27	220	295	382

표 2.2 시멘트의 화학적 성분

성분	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	강열 감량	Free CaO
함량(%)	61.3	21.1	5.2	4.0	2.8	2.4	2.0	0.6

2.1.2 골재

잔골재는 표준모래를 사용하였으며, 최대치수 13mm인 쇄석 골재를 사용하였다. KS F 2502-2511 및 KS F 2531-2534의 시험방법에 따른 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 특성은 표 2.3과 같다.

표 2.3 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율(%)	조립율
잔골재(모래)	2.60	0.94	2.90
굵은골재(쇄석)	2.69	1.02	6.20

2.1.3 나노소재

콘크리트의 내화성능개선을 위해 사용된 나노분말소재는 국내 D사의순도 99.8%이며, 평균입경이 100nm인 나노실리카분말을 사용하였고, 침강법을 이용하여 평균입경이 100nm인 다각형 입형의 나노 Aluminum hydroxide 제조, 사용하였다.

2.3 콘크리트 배합 및 시험체

2.3.1 배합

본 연구에서 콘크리트 배합은 물-시멘트비를 0.50, 잔골재율을 0.42, 단위수량을 고정하고, 시멘트중량대비 나노소재량을 0, 2, 4, 6%혼입시켜 동일조건에서 열적 특성을 비교하였다. 이에 따른 배합표는 표 2.4와 같다.

표 2.4 배합계획표

No.	W/C (%)	잔골재율 (%)	중량배합(kg/m ³)					온도 (°C)	
			W	C	G	S	Nano		
N0	50	42	180	360	1101	771	0%	0	800
N2				352.8			7.2(2%)	silica	
								Aluminum	
N4				345.6			14.4(4%)	silica	
			Aluminum						
N6				338.4			21.6(6%)	silica	800
								Aluminum	

N6 나노실리카분말 6%

2.3.2 실험체 제작 및 방법

Φ10×20cm의 실험체를 제작하였으며, 상대적 열전도율을 측정하기 위한 내부온도측정용 실험체는 콘크리트가 초결이 시작되기 전에 K타입 열전대선을 시험체 중앙에 삽입하였고, 24시간 후 탈형하여 상온에서 28일간 공기중 양생을 실시하였다. 내부온도가 800°C이상의 콘크리트는 열적 특성에 있어서 큰 차이가 없다고 보고되어 지기 때문에 가열로의 로내온도 800°C로 고정하여 실험체를 가열하도록 하였다.

3. 결과 및 분석

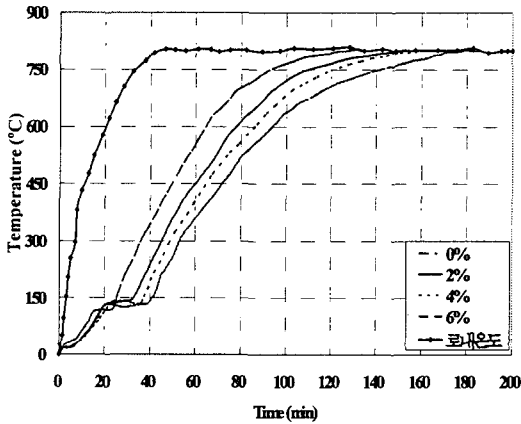


그림 3.1 nano silica를 혼입한 콘크리트의 800°C 가열에 따른 내부온도

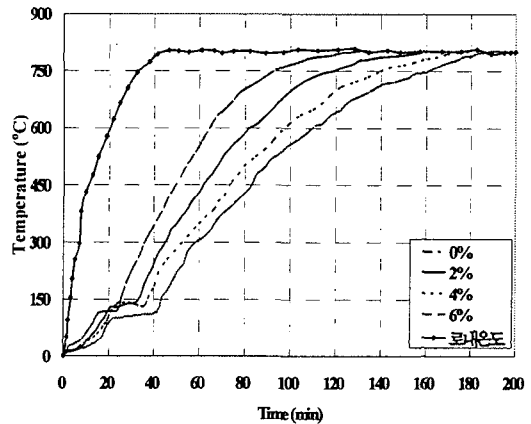


그림 3.2 nano Aluminum hydroxide를 혼입한 콘크리트의 800°C 가열에 따른 내부온도

그림 3.1과 그림 3.2에서 알수 있듯이 목표온도로 가열된 콘크리트는 120°C부근에서 내부온도가 일정하게 유지되었다가 다시 상승하는 것으로 나타났다. 이상과 같이 보통 콘크리트와 나노 분말을 혼입한 콘크리트는 고온 가열될 경우 내부온도 120°C부근에서 수증기가 발생하면서 내부온도 상승이 일시적으로 멈추었다가 다시 상승하는 것으로 나타나고 있다. 또한 나노소재를 혼입한 콘크리트는 혼입량이 많을수록 120°C부근에서 온도가 둔화되는 시간이 지연되는 것으로 보인다.

그림 3.1과 그림 3.2에서 보는바와 같이 500℃에 도달하는 시간은 보통콘크리트에서 약 50분으로 나타나고, 나노실리카 분말을 6%혼입한 콘크리트는 70분으로 보통 콘크리트의 도달시간이 약 20분정도 지연되고, 나노 Aluminum hydroxide 6%혼입한 콘크리트는 약 90분으로 보통 콘크리트의 도달시간이 약 40분정도 지연된다. 또한, 6% 나노실리카 분말을 혼입한 콘크리트는 일반콘크리트에 비해 목표 온도인 800℃에 도달하는 시간은 약 50분정도 지연되고, 6% 나노 Aluminum hydroxide를 혼입한 콘크리트는 일반콘크리트에 비해 약 70분정도 지연됨을 알 수 있다.

콘크리트의 내부온도 상승이 일시적으로 둔화되는 것은 콘크리트가 가열되면서 콘크리트 내부에 존재하는 잉여수, 모세관수, 흡착수, 층간수 및 화학적 결합수의 손실로 인해 발생하는 것으로 판단되며, 나노 Aluminum hydroxide가 나노실리카 분말보다 콘크리트가 가열되면서 내부의 열을 외부로 방출시키는 용이함으로써 온도 지연효과가 더 효과적이었으며, 열응력도 상대적으로 적게 발생하여 폭열에 대한 안전성이 증대된다.

4. 결론

보통 콘크리트와 나노소재를 혼입한 콘크리트의 열적 특성 비교 및 내화성능을 파악하기 위해 실험 방법에 따른 물리적 특성 평가를 실시하고 내부온도 측정 및 내화매커니즘을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 나노 소재를 혼입한 콘크리트와 기존의 콘크리트는 120℃부근에서 콘크리트 내부에 존재하는 잉여수, 모세관수, 흡착수, 층간수 및 화학적 결합수에 일부가 수증기로 방출됨으로서 온도지연효과가 있었다.

2. 나노실리카를 혼입한 콘크리트는 내부온도가 800℃가 될 때까지 약 50분 정도 지연됨을 알 수 있었고, 나노 Aluminum hydroxide를 혼입한 콘크리트는 내부온도가 800℃가 될 때까지 약 70분정도 지연됨을 알 수 있었다. 이는, 두 종류의 나노소재가 내화성능에 향상을 보임을 알 수 있었고, 또한, 나노 Aluminum hydroxide가 나노실리카 분말보다 콘크리트가 가열되면서 내부의 열을 외부로 방출시키는 용이함으로써 온도 지연효과가 더 효과적이었으며, 열응력도 상대적으로 적게 발생하여 폭열에 대한 안전성이 증대된다.

3. 본 실험에서 구한 고온에서의 내부온도 증가면에서는 보통콘크리트와 비교하여 나노소재를 이용한 건설용 구조재료로서의 사용이 가능할거라 판단되어진다.

참고문헌

1. Hui Li, and Hui-gang Xiao, Microstructure of cement mortar with nano-particles, Harbin Institute of Technology, School of Civil Engineering, Harbin, Composites, 2003
2. 김홍렬, 고온영역에서 고강도 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 건국대학교 대학원 박사학위논문, 2002
3. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, (사)콘크리트학회, 서울, P255-258, 1999
4. 김화중, 고열을 받는 콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1979
5. 김홍렬, 이세현, 서치호, 고온가열시 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 제18권 제 118, 2002
6. 방재시험연구원, 내화성능 시험방법에 관한 연구, 이천, pp.14-16, 1992
7. 서치호외 5인, 강구조 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구, 대한건축학회, 1995
8. 서치호외 4인, 내화구조의 대상 및 성능기준 연구, 방재시험연구원, 이천, 1999