

국내 플라이애쉬의 품질특성에 관한 연구

Study for Korean Fly Ash Characterization

강 민 호^{*} 하 재 답^{**} 김 기 수^{***} 차 춘 수^{****}
Kang, Min Ho Ha, Jae Dam Kim, Ki Soo Cha, Chun Soo

ABSTRACT

Fly ash is glassy dust collected from coal fired power plant. Recently, much research for fly ash conducted in Korea and fly ash is a valuable material especially when it used in high strength, high flowable, high durability concrete. But it varies with coal source, coal grinding and boiler conditions. Therefore, it is important that quality control of fly ash itself to get high quality concrete. In this study, over 20 samples of Poryong and Samchonpo fly ashes are tested and analyzed. The physical, chemical properties of fly ash and their relationships are investigated and it can be applied to quality control of concrete.

1. 서론

플라이애쉬는 콘크리트용 혼화재로 많은 장점을 갖고 있는 유리질 미분말상의 산업부산자원이다. 최근에 들어와 국내에서도 이의 콘크리트 적용에 대한 연구가 폭넓게 이루어지고 있으며 특히 고유동, 고강도, 고내구성 콘크리트의 개발에 유용하게 활용될 수 있는 재료로 인식되고 있다. 그러나 플라이애쉬는 원탄의 종류, 생산된 발전소 등 여러 가지 조건에 따라 품질 산포가 비교적 큰 것으로 보고되고 있다. 따라서 고품질의 콘크리트를 얻기 위해서는 플라이애쉬 자체의 특성에 대한 명확한 파악이 선행되어야 한다. 여기서는 보령 및 삼천포에서 정제되어 유통되는 20여개의 샘플을 채취해 물리 화학적 품질 특성과 그 특성들의 상호관계 및 콘크리트에 미치는 영향을 분석하였으며 또, 이를 통한 플라이애쉬 콘크리트의 품질관리 방법에 대하여도 고찰해 보았다.

2. 실험개요

당사 레미콘 공장에서 시료 입하 때마다 시료 일부를 채취하여 화학분석, SEM, 비중, 평균입경, Blaine, 체잔유량, BET, 단위수량비, 압축강도비, 색도 등 플라이애쉬에 대한 전반적인 품질분석을 시행하였다. 보령산 정제 플라이애쉬는 97년 5월부터 98년 1월까지의 21개 시료를, 삼천포산 플라이애쉬는 97년 7월부터 98년 1월까지의 10개의 시료를 취하여 평가하였다. 보령산 시료 일부에 대해서는 콘크리트 실험을 행하여 공기량 및 슬럼프의 변화와 플라이애쉬 고유특성들과의 상관성을 찾아보았다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트 연구실 연구원

** 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트 연구실 선임연구원

*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트 연구실장

**** 쌍용양회공업(주) 환경자원사업팀장

3. 실험방법

플라이애쉬 품질평가 항목별 시험규격은 다음 표 1과 같다.

표 1 플라이애쉬 품질평가 항목별 시험규격

항 목	시험규격	항 목	시험규격
SiO ₂ 함유량	KS L 5405	44 μ m, 88 μ m 잔분	KS L 5112
타성분 함유량	KS L 5120	BET 비표면적	질소 gas 흡착법
강열감량	KS L 5405	Blaine 비표면적	KS L 5106
압축강도비	KS L 5405	진비중	KS L 5110
단위수량비	KS L 5405	평균입도	레이저 회절법
색 도	Hunter L, a, b type		

3.1 분체평가

입도에 대한 평가는 레이저 회절법에 의한 평균입경과 입도 분포 곡선을 구하였으며 현장에서 쉽게 실험할 수 있는 체잔류량, 공기투과법에 의한 Blaine 측정법, 질소가스 흡착법에 의한 BET 비표면적법에 의해 물성을 평가하였다.

3.2 몰탈평가

플라이애쉬의 KS 규정 시험 항목인 단위수량비, 압축강도비를 측정하였다.

3.3 콘크리트 평가

통상사용하는 배합을 기준으로 하여 보령산 플라이애쉬시료 일부에 대해 공기량 및 슬럼프의 변동을 평가 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

표 2 플라이애쉬 KS 규격 시험에 따른 물성

		KS L 5405 (Fly Ash)	Fly Ash 품질					
			보령산			삼천포산		
			\bar{X}	R	범위	\bar{X}	R	범위
화학 조성	SiO ₂ (%)	45 이상	57.1	4.72	46.7~64.5	55.6	4.34	49.7~56.2
	습 분 (%)	1 이하	0.14	0.05	0.06~0.22	0.14	0.05	0.10~0.21
	강열감량 (%)	5 이하	5.0	1.17	2.9~8.3	4.13	1.20	3.0~5.8
물리적 성질	비중	1.95 이상	2.34	0.05	2.25~2.42	2.42	0.04	2.36~2.48
	분말도 비표면적 (cm ² /g)	2400 이상	4030	376	3280~4550	4688	359	4170~5000
	단위수량비 (%)	102 이하	101.6	1.64	98.3~105.3	99.6	3.40	95.1~103.1
	압축강도비 (%)	60 이상	93.34	4.19	82.3~100.3	98.0	1.02	96.5~98.8

표 3 기타 시험 물성

	보령산			삼천포산				보령산			삼천포산			
	\bar{X}	R	범위	\bar{X}	R	범위		\bar{X}	R	범위	\bar{X}	R	범위	
Al ₂ O ₃	25.32	3.15	46.7~64.5	26.42	2.99	22.7~30.74	평균입경	21.47	3.28	14.0~28.0	11.77	2.71	9.68~17.17	
Fe ₂ O ₃	5.31	1.85	21.5~33.3	5.77	1.92	2.76~8.34	45 μ m잔사	15.43	5.08	7.0~28.0	4.80	4.04	1.70~10.50	
CaO	3.45	1.53	2.6~10.6	5.46	1.12	3.9~6.8	90 μ m잔사	5.17	2.60	2.1~11.5	1.20	1.30	0.30~3.10	
MgO	0.98	0.37	1.2~7.2	1.1	0.23	0.79~1.32	BET	2.64	0.62	1.63~4.16	2.68	0.54	1.94~3.44	
K ₂ O	0.99	0.28	0.50~1.98	0.88	0.19	0.58~1.11	색도	L	53.5	4.18	47.8~60.7	53.2	3.84	49.0~56.5
Na ₂ O	0.41	0.14	0.67~1.78	0.45	0.09	0.34~0.61		a	-0.05	0.38	-0.9~0.4	0.77	0.74	0.20~1.60
SO ₃	0.14	0.20	0.07~0.7	0.35	0.10	0.28~0.42		b	6.14	1.77	3.2~8.8	6.10	4.10	2.0~10.2
TiO ₂	1.15	0.21	0.85~1.62	1.31	0.17	1.10~1.56	공기량	3.25	0.42	2.5~4.0	-	-	-	
P ₂ O ₅	0.68	0.33	0.29~1.44	0.69	0.36	0.40~1.30	슬럼프	10.62	1.46	7.6~12.7	-	-	-	

KS 규격에 따른 실험 DATA 및 기타 실험값의 평균치는 다음 표 2, 3과 같다.

압축강도비, SiO₂, 습분, Blaine(비표면적)에 대해서는 대체적으로 KS규격에 만족한다. 규격에 일부 미달하는 항목은 단위수량비와 강열감량이다. 계절별로는 발전소의 부하가 많이 걸리는 하절기에 강열감량이 높아지므로 이에대한 관리가 필요할 것으로 생각된다.

실험치들 간의 상관성 조사에서 강열감량보다 BET 비표면적이 콘크리트 공기량에 매우 큰 상관성을 보이는 것을 확인하였다. BET 비표면적은 가스 충전에 의한 미세 공극량을 정확히 찾아내므로 혼화제 흡착성과 연관이 깊은 것으로 보인다. 단위수량비는 평균입경이 작을수록 줄어드는 경향이 있으며 Blaine이 커짐에 따라 압축강도비는 커진다. 이는 입자의 크기가 포졸란 반응성에 영향을 주어 강도발현에 더 영향을 미침을 나타낸다. 그림 5와 6에서의 SEM사진을 비교해 보면, 삼천포 플라이애쉬쪽이 10 μ m 미만의 잔 입자가 더 많이 함유되어 있음을 알 수 있다.

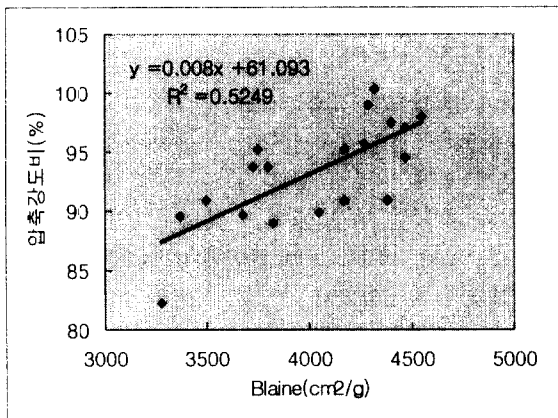


그림 1 압축강도비와 Blaine 비표면적과의 관계

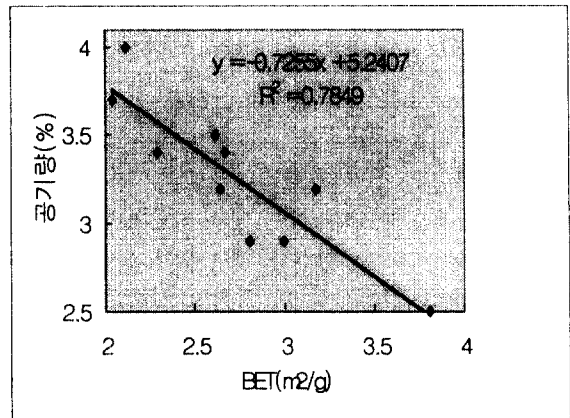


그림 2 콘크리트 공기량과 BET 비표면적과의 관계

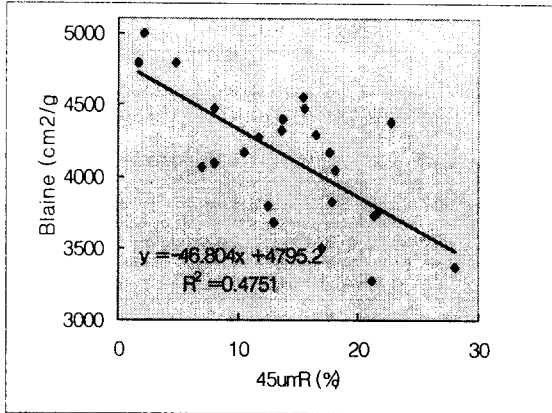


그림 3 Blaine 비표면적과 45µm체 잔류량과의 관계

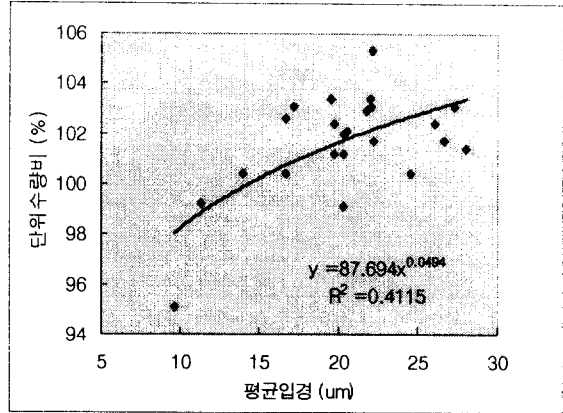


그림 4 평균입경과 단위수량비와의 관계

그림 7은 45µm체에 남은 입자의 사진이며 여기서 보이는 비구형의 입자에 있는 많은 미세공극이 혼화제 흡착에 영향을 준다. 따라서 입도 관리로 이러한 굵은 입자를 제외할 수 있다면 공기량 확보 및 혼화제 증량 사용을 피할 수 있을 것이다.

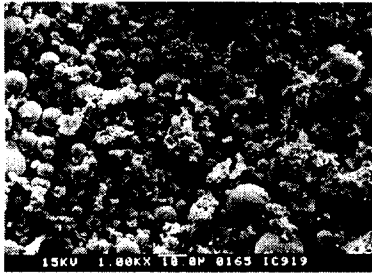


그림 5 보령 플라이애쉬 SEM 사진

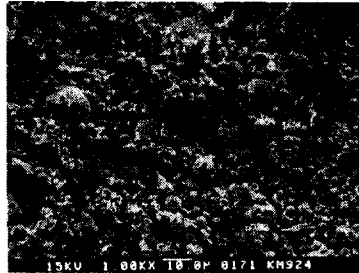


그림 6 삼천포 플라이애쉬 SEM 사진

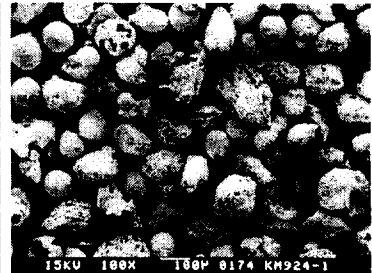


그림 7 45µm 체에 남은 비정형의 거친 입자 형상

5. 결론

KS 항목중 주요 관리대상의 시험항목은 강열감량과 단위수량비이다. 현재까지의 데이터로 본 삼천포와 보령의 비교에서 보령이 산포가 약간 더 큰 것을 관찰하였다. 또한 강열감량의 평균치가 비교적 높게 나와 사용에 주의를 요한다. 삼천포 플라이애쉬는 보령에 비해 비중이 0.08정도 높고 입경이 더 작은 것으로 확인되었다. 이는 압축강도 발현이나 초기 강도에 유리한 면을 가지고 있으며, 보령 플라이애쉬와는 전혀 다른 취급을 해줘야만 한다는 것을 알 수 있었다. BET 비표면적은 강열감량보다 혼화제 사용량을 결정하는 더 정확한 기준으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

6. 참고문헌

1. Takao Tanosaki et al. 近年の石炭灰の性状について, 株父小野田研究報告 第46券 第1冊 第129號, 1995
2. 제1회~4회 정제 플라이애쉬 기술 세미나 자료집, 한국플라이애쉬시멘트공업(주), 1989~1994