

나노 시멘트를 이용한 고강도 콘크리트의 특성

Characteristics of high-performance concrete with nano size cement

조 병 완* 박 증 빈** 최 해 윤**
Jo, Byung Wan Park, Jong Bin Choi, Hae Yun

ABSTRACT

Nanoscale materials are of great interest due to their unique optical, electrical and magnetic properties. Due to the recent amazing achievements in nano technology, new materials were developed. But these nano technology is not apply to the construction part in spite of excellent properties of nano size material.

The purpose of this study is to apply to nano technology into building materials. To develop the high performance concrete, nano cement particles is prepared by mechanical method. In the results of this study, the nano silica powder increase effect according to increase of the mixing amount, appeared that compressive strength increased but is limit in increment. For the production of high-strength concrete, nano silica powder was suitable the binder ratio from 20%. And, the compressive strength of concrete are especially dependent on the curing temperature.

1. 서론

최근 나노의 기술이 급속도로 발전하고 있고, 다양한 분야에서 적용되어지거나 응용하기 위한 연구가 진행되어지고 있다. 선진국에서는 첨단 소재를 비롯하여 전자, 환경, 에너지관련 분야뿐만 아니라, 우주과학에 이르기까지 다양하게 연구가 진행되고 있다. 하지만 국내의 기술은 아직까지 한정된 전자소재 분야에서만 응용되어지고 있다. 이러한 나노기술은 원자, 분자 수준에서 새로운 특성의 소재를 제조, 응용하는 기술로써 건설소재 분야에서 첨단 소재 개발로서 응용연구가 필요할 것으로 판단되어진다.

본 연구에서는 21세기 첨단 나노 산업시대에 고부가가치 성장동력산업으로 시멘트 건설소재 산업을 발전시키기 위해 시멘트 입자의 나노화를 기계적 방법(Mechanical alloying)으로 제조하여, 나노 시멘트를 이용한 고강도화에 유리한 배합을 찾고, 이러한 나노시멘트의 종류와 일반다짐과 가압다짐의 압축강도 차이를 비교하였으며, 20℃수중양생, 90℃건조양생, 재령별 90℃수중양생을 실시하여 7일, 14일, 28일, 압축강도를 비교하였으며, 공극률 분석을 통한 공시체의 역학적 특성을 규명하였다.

2 실험개요

본 연구에서는 나노기술을 이용한 콘크리트의 고강도 및 고성능화 연구를 하기 위하여 기존의 마이

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

**정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

크로 시멘트 입자를 나노화하였으며, 입자의 나노화에 따른 배합설계를 하였다. 또한 콘크리트의 잔골재율과 다짐 및 양생 방법에 따른 역학적 특성을 규명하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 비중과 비표면적이 각각 3.15, 3,112cm²/g인 보통포틀랜드 시멘트와 3.01, 4,270cm²/g인 벨라이트 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 골재

본 연구는 일반적인 콘크리트의 골재 크기를 전체적으로 미립화하여 굵은 골재는 입도가 100~600um이고 비중이 2.60인 규사를 사용하였으며, 잔골재는 입도크기가 150um이고 비중이 3.10인 SiC를 사용하였다. 특히 SiC는 기계적/화학적 특성이 우수하고, 강산, 강알칼리, Slurry함유수 등 다양한 환경에 적용할 수 있는 것으로 판단되어 고강도이면서 고성능화에 유리할 것으로 판단하였다.

2.1.3 혼화재료

콘크리트의 고강도화를 위하여 포졸란 반응을 일으키도록 평균입경이 약 0.1μm이며, SiO₂ 성분이 95.11% 이고 비표면적이 22.5m²/g인 구형 실리카 흙과 SiO₂나노분말로 순도 99.8%이고 평균입경이 40nm이며, 비표면적은 65m²/g인 국내 D사의 나노실리카를 사용하였다. 또한 고강도 콘크리트의 적절한 시공성을 확보하기 위해서는 폴리카르본사계인 고성능 AE감수제를 사용하였다.

2.2 실험 내용

2.2.1 콘크리트 배합

본 연구에서 표 1에서 보는 바와 같이 W/B의 비율 및 규사/SiC의 비율에 따른 압축강도 측정을 실시하였다. 1차 실험을 토대로 하여, 고강도화를 위하여 선 모르타르 방식 믹싱을 함으로써 보다 재료의 분산이 우수하도록 하였다. 양생은 가압다짐 후, 건조양생 및 수중양생을 실시하였다.

표 1 배합계획표

No.	W/B (%)	중량배합(kg/m ³)					가압다짐 (MPa)
		Water	Nano Belite Cement	Quartz sand	SiC	Nano Silica	
SP 1-1	20	176	800	1120	320	80	0
SP 1-2	20	184	800	1120	320	120	
SP 1-3	20	192	800	1120	320	160	
SP 1-4	20	200	800	1120	320	200	
SP 2-1	20	264	1120	1568	448	112	10
SP 2-2	20	258	1120	1568	448	168	
SP 2-3	20	269	1120	1568	448	224	
SP 2-4	20	280	1120	1568	448	280	

3. 결과 및 분석

나노 실리카 혼입률에 따른 보통 다짐과 가압다짐에 의한 양생별 압축강도와의 관계는 그림 1~

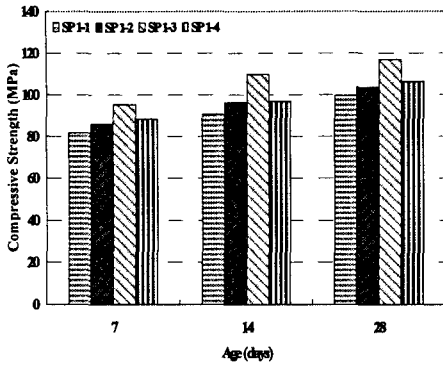


그림 2 일반다짐 공시체 90°C 건조양생

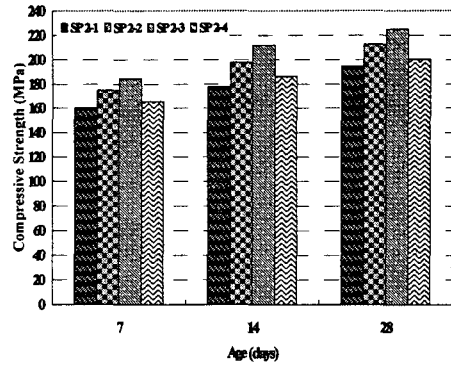


그림 3 가압다짐 공시체 90°C 수중양생

2와 같다. 20°C 수중양생의 경우 가압다짐을 한 경우가 일반 다짐을 한 경우보다 전체적으로 압축강도 향상이 되었고, 20°C 수중양생의 경우 같은 배합에 대한 28일 압축강도가 최대 약 28%까지 압축강도 향상을 보였다. 또한, 가압다짐 유무에 상관없이 나노 실리카 함량이 나노 시멘트 대비 20%인 경우에서 최대 압축강도를 나타내었으며, 20%를 초과할 경우 압축강도가 저하되는 결과가 나왔다.

90°C 건조양생의 경우 20°C 수중양생과 마찬가지로 가압다짐을 한 경우가 일반 다짐을 한 경우보다 전체적으로 압축강도 향상이 되었고, 90°C 건조양생의 경우 같은 배합에 대한 28일 압축강도가 최대 약 20%까지 압축강도 향상을 보였다. 또한, 가압다짐 유무에 상관없이 나노 실리카 함량이 나노 시멘트 대비 20%인 경우에서 최대 압축강도를 나타내었으며, 20%를 초과할 경우 압축강도가 저하되는 결과가 나왔다. 20°C 수중양생과 90°C 건조양생의 결과로 보아 가압다짐을 한 경우, 일반다짐을 한 경우보다 입자와 입자사이가 치밀해짐으로 공극의 크기가 줄어들고 적어짐으로써 압축강도 향상이 되었고, 나노 실리카 함량도 수화 생성물 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하는 양도 적정량이 있어야 높은 압축강도를 발휘하고, 그 이상의 함량이 첨가하면 오히려 강도가 저하됨으로 판명되었다. 90°C 수중양생 역시, 20°C 수중양생과 90°C 건조양생에서 보는바와 같이 가압다짐을 한 경우가 일반다짐을 한 경우보다 전체적으로 압축강도 향상이 되었고, 같은 배합에 대한 28일 압축강도가 최대 약 21%까지 압축강도 향상을 보였다. 나노 실리카 함량이 나노 시멘트 대비 20%인 경우에서 최대 압축강도를 나타내었으며, 20%를 초과할 경우 압축강도가 저하되는 결과가 나왔다. 90°C 수중양생에서 같은 배합시 모두 가압다짐을 한 경우가 일반 다짐을 한 경우보다 전체적으로 압축강도 향상이 되었고, 90°C 수중양생 일수가 많을수록 압축강도가 향상되었으며, 압축강도 상승률은 90°C 수중양생일수가 많을수록 둔화되는 경향을 보였다. 가압다짐의 나노실리카 함량 20%인 공시체에서 20°C 수중양생의 경우보다 90°C 수중양생에서의 경우 압축

표 2 90°C 수중양생의 재령과 압축강도와의 관계

No.	재령과 압축강도의 관계	상관계수(R^2)	No.	재령과 압축강도의 관계	상관계수(R^2)
SP 1-1	$f=103.44X^{0.1381}$	$R^2=0.9996$	SP 2-1	$f=122.92X^{0.1382}$	$R^2=0.9984$
SP 1-2	$f=109.54X^{0.1426}$	$R^2=0.9859$	SP 2-2	$f=134.09X^{0.1408}$	$R^2=0.9787$
SP 1-3	$f=123.38X^{0.1483}$	$R^2=0.9719$	SP 2-3	$f=141.58X^{0.1426}$	$R^2=0.9489$
SP 1-4	$f=108.92X^{0.1367}$	$R^2=0.9917$	SP 2-4	$f=127.31X^{0.1382}$	$R^2=0.9807$

f : 재령에 따른 압축강도

X : 재령일수

강도가 약 100% 압축강도가 향상되었다. 또한, 90℃건조양생과 비교하면, 약 62%의 압축강도가 향상됨을 보였다. 이러한 결과로 보아 90℃수중양생을 할 경우 나노실리카와 수화 생성물 Ca(OH)_2 와의 포졸란 반응이 활발히 진행되어 20℃수중양생을 한 경우보다 압축강도가 크게 향상됨을 알 수 있었다. 포졸란 반응을 촉진시켜 압축강도를 향상시키는데에는 90℃양생 초기에 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 본 연구의 20℃수중양생의 재령과 압축강도와의 관계를 회귀분석한 결과 도출된 제안식은 다음 표 2와 같으며, 제안식과 측정값과의 상관계수는 90%이상으로 상관관계가 매우 높게 나타났다.

제4장 결론

나노의 특성을 이용한 고성능 고기능 건설소재를 개발하기 위한 연구의 일환으로 나노 시멘트를 개발하여 고강도에 유리한 새로운 배합방법, 양생방법, 다짐방법을 연구하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 7일 압축강도 결과, 굵은골재와 잔골재의 세립화로 인한 새로운 적정 비율이 필요했으며 $\text{G/SiC}=3.5$ (잔골재율=0.78)인 경우가 최고의 압축강도를 나타내었다. 또한 나노실리카를 사용하였을 때에는 나노 시멘트수화물이 마이크로 시멘트 수화물보다 공극이 미세해지고 그 공극을 메워주고, 골재간의 interlocking이 잘 이루어져 콘크리트가 치밀해지는 효과를 나타내었을 것으로 판단되었다.
2. 각 재령에 따른 압축강도 결과, 각 재령마다 90℃수중양생이 가장 높은 압축강도를 나타내었고, 또한, 90℃수중양생시 초기에는 압축강도 상승률이 컸으나 시간이 지날수록 압축강도 상승률은 저하되었으며, 90도 수중양생 일수가 길수록 더 높은 압축강도가 발현됨을 알 수 있었다. 다짐의 경우, 일반다짐을 하는 경우보다 가압다짐을 하는 경우가 높은 압축강도를 나타내었다. 이는 90℃에서 나노 실리카의 포졸란 반응이 촉진되어 수화물이 생성을 많아지고 공극도 작아지는 효과를 얻었고, 가압다짐의 경우 입자와 입자사이가 치밀해짐으로 공극이 크기가 줄어들어 압축강도 향상을 가져온 것으로 판단된다.
3. 본 연구를 통하여 보통 마이크로 시멘트 입자의 나노화가 가능하며, 나노 시멘트가 일반 마이크로 시멘트보다 치밀해짐을 확인하였고, 내구성도 일반 마이크로 시멘트보다 나노시멘트가 좋아질 것이라 판단된다. 앞으로 계속적인 연구가 이루어진다면 보다 우수한 고부가가치의 나노 시멘트, 신개념의 건설재료가 개발할 수 있을 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 김무한, "고강도 영역 콘크리트의 경제적 개발과 그 실용화에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제 12권 제 7호, 1996, pp. 313~324.
2. 김무한, "압축강도 3116kgf/cm² 초고강도 콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구", 한국 콘크리트 학회 춘계학술발표회 논문집, 제9권 1호, 1997, pp. 323~328.
3. 문한영, 김기형, "고성능 콘크리트의 제조, 특성 및 활용에 대한 고찰," 도로기술 세미나, 한국도로공사, 1995, pp. 1~68.
4. Hui Li, and Hui-gang Xiao, "Microstructure of cement mortar with nano-particles", Harbin Institute of Technology, school of Civil Engineering, Harbin, Composite, 2003
5. P. Richard, Reactive powder concrete: A new ultra-high strength cementitious materials, in: 4th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Paris, 1996, pp. 1343 - 1349.