

# 쓰레기 소각재를 혼입한 콘크리트의 재료특성 및 강도특성

## Properties of Concrete Mixed with Waste Incinerated Bottom Ash

어 석 홍<sup>\*</sup>    홍 기 호<sup>\*\*</sup>    최 덕 진<sup>\*\*</sup>    김 희 성<sup>\*\*\*</sup>  
Seok-Hong Eo    Kee-Ho Hong    Duck-Jin Choi    Hee-Sung Kim

### ABSTRACT

The purposes of this study are to investigate the material characteristics and strength properties of concrete mixed with waste incinerated bottom ash(BA), and to evaluate the leaching of environmentally harmful heavy metals from the bottom ash itself and from hardened concrete mixed with bottom ash. For this purpose, two reference mixes with W/C ratios of 0.45 and 0.55 were used, and the replacement proportion of BA was varied with the ratios of 0%, 30%, 50%, 70%, and 100% by volume of fine aggregate in the reference mixes. The variation of compressive and splitting tensile strength, workability and unit weight of concrete were considered.

Test results showed that the strengths, workability and unit weight decreased with increase in proportion of BA replaced. Leaching test results showed that there would be no environmentally harmful problem from using BA as the substitutes of fine aggregates in concrete.

### 1. 서 론

최근 우리나라는 산업발전에 따른 대량생산과 인구의 증가로 매년 엄청난 양의 생활폐기물이 발생하고 있다. 환경부의 2000년도 통계자료에 의하면 매일 46,438톤의 생활폐기물이 발생하여 그중 19,167톤은 재활용되고, 5,440톤은 소각처리 되며, 전체의 50%에 달하는 21,831톤이 매립되고 있다.<sup>1)</sup> 하지만 국토가 협소한 우리나라는 사정상 매립지의 부족현상과 매립지 선정시 인근 지역주민들에 의한 NIMBY 현상으로 인하여 신규 폐기물처리장 건립이 어려운 형편이어서 쓰레기 처리문제는 매우 심각한 상황이다. 이를 해결하기 위해 쓰레기량을 감량시키는 쓰레기 소각장은 증가일로에 있어 소각재의 이용에 대한 연구는 자원재활용이나 환경보전적인 측면에서 시급한 과제이다.<sup>2)~5)</sup>

본 연구는 쓰레기 소각재의 Bottom Ash를 건설자재로의 활용 가능성을 평가하기 위한 기초적인 연구로서, Bottom Ash에 함유되어 있는 중금속들의 안정화 정도를 확인하기 위하여 중금속의 용출시험을 수행하였고, Bottom Ash를 잔골재로 사용한 콘크리트에 대하여 모래의 치환율, 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 작업성, 단위용적중량, 강도특성을 비교·분석하였다

\* 정회원, 창원대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, 창원대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 창원대학교 산업기술연구원 전임연구원

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 골재

잔골재는 경남 칠서 낙동강에서 채취한 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 부순돌을 사용하였다. 이들 골재의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 골재의 물리적 성질

종 류	비 중	조립률	흡수율(%)	최대치수(mm)
굵은골재	2.67	7.68	0.41	25
잔 골 재	2.59	2.42	1.61	5

#### 2.1.2 Bottom Ash

잔골재 대체시험에 사용된 Bottom Ash(BA)는 김해시 폐기물 소각장에서 연속연소방식(Stocker식) 소각방식에 의해 배출되는 소각재로, 5mm체로 체가름하여 포함된 캔과 고철 등의 이물질을 제거한 후 표건관리하여 사용하였다. Bottom Ash의 물리적 성질은 표 2와 같다. Bottom Ash는 낙동강산 잔골재에 비해 낮은 비중 및 높은 조립률과 흡수율을 나타내었다. Bottom Ash의 화학적 조성성분은 SiO<sub>2</sub>, CaO가 주성분을 차지하며 대부분 산화물의 형태로 존재하고 있다. 결과는 표 3과 같다.

표 2 Bottom Ash의 물리적 성질

종 류	비 중	조립률	흡수율(%)	최대치수(mm)
BA	2.08	3.24	14.5	5

표 3 Bottom Ash의 화학적 조성성분

성 분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	기타
함량 (%)	22.09	7.02	5.19	43.70	1.51	4.87	2.97	1.88	10.77

### 2.2 실험방법

콘크리트는 시멘트, 골재, Bottom Ash의 순으로 80ℓ의 강제식 믹서에 투입하여 1분간 건비빔을 실시하고 물을 투입한 다음 4분간 추가로 혼합하여 제작하였다.  $\phi 10 \times 20$ cm의 강도측정용 공시체는 제작 후 24시간만에 탈형하여 강도측정 시험시의 재령까지 수중양생하였다. 압축강도 시험은 KS F 2405의 콘크리트의 압축강도 시험방법에 따라 실시하였으며, 인장강도 시험은 KS F 2423의 콘크리트의 인장강도 시험방법에 따라 실시하였다. 그리고, 단위용적중량 시험은 KS F 2049의 굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법에 따라 실시하였다.

강도의 측정은 재령 1, 3, 7, 28일에 실시하였고 시험결과는 압축강도 3개, 쪼갬 인장강도 2개의 공시체를 대상으로 평균값을 사용하였다.

### 2.3 배합설계

물-시멘트비와 쓰레기 소각재의 치환율에 따른 재료 및 강도 특성변화를 파악하기 위하여 물-시멘트비 45, 55%의 2종류에 대하여 각각 소각재 치환율이 체적비로 0, 30, 50, 70, 100%의 5종류 등 모두 10종류에 대하여 콘크리트를 제작하였다. 시험에 사용된 배합은 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 배합

물-시멘트비 (%)	BA대체율 (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )				
		water	cement	sand	gravel	BA
45	0	175	389	759	957	-
	30			532		183
	50			380		305
	70			228		427
	100			-		610
55	0	175	318	786	990	-
	30			550		189
	50			393		315
	70			236		442
	100			-		631

### 2.4 중금속 용출시험

쓰레기 소각장에서 발생하는 쓰레기 소각재인 Bottom Ash의 용출가능한 중금속의 분포를 알아보기 위해 6가지 중금속 이온(Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>)을 대상으로 폐기물 공정시험법의 규정에 의해 용출시험을 실시하였다. Bottom Ash 자체와 그것을 치환한 콘크리트를 대상으로 시험을 실시하였으며, 중금속 이온의 농도측정은 원자흡광분광광도계 및 ICP를 사용하여 측정하였다.<sup>6)</sup>

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 작업성

Bottom Ash의 치환율에 따른 슬럼프 측정결과는 그림 1과 같다. W/C가 45%, 55% 모두 Bottom Ash의 치환율이 증가할수록 슬럼프 값은 감소하는 경향을 보였으며, 일반 잔골재만을 사용한 콘크리트에 비해 소각재의 치환율이 100%인 경우는 약 50%정도 슬럼프 값의 감소를 나타내었다. 이러한 경향은 Bottom Ash의 높은 흡수율에 의하여 치환율이 증가할수록 콘크리트의 유동성을 부여하기 위해 요구되는 시멘트 페이스트량이 상대적으로 감소하고, 또한 상대적으로 Bottom Ash의 입자가 모래보다 크기 때문에 콘크리트의 유동성을 감소시키는 것으로 판단된다.

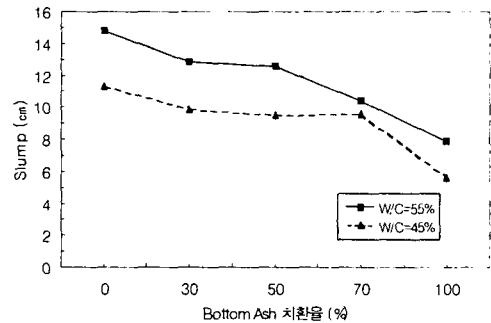


그림 1 Bottom Ash의 치환율에 따른 슬럼프값

### 3.2 단위용적중량

Bottom Ash의 치환율에 따른 콘크리트의 단위용적중량을 측정된 결과는 그림 2와 같다. Bottom Ash의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 단위용적중량이 감소함을 알 수 있다. 일반 모래를 사용한 보통 콘크리트의 경우 단위용적중량이 2,488 kgf/m<sup>3</sup>이며 Bottom Ash 대체율이 100%인 콘크리트는 2,164 kgf/m<sup>3</sup>로 보통 콘크리트에 비해 13%정도 감소하는 것으로 나타났다.

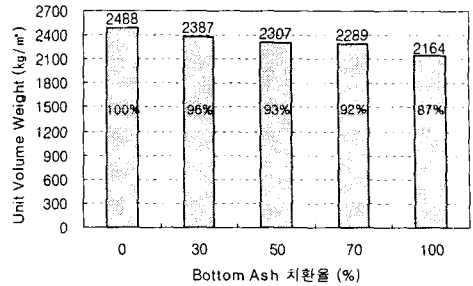


그림 2 Bottom Ash의 치환율에 따른 콘크리트 단위용적중량

### 3.4 강도특성

Bottom Ash의 치환율에 따른 재령별 압축강도특성을 그림 3 및 그림 4에 나타내었다.

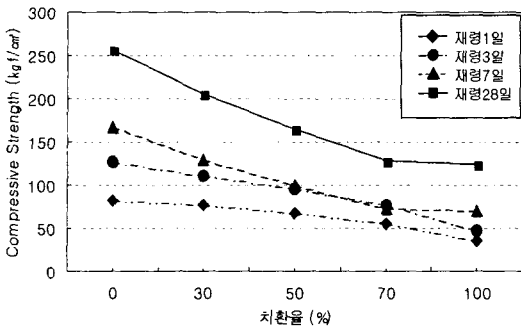


그림 3 치환율에 따른 압축강도 (W/C=45%)

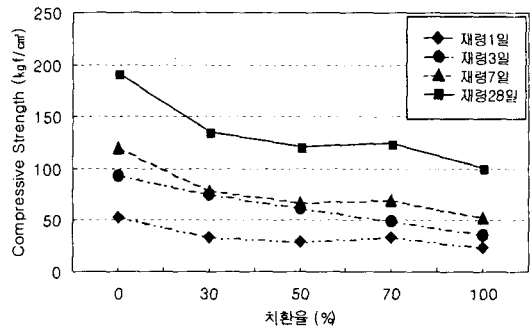


그림 4 치환율에 따른 압축강도 (W/C=55%)

Bottom Ash의 잔골재 치환율에 따른 강도변화를 고찰하면, 물-시멘트비 45%일 때의 압축강도는 치환율 0%에서 70%까지는 거의 직선적으로 감소함을 나타내었다. 물-시멘트비 55%의 압축강도는 전체적으로 강도가 감소하는 경향을 보였으나 치환율 70%에서 약간 강도의 증가를 보였다. 두 경우 모두 치환율이 0%인 일반 콘크리트에 비해 치환율 100%인 콘크리트는 약 50% 정도의 현저한 강도감소를 보였다.

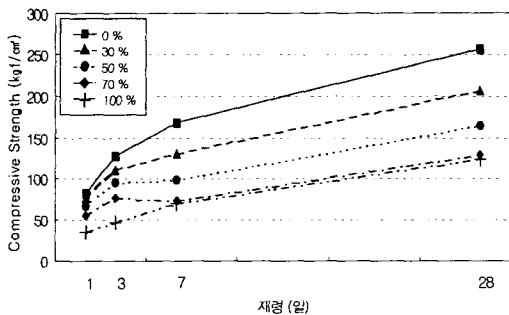


그림 5 재령별 압축강도 (W/C=45%)

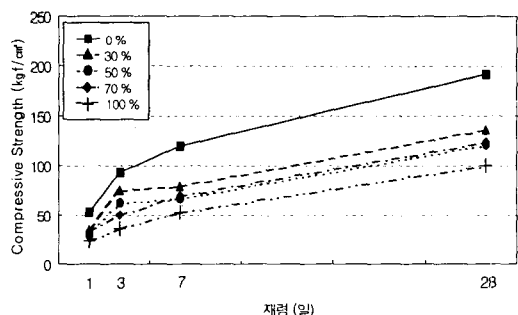


그림 6 재령별 압축강도 (W/C=55%)

그림 5와 그림 6은 재령에 따른 강도변화를 고찰한 것인데, 보통 콘크리트에 비하여 Bottom Ash를 대체한 콘크리트의 재령에 따른 강도 증진이 다소 둔화되어 나타나는 것을 알 수 있다.

Bottom Ash 치환율에 따른 쪼갬인장강도의 특성을 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 쪼갬인장강도 역시 압축강도와 유사하게 Bottom Ash의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그림 9 및 그림 10은 재령별 쪼갬인장강도를 나타낸 것으로 재령에 따라 압축강도와 유사한 강도증진을 보여주고 있다.

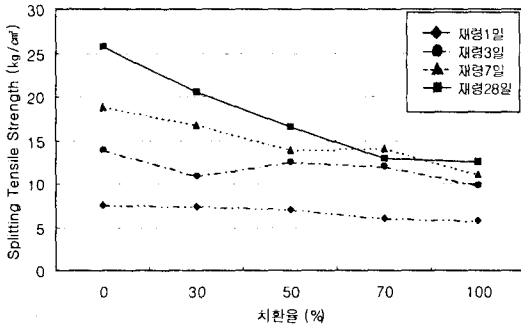


그림 7 치환율에 따른 쪼갬인장강도 (W/C=45%)

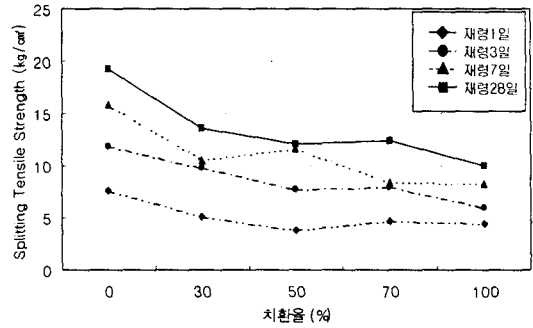


그림 8 치환율에 따른 쪼갬인장강도 (W/C=55%)

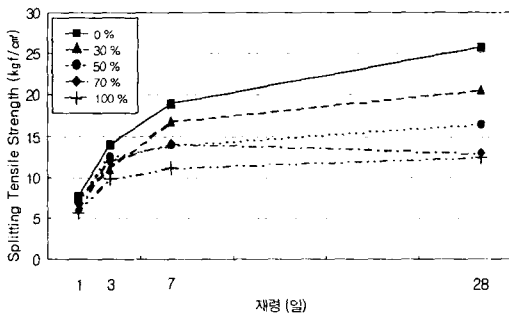


그림 9. 재령별 쪼갬인장강도 (W/C=45%)

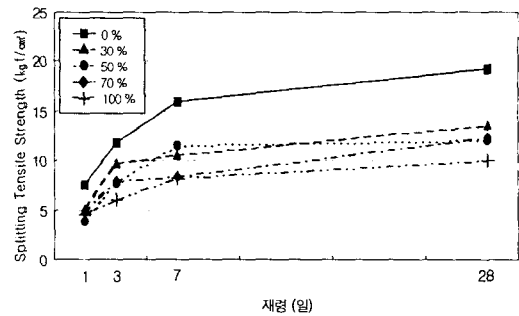


그림 10 재령별 쪼갬인장강도 (W/C=55%)

### 3.4 중금속의 용출특성

폐기물 재활용시 고려해야 할 환경 유해성을 검토하기 위하여 Bottom Ash 및 Bottom Ash를 치환한 콘크리트에 대해 각각 용출시험을 실시하였다.

Bottom Ash 자체를 용출시험한 결과 미량의 구리(Cu), 비소(As), 수은(Hg)이 검출되었으나 기준치에 훨씬 못 미치는 양으로 나타났으며, 기타 유해 중금속은 검출되지 않았다. Bottom Ash를 치환한 콘크리트의 경우에는 구리도 검출되지 않았고 미량의 수은(Hg)이 검출되었으나 공정시험법에서 정한 환경기준치를 초과하지 않는 것으로 나타나, 재료자체에 대한 시험결과보다 잔골재로 치환하여 제조한 콘크리트의 용출시험결과가 더 안정한 것으로 나타났다.

이것으로 Bottom Ash가 콘크리트 제조시 시멘트와 반응하여 중금속의 용출이 억제되어짐을 알 수 있었고, 콘크리트의 재료로써 Bottom Ash를 잔골재로 활용하여도 환경적인 유해성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 5 공정시험법에 의한 용출시험 결과

항 목		Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr <sup>6+</sup>
허 용 기 준		3	3	1.5	0.005	0.3	1.5
용출결과	BA	N.D	0.27	0.001	0.0025	N.D	N.D
	Concrete	N.D	N.D	N.D	0.0016	N.D	N.D

## 5. 결론 및 향후과제

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 물-시멘트비에 관계없이 Bottom Ash의 대체율이 증가할수록 콘크리트의 유동성을 부여하기 위해 요구되는 시멘트풀량이 상대적으로 감소하며, 또한 상대적으로 Bottom Ash의 입자가 모래보다 크기 때문에 콘크리트의 유동성을 감소시켜 작업성을 저하시키는 것으로 판명되어, Bottom Ash를 사용한 콘크리트 제조시 혼화재료 및 물-시멘트비의 조절로 충분한 작업성을 확보하여야 한다.
2. 일반모래에 비하여 Bottom Ash의 낮은 비중으로 인하여 일반 모래를 사용한 보통 콘크리트의 경우 단위용적중량이 2,488 kgf/m<sup>3</sup>이며 Bottom Ash의 대체율이 100%인 콘크리트는 2,164 kgf/m<sup>3</sup>로 13% 정도의 중량감소 효과가 있는 것으로 나타났다.
3. Bottom Ash의 잔골재 치환율에 따른 압축강도 및 쪼갬인장강도의 변화는 물-시멘트비 45%와 55% 모두 치환율이 0%인 일반 콘크리트에 대해 치환율 100%인 콘크리트는 약 50% 수준으로 현저한 압축강도 감소를 나타내었고, 재령에 따른 강도증진율이 다소 줄어드는 것으로 나타났다.
4. 중금속에 대한 용출시험 결과 공정시험법에서 정한 환경기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났고, 콘크리트 제조시 Bottom Ash의 중금속 용출은 억제되어짐을 알 수 있었다. 따라서, 콘크리트 재료로써 Bottom Ash를 잔골재로 활용하여도 환경적인 유해성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 환경부, 2000 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2001.
2. 김재신, 고대형, 문경주, 소양섭, "플라이애시 및 제지슬러지애시를 혼입한 도시 쓰레기 소각재 경화체의 강도적 특성", 한국콘크리트학회, 가을 학술발표회, 2000, pp. 333-337.
3. 이승환, 정용욱, 한형성, "쓰레기 소각재를 혼입한 시멘트 경화체의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 가을 학술발표회, 1997, pp. 190-195.
4. 김재신, 고대형, 문경주, 백명종, 소양섭, "산업쓰레기 소각재를 이용한 인공골재의 품질특성". 한국콘크리트학회, 봄 학술발표회, 2000, pp. 257-262.
5. 어석홍, 황규한, 김정규 "콘크리트용 골재로서 굴패각의 활용", 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 4호, 2002, 8, pp. 540-548.
6. 환경부, 폐기물 공정시험법 2000, 2000.
7. 문한영, 최연왕, 김기형, "고로수쇄슬래그 잔골재의 품질에 대한 평가", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, 1990, pp. 24-28.
8. 김종락, 김성식, 이복만, 임남기, 정상진, "슬래그모래를 사용한 모르타의 압축강도특성 비교에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 1999, pp. 40-45.
9. 김성수, 문한영, "최신 토목재료학", 1998, 구미서관.
10. 박승범, "최신토목재료실험", 2000, 문운당.
11. 류만용, "土木材料實驗", 2000, 문운당.