



도시 폐기물 소각재를 이용한 화학적 활성화 모르타르의 특성

조병완¹⁾ · 김광일¹⁾ · 박종철²⁾ · 박승국^{1)*}

¹⁾한양대학교 토목공학과, ²⁾한양대학교 토목공학과 / 한국도로공사 도로교통기술원

Properties of Chemically Activated MSWI (Municipal Solid Waste Incinerator) Mortar

Byung-Wan Jo¹⁾, Kwang-Il Kim¹⁾, Jong-Chil Park²⁾, and Seung-Kook Park^{1)*}

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea / Highway and Transportation Technology Institute, Hwaseong-Si, 445-812, Korea

ABSTRACT The recycling of industrial wastes in the concrete manufacturing is of increasing interest worldwide, due to the high environmental impact of the cement and concrete industries and to the rising demand of infrastructures, both in industrialized and developing countries. The production of municipal wastes in the South Korea is estimated at about 49,902 ton per day and only 14.5% of these are incinerated and principally disposed of in landfill. These quantities will increase considerably with the growth of municipal waste production, the progressive closing of landfill, so the disposal of municipal solid waste incinerator(MSWI) ashes has become a continuous and significant issue facing society, both environmentally and economically. MSWI ash is the residue from waste combustion processes at temperature between 850°C and 1,000°C. And the main components of MSWI ash are SiO₂, CaO and Al₂O₃. The aim of this study is to find a way to useful application of MSWI ash(after treatment) as a structural material and to investigate the hydraulic activity, compressive strength development, composition variation of such alkali-activated MSWI ashes concrete. And it was found that early cement hydration, followed by the breakdown and dissolving of the MSWI-ashes, enhanced the formation of calcium silicate hydrates(C-S-H). The XRD and SEM-EDS results indicate that, both the hydration degree and strength development are closely connected with a curing condition and a alkali-activator. Compressive strengths with values in the 40.5 MPa were obtained after curing the activated MSWI ashes with NaOH+water glass at 90°C.

Keywords MSWI ash, recycling, alkali-activator, strength development

1. 서 론

최근 폐기물의 처리 방안으로서 석탄회와 고로슬래그 등의 재활용 연구가 진행되고 있으며 석탄회의 경우 시멘트 제조 원료 및 콘크리트 혼화재, 인공 골재의 제조 등에 다양하게 활용됨으로서 재활용율이 매우 높아지고 있다. 또한 바젤협약 및 “UN 환경 개발회의”의 기후변화 협약등에 따라 이산화탄소(CO₂)의 배출규제가 강화되고 있어 이산화탄소와 분진, 소음 등의 공해유발 산업인 시멘트를 대체하는 새로운 건설소재의 개발연구가 필요한 시점이므로 최근에 알칼리 활성화된 석탄회 및 고로슬래그 등의 포졸란 물질을 이용한 모르타르 및 콘크리트의 기술개발과 연구 등이 진행되고 있으며, 슬러지의

시멘트 원료로서의 연구가 진행되고 있다⁷⁻¹⁰⁾.

소각재는 플라이애쉬(fly ash)와 바텀애쉬(bottom ash)로 구분되고, SiO₂, CaO, Fe₂O₃ 등의 무기물을 함유하고 있으며 플라이애쉬는 도시폐기물의 소각시 비산하는 재료로서 분말도가 매우 높고, 바텀애쉬에 비하여 염류와 중금속의 함량이 높은 것으로 알려져 있으나 중금속의 경우 적절한 고형화 처리시 용출되지 않는 것으로 알려져 있다. 소각재는 자체로는 수경성이 미약하므로 반응을 활성화시킬 화학적 활성화제가 필요하며, 석탄회와 슬래그의 활성화제로는 Alkali 계통과 Sulfate 계통이 주로 고려되고 있으며 Sulfate 활성화제로서 석고(CaSO₄·2H₂O), 규산나트륨(Na₂SO₄)과 Alkali 활성화제로는 수산화나트륨(NaOH), Na₂CO₃이 사용되고 있다⁴⁻⁹⁾. 따라서 소각재를 이용한 비시멘트 계열의 모르타르와 콘크리트를 제조하기 위해서는 소각재의 적절한 화학적 활성화가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 소각재 플라이애쉬와 바텀애쉬를 알칼리

*Corresponding author E-mail : hasup90@hanmail.net

Received October 10, 2006, Accepted September 8, 2006

©2006 by Korea Concrete Institute

활성화시켜 모르타르를 제조하여, 강도실험과 분석등을 통하여 적절한 활성제 종류, 양생온도, 재령의 상관성 및 강도발현 메커니즘과 생성물을 분석하였으며, 그에 따른 역학적 특성을 평가하였다.

2. 폐기물 현황

산업발전에 따른 인구의 증가와 대량생산은 매년 엄청난 양의 도시폐기물을 발생시킨다. 환경부의 2002년도 통계자료에 의하면 매일 49,902톤의 도시폐기물이 발생하고 있으며, 그 중 전체의 41.5%에 해당하는 20,724톤이 매립되고, 14.5%에 달하는 5,440톤이 소각 처리되고 있는 실정이다¹⁾. 지난 1996년 이후 소각처리량이 조금씩 증가하고 있는 추세이나, 국토가 협소한 우리나라의 사정상 매립지의 부족현상과 매립지 설정문제가 어려운 실정으므로 쓰레기 처리문제는 매우 심각한 상황이다. 이에 소각처리의 비중을 점점 더 넓히려는 정부의 정책은 소각재 처리라는 새로운 문제를 야기시켰고, 이를 해결하기 위하여 소각재를 건설자재로 사용하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

외국의 경우 바텀애쉬를 재활용하기 위한 연구가 진행되고 대규모로 사용되고 있으나 현재 국내 도시 폐기물 소각재의 재활용 현황은 약 35%로서 낮은 수준이며 국내에서는 일부 업체에서 블록 등을 제조하는 연구가 진행되고 있는 정도이며, 플라이애쉬의 경우 대부분 매립되고 있어 소각재 재활용이 매우 필요한 상황이다²⁾.

3. 실험

3.1 실험 재료

본 실험의 소각재는 850°C~1,200°C의 온도로 연소되어 발생하는 연소가스 속의 플라이애쉬와 소각로에서 발생하는 바텀애쉬를 사용하였다. Table 1에서 보는 바와 같이, 소각재의 주요 구성성분은 SiO₂, CaO, Al₂O₃로 구성되어 있으며 강열감량은 플라이애쉬는 3.42, 바텀애쉬는 3.44로 기준치인 10% 이하를 만족하는 것으로 나타나 소각로가 정상적인 상태로 운전되었음을 나타내고 있다. 이 밖에 소각재에는 각종 중금속 및 염화물이 포함되어 있어 콘크리트 재료로의 사용을 어렵게 하는데 이를 제거하기 위하여 수세 공정에 의한 전처리를 통하여 염소이온의 허용기준치인 0.3% 이하로 떨어뜨려 실험에 사용하였다¹⁾.

고온의 소각로에서 생성된 소각재의 표면층은 유리질로 이루어져 있어 표면층이 조밀하고 화학적으로 안정한

상태를 가지고 있다. 이 표면층은 내부의 반응성이 높고 공극이 많은 비결정질의 구성물질을 보호하는 역할을 하고 있다. 소각재의 성분인 Si, Al, Ca는 glassy chain으로 견고하게 결합되어 있으므로 반응이 일어나기 위해서는 이 결합을 분해하여야 하며 반응을 활성화시키기 위해서는 높은 알칼리성으로 견고한 소각재의 표면층을 부식하여 내부의 반응 물질을 노출시켜야 한다. 따라서, 액상에서 높은 pH값은 소각재 활성화에 중요한 결정요소이며 또한 알카리 활성제의 선택의 문제이다. 또한 소각재는 CaO와 산화물의 함량이 높아 수화반응 및 포졸란 반응을 일으킬 수 있을 것으로 예상된다. 소각재의 반응을 활성화하기 위해 알칼리 활성제(alkali activator)로서 NaOH 50%액상용액(순도 98%, 12.5 M)과 물유리(water glass, Na₂SiO₃ 액상 40%)를 사용하였으며 성분은 Table 2와 같다. 잔골재로는 밀도 2.6, 조립률은 2.9인 모래를 사용하였으며 골재의 물리적 성질은 Table 3와 같다.

3.2 실험 방법

실험변수에 따라 Table 4의 배합비에 대해 물(W)과 플라이애쉬의 비는 0.21를 유지하였으며 플라이애쉬와 잔골재(1,560 kg/m³)를 혼합기를 이용하여 2분간 건비빔 후 알칼리 활성제와 소량의 물을 첨가하여 3분간 혼합하였으며 잔골재로서 바텀애쉬의 사용시 바텀애쉬와 모래의 비는 1:1을 유지하였다. 알칼리 활성제의 종류는 NaOH와 NaOH+물유리를 사용하였으며, 양생온도 및 초기 고온양생 시간의 영향을 분석하고자 초기 양생온도와 시간을 상온(20°C), 50°C, 90°C에서 24시간 양생하는 실험을 먼저 수행 후 더 높은 강도발현을 나타낸 90°C의 양생 온도에서 48시간 양생하는 실험을 추가 수행하였다. 배합별로 각주형 공시체(50×50×50 mm)를 제작하여 재령 3, 7, 14, 28, 56, 90일에 KS F 2405에 의해 압축강도를 측정하였다. 응결시간을 측정하고자 KS L5103의 길모어 칩에 의한 시멘트의 응결 시간 시험 방법을 사용하여 관입 저항치를 측정하였다. 또한, 소각재와 알칼리 활성제에 의해 생성된 반응 생성물을 확인하기 위해서 R사의 XRD(D/MAX RINT 2000)를 사용하여 생성물의 성분을

Table 2 Specification of Na₂SiO₃

SiO ₂	Na ₂ O	SiO ₂ /Na ₂ O	Specific gravity
29.85%	9.13%	3.27	1.406 g/cm ³

Table 3 Physical properties of fine aggregate

	Density	Absorption	Fineness modulus
Fine aggregate	2.6 g/cm ³	0.94 %	2.9

Table 1 Chemical proportions MSWI ash (unit: %)

	L.O.I	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
Fly ash	3.42	21.31	8.13	3.42	42.14	0.63	3.86	5.50	1.72
Bottom ash	3.44	30.11	6.78	1.11	39.58	0.96	1.45	3.99	3.95

Table 4 Mixture proportions

Specimen	W/fly ash (%)	NaOH Solution (%)	Water glass (%)	Compressive strength (MPa)					
				3days	7days	14days	28days	56days	90days
F-A1-H1	21.0	30	0	5.7	9.8	13.2	15.3	17.3	18.3
F-A1-H2	21.0	30	0	11.7	15.3	19.5	21.2	22.9	24.2
F-A1-H3	21.0	30	0	12.2	15.7	20.7	22.3	23.8	25.2
F-A1-H4	21.0	30	0	23.2	32	35.3	36.5	37.9	39.0
F-A1-H5	21.0	30	0	26.0	36.1	37.2	38.3	39.5	41.1
F-A1-H6	21.0	30	0	24.3	35.7	35.8	36.8	37.7	38.9
F-A1-H7	21.0	30	0	27.4	36.3	37.2	38.4	39.8	40.1
F-A2-H1	21.0	15	18.7	7.5	11.5	15.8	17.2	18.7	20.0
F-A2-H2	21.0	15	18.7	14.6	18.4	22.9	25.1	26.5	28.3
F-A2-H3	21.0	15	18.7	15.3	19.1	23.2	25.9	28.2	29.4
F-A2-H4	21.0	15	18.7	24.7	35.3	36.7	39.1	39.0	41.1
F-A2-H5	21.0	15	18.7	26.5	38	39.7	40.5	41.3	42.4
FB-A1-H1	21.0	30	0	4.7	8.2	10.6	12.2	13.3	14.2
FB-A1-H4	21.0	30	0	11.5	16.2	17.1	18.5	19.0	19.4
FB-A1-H5	21.0	30	0	11.9	17	18.1	18.7	19.3	20.8
FB-A2-H1	21.0	15	18.7	5.5	7.3	11.3	13.6	14.4	14.9
FB-A2-H4	21.0	15	18.7	11.1	15.5	18.1	19.2	20.4	20.9
FB-A2-H5	21.0	15	18.7	12.5	16.6	17.5	20.1	21.3	22.0

※ X#-Y#-Z#

X#(reactant bulk) : F = fly ash, FB = fly ash + bottom ash

Y#(alkali activator) : A1 = NaOH, A2 = NaOH + water glass

Z#(curing condition) : H1 = curing at room temperature(20°C)

H2 = curing at room temperature(20°C) after 24hr of moist curing at 50°C

H3 = 24hr of moist curing at 50°C after 24hr of curing at room temperature(20°C)

H4 = curing at room temperature(20°C) after 24hr of moist curing at 90°C

H5 = 24hr of moist curing at 90°C after 24hr of curing at room temperature(20°C)

H6 = curing at room temperature(20°C) after 48hr of moist curing at 90°C

H7 = 48hr of moist curing at 90°C after 24hr of curing at room temperature(20°C)

분석하였다. 알칼리 활성화제로 반응시킨 소각재 경화체의 재령에 따른 미세구조의 변화를 관찰하기 위해 SEM(광학현미경) 촬영과 EDS분석을 실시하였다. SEM-EDS 측정기는 J사의 JSM-6700F 측정기를 이용하여 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 강도 발현 특성

알칼리 활성화제의 종류, 양생조건, 바텀 애쉬의 사용 유무 및 재령에 따른 알칼리 활성화 소각재의 압축강도 변화는 Figs. 1~4와 같다. 알칼리 활성화제에 따른 압축강도를 살펴보면, NaOH+물유리를 사용한 모르타르는 NaOH를 사용한 경우보다 높은 압축강도를 가지는 것으로 나타났다. 이런 결과는 물유리의 Na₂SiO₃가 수분증발에 의해 빠른 시간에 결합력이 발생하는 특성으로 초기 압축강도발현에 영향을 미친다고 판단된다.

NaOH+물유리로 활성화시켜 90°C에서 고온 양생한 모

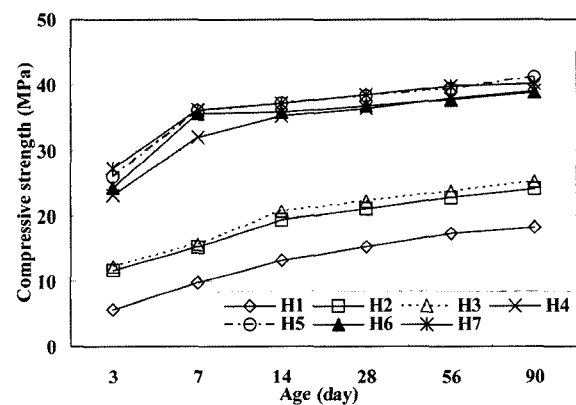


Fig. 1 The compressive strength of MSWI ash (fy ash) mortars with NaOH

르타르의 강도는 양생 28일에 40.5 MPa를 나타내었으며, 3일 강도는 26.5 MPa, 7일 강도는 38.0 MPa, 14일 강도는 39.7 MPa를 나타내었다. 상온양생한 모르타르는 낮은 강도와 낮은 강도 상승률을 나타내었다. 특히, 재령 3일과 7일 사이 90°C 양생 모르타르가 빠른 강도 발현을 보

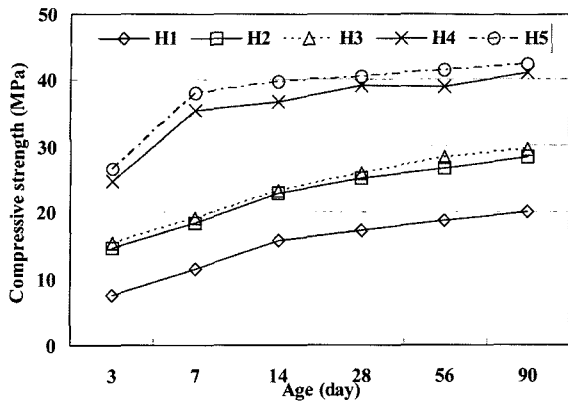


Fig. 2 The compressive strength of MSWI ash (fly ash) mortars with NaOH+water glass

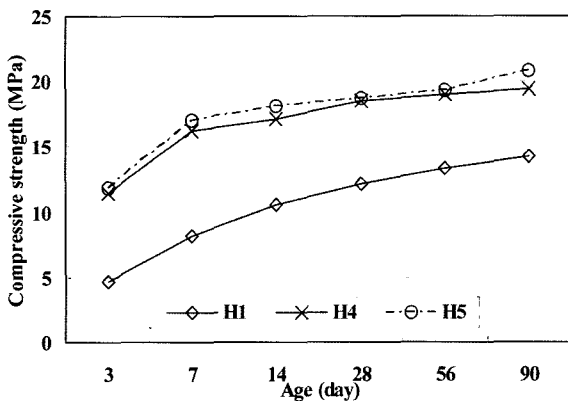


Fig. 3 The compressive strength of MSWI ash (fly ash+bottom ash) mortars with NaOH

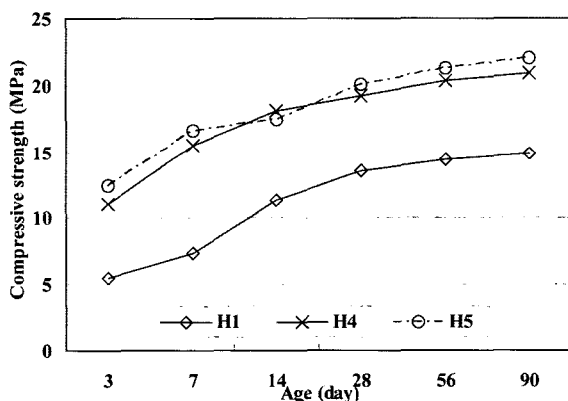


Fig. 4 The compressive strength of MSWI ash (fly ash+bottom ash) mortars with NaOH+water glass

인데 비하여 상온양생의 경우 강도 발현이 상당히 완만하였다. 28일까지 지속적으로 강도가 증가되는 것으로 보아 낮은 온도에서의 소각재의 알칼리 활성화 반응은 매우 느리게 진행되는 것으로 판단된다.

50°C에서 양생한 경우, 초기 강도발현 속도는 상온(20°C) 양생시와 비슷한 양상을 보였으나, 90°C 양생 강도의 55~65%에 해당하는 결과를 보였다. 또한 초기 24시간 동안 20°C에서 양생한 후 90°C에서 24시간 동안 양생한 실험체의 경우는 초기에 90°C에서 양생한 실험체보다 조

금 높은 강도를 나타내었다. 따라서 초기의 양생온도가 알칼리 활성화에 있어 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 90°C에서 48시간 동안 양생한 모르타르의 경우 90°C에서 24시간 동안 양생한 모르타르와 비슷한 강도를 나타낸 것으로 보아, 24시간 이상의 90°C 양생은 강도발현 효과가 비슷한 것으로 판단된다.

잔골재의 50%를 소각재의 바텀애쉬로 대체한 경우의 강도발현은 Figs. 3~4와 같다. 재령별로 보면 대체적으로 플라이애쉬를 사용한 모르타르의 강도발현에 비해 낮은 값을 나타내었다. 이는 바텀애쉬에 남아있는 불순물이 강도발현을 저하시키는 것으로 보인다.

바텀애쉬를 사용한 모르타르의 압축강도는 NaOH+물유리를 사용하고, 24시간 동안 상온양생 후 90°C에서 24시간 동안 양생한 조건에서의 28일 강도가 19.3 MPa로서 같은 조건의 플라이애쉬만을 사용한 모르타르의 47.7%로 나타났다. 재령에 따른 압축강도의 변화는 재령이 증가할수록 압축강도도 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 초기의 90°C 양생시 7일 강도가 28일 강도의 90% 수준으로 강도발현이 빠른 것으로 나타났다. 초기에 알칼리 활성화에 의한 소각재의 반응이 활발하게 일어나며 7일 이후에는 완만한 반응을 보이는 것으로 판단된다. 실험 결과에서 나타난 것과 같이 양생온도는 소각재의 알칼리 활성화에 중요한 요인이며, 특히 초기의 양생온도가 중요하다는 것을 알 수 있다. 이는 알칼리 활성화 반응에는 일정수준 이상의 온도를 유지시켜 반응의 활성화를 유도하여야 한다는 것을 의미한다. Fig. 6에서 보듯이 90°C 양생한 소각재 입자 표면의 부식이 더 활발히 이루어져 반응 물질들이 용해되어 반응 생성물들이 표면에 형성되어 쌓여 있는 것을 알 수 있다. 반대로 상온(20°C) 양생한 모르타르속의 소각재 표면은 Fig. 5에서 처럼 부식이 이루어지지 않아 입자 표면에 반응 생성물들이 거의 보이지 않고 있어 입자간의 결합이 약한 것을 알 수 있다.

높은 온도에서 양생시 OH⁻이온에 의한 소각재 표면의 공격이 활발해지면서 부식이 이루어져 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO 등의 분자수가 증가하여 반응속도가 촉진되어 더 치

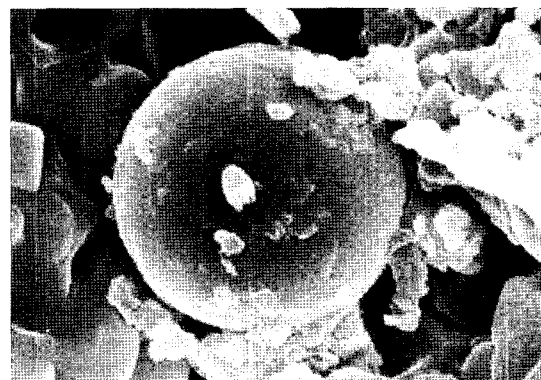


Fig. 5 MSWI ash particle of mortar with NaOH at curing condition H1

밀한 내부 구조를 얻을 수 있다고 판단되며, 따라서 더 높은 강도 발현을 한다. 응결시간은 양생조건 H5에 대하여 측정하였으며 활성제로 NaOH를 사용한 경우는 초결 5.0 hr, 종결이 8.5 hr이었으며, NaOH+물유리를 사용한 경우는 초결 4.5 hr, 종결이 7.5 hr 를 나타내었다.

4.2 경화 메커니즘 및 생성물

알칼리 활성화에 따른 소각재의 반응 생성물은 알칼리 활성제의 종류와 양생온도에 따라 다른 양상을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 5에서 보는 것과 같이 상온양생 시에는 유리질 입자 주위에 별다른 반응 생성물이 보이지 않고 독립된 모습이나, 고온 양생시킬 경우에는 Fig. 6과 같이 유리질 입자 표면 및 그 주위에 많은 반응 생성물이 생겨났음을 알 수 있다. Fig. 8 b)의 XRD 그래프에서도 같은 사실을 확인할 수 있는데, 고온양생한 경우 반응 생성물로 추정되는 수산화칼슘 및 Reinhardbraunsite, Xonotlite 등의 C-S-H 겔, Katoite 등의 C-A-H 겔의 피크값이 나타났다.

물유리는 규산소다(sodium silicate)와 물과의 혼합시 우선 식(1)과 같이 가수분해한다.

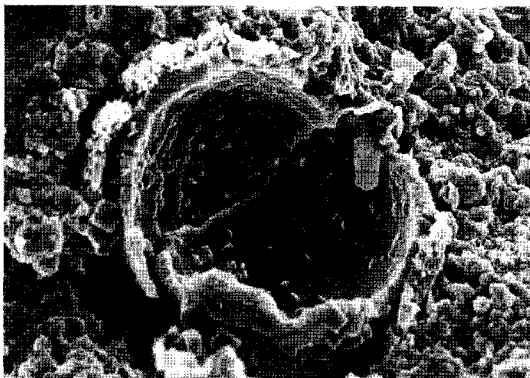
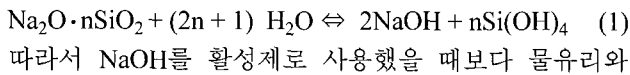


Fig. 6 MSWI ash particle of mortar with NaOH at curing condition H5

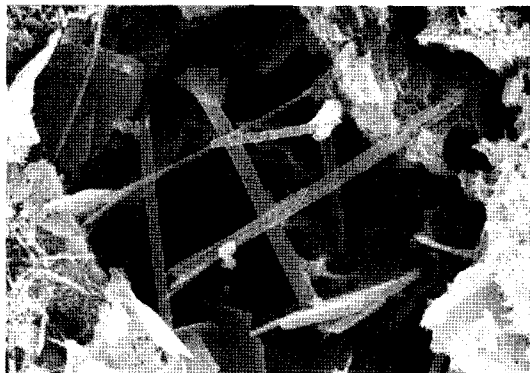


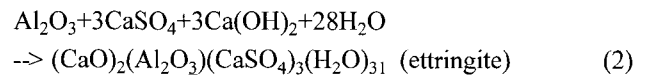
Fig. 7 Reaction products of fly ash mortar with NaOH at curing condition H5

혼합된 NaOH를 사용했을 때가 높은 pH환경이 조성되며 이러한 강알칼리 환경과 적절한 온도조건 아래에서 OH⁻이온은 소각재의 Al₂O₃, Fe₂O₃ 그리고 SiO₂와 같은 반응성 산성화합물의 표면을 공격하여 부식을 촉진하게 되며 이는 소각재 입자표면에서의 포졸란 반응을 통한 반응 생성물과 표면부식에 의한 산성화합물과 NaOH의 나트륨이온이 결합되는 결정화 과정을 통하여 강도를 가지게 된다고 판단된다.

Fig. 6은 소각재 입자 표면의 붕괴에 의한 반응 생성물 형성을 보여주고 있으며 반응이 증가함에 따라 입자 주변이 반응 생성물로 채워지면서 강도 발현 효과를 나타내는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 7에서 보는바와 같이 입자 주위에 생성되는 여러 반응 생성물이 서로 결합하여 강도를 갖게 되는 것을 알 수 있다.

적절한 온도이상에서의 반응 초기에는, Na⁺이온과 높은 pH 환경에서 활발해진 OH⁻이온이 Al₂O₃, SiO₂와 같은 반응성 산성화합물의 표면을 공격하게 되며 따라서 [SiO(OH)₃], [Al(OH)₄]와 같은 상태로 용출되면서 Ca(OH)₂와 결합하여 결정체 주위에 C-S-H, C-A-H 겔을 형성하게 된다. 이 때의 결정상은 포틀랜드 시멘트의 수화반응 후 생성된 C-S-H겔과 매우 유사한 형태인 것으로 파악된다.

플라이애쉬 집진 및 유해가스 처리를 위해 첨가된 소석회와 플라이애쉬 내에 함유된 산화황(SO_x) 이온이 반응하여 무수석회(CaSO₄)를 형성하게 되고, 이는 식(2)처럼, 플라이애쉬 내에 산화물로 존재하는 Al₂O₃와 수화 생성물인 Ca(OH)₂등과 결합하여 Fig. 7과 같은 ettringite를 형성하게 된다⁹⁾.



또한 Fig. 8 b)의 XRD패턴에 산발적인 띠형태로 나타나는 CaO, Fe₂O₃등을 함유한 저차의 결정질인 화합물이 생성되어 다른 반응 생성물과 함께 조직을 치밀하게 하여, 강도를 증진시키는 것으로 판단된다.

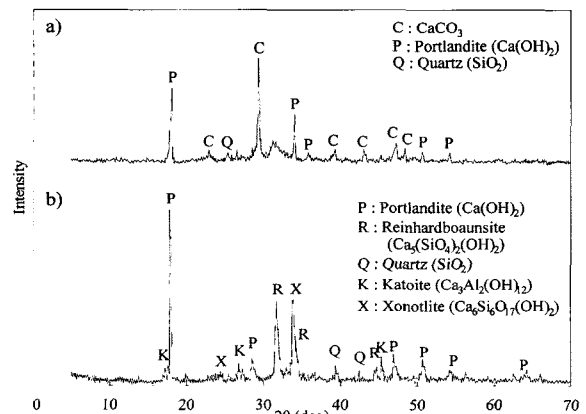


Fig. 8 XRD pattern of the MSWI fly ash and activated MSWI fly ash a) MSWI fly ash, b) Activated MSWI fly ash with NaOH at curing condition H5

본 연구에서는 알칼리 활성화에 의한 도시쓰레기 소각재 경화체의 강도발현 및 반응 생성물 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) NaOH+물유리를 알칼리 활성화제로 사용시 더 높은 강도를 나타내었다. 24시간 고온(90°C)양생시킨 모르타르의 경우 28일 강도가 40.5 MPa로 가장 높게 나타났다. 초기 3일과 7일 강도는 26.5 MPa와 38.0 MPa로 가장 빠른 강도발현을 나타내었다.
- 2) 알칼리 활성화 소각재 모르타르의 강도발현에 양생온도가 가장 큰 영향 인자였다. 상온(20°C)양생 시, 7일 강도는 28일 강도의 45~60%, 고온(90°C)양생의 경우 90% 수준으로, 낮은 온도(20°C)에서의 소각재의 알칼리 활성화 반응은 매우 느리게 진행되었으며, 고온(90°C)의 양생은 알칼리 활성화에 의한 강도발현을 가속화 시켰다.
- 3) 알칼리 활성화 소각재 모르타르의 주요 반응 생성물은 Ca(OH)₂, 포틀랜드 시멘트의 수화생성물과 유사한 형태의 C-S-H 겔로 판단되며, C-A-H겔, ettringite 및 저차의 비결정상의 생성 또한 확인 할 수 있었다.
- 4) 도시폐기물 소각재를 알칼리 활성화를 통하여 비시멘트 계열의 콘크리트 생산에 응용함으로써 시멘트 제조에 따른 CO₂ 발생량 감소, 폐기물 매립지의 수명연장 및 환경보호 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

1. 환경부, 국립환경연구원, “2002 전국 폐기물 발생 및 처리현황”, 환경부, 2003.
2. 환경관리공단, “소각재 안정화 및 재활용기술에 관한 연구”, 환경관리공단, 2000. 9.
3. Speiser, C. and Baumann, T., “Characterization of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash by scanning electron microscopy and quantitative energy dispersive X-ray microanalysis (SEM/EDX)”, *Fresenius. J. Anal. Chem.*, No.370, 2001, pp.752~759.
4. W, K. S., Lin, K. L., and Huang, Z. Q., “Hydraulic activity of municipal solid waste incinerator fly-ash-slag-blended eco-cement”, *Cement and Concrete Research*, Vol.31, 2001, pp.97~103.
5. Palomo, A., M. W. and Grutzeck. M. T. Blanco, “Alkali-activated fly ashes, A cement for the future”, *Cement and Concrete Research*, Vo.29, 1999, pp.1323~1329.
6. Gruyzeck, M., Kwan, Stephen., and Dicola, M., “Zeolite formation in alkali-activated cementitious systems”, *Cement and Concrete Research*, Vol.34, 2004, pp.949~955.
7. Jeannet, A. Meima and Rob Comans, N. J., “Geochemical Modeling of Weathering Reactions in Municipal Solid Waste Incinerator Bottom ash”, *Environmental Science & Technology*, Vol.31, No.5, 1997, pp.1269~1276.
8. Lin, C. Fang. and Hsi, H. C., “Resource Recovery of Waste Fly Ash: Synthesis of Zeolite-like Materials”, *Environmental Science & Technology*, Vol.29, No.4, 1995, pp.1109~1117.
9. Pecqueur, G, Crignon, C., and Quenee, B., “Behaviour of cement-treated MSWI bottom ash”, *Waste Management*, Vo.21, 2001, pp.229~233.
10. Mulder, E., “Pre-treatment of MSWI fly ash for useful application”, *Waste Management*, Vol.16, Nos.1-3, 1996, pp.181~184.
11. ACI Committee 318, *Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, 2005.

요 약 산업발전에 따른 인구의 증가와 대량생산은 매년 엄청난 양의 도시폐기물을 발생시키고 그 양은 매일 49,902톤에 이른다. 현재, 매일 발생량의 14.5%인 5,440톤이 소각처리되고 있는데 여기서 발생하는 소각재는 대부분 매립되어지고 있는 실정이다. 그러나 매년 그 양이 증가하고 상대적으로 매립지의 부족현상이 나타나면서, 쓰레기 소각재의 처리 문제는 환경적, 경제적으로 우리사회를 위협하는 문제가 되고 있다. 도시쓰레기 소각재는 850~1,000의 온도에서 쓰레기를 소각하여 발생하는 부산물로서 플라이애쉬와 바텀애쉬로 나뉘어지고, 그 주성분은 SiO₂, CaO, Al₂O₃ 등의 산화물이다. 본 연구에서는 수세공정을 거친 쓰레기 소각재를 화학적 반응에 의해 경화시켜 모르타르를 제조하고, 알칼리 활성화제와 양생조건에 따른 강도발현 특성을 파악하였으며, XRD분석과 SEM-EDS 분석을 통하여 반응 생성물 및 반응 매커니즘을 분석하였다. 실험 결과, 주요 생성물은 포틀랜드시멘트의 수화생성물과 유사한 C-S-H겔 형태의 화합물이었고, ettringite 및 C-A-H 화합물도 생성됨을 확인할 수 있었다. 재령 28일의 압축강도는 고온양생 조건에서 NaOH+물유리를 알칼리 활성화제로 사용한 경우 40.5 MPa로 가장 높게 나타났으며 잔골재의 50%를 바텀애쉬(bottom ash)로 치환하였을 경우, 19.3 MPa의 강도발현을 보였다.

핵심용어 도시폐기물 소각재, 재활용, 알칼리 활성화제, 강도발현