

Fly ash 혼합 시멘트의 몰탈 및

콘크리트 특성 평가

Characterization of Mortar and Concrete made with Cement containing Fly ash

김 창 범* 박 춘 근** 최 상 흘*** 이 경 희**** 이 승 현*****
Kim, Chang Bum Park, Choon Keun Choi, Sang Heul Lee, Kyung Hee Lee, Seung Heon

ABSTRACT

The objective of this study is characterize of Mortar and Concrete made with Cement containing Fly ash as an additive. Cement samples were prepared using two kinds of Fly ash, which containing unburnt Carbon content 3.5% and 4.5%. Fly ash content in cement was in range 3 wt% to 13 wt%.

In consequence of varions experiments, these cement samples satisfied specification of Type I cement, and it is possible to use Fly ash as an additive to Type I cement in this content.

1 서 론

석탄회란 석탄을 연소시킨 결과 발생하는 회를 말하며, 현재 국내에서 발생되고 있는 석탄회의 대부분은 석탄화력발전소의 미분탄 연소 보일러로부터 발생되고 있으며 이러한 석탄회 발생량의 약 75~90% 정도가 Fly ash의 형태로 발생되고 있다. 이러한 Fly ash를 콘크리트 또는 몰탈의 혼화재료로 사용할 경우 일반적으로 유동성의 개선, 수화열 감소, 장기강도 증진, 건조수축 감소, 수밀성 및 내구성 향상등의 효과가 있는 것으로 연구, 조사되고 있다. 우리나라의 경우 이러한 가용 혼합재의 발생량은 연간 약 660만톤 규모에 달하고 있으나 Fly ash의 제특성에 대한 포괄적인 조사, 연구가 부족하고 소비자의 선호도가 낮아 그 수요가 매우 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시멘트 소비자의 인식 해소 및 지구변화 협약에 따른 시멘트 제조산업의 CO₂ 발생량 저감을 위한 대체원료 활용의 극대화 차원에서 보통 포틀랜드시멘트에 사용 가능한 Fly ash의 적정 함량 및 개선보완 사항에 대하여 검토하여 보았다.

* 쌍용중앙연구소 시멘트연구실 주임연구원

** 쌍용중앙연구소 시멘트연구실장

*** 한양대학교 무기재료공학과 교수

**** 명지대학교 무기재료공학과 교수

***** 군산대학교 재료공학과 교수

2. 실험

2.1 실험계획

Fly ash를 시멘트 혼합재로서 활용 가능한 적정 수준을 검토하기 위한 목적으로 1종 시멘트에 Fly ash를 중량비로 3wt%~13wt% 첨가한 후 혼합하여 제조한 시멘트의 기본특성, 몰탈특성 및 경화전, 후의 제반 콘크리트 특성 평가를 파악하여 보았다.

2.2 사용재료

2.2.1 Fly ash

보령 화력발전소에서 산출되어 한국탄재(주)에서 정제과정을 거쳐 공급된 Fly ash를 사용하였으며, Fly ash의 미연카본 함량 변화에 따른 영향을 아울러 검토할 목적으로 2종류의 미연카본 함량을 갖는 Fly ash를 시료로서 사용하였다.

표 1 Fly ash의 화학조성

시료	항목	화학 조성 (%)									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	부착수분 (105℃)	강열감량 (900℃)
Fly ash-A		59.0	29.5	4.8	2.5	0.6	0.41	1.09	0.1	0.09	4.51
Fly ash-B		55.3	28.3	3.8	3.2	0.6	0.46	1.16	0.1	0.06	3.51

2.2.2 시멘트

쌍용양회(주)에서 생산된 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

표 2 1종 시멘트 화학성분

시료	항목	화학 조성 (%)							강열감량 (900℃)	Blaine (cm ² /g)	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O			SO ₃
1종 시멘트		22.9	7.5	3.3	59.5	2.1	0.09	0.93	2.1	1.6	3260

2.3 실험방법

2.3.1 Fly ash 특성평가 : Fly ash의 특성평가는 KS L 5402에 의거하여 비중, 분말도, 압축강도비 등을 측정하였고, KS L 5508에 의거하여 포졸란 활성도를 측정하였다.

2.3.2 시멘트 특성평가 : Fly ash를 실험수준별로 혼합하여 제조한 시멘트에 대하여 KS L 5110 및 KSL 5121에 따르는 비중 및 수화열을 측정하였고, Hunter Lab. 방식에 따른 색도 및 KS L 5103 및 KS L 5105에 따르는 응결특성 및 몰탈 압축강도를 측정하였다.

2.3.3 콘크리트 특성평가

1) 배합조건 : 콘크리트의 배합조건은 설계기준강도 210kg/cm², 슬럼프 12cm를 목표로 하여 세골재비 40%, 물시멘트비는 사전 실험을 통하여 58.4%로 고정하였으며 유동화제 및 AE제의 사용량은 시멘트 종류별 목표로 하는 슬럼프 및 공기량을 만족하기 위한 필요량을 선정하였다. 경화콘크리트의 특성평가를 위하여 본 실험에 사용한 배합은 표3과 같다.

표 3 실험배합표

시료	항목	단위생산량 (kg/m ³)				혼화제 (cement %)		s/a (%)
		Cement	Water	Sand	Gravel	AE감수제	AE제	
1종 시멘트		320	187	692	1094	0.18	0.005	40
Fly ash-A	3% 첨가			691	1092		0.005	
	5% 첨가			690	1091		0.006	
	7% 첨가			689	1090		0.007	
	10% 첨가			688	1089		0.008	
	13% 첨가			688	1087		0.005	
Fly ash-B	3% 첨가			688	1089		0.006	
	5% 첨가			688	1088		0.006	
	7% 첨가			687	1087		0.007	
	10% 첨가			686	1085		0.008	
	13% 첨가	686	1084					

2) Fresh 콘크리트 특성 : 굳지않은 콘크리트의 작업성 평가를 위해 KS F 2402 및 KS F 2421 방법에 따른 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며 경시변화 특성평가를 위해 가경식 믹서를 사용하여 30, 60, 90분간 혼련후 슬럼프 및 공기량을 측정하였다.

3) 공시체 제작 : 경화콘크리트 특성평가를 위하여 콘크리트 배합후 압축강도용 공시체를 KS F 2403의 방법으로 제작하였으며 길이변화 시험은 7.5×7.5×40cm 공시체 몰드 양 끝에 길이 측정용 게이지를 설치한 후 KS F 2424 규정의 다이알 게이지 방법으로 측정하였다. 또한 중성화 깊이는 공시체를 28일 수중양생후 축진양생(온도:40℃, 습도:40%, CO₂ 농도:10%)을 실시한 후 측정면에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 표면으로부터 변색부분까지의 깊이를 측정하였다. 동결융해의 측정은 KS F 2456에 의하여 시멘트 종류별 상대동탄성계수를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Fly ash 특성

Fly ash에 대한 제반특성을 검토한 결과 Fly ash-B 시료의 분말도는 Fly ash-A 시료에 비하여 매우 미세한 것으로 나타났다. 그러한 결과로 압축강도비 및 포졸란 활성도가 Fly ash-A 시료에 비하여 양호한 것으로 나타나는데 이는 Fly ash와 같은 포졸란 물질이 물의 존재하에서 시멘트 수화과정 중 생성된 수산화칼슘과 반응하여 불용성 경화물질을 생성하는 포졸란 반응이 분말도 상승에 따라 촉진된 현상으로 볼 수 있다.

표 4 Fly ash의 제반특성

시료	항목	비중	평균입경 (μm)	Blaine (cm ² /g)	잔사 (%)		단위수량비 (%)	압축강도비 (%)		포졸란 활성도 (kg/cm ³)	
					44μm	88μm		7일	28일	7일	28일
					Fly ash-A	2.32		20.5	3970	15.9	5.6
Fly ash-B	2.50	8.5	6460	0.3	0.1	93	83	86	86	91	

3.2 시멘트 특성

3.2.1 기본 특성

Fly ash 첨가량이 증가할수록 제조 시멘트의 비중은 감소하여 13 wt% 첨가시 시멘트의 비중은 3.02~3.04 정도로 낮아진다. 시멘트의 색도 측면에서는 1종 시멘트 대비하여 백색도가 미세하게 증대 되는 경향이지만 육안으로 구분하기에는 어려운 정도의 변화가 감지되고 있다. 수화열 측면에서는 1종 대비 Fly ash를 13 wt% 까지 첨가할 경우 7일 수화열의 경우 7.2~9.7 cal/g, 28일 수화열의 경우 15.2~17.0 cal/g 이 감소되는 것으로 나타나 시멘트의 수화열 저감 효과가 파악되었다.

표 5. Fly ash 첨가 시멘트의 기본특성

시료	항목	비 중	색 도*			KS 수화열	
			L	a	b	7 일	28 일
1종 시멘트		3.15	54.2	-0.3	6.2	81.4	92.5
Fly ash-A	3% 첨가	3.12	54.2	-0.2	6.2	81.3	91.7
	5% 첨가	3.10	54.3	-0.3	6.3	80.0	91.3
	7% 첨가	3.08	54.4	-0.2	6.3	78.9	89.4
	10% 첨가	3.06	55.3	-0.3	6.3	75.4	84.2
	13% 첨가	3.02	55.0	-0.2	6.4	71.7	75.5
Fly ash-B	3% 첨가	3.13	52.2	-0.3	5.9	81.1	91.8
	5% 첨가	3.10	54.2	-0.3	5.9	80.5	91.1
	7% 첨가	3.08	54.3	-0.3	5.6	80.3	90.1
	10% 첨가	3.06	54.7	-0.2	5.5	76.4	85.9
	13% 첨가	3.04	54.7	-0.2	5.5	74.2	77.3

* 색도 : L: Lightness (100:white, 0:Black), a: Red(+)-Green(-), b: Yellow (+)-Blue(-)

3.2.2 물리성능

시멘트 종류별 응결특성 및 몰탈 압축강도를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. Fly ash의 첨가량이 증가할수록 초결 및 종결이 모두 지연되는 경향이 나타나고 있으나 변화폭은 크지 않은 것으로 확인 되었다. 몰탈 압축강도 측면에서는 Fly ash의 첨가량 증가에 따라 압축강도가 감소하는 것으로 보이며 강도 저하폭은 재령이 길어질수록 감소되는 경향을 보이고 있다.

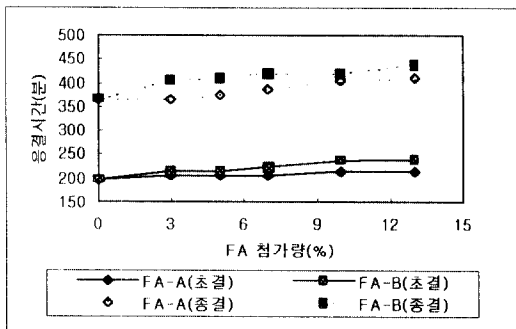


그림 1. Fly ash 첨가시멘트의 응결특성

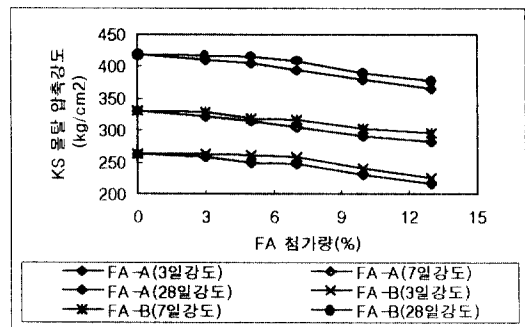


그림 2. Fly ash 첨가시멘트의 압축강도

3.3 콘크리트 특성

3.3.1 Slump 및 공기량

2.3 항의 표 3의 콘크리트 배합조건에서 AE 혼화제의 사용량을 1종 시멘트의 경우와 동일하게 고정 사용하여 시멘트 종류별 콘크리트의 Slump 및 공기량을 측정한 결과를 그림 3, 4에 나타내었다. Slump의 경우 Fly ash 무첨가시와 비교해 동등 이상의 Slump 특성을 보이고 있으며 Fly ash 종류간에 있어서는 분말도가 미세하고 미연카본의 함량도 다소 적은 Fly ash-B의 경우에서 양호한 Slump 특성을 나타내고 있어 Fly ash 첨가에 따른 단위수량 감소효과를 확인할 수 있다. 그러나 공기량 측면에서는 Fly ash-A, B 모두 무첨가 대비시 첨가량 증가에 따라 감소되는 것으로 나타났다.

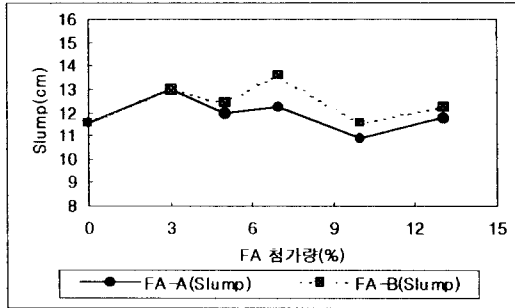


그림 3. Fly ash 첨가량에 따른 Slump 변화

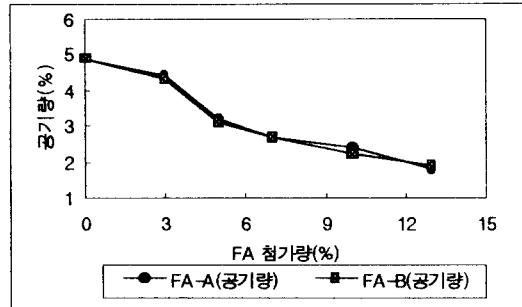


그림 4. Fly ash 첨가량에 따른 공기량 변화

3.3.2 Slump 및 공기량 경시변화

Fly ash 첨가량을 달리한 시멘트의 Slump 및 공기량 경시변화를 그림 5, 6에 나타내었다. 초기 Slump 및 공기량을 동일하게 하여 90분 경과시까지의 경시변화 특성을 보면 Fly ash 무첨가인 경우와 비교할 때 경시변화가 다소 증대되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 공기량 변화에서 더욱 뚜렷히 나타나고 있으며 이러한 영향이 Slump 경시변화에도 영향을 미쳐 Fly ash 첨가시 Slump 경시변화는 무첨가 대비 다소 저하되는 것으로 확인되었다.

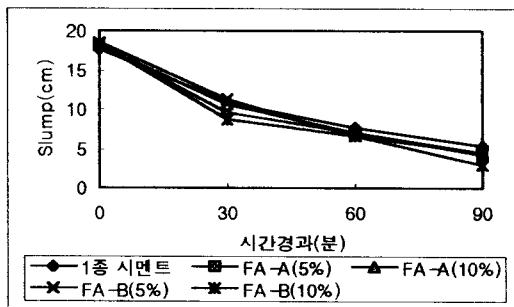


그림 5. Fly ash첨가량에 따른 Slump 경시변화

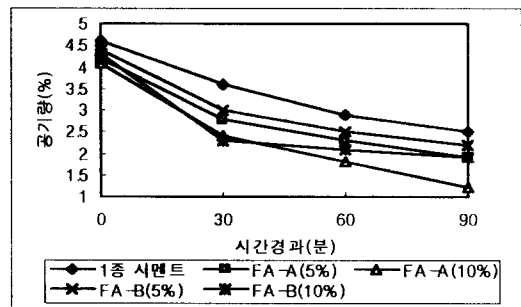


그림 6. Fly ash 첨가에 따른 공기량 경시변화

3.3.3 압축강도 및 내구성

2.3항의 표 3의 콘크리트 배합조건에 따른 콘크리트 압축강도 및 내구성 실험결과를 그림 7, 8, 9 및 10에 나타내었다. 압축강도의 경우 몰탈의 경우에서와는 달리 Fly ash의 첨가량이 증가됨에 따라서 약 10 wt% 첨가 수준까지는 증대되는 것으로 나타났으며 이러한 경향은 재령이 길어질수록 크게 나타나고 있다. 콘크리트에서의 이러한 압축강도 증대는 일부 Fly ash의 첨가량에 따른 공기량 감소에 기인한 것으로 보이며 28일 강도 상승폭이 증대되는 것은 포졸란 반응에 의한 영향으로 파악된다. 건조수축의 경우에 있어서는 Fly ash를 10 wt% 까지 첨가하여도 무첨가 시멘트 대비 동등 이상의 결과를 보이고 있다. 축진 중성화 실험 결과를 보면 일반적으로 Fly ash를 사용한 콘크리트의 경우 Fly ash의 가용성분이 시멘트의 수화반응으로 생겨나는 수산화칼슘과 반응하여 알칼리성을 감소시키기 때문에 중성화를 촉진시키는 것으로 알려져 있으나 본 결과에서는 Fly ash 무첨가 시멘트와 비교할 때 별다른 차이가 없음을 알수 있으며 이러한 결과로 볼 때 첨가량 10 wt. % 수준에서는 Fly ash 중성화에 별다른 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

그림 10에 나타난 시멘트 종류별 180 사이클까지 진행된 상대 동탄성계수에서도 Fly ash 첨가에 따른 별다른 영향이 나타나지 않고 있다.

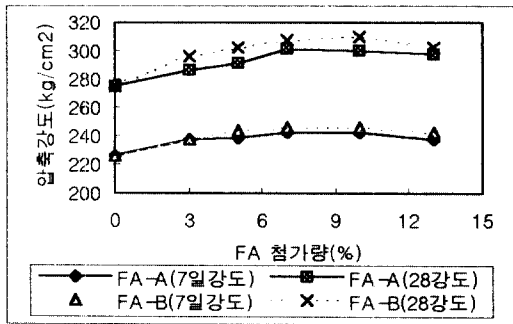


그림 7. Fly ash 첨가량에 따른 압축강도

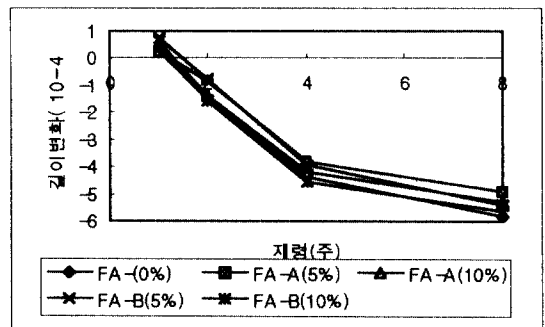


그림 8. Fly ash 첨가량에 따른 건조수축

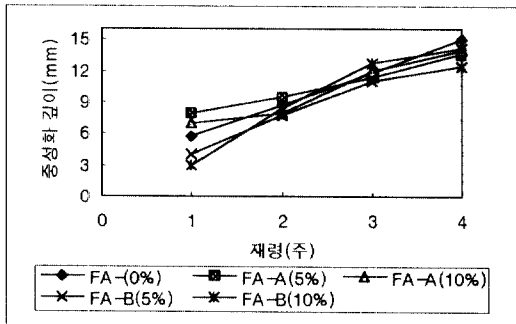


그림 9. Fly ash 첨가량에 따른 중성화 깊이

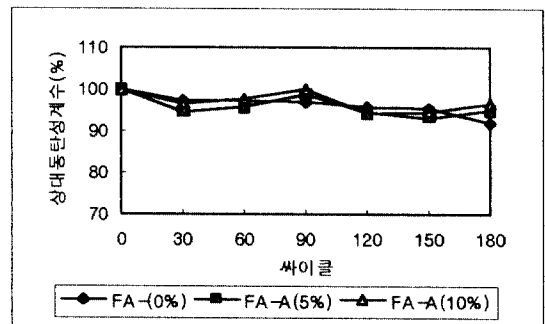


그림 10. Fly ash 첨가량에 따른 동결용해

4. 결론

1종 보통 포틀랜드 시멘트에 fly ash를 3~13 wt% 범위에서 첨가하여 혼합 제조한 시멘트에 대한 시멘트 몰탈 및 콘크리트 특성을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험에 사용한 Fly ash를 3~13 wt% 범위에서 첨가하여 혼합 제조한 시멘트의 경우 시멘트 화학성분 및 물리성능 측면에서 KS 규격에서 정한 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 모든 품질 규격을 만족시키는 것으로 확인되었다.
- 2) Fly ash를 첨가하여 제조한 시멘트의 응결특성은 초결 및 종결이 지연되는 경향이나 변화폭은 매우 작으며, 불탈 압축강도는 Fly ash 첨가량 7 wt% 까지는 무첨가 시멘트와 유사하다.
- 3) Fly ash를 첨가하여 제조한 콘크리트의 Slump 특성은 Fly ash를 첨가하지 않은 시멘트보다 양호하며 이러한 현상은 분말도가 미세하고 미연 카본의 함량이 적은 Fly ash를 첨가한 경우 뚜렷히 나타났다. 그러나 공기량 측면에서는 Fly ash 첨가시 감소되어 일정 공기량을 확보하기 위한 AE 혼화제의 사용량이 증대되는 것으로 나타났다.
- 4) Fly ash를 첨가하여 제조한 콘크리트의 압축강도는 Fly ash 첨가량 증대에 따라 증가되며 이러한 현상은 초기 세령에 비해 28일 강도에서 현저히 나타나고 있다. 한편 건조수축, 중성화, 동결융해 등의 내구성 실험결과를 Fly ash 첨가시 무첨가 시멘트와 동등한 것으로 나타났다.