

분급 플라이애쉬의 포졸란반응 특성

Pozzolanic reaction of classified fly ash

이 승 현*

황 해 정**

Lee, Seung Heun

Hwang, Hae Jeong

ABSTRACT

This paper discussed pozzolanic reaction properties of classified fly ashes by using of electrostatic precipitator. Blaine values of fly ashes at hoppers are respectively about 3000(ordinary), 5000(fine) and 8000cm²/g(super-fine). The pozzolanic reactivity of fly ash at early stage and at later stage are respectively related to the related to the fineness and the glass content of fly ash. But the early hydration of cement was retarded by addition of super fine fly ashes. the adiabatic temperature rise of mortar containing fly ash is increased with the fineness of fly ashes.

1. 서론

플라이애쉬는 석탄화력발전소의 미분탄 연소 보일러에서 연소 후 전기집진장치에서 포집된 미립자로서 현재 산업부산물로 분류되어 있다. 따라서 환경오염방지 및 산업부산물 재활용이라는 관점에서 플라이애쉬의 이용방안에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 시멘트 분야에의 유효 이용방안으로는 KS규격에 의거한 1종 시멘트에 첨가량 5% 이하의 범위에서 혼화재료의 이용, 플라이애쉬 시멘트에의 이용, 점토질원료로의 이용 등이 있다.

본 연구에서는 전기집진기에 부착된 호파들로 부터 분급된 플라이애쉬를 이용하여 포졸란 반응성을 검토하였다. 또한 이렇게 분급한 플라이애쉬를 시멘트에 혼합했을 때의 수화열과 단열온도상승도 조사하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

실험에 사용한 플라이애쉬는 동일한 화력발전소에서 석탄의 종류와 보일러의 연소조건이 같을 때 전기집진기의 호파 3군데에서 포집하였다. 이때에 얻어진 플라이애쉬의 Blaine 비표면적은 3000cm²/g급, 5000cm²/g급, 8000cm²/g급이 얻어졌다. 총 9개의 플라이애쉬에 대해 실험하였다. 사용한 플라이애쉬의 물리·화학적성질을 표 1에 나타냈다. 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트 (Blaine 비표면적: 3560cm²/g, 비중: 3.15), 모래는 표준사를 사용하였다.

* 정회원, 군산대학교 신소재공학과 교수

** 정회원, 군산대학교 대학원

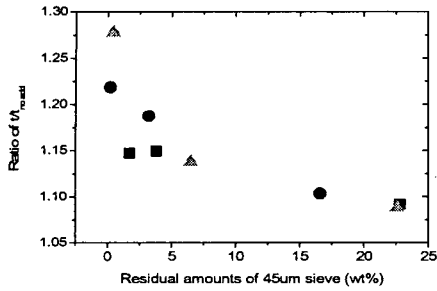


그림 3 수화발열속도곡선 제2차 피크 비와 45μ체 잔분과의 관계 (20°C)

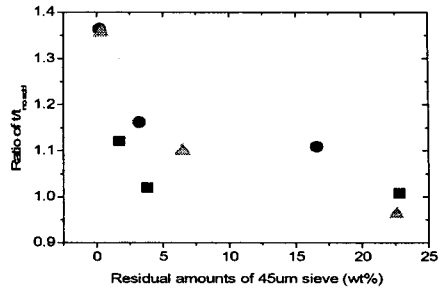


그림 4 수화발열속도곡선 제2차 피크 비와 45μ체 잔분과의 관계 (20°C)

2.2 실험방법

포졸란 반응성은 플라이애쉬와 특급시약의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 $\text{Ca}/(\text{Si}+\text{Al})=1$ 의 몰비로 혼합하고 물고체비 0.6(질량비)으로 혼련한 페이스트를 용기에 집어넣어 밀봉시켰다. 이것을 40°C의 항온조에 3, 7, 28, 56 일 양생시켰다. 소정의 기간동안 반응시킨 다음 분쇄 후 아세톤으로 수화 정지시켜 여과후 110°C에서 24시간 건조 후 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 잔존량으로부터 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응량을 계산하였다.

수화발열속도는 시멘트 20wt%를 플라이애쉬 치환하고 물/결합재=0.5로 하여 다점식 전도열량계 (TOKYO RICO, MPC-11)로 측정하여 수화발열속도와 측정하였다. 측정온도는 20°C와 40°C로 하였다. 단일온도상승량은 같은 조건하에서 물/시멘트=3으로 한 모르타르를 이용하여 단일열량계(TOKYO RICO, SAC-120)로 측정하였다.

플라이애쉬	비중	비표면적 (cm ² /g)	평균입경 (μm)	45μ체 잔분(wt%)	강열감량 (wt%)	유리질량 (wt%)	CaO (wt%)
A-1	2.06	2760	27.33	22.8	1.1	70.6	2.3
A'-1	2.08	3580	22.85	16.6	2.1	65.9	2.0
B-1	2.24	2640	28.10	22.6	1.0	72.2	7.5
A-2	2.22	4180	12.47	3.8	1.2	76.6	2.2
A'-2	2.23	4980	11.00	3.2	1.3	68.7	2.3
B-2	2.33	4490	12.46	6.5	1.1	78.1	8.1
A-3	2.42	7360	5.39	1.7	1.7	76.8	2.3
A'-3	2.40	7920	5.38	0.2	1.9	74.1	2.3
B-3	2.48	7290	3.74	0.4	0.5	80.8	7.9

표 1 플라이애쉬의 물리·화학적성질

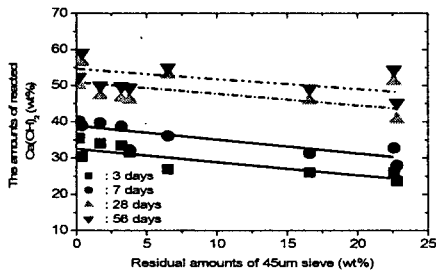


그림1 플라이애쉬의 포졸란 반응과 45μ체잔분과의 관계

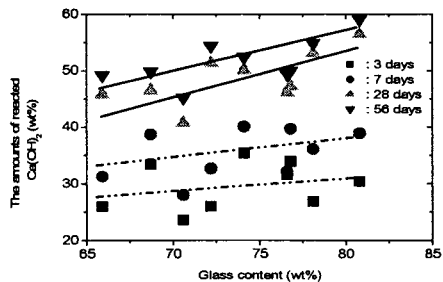


그림2 플라이애쉬의 포졸란 반응과 유리질량과의 관계

3. 실험결과 및 분석

3.1 포졸란 반응성

플라이애쉬에 대한 재령과 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응량과의 관계를 보면, 반응기간이 길어질수록 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응량은 증가하고 28일 이후에는 거의 변화가 없었다.

플라이애쉬의 분말도가 클수록 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 반응량은 증가하는 경향을 보였다. 그림 1과 그림 2에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 반응율과 45 μm 체 잔분 및 유리질량과의 관계를 나타냈다. 초기재령에서 45 μm 체 잔분이 적은 것이 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응률이 큰 값을 나타내고 있고 큰 입자의 비율이 작을수록 포졸란 반응성은 컸다. 그러나 장기 재령에서는 유리량이 많을수록 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응량은 컸다. 일반적으로 플라이애쉬는 포졸란 반응성에 의해 장기강도 증진을 가져온다. 이러한 관점과 연계시키면 플라이애쉬 중의 유리질의 양은 매우 중요하다.

3.2 수화발열속도

그림 3와 그림 4에 플라이애쉬 무첨가의 수화발열곡선의 제 2피크 발현시간($t_{no\ add}$)과 플라이애쉬를 혼합한 경우의 제2피크 발현시간(t_1)과의 비와 45 μm 체 잔분과의 관계를 나타냈다.

평균입경이 작은, 즉 45 μm 체 잔분이 적은 것이 초기수화반응을 지연시키는 경향을 나타냈다.

18시간까지의 단위시멘트당의 총발열량과 45 μm 체 잔분과의 관계를 그림 5과 그림 6에 나타냈다. 45 μm 체 잔분과 총발열량과는 상관관계가 보여지지 않았으나, 석탄의 종류에 따라 다른 경향을 나타냈다. B계는 A계 및 A'계와 비교하여 활성이 큰 CaO의 양을 3배 이상 함유하고 있고 더욱이 유리질도 많고 유리질의 조성으로 보아도 활성이 매우 크므로 초기 지연후에 alite의 반응이 가속되는 것으로 생각된다. 따라서 분말도가 큰 B계 플라이애쉬는 온도에 상관없이 발열량이 컸다.

3.3 단열온도상승

그림 6에 단열온도 상승량과 플라이애쉬의 45 μm 체 잔분과의 관계를 나타냈다. 분말도가 클수록 단열온도 상승량은 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 유리량과 CaO 성분의 양이 많은 B계 플라이애쉬가 A계 및 A'계보다 단열온도 상승량이 높은 값을 나타냈다. 그러나 분말도가 매우 높은 플라이애쉬를 사용하더라도 고로슬래그 미분말과 같이 무혼합보다 큰 값을 나타내는 경우는 없다. 앞서 언급한 수화발열속도에서의 영향과 마찬가지로 플라이애쉬의 분말도가 클수록 온도가 상승하는 시간은 늦어진다. 그 후 최고온도에 도달하는 시간은 빨라지는 경향을 나타냈다.

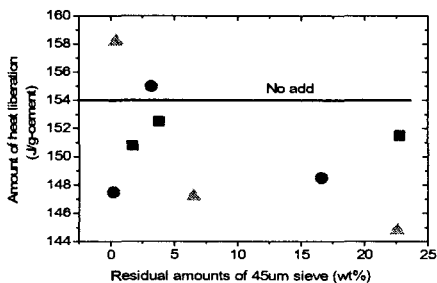


그림 5 플라이애쉬 첨가 시멘트의 수화발열과 45 μm 체 잔분과의 관계 (20 $^{\circ}\text{C}$)

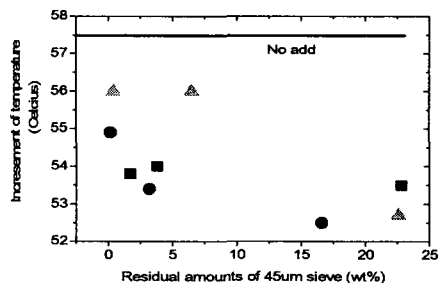


그림 6 모르타르의 단열온도상승곡선

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 플라이애쉬의 포졸란 반응성은 초기재령에서는 $45\mu\text{m}$ 체 잔분 등 분말도와 관계가 있고, 장기재령에서는 플라이애쉬 중의 유리질의 양과 관계가 있다.
- 2) 플라이애쉬는 입경이 작을수록 시멘트 페이스트의 초기수화를 지연시키지만 CaO 양이 많은 플라이애쉬의 경우에는 초기지연후 alite의 수화반응이 가속되어 1일후의 단위 시멘트당의 발열량은 무혼합 일때보다 큰 값을 나타냈다.
- 3) 플라이애쉬의 분말도가 높을수록 단열온도 상승량은 증가하지만 무첨가보다는 낮은 값을 나타내며, 온도가 상승하는 시간은 늦어진 후 최고온도에 도달하는 시간은 빨라지는 경향을 나타냈다.

참고문헌

1. S.H. Lee, E. Sakai, M. Daimon and W.K. Bang, "Characterization of fly ash directly collected from electro precipitator", Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 1791-1797, 1999.
2. S.H. Lee, E. Sakai, K. Watanabe T. Yanagisawa and M. Daimon, "Properties of classified fly ash by using of electrostatic precipitator and the modification of fly ashes by the removal of the carbon, J. Soc. Mat. Sci. Japan, Vol. 48, No. 8, pp. 837-842, 1999.