

# 바텀애시를 사용한 모르터의 특성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on Properties of Mortar using Bottom Ash

○ 송민섭\*

Song, Min-Seob

김영덕\*

Kim, Young-Duck

나철성\*

Na Chul-Sung

최경렬\*\*

Choi, Kyung-Ryul

김재환\*\*

Kim, Jae-Hwan

김무한\*\*\*

Kim, Moo-Han

### Abstract

Bottom ash among the coal ash is not used because of its poor properties. But encouraging the use of bottom ash as a construction material is a sensible method of utilization as it avoids the problems and costs associated with disposal and provides an alternative aggregate source.

This study was aimed at using bottom ash as an alternative fine aggregate source to provide a solution to disposal and insufficient fine aggregate for the production of concrete. So properties of domestic bottom ash were estimated due to the difference of each domestic bottom ash. And compressive strength and durability were estimated as basic data to use bottom ash in building industries. As a result of the experiment, the very porous surface and angular shape of the bottom ash particles necessitate a higher apparent water-cement ratio. And due to the higher water requirement, the compressive strength and durability of mortar is lower than those of the control samples. But when 25 percent of the total dry weight of the natural fine aggregate was replaced by bottom ash, the engineering characteristics were similar.

키워드 : 석탄회, 바텀애시, 모르터, 겔보기 물시멘트비, 압축강도, 내구성

Keywords : Coal Ash, Bottom Ash, Mortar, Apparent Water-Cement Ratio, Compressive Strength, Durability

## 1. 서론

현대 주거도시와 산업도시의 급속한 팽창으로 전력사용처 및 사용량이 급증하고 있고 전력공급을 위한 화력발전소의 발전량도 크게 증가하고 있다. 그에 따라 국내에서도 대량의 석탄회가 발생하게 되어 2001년에는 약 490만 톤이 발생하였으며, 향후 2015년경에는 약 800만 톤이 발생할 것으로 예상하고 있다.

이러한 배경에서 국내의 화력발전소에서 대량으로 발생하고 있는 석탄회의 재활용 및 처리에 대한 해결방안을 강구하고 있으며, 석탄회 중 약 80%정도를 차지하는 플라이애시(Fly ash)의 경우 1980년대부터 많은 연구결과를 토대로 하여 현재 구조재용 콘크리트 및 시멘트 2차제품 등에 대부분 활용되고 있다. 그러나 석탄회 중 발생량이 15~20%를 차지하는 바텀애시(Bottom ash)의 경우 물리·화학적 성질이 열악하여 현재 대부분이 인근연안에 매립·폐기되고 있어 해양환경 파괴를 초래함과 동시에 매립지의 포화상태를 가져와 새로운 매립지가 요구되고 있으나 경제성 및 환경파괴 등의 이유로 매립지 확보가 곤란한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 대책으로 바텀애시를 재활용하기 위한 연구가 진행되고 있으며 그의 일환으로 바텀애

시를 콘크리트용 잔골재 대체재로 활용하는 연구가 시도되고 있다. 그러나 발생하는 발전소에 따라 품질에 큰 차이를 보이고 있어 잔골재 대체재로서 활용하기 위해서는 국내에서 발생하는 바텀애시의 품질에 대한 실험·실증적인 연구가 선행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 화력발전소에서 발생하고 있는 바텀애시를 채취하여 품질특성을 비교·검토한 후, 이를 잔골재 대체재로 사용한 모르터의 강도특성 및 내구특성을 비교·평가함으로써 현재 대부분 매립·폐기되고 있는 바텀애시의 활용을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.<sup>1)</sup>

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획 및 방법

본 연구에서는 국내 발전소별 바텀애시를 잔골재 대체재로 사용한 모르터의 특성을 비교·검토하기 위하여 국내 대표적인 바텀애시의 품질과 이를 사용한 모르터의 품질을 평가하였다.

먼저 국내 바텀애시의 품질평가를 실시하기 위해 국내 대표적인 4곳의 석탄화력발전소에서 바텀애시를 채취하여 콘크리트용 잔골재로서 품질특성을 검토하였다.

또한 바텀애시의 품질이 모르터의 공학적 특성에 미치는 영향을 비교·검토하기 위해 바텀애시를 모르터의 잔골재 대체

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

재료 사용하였으며, 이를 위한 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 물시멘트비 47.5%, 시멘트 중량에 대한 잔골재 중량비(C:S)를 1:2, 잔골재에 대한 바텀애시 중량 대체율(BA/S)을 0, 25, 50, 75, 100%로 설정하였다. 또한 모르터의 목표플로우를 230±15mm로 설정하였다.

표 1. 모르터의 실험계획

W/C (%)	C : S (wt %)	BA/S (wt %)	목표플로우 (mm)	측정항목
47.5	1 : 2	0, 25, 50, 75, 100	230±15	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 플로우(mm)</li> <li>· 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>)</li> <li>· 중성화깊이(mm)</li> <li>· Cl-침투깊이(mm)</li> </ul>

\* C: 시멘트, S: 세척사, BA: 바텀애시

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,200cm <sup>2</sup> /g
잔골재	세척사(인천산), 최대치수 : 5mm 비중 : 2.56, 조립율 : 3.11, 흡수율 : 1.66

2.2 사용재료

본 연구에서는 발전소별 바텀애시의 품질특성을 고려하여 석탄화력발전소 중 대표적인 4곳에서 바텀애시를 채취하였으며, 채취된 바텀애시는 사진 1에서 나타난 바와 같다. 또한 바텀애시를 사용한 모르터 실험에 사용된 시멘트 및 잔골재의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같다.

2.3 비빔 및 시험방법

잔골재 대체재로서 바텀애시 품질검토를 위해 KS F 2502에 의해 체가름분석을 실시하였으며 염화물 함유량이 KS F 2526에 만족여부를 측정하였다.

또한 본 실험에서는 잔골재 및 바텀애시의 표건상태 측정 오차에 따른 영향을 배제하기 위해 절건상태로 사용하였으며, 동일 시공성을 만족시키기 위해 모르터의 목표 플로우를 230±15mm로 설정하여 모르터에 수량을 추가 첨가한 후 겉보기 물시멘트비를 측정하였다.

한편 모르터의 비빔은 그림 1에 나타난 바와 같이 실시하였으며, 비빔이 완료된 모르터의 유동성을 평가하기 위해 KS

L 5111의 시멘트 시험용 플로 테이블을 사용하여 모르터의 플로우를 측정하였다. 또한 비빔이 완료된 모르터는 5×5×5cm의 각형 몰드에 타설한 후 표면을 양생포로 덮고 실내에 방치하였고, 타설 24시간 후 탈형하여 50℃의 수중에 7일간 고온양생을 실시하였으며, 측정 1일전 건조한 후 KS L 5105에 준하여 압축강도를 측정하였다.

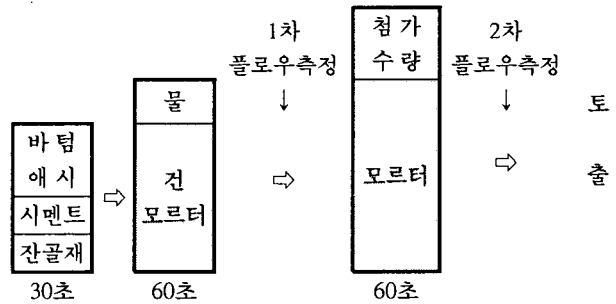


그림 1. 모르터 비빔방법 및 플로우 측정

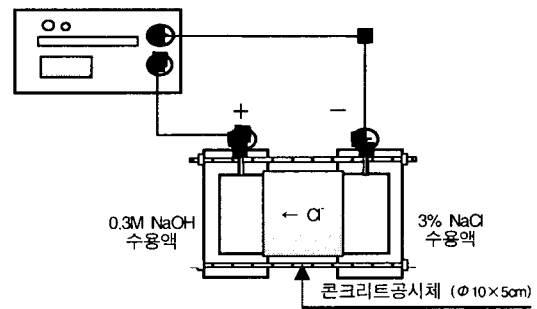
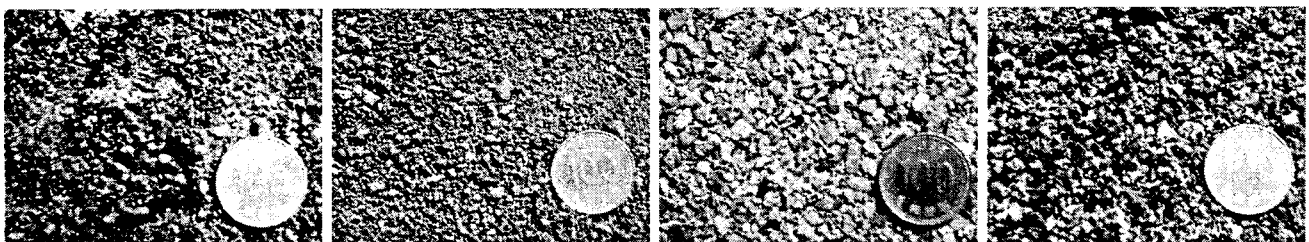


그림 2. 급속염화물침투시험(RCPT) 장치

또한 바텀애시를 사용한 모르터의 내구특성을 검토하기 위하여 촉진중성화실험과 Tang & Nilson에 의해 제안된 급속염분침투시험(Rapid Chloride Penetration Test)을 실시하였다. 촉진중성화실험에서는 CO<sub>2</sub>농도 5%, 상대습도 50%, 온도 20℃의 조건에서 모르터를 7일간 방치하였다. 급속염분침투시험은 그림 2와 같이 음극측에 NaCl 3% 용액, 양극측에 0.3M NaOH용액을 채운 확산셀의 사이에 Φ10×5cm 크기의 콘크리트 공시체를 고정시킨 후 30V의 전압을 5시간 동안 가하여 전기 영동에 의해 음극에서 양극의 셀 쪽으로 염화물이온을 이동시켰으며 침투깊이는 공시체에 0.1N AgNO<sub>3</sub>용액을 분무한 후 변색된 부분을 측정하였다.



A 화력발전소 B 화력발전소 C 화력발전소 D 화력발전소

사진 1. 국내 대표적인 화력발전소 바텀애시의 성상

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 바텀애시의 품질평가

본 실험에 사용된 바텀애시의 외관은 사진 1에 나타난 바와 같다. 그림 3은 국내 발전소별 바텀애시의 입도분포곡선을 나타낸 것으로, 대부분의 바텀애시가 콘크리트용 잔골재의 표준입도 범위에 속하는 것으로 나타났으나 바텀애시 C의 경우 표준입도 범위를 다소 벗어나고 있으며, 0.3mm 이하의 미립분이 다량 함유된 것으로 나타났다.

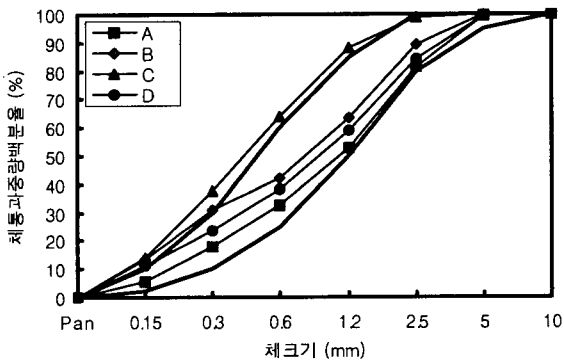


그림 3. 국내 바텀애시의 입도곡선

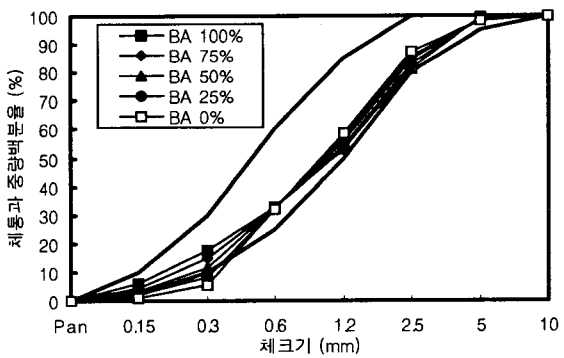


그림 4. A 바텀애시의 잔골재 치환율별 입도곡선

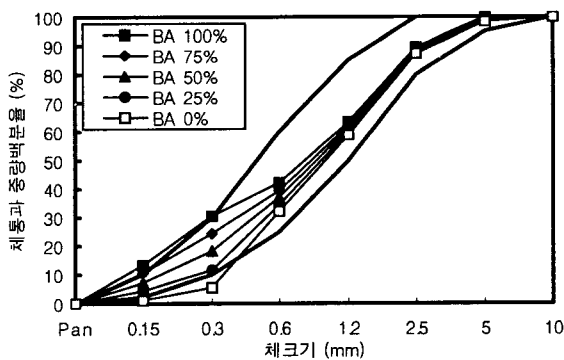


그림 5. B 바텀애시의 잔골재 치환율별 입도곡선

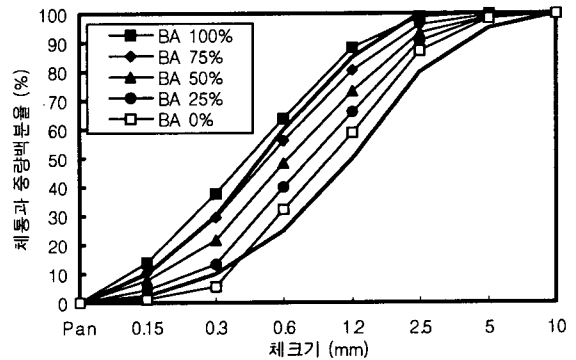


그림 6. C 바텀애시의 잔골재 치환율별 입도곡선

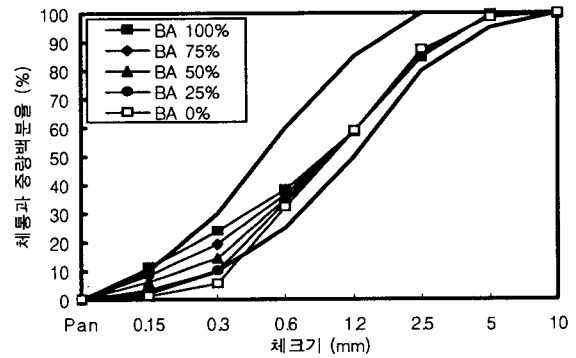


그림 7. D 바텀애시의 잔골재 치환율별 입도분포곡선

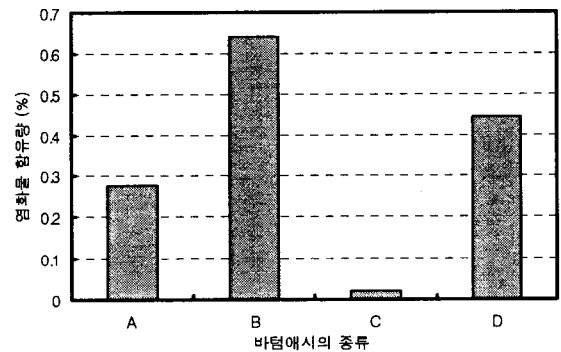


그림 8. 바텀애시의 연화물 함유량

또한 그림 4~7은 각 바텀애시와 세척사의 치환율별(BA/S) 각 시료의 입도분포곡선을 나타낸 것으로, 치환율 0%인 세척사의 경우 0.3mm 이하에서 표준입도 범위를 하회하고 있는 바닷모래의 세척과정에서 0.3mm 이하의 미립분이 손실되었기 때문으로 사료된다. 또한 세척사에 대한 바텀애시의 치환율이 증가할수록 0.3mm 이하의 미립분이 증가되어 C 바텀애시를 제외하고 치환율 100%까지 표준입도 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

그림 8은 바텀애시의 연화물 함유량을 측정된 결과를 나타낸 것으로 A, B, D 바텀애시의 경우 콘크리트용 잔골재의 연

화물 규정치인 0.04%를 모두 상회하고 있으며, C 바텀애시의 경우 규정치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 이는 A, B, D 발전소 경우 해수를 사용한 습식처리시스템을 채택하고 있고 C 발전소의 경우 건식처리시스템을 사용하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 바텀애시를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위해서는 이에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 바텀애시를 사용한 모르터의 품질특성

그림 9는 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 동일 시공성을 만족하기 위한 겉보기 물시멘트비 및 총 투입수량의 변화를 나타낸 것으로, 잔골재에 대한 바텀애시 치환율이 증가할수록 겉보기 물시멘트비 및 총 투입수량은 크게 증가하는 것으로 나타났다.<sup>1)</sup> 이는 사용된 바텀애시가 다공질의 재료로 높은 흡수율을 가지며, 이로 인해 비빔시 다량의 배합수를 흡수하여 모르터의 동일 시공성을 만족시키기 위한 첨가 수량이 증가되었기 때문으로 사료된다. 한편 이러한 경향은 바텀애시의 종류에 따라 다르게 나타났으며, 특히 바텀애시 C의 경우 다른 바텀애시에 비하여 동일 시공성을 만족하기 위한 겉보기 물시멘트비의 증가 비율이 상대적으로 작게 나타났다.

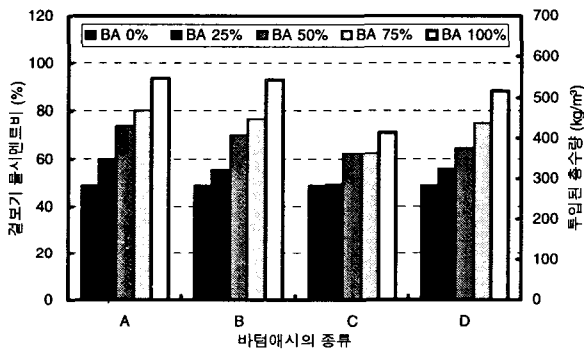


그림 9. 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 겉보기 물시멘트비 및 총 투입수량의 변화

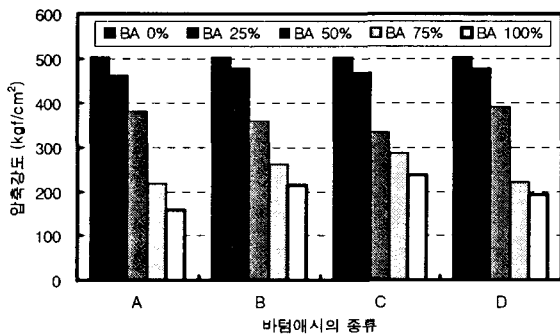


그림 10. 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 압축강도 변화

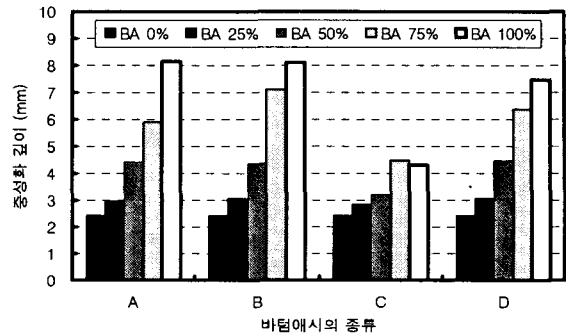


그림 11. 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 중성화깊이

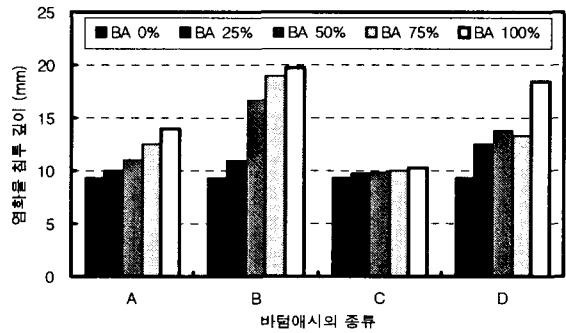


그림 12. 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 염화물 이온 침투깊이

또한 그림 10은 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 압축강도 변화를 나타낸 것으로, 바텀애시의 종류별로 다르게 나타났으며, 잔골재에 대한 바텀애시 치환율이 증가할수록 전반적으로 압축강도는 크게 저하하는 것으로 나타났다. 이는 바텀애시 치환율이 증가할수록 동일 시공성을 만족하기 위한 겉보기 물시멘트비가 증가하고 또한 바텀애시 자체의 강도가 천연잔골재인 세척사에 비하여 낮기 때문으로 사료된다. 한편 바텀애시 A, B, C, D에 있어서 바텀애시 치환율 25%의 경우 치환율 0%와 비교하여 10% 이내의 강도저하를 보이고 있다.

그림 11은 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 측진중성화 실험에 의한 중성화 깊이를 나타낸 것으로, 바텀애시 종류별로 다르게 나타났으며 잔골재에 대한 바텀애시 치환율이 증가할수록 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났다. 그림 12는 바텀애시의 종류별 치환율에 따른 모르터의 급속 염분침투성시험에 의한 Cl-침투깊이를 나타낸 것으로, 바텀애시의 종류별로 다르게 나타났으며 잔골재에 대한 바텀애시 치환율이 증가할수록 침투깊이가 증가하는 것으로 나타났다. 두 결과는 바텀애시의 다공성이 커 치환율이 증가할수록 동일 시공성을 만족하기 위한 겉보기 물시멘트비가 증가했기 때문으로 사료된다.

#### 4. 결 론

국내 화력발전소에서 발생하는 바텀애시의 품질특성 및 이를 사용한 모르터의 품질특성을 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 바텀애시의 대부분이 0.3mm 이하의 미립분을 다량 함유하고 있어 세척사와 혼합할 경우 바다모래 세척시 손실되는 미립분을 보충할 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 바텀애시 A, B, D의 경우 콘크리트용 잔골재의 염화물 규정치인 0.04%를 모두 상회하고 있으며, C 바텀애시의 경우 규정치를 만족하고 있다.
- 3) 모르터의 잔골재 대체로 바텀애시를 사용할 경우 불규칙한 다공질 특성으로 인해 동일 시공성을 만족시키기 위한 겔보기 물시멘트비는 바텀애시 종류별로 다르게 나타났으며, 치환율이 증가할수록 증가하였다.
- 4) 바텀애시를 사용한 모르터의 압축강도는 바텀애시 종류별로 다르게 나타났으며, 치환율이 증가할수록 크게 저하하고 있으나, 치환율 25%에서의 강도저하비율이 10% 이내로 나타났다.
- 5) 바텀애시를 사용한 모르터의 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이는 바텀애시 종류별로 다르게 나타났으며 바텀애시 치환율이 증가할수록 증가하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Nader Ghafoori and Yuzheng Cai, "Properties of High-Calcium Dry Bottom Ash Concrete", ACI Materials Journal March-April 1997, pp.90-101