

미분쇄 플라이애쉬를 사용한 모르타르의 압축강도 발현성상에 대한 실험적 연구

Experimental Study on Development of Compressive Strength in Using by Micro-grinding Fly-ash

김 종 협*
Kim, Jong Hyup

최 광 윤*
Choi, Kwang Yun

최 영 화**
Choi, Young Hwa

정 재 동**
Jaung, Jae Dong

ABSTRACT

In the study, the effect of the replacement content(20, 40, 60, 80%) and particle fineness and the chemical activator of the fly-ash on the flow and strength development of mortar was investigated. We found that the higher ratio of the fly-ash replacement produced the lower the mortar strength and the higher fineness of the fly-ash yielded the higher strength.

Also, we used Na_2SO_4 as an activator of fly-ash to rise compressive strength mortar.

The result as follows: the fly-ash mortar which stimulated by chemical activator, was higher strength development at early age than the fly-ash mortar without chemical activator. But in the late age, the result indicated adversely.

1. 서론

1.1 연구의 목적

화력발전소에서 대량으로 발생되는 플라이애쉬는 그 대부분이 매립처리되고 있으며, 최근에는 환경 문제 등의 유발 및 매립지의 부족으로 그 처리에 고심하고 있다. 그리고 플라이애쉬의 일부는 시멘트 및 콘크리트의 혼합재로서 사용되고 있으나 대량 첨가시 콘크리트 강도의 부족 및 AE제 사용량이 증가 등의 문제로 그 이용이 제한되고 있다. 본 연구에서는 산업폐기물인 플라이애쉬의 고부가가치적 이용을 목표로, 플라이애쉬의 물성을 개량하여 수화활성을 높이기 위하여 플라이애쉬 입자의 미분쇄와 함께 포졸란반응의 자극제로서 황산나트륨(Na_2SO_4)의 사용가능성을 검토하여 강도증진을 꾀함으로써, 각종 시멘트계 전자재료의 이용율을 높이는 것을 그 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 분말도 $3500\text{cm}^2/\text{g}$ 정도의 일반적으로 사용되는 플라이애쉬를 $6000\sim 8000\text{cm}^2/\text{g}$ 정도로 미분쇄하고, 이렇게 높아진 분말도로서 수화활성을 도모한다.

또한, 본 연구에서는 종래의 20~30% 정도의 플라이애쉬 첨가율보다 훨씬 많은 60, 80%까지 플라이애쉬를 첨가하여 그 영향을 실험적으로 평가하였으며, 다량첨가에 따른 강도의 저하를 보완하기 위하

* 정희원, 대구대학교 건축공학과 대학원 석사과정

** 정희원, 대구대학교 건축공학과 교수

본 논문은 대구대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행하였음.

여 자극제로서 황산나트륨을 첨가하고 그 효과를 검토하였다.

실험에서는 모르타르 공시체를 이용하여 플로우값, 응결시간 및 강도발현성상에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 실험계획

분쇄한 플라이애쉬를 분말도별로 분급(3500cm²/g, 6000cm²/g, 8000cm²/g)한 후, 시멘트 중량의 20, 40, 60 및 80%까지 치환하였다. 또한 사용한 물은 일반 상수도수와 시멘트의 중량의 5%의 Na₂SO₄의 수용액을 사용하여 KS L 5111에 준하여 플로우 시험과 KS L 5405에 준하여 압축공시체를 제작한 후, 24시간 20℃, 습도 95%이상의 항온항습실에서 양생하고 그 이후로는 측정일까지 수중양생을 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 A사의 1종 보통 포틀랜드시멘트이며 그 물리적 특성은 표1에 나타내었다. 사용 잔골재로서는 주문된 표준사를 사용하였으며 기건상태로 사용하였다.

사용한 플라이애쉬는 보령산 F급을 사용하였으며 그 물리적·화학적 성질은 표2, 3과 같다. 혼합수로는 상수도를 사용하였으며, 한편 자극제로서 순도 99.5%의 Na₂SO₄를 시멘트 중량의 5%를 물과 함께 섞어 상온에서 완전히 용해시킨 후, 수용액으로 사용하였다.

2.3 공시체의 배합

본 실험에서는 미분말의 첨가와 함께, 자극제의 첨가에 따른 강도발현을 검토하기 위하여 모르타르 공시체를 사용하였다. 사용된 배합은 KS L 5105의 시멘트 압축강도 시험규준에 준하여 시멘트 : 모래 : 물의 비율을 1 : 2.45 : 0.485로 하였으며, 플라이애쉬는 시멘트에 대한 중량비로서 20, 40, 60, 80%로 치환하였으며, Na₂SO₄는 단위수량의 5%를 사용하였다. 사용된 배합표는 표4에 나타내었다.

표1. 사용 시멘트의 물리적 특성

Specific gravity [g/cm ³]	Fineness (cm ² /g)	lg. loss (%)	setting time(min.)		Compressive strength(kg/cm ²)				
			initial	final	σ ₃	σ ₇	σ ₂₈		
			226	356	211	304	379		
3.15	3371	1.3							

표2. 사용 플라이애쉬의 화학적 특성

No	Unburnt carbon (%)	Chemical Composition(%)									
		lg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
3500	2.94	3.66	56.47	23.56	5.26	0.94	0.35	0.63	2.00	6.18	0.53
6000		3.96	55.81	22.49	5.97	1.06	0.34	0.64	1.97	6.40	0.52
8000		4.10	55.82	22.79	5.54	1.02	0.28	0.65	1.99	6.67	0.52

표3. 사용 플라이애쉬의 물리적 특성

No	Specific gravity [g/cm ³]	Fineness (cm ² /g)	N (-)	X ₀ (μm)	44μm Resti. (%)	88μm Resti. (%)
3500	2.16	3552	0.907	25.95	18.89	3.85
6000		6047	1.146	8.41	0.13	0.00
8000		7852	1.174	6.36	0.01	0.00

표4. 모르타르 배합표

Rep. Ratio	Cement	F/A	Sand	Water	Na ₂ SO ₄
0	760	0	1862	368.6	18.43
20%	608	152	1862	368.6	18.43
40%	456	304	1862	368.6	18.43
60%	304	456	1862	368.6	18.43
80%	152	608	1862	368.6	18.43

2.4 실험방법과 양생방법

플로우실험은 혼합수의 양을 일정하게 하고 25회 낙하시킨 후 4방향으로 평균값으로서 플로우 값을 측정하였으며, 모르타르 공시체는 50.8mm의 입방체 금속몰드를 사용하여 제작하였다. 그리고, 양생은 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에서 소정의 재령일까지 양생한 후, 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과와 분석 및 고찰

3.1 플로우 및 응결시험결과

플로우시험결과 분말도가 증가할수록 플로우값은 감소하였으나, 치환율이 증가할수록 플로우값은 증가하였다. 응결시험결과 분말도가 높아질수록 응결이 빨라지는 경향을 나타내었으며, Na_2SO_4 를 사용함으로써 응결이 빨리 나타내는 경향을 나타내었다.

3.2 압축강도 실험결과

3.2.1 재령별 강도발현

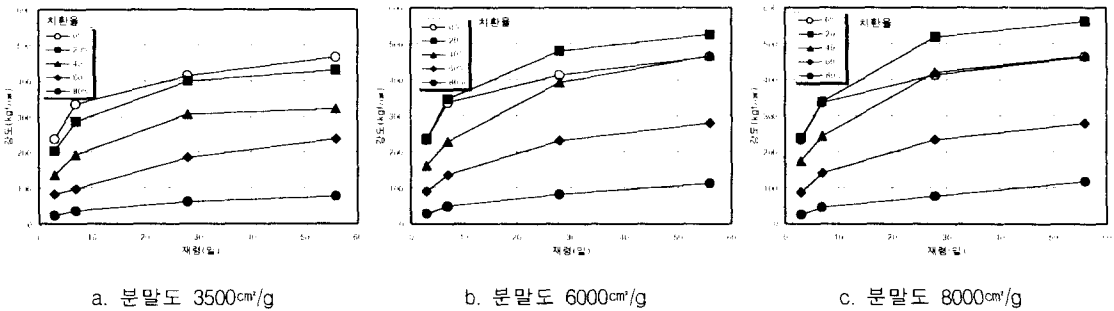


그림 1 치환율에 따른 재령별 압축강도

플라이애쉬 분말도 $3500\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우(그림1-a), 치환율이 높아질수록 압축강도는 낮아지며, 치환율 20%의 초기재령에서는 압축강도는 플레인보다 낮았지만, 28일 이후에서는 플레인과 거의 비슷하나 상회하지는 못 하였다. 또한, 치환율 80%는 무첨가에 비하여 1/10의 정도의 낮은 압축강도값을 나타내어 실용상 사용이 곤란한 것으로 나타났다.

분말도 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ (그림1-b)의 경우, 전체적으로 분말도 $3500\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우보다 압축강도가 증가하였다. 그리고, 치환율 20% 재령7일 이후부터는 플레인보다 높은 강도를 나타내고 있으며, 40%의 치환율 재령 56일에서는 플레인과 거의 동등한 결과를 보이고 있다.

플라이애쉬 분말도 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ (그림1-c)의 경우, 치환율 40%가 재령 28일 이후 플레인과 거의 동등 혹은 상회하는 결과를 나타내고, 치환율 80%는 재령56일에서 압축강도가 $110\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 나타나 실용적으로는 미흡하였다. 이와 같이, 분말도의 증가는 압축강도를 증진시키는 것이 명확하다.

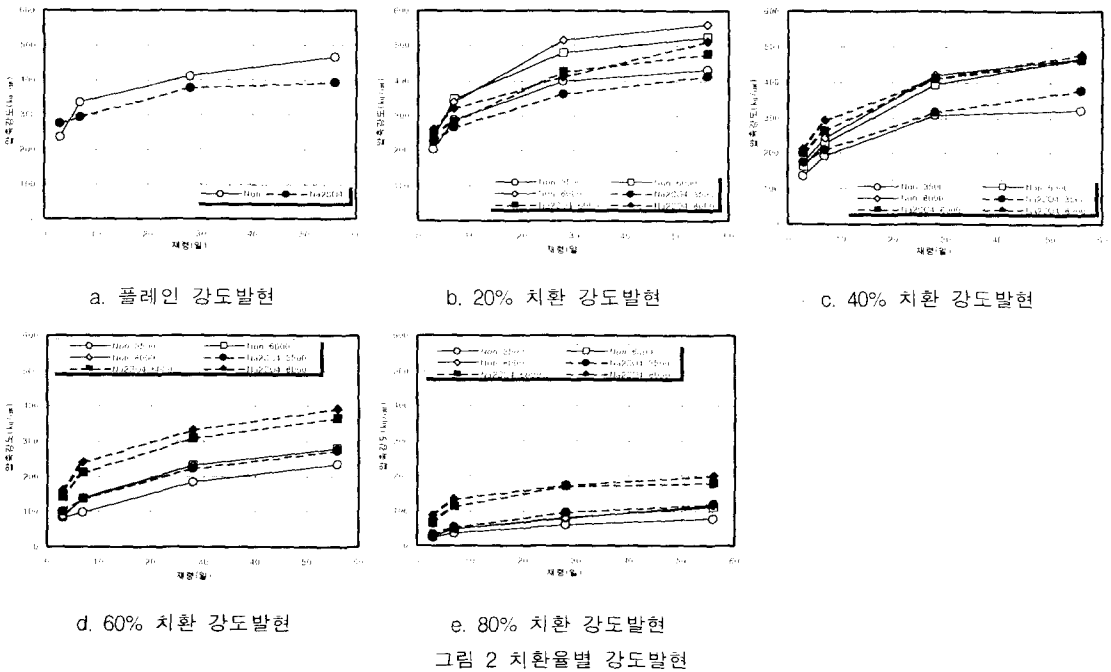
이러한 강도증진의 원인으로서는 비표면적이 늘어감에 따라 플라이애쉬의 포졸란 반응과 충전작용 등에 의하여 플라이애쉬의 활성도가 높아지는 것이라 생각되어진다.

3.2.2 5% Na_2SO_4 수용액에서의 강도발현

그림2-a, b에서와 같이, 플라이애쉬 첨가량이 20% 이하에서는 Na_2SO_4 는 초기강도의 증진에 약간

영향을 미치는 것 외에 오히려 강도를 저하시키는 것으로 나타났다. 그러나 즉 플라이애쉬의 첨가량이 40, 60, 80%로 늘어남에 따라 Na_2SO_4 은 강도를 크게 증진시키는 것으로 나타났다.

그림 2-c, d, e는 치환율 40, 60, 80%로 다량의 플라이애쉬를 사용하고, 자극제로 황산나트륨 첨가유무에 따른 비교이다. 치환율이 높아짐에 따라서 황산나트륨이 첨가된 것은 초기 및 장기재령에서도 강도가 월등히 높아지고 있으며, 특히 치환율 60%의 분말도 6000 cm^2/g , 8000 cm^2/g 의 경우, 28일재령에 300 kg/cm^2 이상이며, 56일에 400 kg/cm^2 부근까지 상승하여 실용강도에 충분히 도달할 수 있음을 나타내고 있다. 그리고 치환율이 80%에서도 초기 강도가 두 배이상 및 56일재령에서 200 kg/cm^2 부근까지 강도가 증진되어 치환율 80%의 사용가능성을 시사하고 있다.



이는 황산나트륨이 플라이애쉬의 포졸란활성 자극제로서의 역할을 하고 있음을 나타내고 있다. 또한 미분쇄한 플라이애쉬가 황산나트륨에 더욱 영향을 받는 것을 보아서, 비표면적이 늘어남에 따라 자극되는(반응되는) 면적도 커져 강도의 증진에 유리한 결과를 얻는다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

이상의 실험을 통하여, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 플라이애쉬를 미분쇄하여 반응면적을 높임으로서 압축강도는 증진된다.
2. Na_2SO_4 는 포졸란 자극제로서의 역할을 하며, 플라이애쉬의 대량첨가 사용시 강도증진에 크게 기여하는 것이 명확하다.

참고문헌

1. Caijun Shi, "Pozzolanic Reaction and Microstructure of Chemical Activated Lime-Fly Ash Pastes" ACI Material Journal, V.95, No. 5, September-October 1998