

# 바텀애시를 이용한 저발열 혼합시멘트 및 콘크리트의 기초물성에 관한 연구

## A Study on the Basic Properties of Concrete and Low Heat-Blended Cement with Bottom Ash

김 원 기\* 김 훈 상\*\* 김 홍 주\*\* 이원준\*\*\* 신진호\*\*\*

Kim, Won Ki Kim, Hoon Sang Kim, Hong Joo Lee, Won Jun Shin, Jin Ho

### ABSTRACT

This study has examined the effect of bottom ash(BA) on the properties of low heat-blended cement(LHC) and concrete. A number of binders were prepared by the replacement of LHC with BA in range of 5~20wt%. The results showed that the final setting time of cement paste were delayed when the BA replaced part of the cement. However, The heat of hydration increased narrowly with adding BA in a early hydration period. The results also showed the inclusion of BA at replacement levels of 5~10wt% resulted in an increase in compressive strength of the specimens compared with that of the control concrete and improved a resistance of concrete against the sulfate and chlorine ion.

### 요 약

최근 들어 석탄회 재활용에 관한 연구는 환경문제와 관련되어 활발히 진행되어 왔으며 미국, 일본과 같은 선진국에서는 이미 석탄회를 각종 산업분야에 적용함으로써 환경오염 저감 및 경제적 이익 측면에서 상당한 성과를 이루고 있다. 이에 국내에서도 지속적인 연구개발을 통해 시멘트 및 레미콘 분야 등에서 시멘트 클링커 원료나 콘크리트 혼합재로 석탄회를 사용함으로써 2005년도 기준 전체 석탄회 발생량 중 약 58.5%정도를 재활용하고 있다. 그러나, 이는 석탄회 중 플라이애시(Fly Ash)에 한정된 것으로, 전체 석탄회 발생량 중 10~20%에 달하는 바텀애시(Bottom Ash)에 대한 재활용은 극히 미미한 실정이며, 현대 대부분 매립처분되어 심각한 환경오염을 야기하고 있다.

이에 본 연구에서는 국가적인 사회간접자본의 투자가 증대됨에 따라 초고강도콘크리트 및 매스콘크리트와 같은 특수콘크리트에 수요가 증대되고 있는 저발열 혼합시멘트(Low Heat-Blended Cement)의 혼합재로써 바텀애시의 사용 가능성 여부를 검토하고자 바텀애시의 첨가량 변화에 따른 저발열 혼합시멘트 및 콘크리트의 기초물성 변화를 비교검토 하였다.

\* 정회원, 기초소재주식회사 시멘트연구소, 소장  
\*\* 정회원, 기초소재주식회사 시멘트연구소, 대리  
\*\*\* 정회원, 기초소재주식회사 시멘트연구소, 계장

## 1. 서 론

바텀애시의 화학조성은 플라이애시와 유사하지만 산화철의 함량이 높고 카본의 함량이 높은 편이다. 또한 입자가 조대하고 용융정도가 크기 때문에 상대적으로 활성이 낮아 콘크리트 혼합재료로 이용 시 플라이애시나 고로슬래그미분말에 비해 포졸란 반응성이 떨어지는 단점이 있으나, 장기재령에서 콘크리트의 강도증진에 기여하며 특히, 내구성이 우수하여 콘크리트의 내염해성 및 내화학성 등의 내구성을 향상시키는데 우수한 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 사회간접자본의 투자 증대와 함께 특수콘크리트에 수요가 증대되고 있는 저발열 혼합시멘트의 혼합재료로써 바텀애시의 사용 가능성 여부를 검토하고자 하였다.

## 2. 실험 방법 및 사용재료

### 2.1 사용재료

본 연구에서는 사용된 저발열 혼합시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC), 고로슬래그미분말(BFS) 및 플라이애시(FA)를 일정비율로 혼합하여 제조하였다. 바텀애시(BA)는 영흥화력발전소에서 발생하는 것으로 매립되기 직전의 것을 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 시료준비

BA는 105℃에 24시간 동안 건조한 후, 진동밀을 이용하여 브레인 비표면적 6,000cm<sup>2</sup>/g수준으로 미분쇄하였다. 미분쇄한 BA를 FA에 대한 일부 치환첨가하여 저발열 혼합시멘트를 제조하였으며, 저발열 혼합시멘트의 기본배합은 3성분계 혼합시멘트 배합 중 대표적인 1가지 배합으로 선정하였다. 분체별 혼합비율은 표 1과 같다.

표 1. 분체 배합 비율

배 합 명		OPC	BA-0	BA-5	BA-10	BA-15	BA-20
배합 비율 (wt%)	OPC	100	35	35	35	35	35
	BFS	-	45	45	45	45	45
	FA	-	20	15	10	5	0
	BA	-	0	5	10	15	20

#### 2.2.2 실험항목

##### (1) 시멘트 시험

분쇄한 BA의 입자성상과 광물조성을 알아보기 위해 SEM분석과 XRD분석을 실시하였다. 또한 제조된 저발열 혼합시멘트의 수화발열특성을 비교검토하기 위해 미소수화열을 측정온도 20℃, W/C 50% 조건하에서 72시간 동안 측정하였다.

##### (2) 콘크리트 시험

BA의 첨가에 따른 콘크리트의 물성변화 확인을 위해 콘크리트 압축강도시험을 진행하였다. 이때 조골재 최대 크기는 20mm이며, 콘크리트 배합은 W/C 40.0%, S/a 46.5%로 하였다. 제작된 콘크리트에 대해 재령별로 압축강도 시험과 콘크리트의 내구성을 평가하기 위해 내염해성 및 내화학성 평가를 진행하였다. 또한 콘크리트의 수화발열특성 평가를 위해 400\*400\*400mm용적에 100mm의 두께의 스티로폼 박스를 이용하여 간이 단열온도상승시험을 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 시멘트 시험결과

그림 1에 보이는 바와 같이 BA의 주광물상은 Quartz이며, 그 외에 Mullite와 Hematite 및

Magnetite와 같은 산화철계의 광물상이 소량 존재하여 일반 플라이 애시와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 SEM분석결과(그림 3)에서는 FA는 구형의 입자로 나타나고 있으나, BA의 경우 입자의 성상이 거칠고 다공성인 표면을 확인할 수 있다.

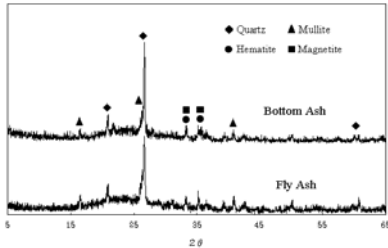


그림 1. XRD분석결과

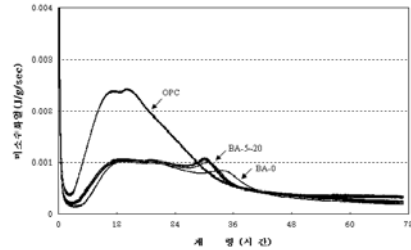


그림 2. 미소수화열 측정결과

그림 2는 72시간 동안의 미소수화열 측정 결과이다. OPC에 비해 BA군은 큰 폭의 수화열 감소 경향을 보이고 있으나, BA의 첨가량이 증가할수록 5시간 이내에 2차 발열이 발생하며 초기수화가 촉진되는 경향을 보이고 있다. 이는 BA가 초기에 다량의 물을 흡수하면서 단위수량을 감소시키는 작용을 하여 페이스트의 발열을 촉진시키는 작용을 하였기 때문으로 생각된다.

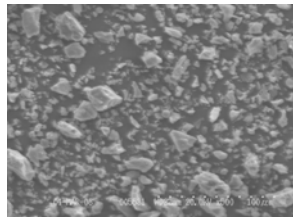


그림 3-1. BA(+500)

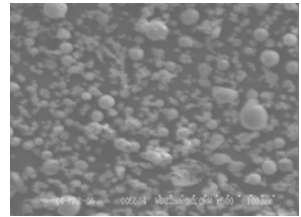


그림 3-2. FA(+500)

### 3.2 콘크리트 시험결과

#### 3.2.1 콘크리트의 압축강도 및 수화발열 시험결과

굳지 않은 콘크리트 특성의 경우, 동일 단위수량에서 목표슬럼프를 얻기 위해 BA-10까지는 BA-0에 비해 고성능 혼화제의 사용량이 감소하는 경향을 보이며 우수한 작업성을 보이고 있으나, 이후 첨가량이 증가할수록 BA의 다공성 표면으로 인해, 혼화제 사용량 및 단위수량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 4의 압축강도 측정결과와 초기재령에서 BA-5~15는 BA-0에 비해 동등이상의 강도발현을 보이고 있다. 이후 장기재령으로 갈수록 BA의 반응에 의해 강도증진이 이루어져 재령 91일에서는 BA-0에 비해 BA-5~15의 경우 약 10%정도의 강도향상을 보이고 있다.

콘크리트의 간이단열온도상승 시험결과에서는 모든 시료가 재령 3일 이내에 최고상승온도를 나타내고 있으며, 미소수화열 시험결과에 나타난 경향과 같이 BA가 첨가되면 발열속도가 증가하고 최고상승온도 역시 소폭 증가하는 경향을 나타내었다.

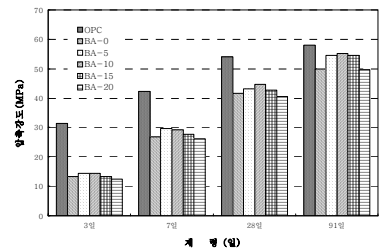


그림 4. 콘크리트 압축강도

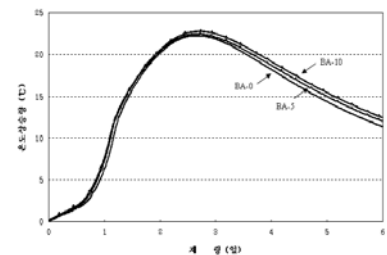


그림 5. 간이단열온도상승시험특성

### 3.2.2 콘크리트의 내염해 및 내화학적 평가 시험결과

포졸란 물질이 혼합된 저발열 혼합시멘트의 경우, 혼합재의 잠재수경성 및 포졸란 반응성에 의해  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 소비됨으로써, 산에 의한 침식이 감소하여 재령 14일까지 큰 질량변화를 보이고 있지 않다. 특히 바텀애시가 첨가될 경우, 소폭의 질량감소를 감소가 나타나며, BA-0에 비해 동등이상의 내화학적 특성을 발휘하고 있다. OPC에 비해 저발열 혼합시멘트의 내염해 특성이 재령 7일부터 우수한 성능을 발휘하고 있다(그림 7). 특히, BA가 첨가될 경우, 확산계수가 초기재령부터 큰 폭으로 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 염화물 이온의 주요 침투경로가 되는 콘크리트의 미세공극을 고미분말의 BA가 치밀하게 충전시켜 주기 때문으로 생각된다.

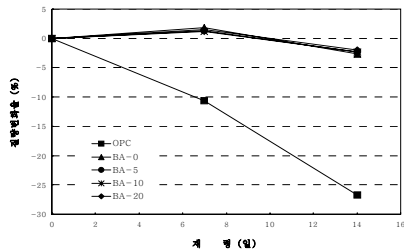


그림 6. 내화학적 시험결과

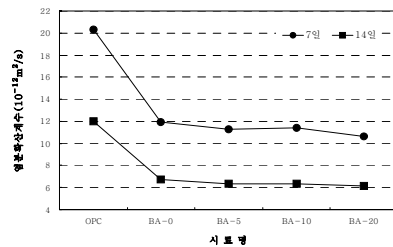


그림 7. 내염해성 시험결과

## 4. 결론

본 연구에서는 바텀애시를 미분쇄하여 저발열 혼합시멘트에 치환첨가하였을 경우, 시멘트 및 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 바텀애시의 광물상은 일반 플라이애시와 큰 차이는 없으나, 입자의 성상이 거칠고 다공성 표면을 가지고 있어 동일수량에서 수화초기에 수화열을 소폭 증가시키는 작용을 하고 있다.
- 2) 저발열 혼합시멘트 제조 시 바텀애시를 플라이애시에 대한 50wt% 이내로 치환첨가할 경우, 초기 재령부터 우수한 압축강도발현 특성을 나타내었다.
- 3) 콘크리트의 내구성 측면에서 바텀애시가 첨가될 경우, 일반 플라이애시를 단독 사용하였을 경우에 비해 동등 이상의 우수한 내구성능을 발현하는 것을 확인하였다.
- 4) 이상 시험결과를 토대로 저발열 혼합시멘트 제조 시 플라이애시에 대해 바텀애시를 25~50%수준에서 치환첨가하여 사용할 경우 콘크리트의 물리적 특성 및 내구성 향상뿐만 아니라, 친환경적 측면에서 폐기물의 재활용을 통한 환경보존에도 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 각종 시멘트의 황산에 의한 모르타르의 침식현상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 2003년도 봄 학술 발표회 논문집, Vol.15, No.1, pp. 281~286
2. 고부가가치 Bottom Ash 생산 기술 및 활용 경제성 연구(최종보고서), (재)한국계면공학연구소 자원 재활용연구실, 2004
3. 장승엽, 장봉석, "염해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 설계 예제(열화도 평가를 중심으로)," 한국 콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, pp. 259-271, 2006
4. 콘크리트 표준시방서 해설, 한국콘크리트학회, 2004
5. Peter C. Hewlett, etc, "Lea's chemistry of cement and Concrete," 2002