

플라이애시 사용 콘크리트의 품질에 미치는 미분시멘트의 영향

The Effects of Fine Particle Cement on the Quality of Fly Ash Concrete

이 정 아 * 전 규 남 * 백 대 현 ** 박 종 호 *** 한 민 철 **** 한 천 구 *****

Lee, Joung-Ah Joen, Kyu-Nam Baek, Dae-Hyun Park, Jong-Ho Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

Fly ash (called FA hereafter) that results from thermal power plants is a long-term strength improving substance with reactivity to pozzolan and has been used for long. However, large amount of FA shows many advantages such as reduction of hydratio energy, long-term improvement in strength and economic feasibility and also has difficulties from reduction in initial strength and durability. In a preceding study, fine particle cement was applied to test the effects on initial strength. Therefore in this study, the effects of fine particle cement on the quality of FA concrete were reviewed. The results can be summarized as follows. Liquidity was increased by the most at FC substitution ratio of 15%. Air capacity was reduced according to increasing substitution ratio of FA and FC. Compressive strength showed high strength expression at all ages when FC was substituted at 45%. Synthesizing the above results, appropriate mixing of FC in FA concrete can improve liquidity, reduce unit quantity and show improvement in strength. In particular, mixed use of FC seems effective in improving early quality of concrete.

키 워 드 : 플라이애시, 초기강도, 미분시멘트, 유동성, 품질 향상

Keywords : Fly ash, initial strength, Fine Particle Cement, flow, quality improvement

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

화력발전소에서 발생하는 플라이 애시(이하 Fly Ash ;FA)는 콘크리트 산업에서 부존자원 고갈 대책 및 환경 문제의 해소와 함께 포졸란 반응성을 갖는 장기 강도증진 물질로써 오래전부터 사용되어져 왔다.

그런데 최근에는 석탄화력 발전소가 점차 증설되면서 산업 부산물인 석탄회 발생량도 증가 하는 반면 선진국에 비해 낮은 재활용 율에 따라 매립을 통한 폐기 처분으로 석탄회 매립지 확보의 어려움과 아울러 환경오염 방지와 관련한 비용 부담이 가중되고 있는 실정이다.

그러나, FA를 다량 사용하였을 경우는 수화열 저감, 장기 강도 증진, 경제성 성취 등 많은 장점이 있는 반면에 초기강도 저하 및 내구성 저하로 인해 어려움도 존재하고 있다.

이에 본 연구팀에서는 선행 연구에서 시멘트 제조과정 중 발생하는 미분을 포함한 미분시멘트¹⁾를 초기강도 증진에 적

용하여 효과를 확인 한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 FA 사용 콘크리트의 품질 개선을 목적으로 분체의 분말도를 증가시킨 미분시멘트의 치환율을 변화시킴으로써 FA 사용 콘크리트의 기초적 특성과 함께 초기 강도 증진 가능성을 확인하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

배합사항	실험요인		실험수준	
	W/B (%)		1	50
배합사항	목표 슬럼프 (mm)	1		180±25
	목표 공기량 (%)	1		4.5±1.5
	FA 치환율 (%)	3	0, 10, 20 %	
	FC 치환율* (%)	4	0, 15, 30, 45 %	
	실험사항	굳지 않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량
실험사항	경화 콘크리트	1	· 압축강도 (1, 3, 7, 28일)	

* Plain

** FA 10, 20 %에만 적용

* 청주대학교 석사과정, 정희원

** 청주대학교 박사과정, 정희원

*** (주) 삼표 기술연구소 연구팀 책임연구원

**** 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정희원

***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정희원

즉, 배합사항으로는 W/B는 50 % 1수준에 대하여, 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)만을 사용한 배합(Plain)에서 목표 슬럼프 180±25 mm, 목표공기량 4.5±1.5 % 로 배합설계한 다음 OPC에 대한 질량비로 FA 10, 20 % 를 치환한 것에 미분시멘트(이하 FC)를 15%, 30 %, 45 % 치환하여 총9수준을 실험계획 하였다. 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하는 것으로 하고, 경화 콘크리트에서는 재령에 따른 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

콘크리트 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트로서 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 혼화제로서 플라이애시는 국내 K사산, 미분시멘트는 국내 A사산을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 표 4, 5와 같다. 골재로써 잔골재와 굵은 골재는 각각 충북 음성산 및 옥산산을 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3 165	0.50	235	320	12.5	22.5	42.5

표 4. 플라이애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열 감량 (%)	습분 (%)	SiO ₂ (%)	활성도 지수 (%)	플로우 값 비 (%)
2.22	4 012	3.40	0.10	47.44	97	101

표 2. 콘크리트의 배합표

구 분	W/B (%)	W (kg/m ³)	FA ¹⁾ 치환율 (%)	FC ²⁾ 치환율 (%)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	질량 배합 (kg/m ³)				
								C	FA	FC	S	G
OPC(Plain)	50	182	0	0	45	0.004	0.55	364.00	0	0	763.29	944.49
F10-0			327.60	36.40				0	757.50	937.32		
F10-15			273.00	36.40				54.60	757.50	937.32		
F10-30			218.40	36.40				109.20	757.50	937.32		
F10-45			163.80	36.40				163.80	757.50	937.32		
F20-0			291.20	72.80				0	751.71	930.14		
F20-15			236.60	72.80				54.60	751.71	930.14		
F20-30			182.00	72.80				109.20	751.71	930.14		
F20-45			127.40	72.80				163.80	751.71	930.14		

1) 플라이애시 2) 미분시멘트

표 5. 미분 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	4 800	0.50	235	320	12.5	22.5	42.5

표 6. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립율	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)
강모래	2.50	2.86	0.46	1 518	0.30
부순 모래	2.58	2.90	0.46	1 684	0.32
굵은 골재	2.62	7.00	0.58	1 564	0.40

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	형태	주성분	색상	밀도 (g/cm ³)
고성능 감수제	액상	나프탈렌계	미백색	1.06
AE 감수제	액상	음이온계	미백색	1.04

한편, 혼화제로서 AE제는 국내 E사산의 음이온계, 고성능 AE감수제는 국내 E사산 나프탈렌계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 수평형2축 므서를 사용하여 콘크리트를 제조하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거 실시하였으며, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 1, 2는 FA 치환율별 FC 치환율 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 나타낸 그래프이다.

먼저, FA 치환율이 증가 할수록 OPC에 비해 유동성이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 FA가 대부분 구형입자로 이루어져 있어 시멘트 골과 골재사이의 마찰저항을 줄여주는 볼 베어링 작용에 의한 것으로 분석된다.

또한, FA를 10 %, 20 % 치환한 경우에 있어 FC를 각각 15 %, 30 %, 45 % 로 치환하였을 때 0 %에 비해 유동성이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 FC 15 % 에서 유동성이 가장 높게 증가하고, 그 이후는 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 FC 미세립자에 의한 최밀충진 효과 및 수분 흡착량 증가에 기인한 것으로 사료된다.

그림 3은 FC 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 먼저, OPC는 배합설계에 의하였으므로 모두 목표 공기량 4.5 ± 1.5 % 을 만족하는 것으로 나타났으나, FA 10 %, 20 % 치환한 경우는 목표치를 만족하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 FA에 포함된 미연소탄분의 AE제 흡착작용에 의한 것으로 분석 된다.

또한, FA 10 %, 20 % 치환한 경우에 있어 FC 치환율 증가에 따른 공기량은 FC 15 % 일때 약간 증가하고 그 이후는 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 높은 분말도에 의한 입자의 공극 충전 효과에 기인한 것으로 판단된다.

그림 4는 FC 치환율에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프로써 전반적으로 공기량과는 반대의 경향을 나타내고 있다.

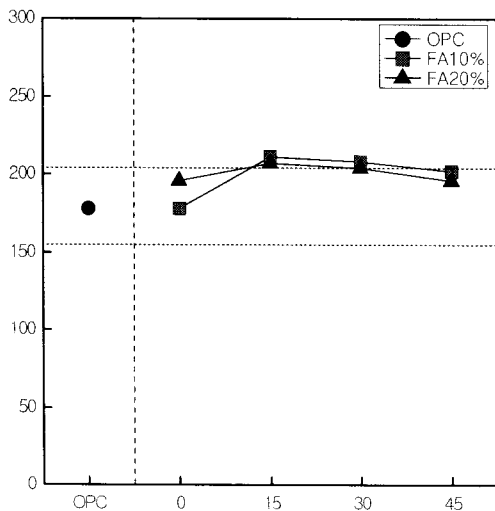


그림 1. FC 치환율에 따른 슬럼프

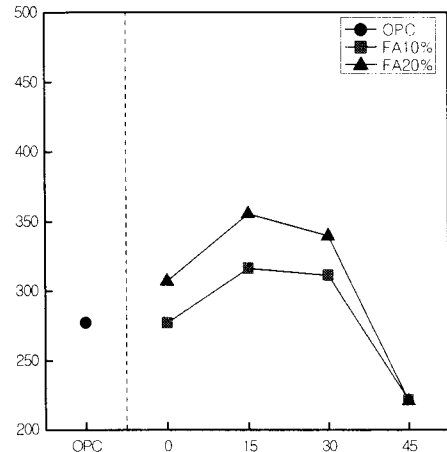


그림 2. FC 치환율에 따른 슬럼프 플로우

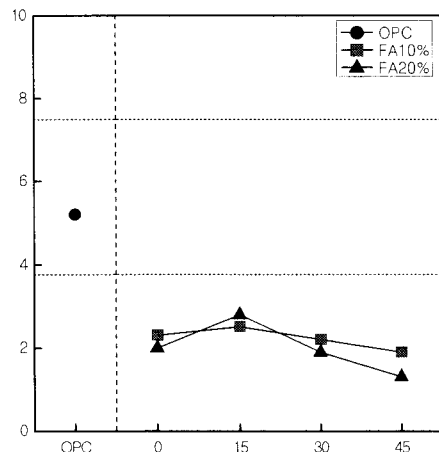


그림 3. FC 치환율에 따른 공기량

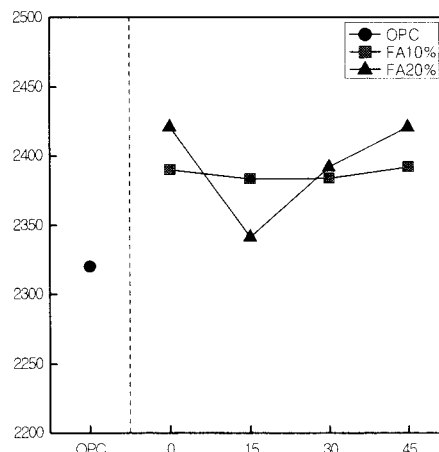


그림 4. FC 치환율에 따른 단위용적질량

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 5는 FA 치환율 및 FC 치환율별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. FA 치환율이 증가 할수록 OPC에 비해 30~60 % 정도 낮은 강도 값을 나타내었다.

우선, FA 10 % 치환한 경우는 FC의 치환율이 증가 할수록

록 재령 1일에서 강도가 7.89 MPa, 8.46 MPa, 9.42 MPa 로 FC 0 %에 비해 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 FC의 높은 분말도로 표면적 증가에 따른 초기의 활발한 수화 반응에 기인하여 강도가 증진된 것으로 분석된다. 또한 재령이 증가 할수록 FC를 치환한 경우 모두 F 0 % 보다 강도가 증가한 것으로 나타났다. 특히 FC 45 % 치환 하였을 경우에는 약 91~98 %의 발현율로 OPC와 비슷한 압축강도를 발현하였다.

한편, FA 20 % 치환한 경우는 FA 10 % 치환한 경우와 마찬가지로 FC의 치환율이 증가 할수록 재령에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

그림 6은 FA 치환율 및 재령별 FC 치환율 변화에 따른 압축강도 발현율을 나타낸 그래프이다. FA 10 %의 경우 FC 0 %는 OPC에 대해 초기강도는 크게 나타나지 않았으나, 재령이 증가 할수록 OPC와 비슷한 강도 발현율을 나타내었다. 이는 수화반응이 진행됨에 따라 FA의 포졸란 반응에

기인하여 강도가 증진된 것으로 분석된다. 또한, FC 치환율에 따라서는 전반적으로 FC 치환율이 증가할수록 강도도 증가하는 것으로 나타났는데, 재령 1일에서 FC 0 %에 비해 10~20 % 정도 높은 강도를 나타냈으나, 재령이 증가 할수록 강도 발현율은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 이는 FC의 물과 접촉 면적이 증가함에 따라 수화가 촉진되어 초기 강도 증진성이 우수하지만, 결국 FC도 OPC와 화학 성분이 거의 동일하므로 장기 재령 일수록 활발한 수화가 이루어지지 못하는 것으로 판단된다. 특히 FC 45 % 치환하였을 경우는 모든 재령이 약 93~98 %로 FC 0 % 보다 크게 강도 발현하여 OPC와 거의 동등한 수준을 나타내었다.

FA 20 %의 경우는 FA 10 %와 전반적으로 비슷한 경향이긴 하나, FA 치환율의 증가로 인해 강도 발현율이 전반적으로 작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라이애시를 사용한 콘크리트의 품질에 미치는 미분시멘트의 영향에 따른 특성을 검토한 것으로 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 유동성은 OPC에 비해 FA 및 FC를 치환하였을 경우 유동성이 증가하는 경향을 나타내었는데, 특히 FC 치환율 15 % 일 때 가장 크게 증가하였다.
- 2) 공기량에서 OPC는 목표 공기량을 만족 하였지만 FA 및 FC의 치환율이 증가함에 따라 AE제 흡착작용과 공극 충전 효과로 공기량은 저하하는 것으로 나타났다.
- 3) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 FA 치환율에 따라 OPC보다 약 30~60 % 낮게 나타났고, FC 치환율에 따라서는 FC 치환율이 증가 할수록 증가하는 것으로 나타났다. 특히 FC 45 %를 치환한 경우는 모든 재령에서 FC 0 % 보다 약 20~30 %의 높은 강도 발현율을 나타내었다.

이상을 종합하면 FA를 사용한 콘크리트에 FC를 적정 혼입 시에는 유동성 개선으로 단위수량을 감소시킬 수 있고, 강도 증진 효과도 나타냈는데 특히, 콘크리트의 초기 품질 향상에 효과적인 것으로 판단된다.

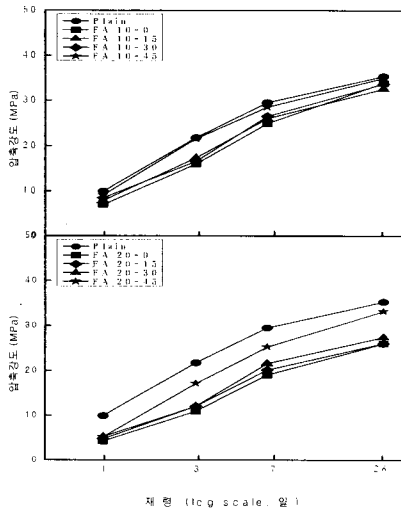


그림 5. 재령에 따른 압축강도

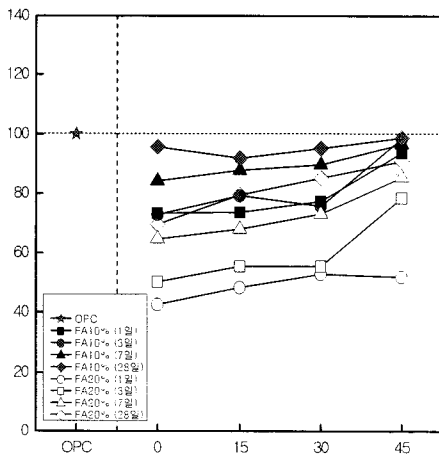


그림 6. FC 치환율에 따른 압축강도 발현율

참 고 문 헌

1. 김성환, 한민철, 한천구 ; 입도분급에 의하여 제조된 시멘트의 분말도 변화가 콘크리트 공학적 특성에 미치는 영향. 대한건축학회 논문집(구조계), Vol.23 No8, 2007
2. 김종백, 차완호, 권오봉, 한민철, 한천구 ; 시멘트 분쇄공정별 물성에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회 추계학술논문 발표대회 논문집, Vol.6 No2, pp119~122, 2006
3. 최성용, 노동현, 김경민, 박상준, 권오봉, 한민철 ; 미분시멘트의 치환율 변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향, 한국건축시공학회 2007년 추계 학술발표대회 논문집, Vol.7 No2, 2007. 11, pp133~136