

자극제 사용 및 양생온도 변화에 의한 플라이애쉬 모르타르의 강도발현에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength Development of Fly-Ash Mortar by Using the Activator and Curing Temperature change.

배 수 환^{*} 최 광 윤^{*} 정 재 동^{**} 최 영 화^{**}
Bae, Soo Hawn Choi, Kwang Yun Jaung, Jae Dong Choi, Young Wha

ABSTRACT

The purpose of this study is for the active use of the fly ash, which is a by-product of the combustion pulverizes coal thermal power plants, to compensate for the lack of landfill and for conservation of energy, by using fly ash as the supplementary cementitious material, and to prove its possibility as the related products of the cement.

First of all, we examined strength development of Micro grinding fly ash by elevating its fineness and using Na_2SO_4 as an activator to elevate pozzolanic reaction of fly ash. Following fly ash replacement ratio and curing temperature we hope to prove its properties to suggest its possibility in the concrete and cement industry.

In case of water curing, the more fineness and higher annexing of activator is, the higher strength is, and the higher curing temperature is the more pozzolanic reaction happens.

1. 서론

최근 환경문제와 자원절약의 관심사가 대두되고 있는 가운데 국내에서도 재활용 기술개발의 연구가 다방면으로 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 화력발전소에서 부산물로 발생되는 석탄재의 일부인 플라이애쉬는 몇 십년 동안 콘크리트산업과 시멘트 제조시의 증량제, 콘크리트 제조시 시멘트 저감용 혼화제로서 많이 사용되어 왔으나, 플라이애쉬의 다량 첨가시 콘크리트의 강도부족 및 AE제 사용량의 증가 등의 문제로 그 이용이 제한되고 있다.

이에 본 연구에서는 산업부산물인 플라이애쉬의 고부가 가치적 활용을 목표로 플라이애쉬 다량 치환시 낮은 포졸란 반응성을 활성화하여 조기강도증진 가능성을 증대하기 위한 방안으로 고분말도화, 양생온도, 알카리자극제(Na_2SO_4)의 첨가에 따른 강도발현의 검토 및 분석을 통하여 플라이애쉬의 대량 사용에 따른 문제점의 해결 방안을 찾는데 그 목적을 두고 있다.

2. 실험계획 및 방법

* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 석사과정

** 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수

2.1 실험계획

본 실험에서는 분말도 3000cm³/g 정도의 일반적으로 통용되는 플라이애쉬를 불밀로 분쇄하여 분말도를 6000~8000cm³/g 정도로 높아진 분말도(비표면적)에 의해 수화활성도를 기초로 하여 일반적으로 통용되는 플라이애쉬 첨가율보다 훨씬 많은 40~80%까지 첨가하여 자극제(Na₂SO₄) 첨가율을 3, 5, 7, 10%의 Na₂SO₄ 수용액을 사용하여 플로우 실험 및 양생온도변화(20, 40, 60℃)에 따라 각 재령별 강도발현특성을 검토하였다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트로, 그 물리·화학적 성질은 표1에 나타내었으며, 잔골재로서 주문진산 표준사를 기건 상태로 사용하였으며, 또한 플라이애쉬는 충남 보령산으로 그 물리·화학적 성질을 표 2에 나타내었다.

2.3 모르타르배합

본 실험에 사용된 배합은 KS L 5105에 의거하여 시멘트 : 모래 : 물의 비율은 1 : 2.45 : 0.485로 하여 시멘트에 대한 중량비에 대한 플라이애쉬 중량비로서는 40, 60, 80%로 치환하였으며, 배합수로는 3, 5, 7, 10%의 무수황산나트륨 수용액을 사용하였으며, 사용 배합표는 표 3과 같다.

2.4 시험방법과 양생방법

미분쇄 플라이애쉬의 포졸란반응 활성을 자극제의 첨가율 및 양생온도에 따라 실시하였다. 수중양생은 20±2℃의 수조에서 표준수중양생하였으며, 열수양생은 공시체 제작후 20℃의 온도로 전치시간을 24시간 두고 시간당 17℃의 온도 상승 후, 6시간 동안 40, 60℃에서 열수양생을 실시하였으며, 압축강도 시험은 각 재령 3, 7, 28, 56일에 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자극제의 첨가에 따른 재령별 모르타르의 강도변화

그림 1은 플라이애쉬 치환율 40%로 자극제의 첨가에 따른 재령별 강도 변화를 나타낸 것이다.

그림 1의 (a), (b)는 자극제 첨가율 5, 10%로서 분말도 6000cm³/g의 경우는 초기재령 3일부터 급격한 강도증진이 일어나 플레인 보다 약 40, 50% 높은 강도로 지속적인 강도증진이 일어나 재령 56일에서 플레인보다 높은 강도발현을 보였다.

또한 분말도 8000cm³/g에서 자극제 첨가율이 5%인 경우는 초기재령에서는 강도증진이 일어났으나,

표 1. 시멘트의 물리적 성질

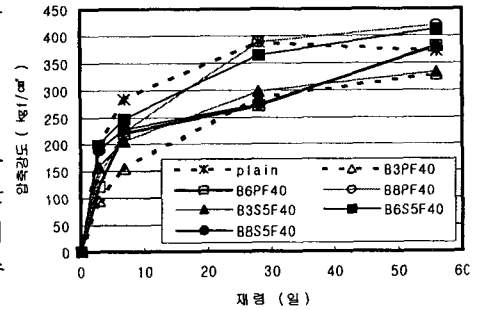
비중	분말도 (cm ³ /g)	응결시간		압축강도(kgf/cm ²)			안정도 (%)
		초결 (분)	종결 (kgf/cm ²)	3일	7일	28일	
3.14	3337	230	5:50	208	318	393	0.08

표 2. 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

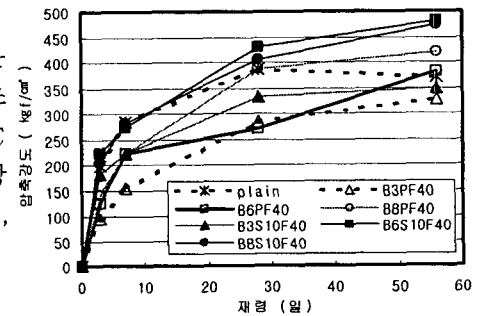
비중	분말도 Blane (cm ³ /g)	단위 수량비 (%)	압축강도 28일 (%)	이산화 규소 (%)	습분 (%)	감열 감량 (%)
2.20	3650	95	96	51.0	0.1	3.7

표 3. 공시체의 배합조건 및 기호

요인	조건	기호
분말도	3000, 6000, 8000cm ³ /g	B3, B6, B8
자극제 첨가량	3, 5, 7, 10%수용액	S3, S5, S7, S10
플라이애쉬 치환율	0, 40, 60, 80%	P, F40, F60, F80
양생온도	20, 40, 60℃	T20, T40, T60
기본배합	w : c : s = 0.485 : 1 : 2.45	



(a) 자극제 첨가율 5%



(b) 자극제 첨가율 10%

그림 1. 플라이애쉬 치환율 40%

장기재령에 갈수록 다소 강도증진이 감소하여 자극제 무첨가보다 감소하는 경향이다. 이는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 다량 소비로 인한 결과라 여겨지며, 또한 자극제 첨가율 10%는 지속적인 강도증진이 일어나 분말도 6000 cm^3/g 과 비슷한 발현을 보이고 있다.

그러나 분말도 3000 cm^3/g 은 초기재령에서는 자극제의 첨가율에 따라 강도증진이 일어났으나, 28일 이후에는 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 보여지고 있다.

이는 초기재령에서는 자극제의 첨가율의 영향으로 포졸란 활성이 일어나 강도증진이 일어났음을 의미하고 있으며, 적정 분말도 6000 cm^3/g 은 재령 28일 이후에서는 분말도에 의한 활성으로 지속적인 포졸란반응으로 인한 공극충진효과로 여겨진다.

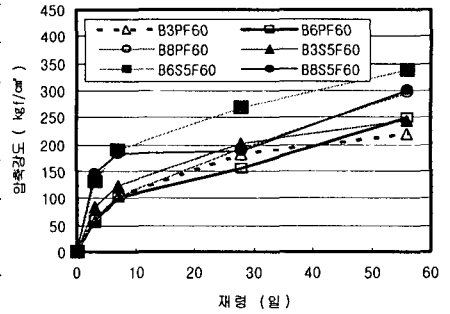
그림 2는 플라이애쉬 치환율 60%에 자극제 5% 첨가의 경우는 재령 56일까지 지속적으로 강도증진이 일어나고 있으며, 자극제 첨가율 10%의 경우는 초기 재령에서부터 급격히 증가하여 재령 28에서부터 분말도 6000, 8000 cm^3/g 은 플레인과 비슷한 강도발현을 보이며, 장기재령으로 갈수록 강도증진이 다소 완만한 경향을 보여 자극제가 초기수화에 크게 영향을 미친것이라 여겨진다. 그러나 분말도 3000 cm^3/g 은 자극제 첨가율이 증가함에 따라 지속적으로 강도증진이 일어나 재령 56일에서 자극제 10% 첨가시 플레인에 대해 90%로 338 kgf/cm^2 을 보여 플라이애쉬의 잠재수경성을 자극시키는 결과로서 대량 사용의 가능성을 보이고 있다.

특히 그림 3은 플라이애쉬 80%치환시 강도증진 결과로서 자극제의 첨가에 따른 강도증진은 그림 3과 비슷한 경향을 보이며, 플라이애쉬 80%치환시에도 자극제 무첨가의 경우 재령 56일에 54 kgf/cm^2 의 강도를 나타낸 것에 비해 자극제 첨가율 10%의 경우 분말도 3000, 6000, 8000 cm^3/g 각각 175, 246, 259 kgf/cm^2 를 보여 80% 대량 사용시에도 자극제의 첨가율을 증가시켜 강도증진의 경향이 뚜렷이 보여지고 있다.

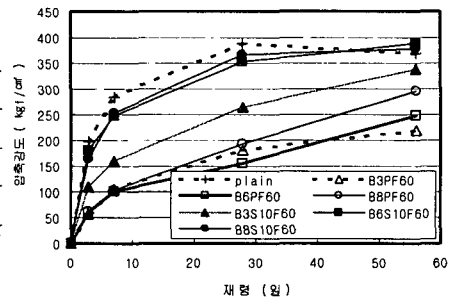
3.2 양생온도에 따른 모르타르의 강도변화

그림 4, 5는 양생온도 및 자극제의 첨가율에 따른 플라이애쉬 치환율 40, 60, 80%에 대해 플레인을 기준으로 한 분말도별 강도발현을 나타내었다.

그림 4는 재령 7일에 대한 강도 발현을 나타낸 결과로서, 플라이애쉬 치환율에 따라 자극제 무첨가의 경우는 분말도가 높고 양생온도가 높을수록 강도발현이 우수한 경향을 보이는 반면, 자극제 첨가율의 증가에 따라 자극제 첨가율이 5%에서는 양생온도의 증가에 따라 비슷한 강도비를 보이나, 분말도가

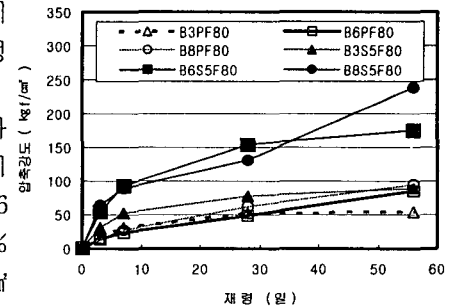


(a) 자극제 첨가율 5%

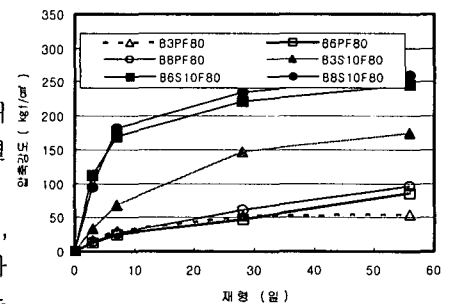


(b) 자극제 첨가율 10%

그림 2. 플라이애쉬 치환율 60%



(a) 자극제 첨가율 5%



(b) 자극제 첨가율 10%

그림 3. 플라이애쉬 치환율 80%

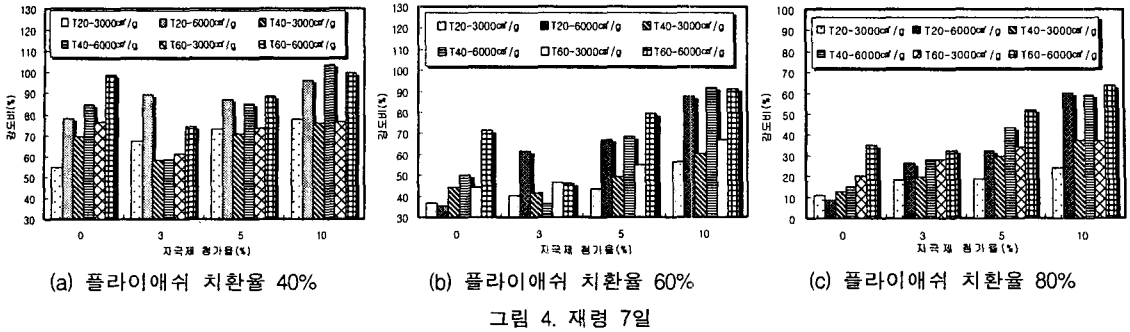


그림 4. 재령 7일

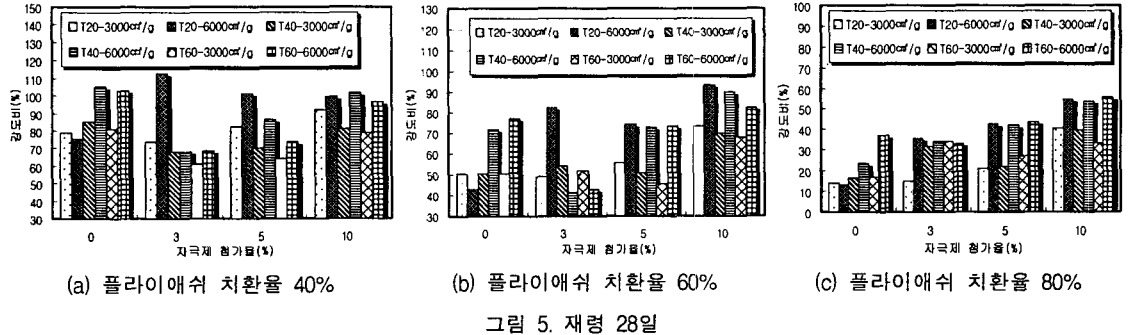


그림 5. 재령 28일

6000cm³/g은 자극제의 첨가율이 10%의 경우는 양생온도가 40℃일 때 플레인에 대해 플라이애쉬 치환율 40, 60, 80% 각각 113, 89, 63%을 보여 강도발현율을 나타내고 있으며, 이는 다량의 에트링가이트 생성에 의해 안정된 상태를 유지한 것으로 여겨진다. 특히 양생온도 60℃이상의 경우에는 오히려 자극제의 첨가율을 높아지면 강도증진이 떨어지는 경향이 보여지는 것은 초기에 급격히 생성된 에트링가이트의 AFm으로 전환되면서 불안정한 구조로 형성되는 결과라 여겨진다.²⁾

그림 5는 재령 28일의 결과로서 초기에 자극제의 첨가에 따라 활성화된 공시체는 분말도가 높을수록 강도증진이 거의 없으며, 다만 표준수중양생한 플라이애쉬 치환율 60%의 공시체는 초기재령에 알카리 자극제에 의해 활성화되어 지속적인 수화촉진에 의해 강도증진이 이루어진 결과라 생각된다.

4. 결론

1. 플라이애쉬 80%치환, 자극제 무첨가의 경우 재령 56일에 54kgf/cm²의 강도를 나타낸 것에 비해 자극제 첨가율 10%의 첨가시 분말도 3000, 6000, 8000cm³/g 각각 175, 246, 259kgf/cm²를 보여 80% 대량 사용시에도 높은 강도를 나타내었다.
2. 양생온도의 영향으로서는 40℃로 초기 양생한 공시체가 가장 우수한 강도발현을 보여 수화생성물의 안정한상태라 생각된다. 향후, 자극제의 첨가율, 양생온도, 분말도 등에 따른 수화생성물의 영향을 고려할 필요가 있는 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 정재동, “미분쇄 플라이애쉬를 多量 使用한 시멘트 모르타르의 強度增進에 관한 實驗的研究”, 대한건축학회 논문집, 구조계 18권9호(통권167호), 2002.9.
2. Qian Jueshi, Shi Caijun, Wang Zang Zhi, Activaion of blended cements containing fly ash. Cement and Concrete Research 31(2001)1121-1127.