

산업쓰레기 소각재를 이용한 인공골재의 품질특성

The Quality Characteristics of Artificial Aggregates Using Bottom Ash from Industrial Waste Incinerator

김 재신* 고 대형* 문 경주** 백 명종*** 소 양섭****
Kim, Jae-Shin Ko, Dae-Hyoung Mun, Gyoung-Ju Back, Myoung-Jong Soh, Yang-Seob

ABSTRACTS

The purpose of this study is grasping quality of artificial aggregate using Bottom Ash of Industrial Waste Incinerator, and is evaluating possibility of application as construction materials. Cement and Fly ash is used with binder of aggregates using bottom ash. It is tested for basic property and strength of artificial aggregates, and the results are compared with crushed stone and elution tests is done for environmental safety.

In the results of tests, it is confirmed that basic property and strength are lower than crushed stone but the aggregates have possibility of application as artificial lightweight aggregates. When it is manufactured with aggregates, it is safe environmentally because of protecting elution of harmful heavy metals.

1. 서론

사업장에서 발생하는 쓰레기를 소각한 후 남게되는 소각재에는 일반 가정이나 사무실의 쓰레기 소각재 보다 중금속 등의 유해성분이 더 많이 함유되어 있다. 또한 쓰레기의 처분에 있어서 이전에 중간 처리단계 없이 직매립에만 의존하던 처리방법에서 점차 부피 및 감량을 위해 소각처리가 늘어나고 있으며 국내 환경정책의 일환인 소각중심정책의 실천으로 소각처리율이 현재의 5%에서 20%정도로 대폭 향상될 것이다.¹⁾ 이에 따라 소각재의 배출량도 대폭적으로 증가될 것인데 반해, 2001년 이후부터는 산업계에서 대량으로 배출되는 각종 슬러지 및 소각회의 매립이나 해양 투기가 금지될 전망이어서 소각재에 대한 적절한 처리방안이 절실히 요구되고 있다.²⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 산업 폐기물 소각재(Industrial Waste Bottom Ash : 이하 IWBA 라 함)를 안전하고 친환경적으로 처리할수 있고 더 나아가 대량으로 재활용할 수 있는 방안으로, 상온경화형 인공골재를 제조하여 인공골재의 기본적

* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 전북대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, (주)대우건설 대리, 공박

**** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공박, 공업기술연구소

인 물성 및 품질정도를 파악하여 건설재료로서의 재활용의 가능성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

결합재로서 D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 결합보조제로 시멘트량을 절감시키면서 골재의 형성을 도모하기 위하여 보령화력발전소에서 부생되는 비정제 플라이애쉬를 일정량 사용하였다. 소각재는 전북 소재 H환경 소각장에서 발생한 것을 사용하였는데 물기가 배어있는 것을 105℃에서 24시간 건조하여 5mm이하의 것을 사용하였다. 중금속의 용출저감을 위해 골재의 표면을 피복하기 위한 폴리머로 아스팔트 에멀전을 사용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1 소각재의 분석

IWBA에 존재하는 각각의 원소에 대한 정성적인 분석은 에너지분산 분광법(EDS)으로, 정량적인 분석은 형광X선 분석기(XRF)로, 소각재 성상 분석은 주사형 전자 현미경(SEM)을 이용하여 분석하였다.

2.2.2 인공골재의 제조

(1) 인공골재의 배합

인공골재의 배합은 시멘트와 IWBA의 비율을 1:1을 기준으로 경제성을 고려하여 점차 시멘트량을 줄여 골재를 제조하였으며 플라이애쉬는 0.5로 고정하였다.

Table 1. Mixing Ratio of artificial aggregates

Type of Aggregate	Cement	Fly-Ash	Industrial Waste Bottom Ash
Type A	0.25	0.5	1
Type B	0.5	0.5	1
Type C	1	0.5	1

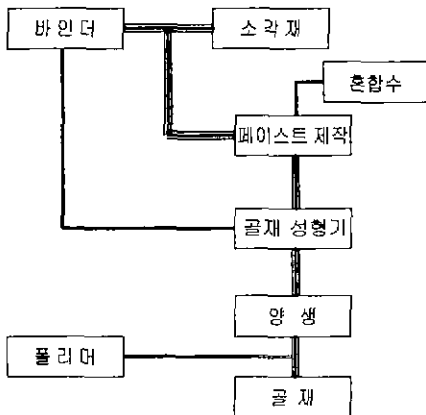


Fig1. Manufacturing process of artificial aggregates

(2) 인공골재의 제조

Fig 1³⁾은 골재의 제조 공정을 나타낸 것으로 바인더와 소각재의 건식혼합, 습식혼합 공정을 거친 페이스트는 골재 성형기에서 바인더의 분말투입으로 골재형상으로 성형되고 바인더에 의해 표면이 코팅된다. 그리고 소정의 양생 후 필요에 따라 골재의 표면을 폴리머로서 코팅 처리 할 수도 있다.

2.2.3 제조된 골재의 품질시험

경화된 골재의 일반적 특성을 확인하기 위해 비중 및 흡수율, 단위용적중량 및 입도시험을 실시하였고, 골재의 정적 하중 및 충격 하중에 대한 저항성과 표면의 경도

Table 2. Specific tests

시험항목	기준
입도시험	KS F 2502 굵은 골재의 체가름 시험
비중 및 흡수율 시험	KS F 2503 굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험
단위용적증량 시험	KS F 2505 굵은 골재의 단위용적증량시험
실적율	KS F 2506 콘크리트용 골재의 빈틈 시험
마모시험	KS F 2508 로스엔젤스 시험기에 의한 굵은 골재의 닳음시험
파쇄시험	KS F 2541 굵은 골재의 파쇄시험 KS F 2542 굵은 골재의 10% 체립치 측정
충격시험	BS 812 Aggregates Crushing and Impact Test

를 측정하기 위하여 파쇄, 충격, 마모 시험을 실시하였으며, 그 방법은 위의 기준에 의거하여 실시하였으며 그 시험값을 쇄석과 비교하였다.

2.2.3 제조된 골재의 용출시험

중금속의 용출시험은 공정시험방법 폐기물편 제 5항에 의거하여 실시하였다. 시료를 자연건조 후 체를 통과시켜 균일하게 조성한 후 시료 적당량을 취하여 용매에 넣어 혼합한 후 6시간 동안 benchtop shaker에서 진탕하였다. 용출액의 중금속 성분은 유리섬유로 여과하여 여과액을 ICP기를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소각재의 화학 조성 및 성상

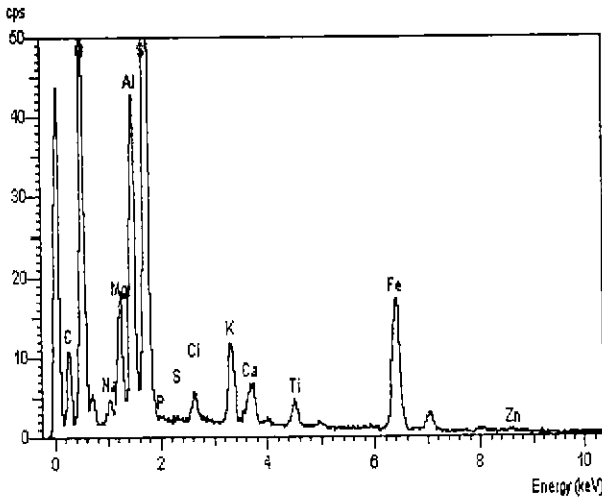


Fig 2. Analytic results of EDS on IWBA

그림2은 EDS에 의한 산업 폐기물 소각재의 분석결과를 나타내었다. 산업폐기물 소각재는 그림 2에 나타낸 것처럼 Si, Al, Fe, Mg 순이었다. 그러나 EDS분석은 정량성이 약간 부족하므로 이들 시료를 정량 분석이 가능한 XRF 방법으로 분석하였다. 표 3에 그 결과를 나타내었으며, EDS 결과에서 분석된 것처럼 IWBA는 Si, Al, Fe, Ca 등이 주성분으로 이들의 산화물 합계량은 75.45%인 것으로 나타났다. 그리고 강열감량은 20.45%로 이러한 감소는 아마 H사의 소각로가 충분한 온도와 시간을 유지하지 못한 불완전 연소로 인하여 나타난 현상 으로 볼 수 있다. 또 사진 1에 IWBA의 SEM 관찰 결과를 나타내었으며 그 대부분은 일정한 형태를 지니지않은 무정형으로 존재함을 알 수가 있다

Table 3. Chemical analysis of ISWA

Chemical components	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Igness Loss
Industrial Waste Bottom Ash	34.84	20.73	10.14	9.74	0.95	1.27	20.45

3 2 IWBA 인공골재의 품질시험

인공골재의 품질시험 결과 시멘트량이 감소하면서 비중이 낮아졌으며 흡수율은 높아졌다. 형상은 사진 2에서 보는 바와 같이 모두 구형이고 입도는 2.5~10mm로 콘크리트 2차제품 등 활용범위가 매우 넓은 것으로 사료되었다.

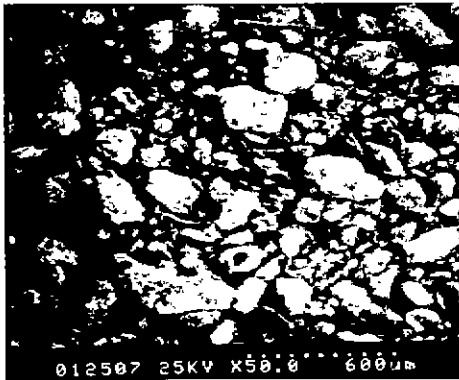


Photo 1. SEM Photo of IWBA

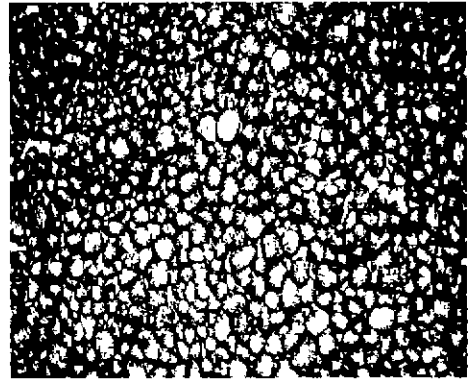


Photo 2. IWBA artificial aggregate

Table 4. Results of quality tests on artificial aggregate

Type	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (ton/m ³)	Grading (mm)	Shape	Absolut volume (%)
A	1.74	18.6	1.17	25~10	Round	Over 65%
B	1.77	15.9	1.18			
C	1.88	14.4	1.20			

또한 강도적인 면에서는 그림 3에서 보는 바와 같이 결합재의 양 즉 시멘트량이 증가할수록 마모율, 충격율, 파쇄율값 등이 높게 나타났으며 IWBA 인공골재의 파쇄율, 충격율, 마모율은 쇠석의 값에 비해 각각 36~41%, 38~52%, 57~69%로 나타났는데 이와 같이 여러 종류의 강도시험을 쇠석과 비교하여 실시한 결과 쇠석을 기준으로 표면의 닦음 저항성이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있었고, 이는 표면을 인공골재의 표면에 잔존하는 중금속의 용출저감을 위해서 시멘트를 이용하여 코팅한 것 때문인 것으로 사료된다. 또한 정적 파쇄 저항성 보다는 충격 파쇄저항성이 약간 더 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 쇠석은 마모율이 15.7%로 표면의 닦음 저항성에 가장 약한 경향을 보이고 있는데 비해, 인공골재의 경우는 정적하중에 대한 저항성이 최고 32.45%로 가장 약한 경향을 보이고 있다.

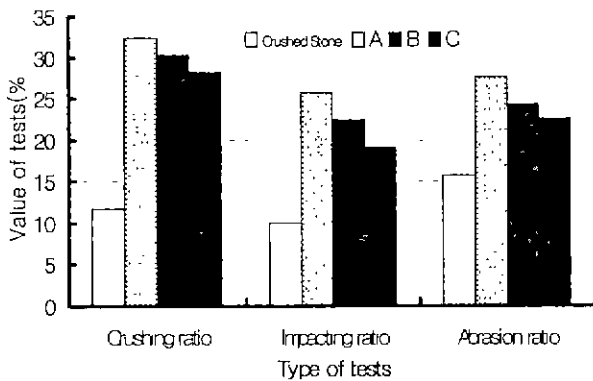


Fig 3. Quality tests of IWBA aggregates

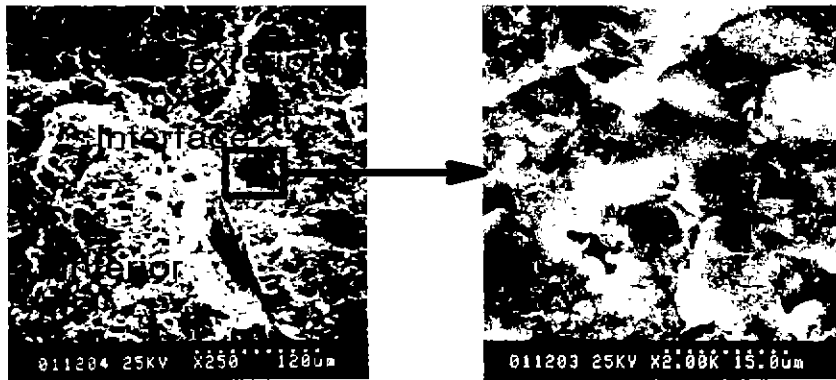


Photo 3. SEM Photo of Interface of aggregate

3.3 IWBA 골재의 미세구조

제조된 IWBA 골재내부와 코팅면의 미세구조를 파악하기 위해 주사형 전자현미경으로 관찰한 결과 (사진 3) 골재의 내부에 비해서 코팅면이 상당히 밀실하게 나타났다. 골재의 코팅면이 내부에 비해 밀실하다는 것으로부터 형성된 골재를 시멘트 페이스트로 표면을 피복함으로써 골재표면에 잔존가능성이 있는 유해물질의 용출이 차단되리라 판단된다.

3.4 IWBA 골재의 용출시험

용출시험에 사용한 바닥재는 용출시험결과 Pb, Cr, Cd, Cu, Zn의 함유량이 허용치 이내이므로 재활용의 가능성을 확인할 수 있었지만, 원시료를 그대로 재활용하면 소각재내에 잔존하는 중금속의 용출이 문제가 될 수 있으리라 사료되어 좀더 완벽하게 안정적이고, 친환경적으로 재활용하기 위하여, 이 시료를 사용하여 3종류의 골재(A, B, C)를 제조하고 각각을 아스팔트 에멀전으로 코팅한 3종류의 골재(A', B', C')에 대하여 용출시험한 결과, 표4에서 보는 바와 같이 대부분은 불검출로 나타났고, 일부 골재에서 용출되는 중금속 있다 할지라도, 표면 피복처리를 한 골재에서는 모두가 불검출로 나타났다. 이와 같은 방법으로 소각재를 골재화하여 재활용한다면 환경안정성이 적절히 확보할 수 있으리라 판단되었다.

Table 4. Results of Elution tests with artificial aggregates

Elution Components	Elution capacity with kinds of artificial - ppm(mg/L)							
	Permitted limit	Bottom Ash	A	B	C	A'	B'	C'
Cd	0.3	0.056	N.D	N.D.	N.D.	ND	N.D.	N.D
Cr	1.5	ND	N.D.	N.D.	N.D.	ND	N.D.	ND
Zn	-	ND.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	ND	N.D.
Pb	3.0	0.120	0.026	N.D.	N.D	N.D	N.D.	N.D.
Cu	3.0	0.159	ND.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D	N.D.

4 결론

- 1) IWBA는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 가 주성분으로 이들의 합계량은 75.45%였다.
- 2) 소각재 인공골재의 품질성능 시험결과 시멘트양이 감소하면서 비중, 단위용적 중량은 낮아졌으며, 흡수율은 높아졌다. 형상은 모두 구형이고 입도는 2.5~10mm로 인공골재로서의 활용범위가 매우 넓은 것으로 사료되었다.
- 3) 소각재 인공골재의 용출시험 결과 바닥재의 대부분은 허용치 미만이고 불검출된 경우도 있긴 하지만, 골재로서 제조된 후에 중금속의 용출은 대부분 억제되었고, Pb만이 결합재의 양이 제일 적은 A type의 골재에서 용출되었으나, 이 또한 A'나 B type 이상에서는 용출되지 않아, 환경안정성을 확보할 수 있었다.
- 4) 안정적인 소각재의 재활용 기술로 산업폐기물 소각재를 매립하지 않고 친환경적인 건설재료로서 재활용함으로써 소각재로 인한 지구환경이나 지역환경문제를 해결할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- 1) 환경부, 전국 폐기물 발생량 및 처리현황, 1994.
- 2) 서울특별시의회, “소각재 적정처리 대책마련을 위한 공청회”, 공청회 자료집, 1999.9
- 3) 전북대학교, “제지 슬러지 소각회를 이용한 골재 개발 및 활용연구”, 환경부 3차년도 최종 보고서, 1999. 12