

焼却場에서 발생하는 바닥재의 콘크리트용 잔骨材로서의 再活用[†]

*林 南 雄

中央大學校 建設大學院 建設環境學科

Recycling of the Bottom Ash, Sourced from the Local MSW (Municipal Solid Waste) Incinerators, as a Fine Sand for Concrete[†]

*Nam Woong Lim

Department of Constructional Environment, Graduate School of Construction Engineering, Chung Ang University

요 약

생활폐기물 소각장에서 발생하는 바닥재를 콘크리트 잔골재로 재활용하기 위해서, 기준모르타르에 모래 10%를 바닥재로 대체 하고 시멘트 10%를 포졸란성 구조토로 대체한 후, KS L 5105와 TCLP에 따라 시험하였다. 결과에 의하면, 바닥재의 유해중금속들은 TCLP 허용치 범위에 있었다. 포졸란성 구조토와 바닥재를 혼합한 모르타르 압축강도는 기준모르타르보다 높았으며 동시에 모든 유해중금속들은 TCLP 기준치 범위에 들어 있었다. 따라서 포졸란성 구조토를 안정재로 사용하게 되면 바닥재를 콘크리트 잔골재로 재활용할 수 있다.

주제어 : 바닥재, 유해중금속, 압축강도, 모르타르, 포졸란성 구조토

Abstract

This paper described recycling of the bottom ash, sourced from the local incinerators as a fine sand for concrete. 10% bottom ash was substituted for the ordinary beach sand in the mortar(on a weigh basis), in conjunction with the pozzolanic diatomite. The specimens were tested according to KS L 5105 and analysed by TCLP(Toxic Chemical Leaching Procedure).

The results showed that the hazardous heavy metals in the bottom ash are within the maximum permissible limit of TCLP. The compressive strength of the mortar with 10% bottom ash was highly improved, compared to the control mortar when the pozzolanic diatomite was used. It revealed that the hazardous heavy metals of the mortar with 10% bottom ash were leached within the maximum permissible limit of TCLP. It was concluded that the bottom ash can be reused as a fine sand for concrete when the pozzolanic diatomite was used as a stabilizer.

Key words : bottom ash, hazardous heavy metals, compressive strength, mortar, pozzolanic diatomite

1. 서 론

2005년도 생활폐기물 총발생량의 46%는 재활용, 22%는 매립, 그리고 23%는 소각 순으로 처리되고 있다.

그러나, 매립처리에는 매립지 확보 문제는 물론 유해성 중금속 침출수 등에 의한 환경오염이 뒤따르고 있기 때문에 정부는 소각비용을 2011년까지 30%까지 올리

는 한편, 22%의 매립비용을 17% 수준으로 낮추는 정책을 추진하고 있다.¹⁾

하지만, 매립비용을 17%까지 낮춘다고 하더라도 수도권 매립지가 2017년이면 한계에 도달하게 되므로 소각시설의 증설에 따른 소각 잔재물의 유해물질은 환경적인 문제로 남는다.

생활폐기물 소각장에서 배출되는 소각잔재물은 바닥재(bottom ash)와 비산재(fly ash)로 구분되며, 현행 폐기물 관리법상 바닥재는 중금속(Pb, Hg, Cd, Cu,

[†] 2006년 11월 30일 접수, 2007년 3월 29일 수리

* E-mail: environ@cau.ac.kr

Table 1. Chemical analysis of portland cement and diatomite

Sample	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	L.O.I
OPC	63.11	18.8	6.72	3.68	3.63	2.1	0.8	1.07	0.4	0.8
Diatom	0.70	84.58	5.31	0.32	2.27	0.27	0.40	4.84	-	1.20

(Note)

OPC : Ordinary Portland Cement

Diatomite : Domestic diatomite produced from Pohang area

Cr⁶⁺, As) 농도가 비교적 낮아 일반폐기물로 관리하고 있으나, 최근에는 바닥재에도 유해 중금속이 기준치 이상 함유되어 있는 것으로 나타났다.^{2,3)}

이와 같은 중금속들의 고정화가 선행되지 않으면, 때워 그 자체가 문제 되기 때문에 시멘트, 화학 첨가제, 또는 포졸란 재료를 사용하여 고정화하는 방법들이 제안되고 있다.^{4,5,6)}

최근 외국에서는 소각로의 소각잔재물을 시멘트 원료로 활용하여 에코시멘트를 생산하고 있으며, 콘크리트용 잔골재(fine sand)로도 실용화하고 있는 실정이다.^{7,8)}

본 연구에서는 소각장에서 발생하는 바닥재에 중금속 고정안정제로서 포졸란성 구조토를 적용하면서, 콘크리트용 잔골재로서의 재활용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 사용재료

2.1.1 시멘트 및 포졸란성 안정제

보통포틀랜드시멘트(OPC)와 쇄석골재(비중 2.63)를 사용하였으며, 포졸란 안정제는 550°C에서 열처리한 구조토를 사용하였고, 이 구조토를 D₅₅₀으로 명명하였다.^{6,9,10)} 이 구조분말과 시멘트의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

2.1.2. 소각바닥재

소각바닥재는 서울 및 경기지역의 소각장에서 수집한 3종류의 바닥재(bottom ash: BA)를 5 mm 이하로 체(4#) 분리하여 사용하였다. 그 화학성분은 Table 2와 같다.

생바닥재는 NBA1, NBA2, NBA3로 각각 명명하였고, 포졸란성 구조토(D₅₅₀)를 사용하였을 때의 비산재를 DBA1, DBA2, DBA3로 구분하였다.

2.1.3. 혼화제

리그닌설펜산-폴리올 복합체가 주성분인 감수제는 시멘트양에 0.5%를 사용하였고, 동시에 알킬아릴설펜산 화합물계 음이온 계면활성제가 주성분인 공기연행제를

Table 2. Chemical analysis of the bottom ash (Wt %)

Components	Bottom Ash		
	NBA1	NBA2	NBA3
SiO ₂	7.11	11.10	6.88
Al ₂ O ₃	3.41	5.18	2.87
Fe ₂ O ₃	0.79	0.72	0.63
Na ₂ O	5.82	7.06	8.24
MgO	1.96	4.47	2.51
K ₂ O	3.98	5.74	5.62
CaO	38.90	25.60	28.30
MnO	0.03	0.09	0.02
P ₂ O ₃	0.91	0.89	0.67
LOI	34.40	37.60	44.20

(Note)

NBA1 : Ilsan Region NBA2 : Suseo Region

NBA3 : Yangchyun Region

시멘트양에 0.25% 사용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 중금속 용출

소각잔재물 및 모르타르 중의 중금속 용출은 TCLP 방법을 이용하였다.¹¹⁾

2.2.2. 모르타르의 압축 강도시험

기준모르타르(시멘트 29%: 모래 71%)에서 모래량의 10%를 바닥재로 대체하였을 때의 모르타르와, 시멘트량의 10%를 D₅₅₀으로 대체 및 모래량의 10%를 바닥재로 대체한 모르타르 공시체를 KS L 5105에 따라 압축강도를 시험하였다.¹²⁾

2.2.3. 광물분석

- X-Ray Diffraction(XRD): ENRAF NOINUS 분석 장치로 XRD 분석을 하였다.

Table 3. Heavy metals leaching from the bottom ashes (mg/L)

Sample	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr ⁶⁺	
Bottom Ash	NBA1	0.654	0.345	0.030	0.019	0.004	0.069
	NBA2	0.028	0.069	0.002	0.001	0.003	0.048
	NBA3	0.072	0.014	0.002	N.D	0.001	0.106
TCLP Maximum Permissible Limit	5.00	-	5.00	0.20	1.00	5.00	

Table 4. Heavy metals leaching from the mortar containing the bottom ash and pozzolanic diatomite (mg/L)

Mortar	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr ⁶⁺
CTL	0.004	0.003	N.D	N.D	N.D	0.336
NBA1	0.001	0.007	N.D	N.D	N.D	0.279
NBA2	0.001	0.004	N.D	N.D	N.D	0.232
NBA3	0.001	0.003	N.D	N.D	N.D	0.229
DBA4	0.009	0.010	N.D	N.D	N.D	0.261
DBA2	0.001	0.004	N.D	N.D	N.D	0.220
DBA3	0.001	0.002	0.009	N.D	N.D	0.217
TCLP Maximum Permissible Limit	5.00	-	5.00	0.20	1.00	5.00

- Scanning Electron Microscope(SEM): AKASHI제 DS-1305을 이용하여 SEM 분석을 하였다.

- 기공분포(Pore Size Distribution: PSD): 수은압입법으로서 수은과 공극과의 접촉각은 130 Deg이며, 표면장력은 484 dyne/cm 조건으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 소각바닥재상에 중금속 함량

바닥재로부터 용출된 중금속 함량은 Table 3과 같이 일반적으로 모든 바닥재에서 TCLP 허용기준값 이하로 나타났다.

Pb는 NBA1에서 0.654 mg/L로 TCLP 허용기준값(5.0 mg/L)에 만족하고, NBA2 및 NBA3의 Pb는 0.028 mg/L, 0.072 mg/L로서 역시 TCLP 허용치에 만족하였다. Cu는 NBA1에서 0.345 mg/L로 미량 검출되었으며, NBA2 및 NBA3에서도 0.069 mg/L, 0.014 mg/L로 각각 미량 검출되어 TCLP 기준치에 만족하였다. 또한, NBA1에서 As는 0.03 mg/L, Cd는 0.004 mg/L, Hg는 0.019 mg/L, Cr⁶⁺은 0.069 mg/L로서 TCLP 기준치에 만족하였다. NBA2와 NBA3에서도 As, Hg, Cr⁶⁺ 모두 TCLP 기준치 범위에 만족하였다.

3.2. 소각바닥재의 중금속 고정처리

모르타르에 바닥재를 사용하였을 때와 동시에 바닥

Table 5. Compressive strength of the mortar containing D₅₅₀ and the bottom ash

Sample N°.	7 days		28 days	
	MPa	%	MPa	%
CTL	20.5	100	30.6	100
NBA1	21.8	106.3	28.7	93.8
NBA2	22.8	111.2	31.3	102.3
NBA3	24.0	117.1	33.0	107.8
DBA1	19.4	94.6	37.8	123.5
DBA2	22.3	108.8	37.5	122.5
DBA3	23.9	116.6	36.6	119.6

재와 포졸란성 규조토(D₅₅₀)를 함께 혼합하였을 때의 모르타르로부터 용출된 중금속을 Table 4에 나타내었다. 일반적으로 포졸란성 규조토(D₅₅₀) 혼합에 관계없이 바닥재를 사용한 모르타르에서는 모든 중금속의 용출량은 TCLP 허용기준치 이하이다.

3.3. 포졸란성 규조토(D₅₅₀)와 소각바닥재가 혼합된 모르타르 특성

3.3.1. 압축강도

각각에 바닥재를 잔골재 중량의 10% 대체한 모르타르의 재령 7일과 28일 압축강도는 Table 5와 Fig. 1에서 나타내었다. NBA1, NBA2 및 NBA3의 재령 7일 압축강도는 21.8MPa, 22.8MPa 및 24.0MPa로서 기준

모르타르(20.5MPa)에 비하여 높았다. 이들에 재령 28일 압축강도는 NBA1의 경우 28.7MPa로 기준모르타르(30.6MPa)에 비하여 작았으나, NBA2 및 NBA3는 31.3MPa 및 33.0MPa로 기준모르타르에 보다 높은 강도발현을 보였다. 즉, NBA1의 재령 28일에 대한 재령 7일의 압축강도비는 약 76%이었으며, NBA2 및 NBA3의 재령 28일에 대한 재령 7일의 압축강도비는 약 73%로 나타났다. 바닥재가 혼합되었을 때의 압축강도가 기준모르타르보다 더 높은 강도 발현이 된것은 바닥재 미분말의 포졸란 반응 결과로 생각된다.

Table 5와 Fig. 2에서 D_{550} 과 바닥재를 동시에 사용한 모르타르의 재령별 압축강도를 나타내었다. DBA1, DBA2, DBA3 재령 7일의 압축강도는 19.4MPa, 22.3MPa 및 23.9MPa로 바닥재 종류에 따라 다소 차이를 보였지만 기준모르타르 강도발현과 비슷하였다. 그러나 재령 28일 압축강도는 36.6~37.8MPa 정도로 기준모르타르의 압축강도에 비하여 20.0~23.5%로 크게 강도증

진을 보였다. 또한, 재령 28일에 대한 재령 7일의 압축강도비는 DBA1은 51.3%, DBA2는 59.5%, DBA3는 65.3%로 강도발현에 효과가 있었다. 이러한 강도발현은 바닥재 자체와 활성규구조토(D_{550})의 동시 포졸란 반응으로 생각된다.^{13,14)}

4. 광물성 분석

4.1. XRD

기준모르타르(Control Mortar)에서 생모래 10%를 바닥재로 대체한 모르타르의 XRD에서는 3종류 바닥재 모두에서 Quartz와 Anorthite가 주요광물로 나타났으며 그중에서도 NBA1에서는 Anorthite의 Peak가 다른 바

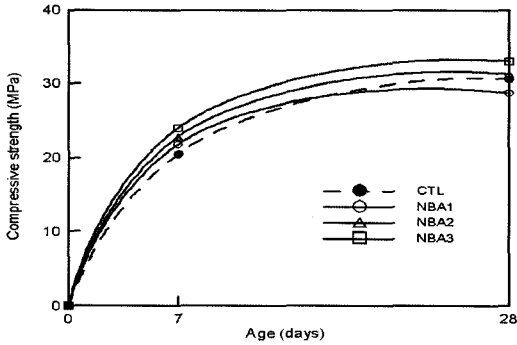


Fig. 1. Compressive strength of the mortar containing the bottom ash for 7 and 28 days curing.

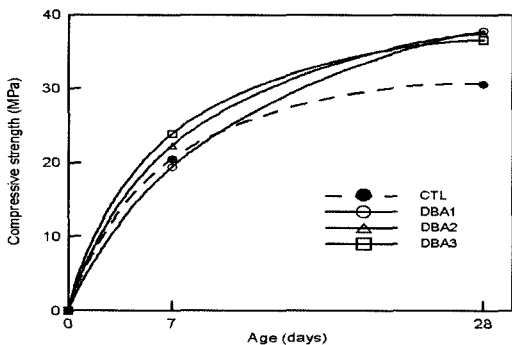
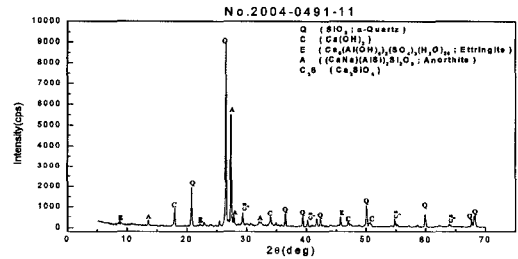
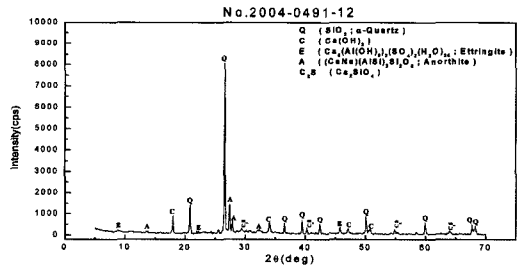


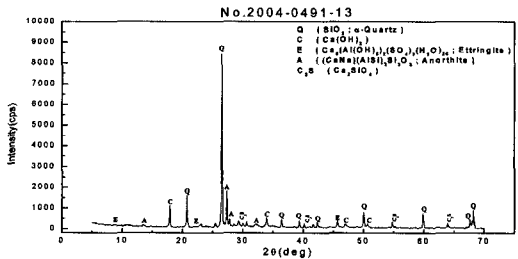
Fig. 2. Compressive strength of the mortar containing D_{550} and the bottom ash for 7 and 28 days curing.



(a) NBA1



(b) NBA2



(c) NBA3

Fig. 3. X-ray pattern of the mortar containing the bottom ash.

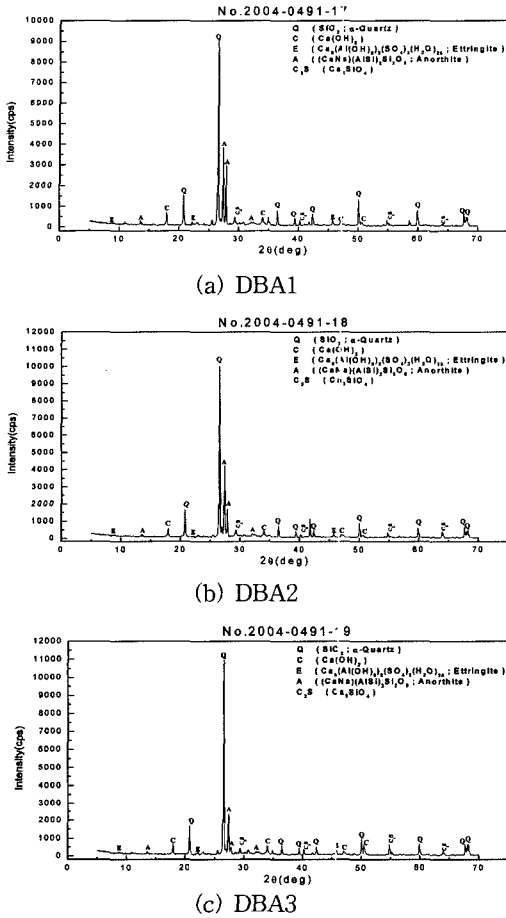


Fig. 4. X-ray pattern of the mortar containing D₅₅₀ and the bottom ash.

닥재(NBA2와 NBA3)에 비하여 매우 강하게 나타났다. 위 두가지 광물 이외에도 Ettringite와 2Ca₂SiO₂의 수화물이 검출되었고, Ca(OH)₂도 3종류 바닥재에서 모두 나타나는 것으로 보아 Free CaO가 상당량 존재하고 있음을 알 수 있다.

시멘트의 10%를 D₅₅₀로 대체하면서 잔골재 모래(10%)를 바닥재로 대체한 모르타르의 XRD에서는, 기준 모르타르에서 나타나는 Ca(OH)₂의 피크강도가 감소되었다. 이는 Ca(OH)₂와 포졸란성 D₅₅₀과의 수화반응 현상으로 모르타르의 내부조직에 C-S-H 수화물 생성이 향상되어 모르타르의 강도 향상으로 생각된다.

4.2. SEM

시멘트와 혼합한 모르타르의 내부조직을 나타내었다 (Fig. 5 참조).

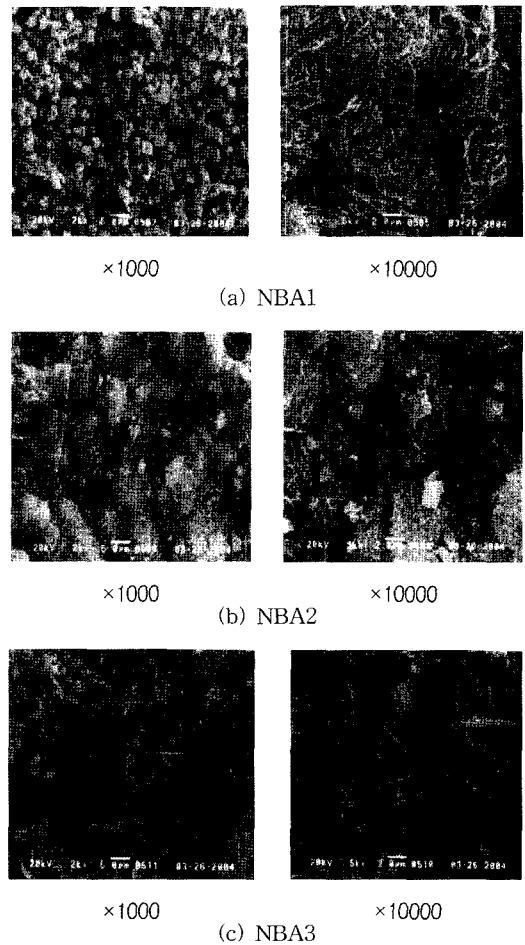


Fig. 5. SEM of the mortar containing the bottom ash.

NBA1 모르타르에서는 Fibre 형태의 수화물들로 채워져 있으며 NBA2 모르타르에서는 소량의 침상수화물과 칼슘실리케이트(C-S-H) 수화물 및 미반응 바닥재가 존재하고 있음을 알 수 있다. NBA3 모르타르에서는 침상수화물과 칼슘실리케이트 수화물 및 미반응 바닥재가 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

3종류의 생바닥재와 포졸란성 D₅₅₀(10%)을 시멘트와 혼합하여 제조한 모르타르의 SEM 분석을 Fig. 6에서 볼 수 있다. DBA1 모르타르의 내부조직에서는 Ettringite와 작은입자의 칼슘실리케이트(C-S-H) 수화물 생성을 확인할 수 있다. DBA2 모르타르의 내부조직에서도 미반응바닥재와 침상형태의 Ettringite 침상물질(×10,000)을 보여주고 있다. DBA3 모르타르의 내부조직은 DBA1 모르타르에 비하여 입자가 큰 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H)과

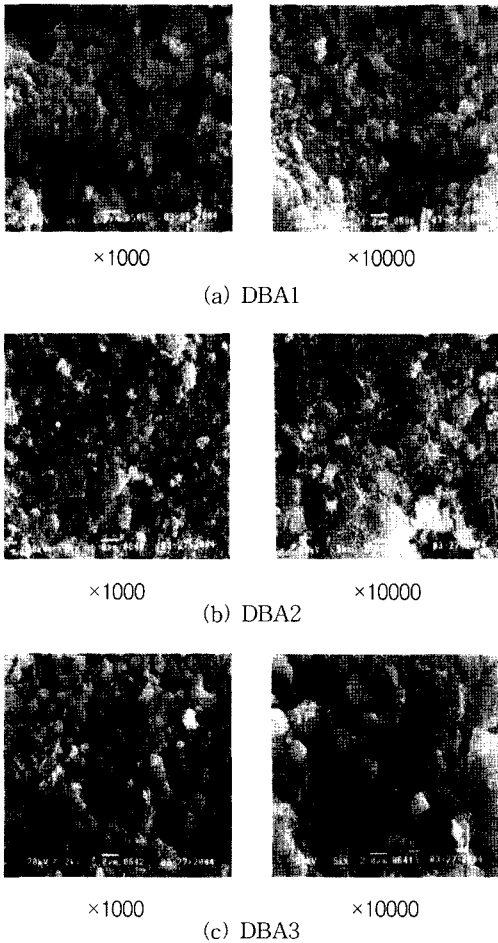


Fig. 6. SEM of the mortar containing D₅₅₀ and the bottom ash.

침상형의 Ettringite가 존재하고 있음을 알 수 있다.

4.3. PSD

시멘트와 생바닥재를 잔골재로 혼합한 모르타르의 공극직경별 공극량을 5 μm 이상, 0.5 μm~ 5 μm, 0.5 μm

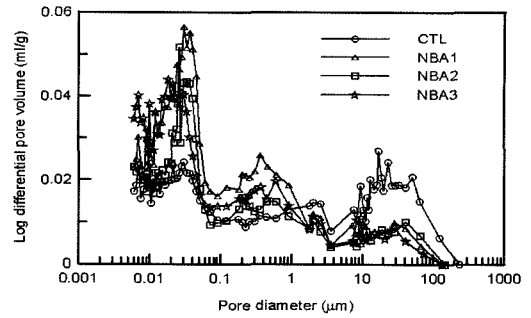


Fig. 7. Pore volume vs pore size of the mortar containing the bottom ash.

이하의 3구간으로 공극을 분류하였다(Table 6과 Fig. 7 참조).

NBA1 모르타르에서는 직경 5 μm 이상의 공극은 약 11.6%, 직경 0.5 μm~5 μm 범위에 분포하는 공극은 약 17.3%, 직경 0.5 μm 이하에서는 71.1%의 공극량을 차지하고 있어 대부분의 공극이 직경 0.5 μm 이하로 분포되고 있다. NBA2 모르타르는 직경 5 μm 이상의 공극은 약 16.6%, 직경 0.5 μm~5 μm 범위에 분포하는 공극은 약 17.3%, 직경 0.5 μm 이하의 공극은 약 66.4%로 분포되어 있다. 동시에 NBA3 모르타르에서는 직경 5 μm이상이 11.0%, 직경 0.5 μm-5 μm 범위에서는 17.7%, 0.5 μm 이하에서는 71.3%의 공극량이였다. 즉, 3종류의 바닥재를 사용한 모르타르의 공극분포량이 크게 다르지 아니하나, 기준모르타르의 공극량의 분포와는 상당한 차이를 보여주었다.

10%의 포졸란성 D₅₅₀을 시멘트에 대체시키고, 잔골재 10%를 바닥재로 대체한 모르타르의 공극량을 정리하였다(Table 7과 Fig. 8 참조).

DBA1 모르타르의 공극분포에 있어서, 직경 5 μm 이상에서는 44.7%, 0.5 μm 이하에서는 44.4%를 각각 보이고 있다. 또한 직경 0.5 μm~5 μm 범위의 공극은 10.9%가 분포되어 있다. 이는 생바닥재와 시멘트를 사용

Table 6. Pore size distribution of the mortar containing the bottom ash

Sample	5 μm 이상		0.5 μm~5 μm		0.5 μm 이하		전 공극량	
	ml/g	%	ml/g	%	ml/g	%	ml/g	%
CTL	0.023	34.9	0.0244	37.0	0.0185	28.1	0.0659	100
NBA1	0.0093	11.6	0.0139	17.3	0.0570	71.1	0.0802	100
NBA2	0.0097	16.6	0.0099	17.0	0.0388	66.4	0.0584	100
NBA3	0.0074	11.0	0.0120	17.7	0.0483	71.3	0.0677	100

Table 7. Pore size distribution of the mortar containing D₅₅₀ and the bottom ash

Sample	5 μm 이상		0.5 μm~5 μm		0.5 μm 이하		전 공극량	
	ml/g	%	ml/g	%	ml/g	%	ml/g	%
CTL	0.023	34.9	0.0244	37.0	0.0185	28.1	0.0659	100
DBA1	0.0432	44.7	0.0105	10.9	0.043	44.4	0.0967	100
DBA2	0.0229	28.6	0.0093	11.6	0.0479	59.8	0.0801	100
DBA3	0.0186	23.7	0.0112	14.3	0.0487	62.0	0.0785	100

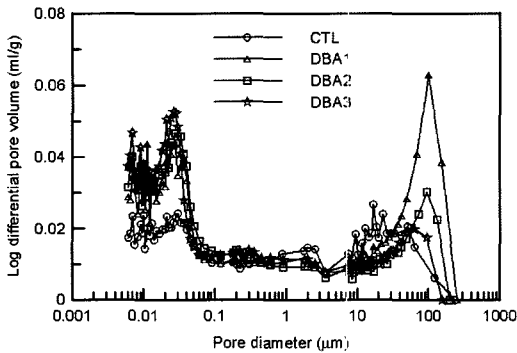


Fig. 8. Pore volume vs pore size of the mortar containing D₅₅₀ and the bottom ash.

한 모르타르의 공극보다는 더 고르게 분포하고 있다. DBA2 및 DBA3 모르타르의 공극분포에서, 직경 0.5 μm 이상의 공극은 약 28.6% 및 23.7%, 직경 0.5 μm ~ 5 μm 범위에 공극은 약 11.6 및 14.3%, 직경 0.5 μm 이하의 공극은 약 59.8 및 62.0%로 바닥재 종류에 따라서 약간의 차이를 보이고는 있으나 3종류의 바닥재를 서로 비교할 때와 크게 다르지 아니하였다. 그러나 생바닥재와 시멘트를 사용한 모르타르의 공극분포보다는 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 생바닥재와 시멘트를 사용한 모르타르와 비교하여 포졸란 D₅₅₀을 혼합시킬 때, 공극의 분포가 고르게 분포되어 있음을 보였고, 기준모르타르의 기공 분포와도 차이를 보여주고 있다. 즉, 기준모르타르의 0.5 μm이하 기공분포율이 28.1%에 비하여, 포졸란 D₅₅₀을 첨가하였을 때 0.5 μm 이하 기공률 분포는 44-62%의 높은 분포율을 보여주었다. 이러한 현상은 포졸란성 D₅₅₀이 입자사이를 채워주는 현상으로 사료된다.

4. 결 론

1. 기준모르타르에서 잔골재량을 10%만큼 생바닥재

로 대체하였을 때, 양생 28일 압축강도는 NBA1는 28.7 MPa, NBA2는 31.3MPa, NBA3는 33.0 MPa를 각각 보였다. 이들의 압축강도는 기준모르타르의 압축강도(30.6MPa)와 거의 동일한 수준이었다. 동시에 이들의 중금속 TCLP 용출은 허용치에 모두 만족하였다.

2. 기준모르타르에서 포졸란성 D₅₅₀의 10%로 시멘트를 대체하고 동시에 바닥재 10%로 잔골재를 대체하였을 때, 재령28일 압축강도는 DBA1는 34.9 MPa, DBA2 34.3 MPa, DBA3 34.0 MPa를 각각 나타내었다. 이들의 압축강도는 기준모르타르의 압축강도보다 약 10% 증가를 보였고, 중금속 TCLP 용출허용기준치에 모두 만족하였다.

따라서, 소각로에서 발생되는 잔재물을 모르타르에 잔골재로 재활용하기 위해서는, 시멘트 모르타르의 압축강도를 향상시킬 수 있는 포졸란성 규조토(D₅₅₀)를 중량비 10% 혼화제로 사용하는 것이 바람직하였다.

사 사

이 논문은 2006학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, 2006 : 환경백서.
2. 최기인, 이동훈, 김낙주, 2004 : “국내 도시고형폐기물 매립지에서 배출되는 침출수 중 다이옥신류 농도 및 분포특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 21(2), pp.143-151.
3. 한소영, 배성우, 이범재, 권영배, 1998 : “사업장폐기물 조각재의 고형화에 따른 압축강도와 용출특성”, 한국폐기물학회지, 15(3), pp.178-183.
4. 임남웅, 2001 : “유해성 산업폐기물의 고형화에 있어서 시멘트의 효과”, 한국폐기물학회지, 18(6), pp.39-50.
5. 이상혁, 김수생, 2001 : “고형화를 이용한 소각재 재활용”, 한국폐기물학회지, 18(6), pp.13-21.

6. 임남웅, 류한길, 대한민국 특허등록 제197795호, 1992 : “콘크리트 부식방지용 시멘트 모르타르 및 제조방법”.

7. 伊藤一郎, 薬劑處理法, 1998 : 廢棄物焼却灰の處理・有効利用技術, 環境管理, 34(9), pp.21-26.

8. “エコセメント- 都市ごみ焼却灰リサイクルシステム”, <http://www.taiheiyo-cement.co.jp>

9. 임남웅, 김영근, 대한민국 특허등록 제10-0620602호, 2006 : “소각재 및 포졸란 물질을 첨가제로 포함하는 혼합 시멘트 조성물, 이를 함유하는 모르타르 및 콘크리트”.

10. 류한길, 임남웅, 박종욱, 1997 : “EAF Dust상의 중금속을 함유한 활성 구조토가 혼합된 시멘트 모르타르의 내화학성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회지, 9(1), pp.259~192.

11. U. S. EPA SW-846 Method 1310

12. KS L 5105, 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법

13. 백운화, 김승진, 김영근, 임남웅, 1997 : “포졸란을 이용한 피혁 중금속 슬러지의 고정화에 관한 연구(1)”, 한국폐기

물학회지, 14(6), pp.514-524.

14. 임남웅, 박광희, 김영근, 1996 : “포졸란을 이용한 전기로 분진층의 중금속 시멘트화에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 13(1), pp.1-8.



林南雄

- 1965 한양대 재료공학과 학사
- 1972 호주 NSW 주립대 공업화학 학사
- 1976 호주 NSW 주립대 공업화학 석사
- 1981 호주 NSW 주립대 토목환경 박사
- 현재 중앙대 건설대학원 건설환경학과 교수

《광 고》 本學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I, II, III, IV, V, VI 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호, V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제60호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년), 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣