

## 비소성시멘트를 사용한 모르타의 물리적 특성에 관한 기초적연구

## A Fundamental Study on Properties of Mortar using Non-Sintered Cement

○김 한 식\*      최 맹 기\*      한 다 희\*\*      박 희 곤\*\*      백 민 수\*\*\*      정 상 진\*\*\*\*  
Kim, Han-sic      Choi, Maeng-Ki      Han, Da-Hee      Park, Hee-Gon      Paik, Min-Su      Jung, Sang-Jin

## Abstract

The world's cement demand is anticipated to increase about 2.558% every year until the first half of the 21st century. To be closed the increase of cement demand and simultaneously comply with the Kyoto Protocol, cement that gives less carbon dioxide(Co<sub>2</sub>) discharge should be urgently developed. If cement can be manufactured with industrial byproducts such as granulated blast furnace slag(GBFS), phosphogypsum(PG), and waste lime(WL) instead of clinker as its counterproposal, there would be many advantages including maximum use of these industrial byproducts for high value-added resources, conservation of natural resources and energy by omitting the use of clinker, minimized environmental pollution problems caused by Co<sub>2</sub> discharge and reduction of the cost. So this study aims to solve the problems by manufacturing non-sintered cement.

키워드 : 비소성 시멘트, 고로슬래그, 인산석고, 폐석회, 혼화재, 모르타 압축강도

Keywords : non-sintered cement, granulated blast furnace slag, phosphogypsum, waste lime, admixture, compressive strength of mortar

## 1. 서 론

국내에서 전혀 활용되고 있지 않은 산업폐기물인 폐석고(3,000만톤)와 폐석회(320만톤)는 적치장에 방치되고 있는 실정이다. 이러한 폐석고와 폐석회를 시멘트의 부재료로 사용하여 이용하는 클링커 무함유 비소성 시멘트를 고부가가치 자원으로의 개발과 대량 처리할 수 있는 방안으로써 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘)의 결합재로 사용하고자 한다. 그러나, 레디믹스트 콘크리트의 결합재로 사용되고 있는 기존의 시멘트와 비교하여 성능평가 및 현장 적용성에 관한 충분한 검토가 이루어 지지 않는다면 그 이용량의 확대를 도모할 수가 없을 것이다. 따라서, 본 연구에서는 폐석고와 폐석회를 시멘트의 부재료로 사용하여 이용하는 클링커 무함유 시멘트(이하 비소성 시멘트)를 레디믹스트 콘크리트의 시멘트 대체재로 사용하여 현재 일반적으로 사용되어지는 혼화재료와의 사용 안정성을 확인하기 위하여 보통포틀랜드 시멘트 및 비소성시멘트를 사용한 모르타에 플라이애시 및 실리카흄을 치환, 굳지 않은 모르타 실험 및 수중 및 증기양생에 따른 압축강도를 비교하여 혼화재의 사용에 따른 적합성 여부를 검토하는데 목적이 있다.

## 2. 실험재료 및 계획

## 2.1 사용재료

본 실험에 사용된 재료는 우선, 결합재로 비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, 이하 NSC)와 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 사용하였으며, 사용시멘트의 물리적 성질은 표 1과 같다. 혼화재로는 플라이애시, 실리카흄을 사용하였고 물리적 성질은 표 2와 같다. 잔골재로는 인천산 세척사를 사용하였고, 혼화제는 폴리카본산계 고성능 AB감수제를 사용하였다.

표 1. 비소성 및 보통포틀랜드 시멘트 물리적 특성

구분	Blaine(g/cm <sup>3</sup> )	Specific gravity
GBFS	4,600	2.91
SL	5,400	2.27
WL	4,100	2.22
OPC	3,300	3.15

표 2. 플라이애시 및 실리카흄의 물리적 특성

구분	생산지	강열감량 (%)	비중	SiO <sub>2</sub> (%)	습분 (%)
플라이애시	보령	3.75	2.18	59.7	0.11
실리카흄	캐나다	1.0	2.14	94.0	0.2

## 2.2 실험방법

## 1) 굳지 않은 모르타 실험

굳지 않은 모르타 실험의 플로우는 KS L 5111의(시멘트 시험용 플로우 테이블 시험)규격을 근거하여 실험을 실시하였다.

\* 단국대학교 대학원 석사과정

\*\* 단국대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 단국대학교 공학박사

\*\*\*\* 단국대학교 건축공학과 교수

## 2) 굳은 모르터 실험

### (1) 표준양생에 따른 압축강도 시험

본 실험은 혼화제를 사용한 굳은 모르터 실험으로 각 시험체를 표준양생을 통하여 KS L 5105(시멘트 모르터의 압축강도 시험방법)에 의거하여, 재령 1, 7, 28일에 압축강도를 측정하였다.

### (2) 증기양생에 따른 압축강도 시험

본 실험은 모르터의 상압증기양생법에 의한 압축강도 발전 특성을 검토하기 위한 것으로 전 양생의 영향을 Saul1)2)의 실험결과에 준하여 [그림 1]의 순서로 시험체를 제작하여 재령별 수증양생의 순서로 실험 방법을 선택하여 재령별 1, 3, 28일의 압축강도를 측정하였다.

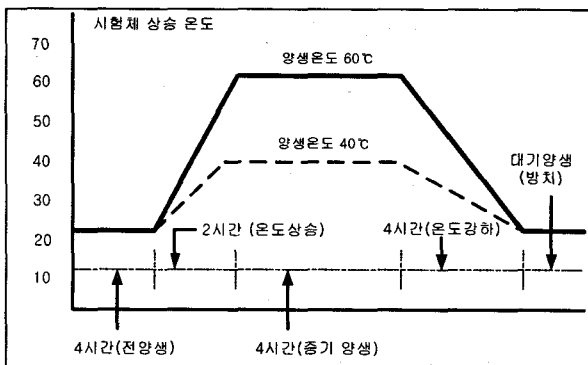


그림 1. 증기양생 과정

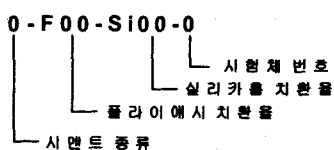
## 2.3 배합

본 실험의 배합은 시멘트를 OPC 및 NSC로 각각 구분하여 물시멘트비는 각 시멘트별 40%, 시멘트-잔골재비는 1:1.5로 고정하였으며, 혼화제로는 고성능AE감수제는 단위결합재량 대비 0.75%로 결정하였다. 아울러, 각각의 혼화제를 치환율은 <표 3에>과 같다.

표 3. 혼화제를 사용한 모르터 배합

구분	시험체명	W/C (%)	S/B	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					SP (%)
				W	C	S	F	Si	
OPC	P-F0-Si0-1	40	1.5	305	762	1144	-	-	0.75
	P-F10-Si0-2				686		76	-	
	P-F0-Si10-3				686		-	76	
	P-F5-Si10-4				648		38	76	
NSC	N-F0-Si0-1	40	1.5	292	730	1095	-	-	0.75
	N-F10-Si0-2				657		73	-	
	N-F0-Si10-3				657		-	73	
	N-F5-Si10-4				620		37	73	

P: OPC, N: NSC, SP: 고성능 AE 감수제



1) A.G.A.Saul, "Steam curing and its effect upon mix design", London, Cement and Concrete Association, 1954, pp132

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 모르터 특성

혼화제를 사용한 OPC 및 NSC 모르터의 플로우를 [그림 2]에 나타내었다. 전반적으로 OPC 및 NSC 모르터 모두에서 플라이애시를 치환한 시험체가 가장 높은 플로우 값을 나타내었는데, 이는 플라이애시의 구형 입자에 의한 볼베어링(Ball-Bearing)효과가 OPC 및 NSC에 모두 작용한 것으로 생각된다. 아울러, 실리카흙을 치환한 시험체에서는 OPC 및 NSC 모르터 모두에서 가장 작은 값을 나타내었는데, 이는 친수성을 가진 실리카흙이 OPC 및 NSC 페이스트에 겔층을 형성하여 자유수의 이동을 억제하였기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

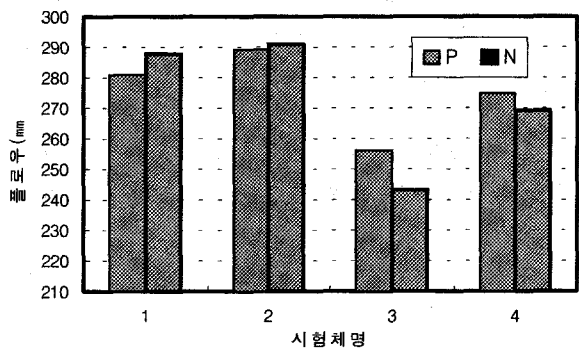
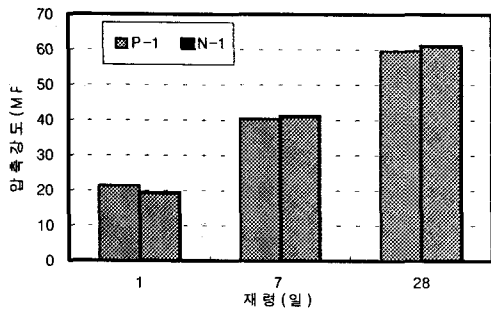


그림 2. 시멘트별 플로우 결과

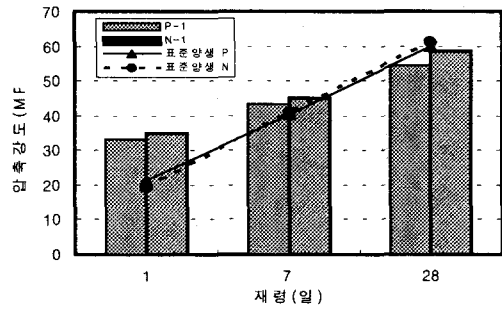
### 3.2 굳은 모르터 특성

비소성 시멘트를 사용한 모르터에 혼화제(실리카흙, 플라이애시) 치환유무에 따른 표준수증 양생한 압축강도성상을 [그림 3]과 같이 확인하였다.

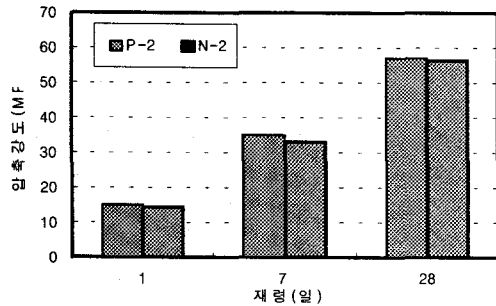
그림에 따르면, OPC 및 NSC를 사용한 모르터의 압축강도성상 중 초기강도는 약 2MPa 범위 정도의 강도저하를 보이거나 7일 재령 이후 유사한 강도성상을 확인함으로써 GBFS의 잠재수경성의 특성을 확인할 수 있었다. 이러한, 경향은 혼화제인 실리카흙과 플라이애시를 혼입한 콘크리트 역시 동일 재령에서 강도성상만이 상이할 뿐 강도 발전에 있어서는 유사한 경향을 확인하고 있으며, 다만, 혼화제 치환에 따른 특성인 포졸란 반응성과 공극감소 특성으로 인하여 강도성상의 변화를 확인하고 있다. 즉, 플라이애시를 혼입한 경우 포졸란 반응으로 인하여 28일까지의 전재령에서 OPC 대비 낮은 강도를 보이고 있다. 반면, 실리카흙을 치환한 경우 높은 분말도를 통한 콘크리트의 조직 밀실도를 증가시켜, 28일 재령 20MPa 이상의 강도 증진 효과를 확인하였다. 또한, 플라이애시 및 실리카흙을 동시 치환한 시험체의 경우 OPC 대비 다소 높은 강도 성상과 함께 NSC 사용에 따른 초기강도 저하 현상에 영향을 최소화하고 있는 것으로 확인하고 있다.



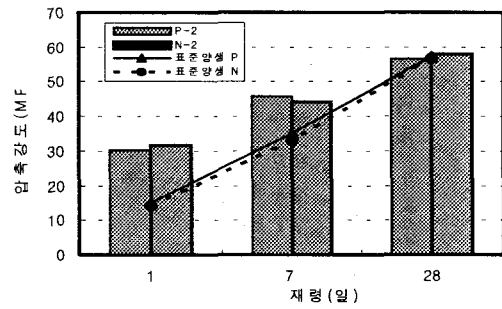
(a) 혼화재 무치환 시험체



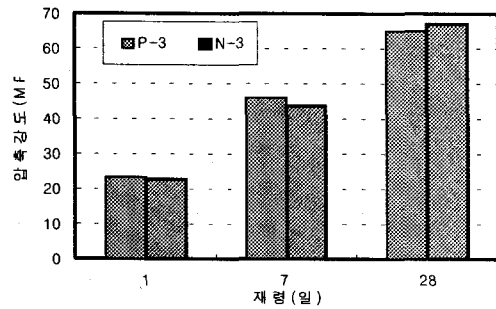
(a) 혼화재 무치환 시험체



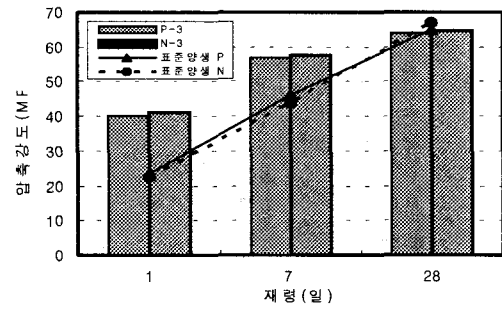
(b) 플라이애시 치환 시험체



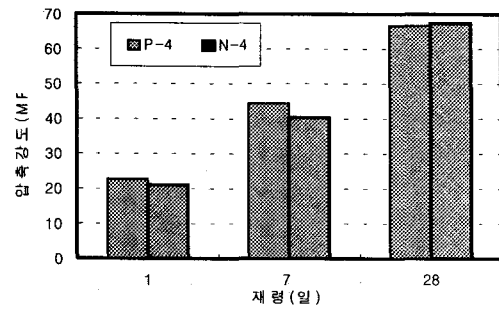
(b) 플라이애시 치환 시험체



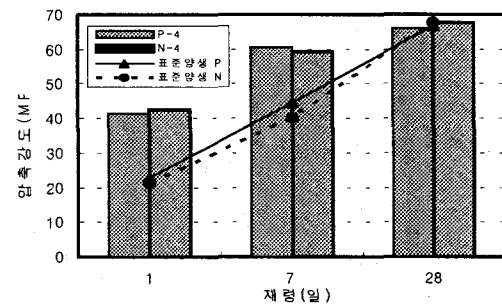
(c) 실리카흙 치환 시험체



(c) 실리카흙 치환 시험체



(d) 플라이애시 실리카흙 동시 치환 시험체



(d) 플라이애시 실리카흙 동시 치환 시험체

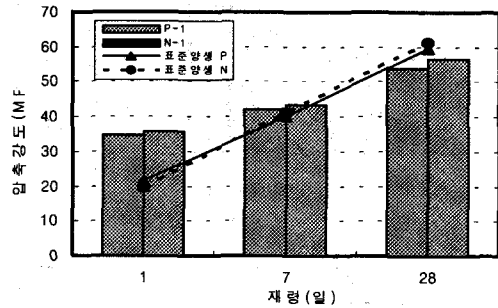
그림 3. 혼화재 치환유무에 따른 압축강도(표준수중양생 압축강도(표준수중양생))

그림 4. 증기양생 온도 40°C의 압축강도

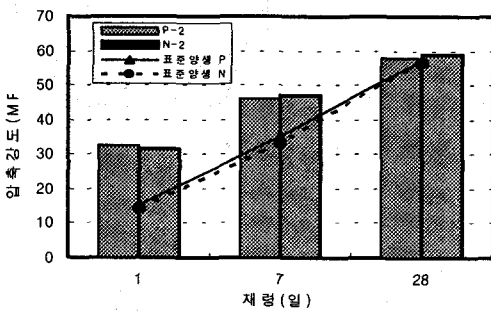
아울러, 동일 배합의 시험체의 증기양생을 통하여 초기 수화 이력을 빨리 진행시켜 강도성상을 확인한 결과를 [그림 4] 및 [그림 5]와 같이 살펴보면, 전체적으로 표준수중양생한 시험체와 비교하여 초기 강도에서는 10~18MPa 이상 높은 강도 발현을 확인하고 있으나 28일 재령에서는 증기양생한 시험체의 강도발현율이 저하되어 표준수중양생한 시험체와 유사한 것으로 나타내고 있다.

상기 결과처럼, 증기양생을 통하여 콘크리트에 미치는 영향을 최소화시킬 수 있는 방안으로서, 증기 양생을 통하여 수화 반응을 가속화시켜, 시멘트의 결정구조를 형성시키는 시기가 빨라져 고로슬래그 미분말 혼합으로 발생할 수 있는 초기강도 저하를 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료되나, 상기한 결과를 통하여 시험체 탈형 후 점진적인 시멘트 수화에 따른 강도 발현이 이루어져야 하나, 초기 급속한 수화에 따라 장기 시멘트 수화에 필요한 잔여잉여수분의 부족과 함께 높은 온도 양생

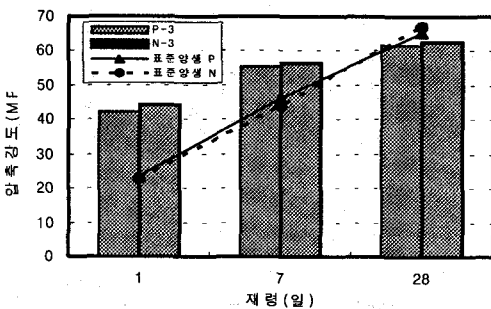
으로 발생되는 콘크리트 조직내 미세크랙 등의 발생으로 인하여 강도 저하(60°C 증기양생 시험체)가 예상되고 있는 등의 문제점이 내포하고 있는 것으로 사료된다.



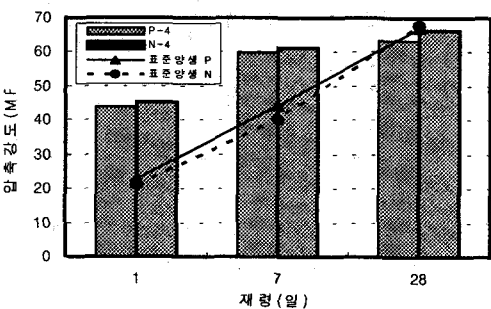
(a) 혼화제 무치환 시험체



(b) 플라이애시 치환 시험체



(c) 실리카흄 치환 시험체



(d) 플라이애시 실리카흄 동시 치환 시험체  
 그림 5. 증기양생 온도 60°C의 압축강도

#### 4. 결 론

본 연구에서는 비소성 시멘트를 사용한 모르터의 특성에 관한 기초적인 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각각의 혼화제(플라이애시, 실리카흄)를 치환한 OPC 와 NSC 모르터의 플로우를 비교한 결과, 기준이 되는 혼화제 무치환 시험체에서와 플라이애시를 치환한 시험체에서 OPC 모르터 보다 NSC 모르터의 플로우가 높게 나타났으나 실리카흄이 치환된 3번과 4번 시험체의 경우 OPC 모르터 보다 NSC 모르터의 플로우 값이 저하되는 경향을 나타내어 NSC를 사용한 모르터에 실리카흄을 치환할 시 플로우 범위 설정에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 각종 혼화제를 첨가한 OPC 모르터의 압축강도성상을 기준으로 NSC 모르터의 압축강도 성상을 비교한 결과 특이 점을 발견할 수 없어, 혼화제의 특성만 고려한다면 추후 NSC를 사용한 모르터나 콘크리트에 각종 혼화제에 따른 적용성 문제는 충분히 가능할 것으로 사료된다.
- 3) OPC 및 NSC 모르터의 동일 배합 시험체의 증기양생을 통하여 초기 수화이력을 빨리 진행시켜 강도성상을 확인한 결과, 전체 시험체에서 표준수중양생한 시험체와 비교하여 초기 강도에서 높은 강도 발현을 확인하고 있으나 28일 재령에서는 증기양생한 시험체의 강도발현율이 저하되어 표준수중양생한 시험체와 유사한 것으로 나타내고 있으며, 표준수중양생한 시험체와는 달리 초기강도에서 NSC 시험체가 OPC와 유사한 경향을 나타냄으로써 NSC 사용에 따른 초기강도 저하 현상이 미미한 것으로 확인하고 있다. 따라서, OPC 대비 NSC의 적극적인 활용을 위해서는 증기양생 등 외부에서의 물리적인 조치보다는 적절한 혼화제의 사용과 함께 표준수중양생한 시험체의 강도성상이 안정적인 것으로 판단되는바 이에 대한 적극적인 노력이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정상진의 10인, "건축재료학", 보성각, 1999
2. 한천구의 5인, "건축재료실험", 기문당, 2003
3. 소양섭, 문경주, "자극제 종류에 따른 고로슬래그 시멘트모르타르의 특성", 대한건축학회논문집, 제18권 8호, pp.20-27, 2002
4. T. Umoto and K. Kobayashi, 1st Int. Cong. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, ACI, SP-79, Detroit, Vol. 2