



Bottom Ash를 재활용한 저강도 고유동 재료의 내구성 및 환경영향 평가

원종필^{1)*} · 이용수¹⁾ · 이준자¹⁾

¹⁾ 건국대학교 지역건설 환경공학과

(2001년 10월 9일 원고접수, 2002년 1월 10일 심사완료)

Durability Characteristics and Environmental Assessment of Controlled Low-Strength Materials Using Bottom Ash

Jong-Pil Won^{1)*}, Yong-Su Lee¹⁾, and Jon-Ja Lee¹⁾

¹⁾ Konkuk University, Dept. of Rural Engineering Seoul, 143-701, Korea

(Received October 9, 2001, Accepted January 10, 2002)

ABSTRACT

The main intent of this research was to determine the feasibility of utilizing recycling bottom ash as CLSM (controlled low-strength material). CLSM is a cementitious material, commonly a blend of portland cement, fly ash, sand, and water, that is usually flowable and self-leveling at the time of placement. The durability characteristics of mixtures made bottom ash are compared with those of fly ash CLSM in order to evaluate the effectiveness and suitability of bottom ash as material in CLSM. A comprehensive evaluation of the bottom ash in CLSM and mix proportions indicated that the bottom ash are capable of performing as CLSM mixtures. The durability characteristic of CLSM incorporating the bottom ash under various physical and chemical causes of deterioration were investigated. Test results indicated that CLSM using bottom ash has acceptable durability performance. CLSM incorporating with bottom ash were also found to be environmentally safe.

Keywords : bottom ash, controlled low-strength material(CLSM), durability, environmentally safe, fly ash

1. 서 론

저강도 고유동 재료(controlled low-strength materials)는 flowable fill, K-Krete, flash fill, flowable mortar, controlled density fill 등의 다양한 재료명으로 알려져 왔으며 일반적으로 시멘트, 플라이애시, 잔골재, 물의 혼합으로 만들어진다¹⁻³⁾. 또한 재료의 특성은 콘크리트와 토양의 중간적인 성질을 보이며 콘크리트의 일종이라기 보다는 압밀된 충전재를 대신해 사용하는 자카다집성의 충전재료로 고려되는 것이 바람직하다¹⁻³⁾. 이와 같은 재료의 성질로 인하여 미국 등지에서는 산업화가 되어 대부분의 레디믹스트 콘크리트 회사에서 사용되어지고 있다.

저강도 고유동 재료의 현장 적용을 위한 시공상의 장점(self-leveling, 자카다집성, 굴착성)들은 많이 연구되어 진 반면에 재료가 갖는 내구성능에 대한 연구는 많이 알려지지 않았다. 그것은 저강도 고유동 재료가 일반적으로 동결융해, 표면침식, 유해한 화학물질의 침입 등에 저항하도록 설계되지 않기 때문이다⁴⁾. 이로 인하여 저강도 고유

동 재료는 구조적인 분야보다는 지중내의 공극이나 트랜치의 되메움재와 같은 비구조분야에 사용되어 왔다. 그러나 적용분야에 따라서는 외부 환경에 의한 내구성 평가를 필요로 하는 경우가 있다.

Brewer²⁾는 저강도 고유동 재료가 도로기초에 사용되어 질 경우는 동결융해에 저항하도록 설계되어야 하며 분야에 따라서는 침식에 저항하도록 설계되어야 한다고 명시하고 있다. Nantung등⁴⁾은 저강도 고유동 재료가 동결융해 작용에 의한 표면스케일링이 발생하여 판상으로 파괴가 되어지지만 기존의 입상토충전재에 비하여는 우수한 저항성을 갖는다고 설명하고 있다. R. Janardhanam등⁵⁾은 고유동화제와 급결제 첨가량에 따른 강도특성과 응결시간, 동결융해저항성등을 평가하였다. 이와 같은 기존연구들은 플라이애시와 시멘트, 모래를 혼합한 재료로서 본 연구에서 사용되어지는 bottom ash를 사용한 재료의 내구성능 평가에 대한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 예비 실험을 통해 도출되어진 배합들을 이용하여 외부 환경변화에 따른 내구성능을 평가하기 위하여 투수성, 동결융해저항성, 건조-습윤반복실험을 실시하여 외부환경에 대한 내구특성을 평가하였다. 또한 재료의 적용분야가 대부분 트랜치나 지중공극을 되메

* Corresponding author

Tel : 02-450-3750 Fax : 02-2201-0907

E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr

우는 분야에 적용되어짐에 따라 재료 자체에서의 중금속 이온의 용출에 의한 지하수의 오염가능성을 평가하기 위하여 회분식 용출시험을 실시하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 품질 시험 결과는 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 강모래를 사용하였으며 품질시험 결과는 Table 2와 같다.

2.1.3 플라이애시

플라이애시는 태안화력발전소에서 유연탄의 연소후 전기집진기로 포집되어 정제되어진 것으로 KS L 5405 규정을 만족하였으며 입자의 모양은 구형으로 플라이애시의 물리·화학적 특성은 Table 3과 같다.

2.1.4 Bottom Ash

bottom ash는 태안화력발전소에서 바닷물을 이용하여

Table 1 Physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Specific gravity	Stability (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)		
			3 days	7 days	28 days
3,488	3.15	0.08	224	308	404
Initial setting time(min.)			231		
Final setting time(min.)			407		

Table 2 Properties of fine aggregate

Specific gravity			Fineness modulus
Bulk	Bulk(SSD)	Apparent	
2.59	2.61	2.63	2.99

Table 5 Suggested mix proportions of CLSM

Item	Unit weight (kg/m ³)					Flow (mm)	Compressive strength (kgf/cm ²)	Unit weight (kgf/m ³)	Air (%)	
	Cement	Fly ash	Bottom ash	Water	Sand					
Excavation	Hand	50	280	-	330	1366	268	5.25	2107	1
	Machine	80	250	-	330	1378	272	10.98	2147	1.57
	Non	120	210	-	330	1293	259	26.18	2133	1.5
Bottom ash	Hand	30	280	70	340	1264	256	6.23	2026.7	3.4
	Machine	60	280	140	371.3	1065	245	10.39	1933.4	3.2
	Non	120	280	280	451.4	622	247	41.55	1740.7	3.7

수업으로 회처리장으로 운반하는 도중에 재료를 채취하여 시험을 실시하였으며 bottom ash의 물리·화학적 특성은 Table 4와 같다.

2.2 실험계획

저강도 고유동 재료는 일반적으로 시멘트, 플라이애시, 모래, 물을 혼합한 배합들이 사용되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 강도와 유동특성에서 유사한 특성을 나타내는 플라이애시만을 사용한 배합과 bottom ash를 첨가한 배합의 내구성능을 비교하여 보았다. 모든 배합은 28일 강도를 기준으로 인력에 의해 굴착가능한 강도(hand) 7 kgf/cm²이하, 백호와 같은 장비에 의한 굴착가능한 강도(machine) 7 ~ 14 kgf/cm², 굴착이 불가능한 강도(non) 22 kgf/cm²이상으로 목표강도를 나누었으며 이러한 강도범위를 만족하는 배합은 예비시험을 통하여 Table 5와 같이 도출하였다^{16,7)}. bottom ash를 사용한 경우의 non굴착은 bottom ash의 불균질한 성질로 인하여 강도의 차이가 나타날 것을 고려하여 균질한 성질을 나타내는 플라이애시만을 사용한 배합에 비하여 높은 강도의 배합을 선택하였다. 실시되어진 내구성시험들은 재료의 성질이 저장도임에

Table 3 Physical and chemical properties of fly ash

Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Absorption (%)	L.O.I* (%)				
2.14	3,400	0.13	3.28				
Chemical compositions(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
58.12	23.56	7.69	2.59	1.12	0.31	1.42	1.05

* L.O.I : Loss on ignition

Table 4 Physical and chemical properties of bottom ash

Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Absorption (%)	L.O.I. (%)				
1.98	-	-	13.4				
Chemical compositions(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
50.29	24.08	3.81	3.05	1.29	1.37	0.64	0.84

따라 콘크리트에 적용되는 기준안을 그대로 적용하는데 어려움이 있어 실험방법을 약간 변형하여 실험하였으며 용출시험은 폐기물 공정시험 방법에 준하여 시험을 실시하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 투수시험

본 연구에서는 투수계수를 측정하기 위해서 Fig. 1과 같은 시험장치를 이용하여 압력식 정수위 투수시험을 실시하였다. 시험은 압력기를 이용하여 물을 압송하여 cell 내로 압력을 가해지도록 하였고 시료가 포화될 때까지 계속적으로 압력을 가한 후 메스실린더를 이용하여 정해진 시간내에 흘러나오는 수량을 측정하였다. 재료의 투수정도에 따라 cell내로 가하는 압력을 1~6kgf/cm²범위에서 차이 있게 적용하였는데 여기서 압력 1kgf/cm²은 10m의 수두차를 의미하는 수치이다. 투수계수는 Darcy법칙에 의하여 다음과 같이 구하였다⁸⁾.

$$Q = kiAt$$

$$k = \frac{Q}{iAt} = \frac{QL}{hAt}$$

여기서, k : 투수계수 (cm/sec)

L : 시료의 길이(cm)

A : 시료의 단면적 (cm²)

h : 수두차 (cm)

t : 투수시간(sec)

Q : 침투수량(cm³)

2.3.2 동결융해시험

저강도 고유동 재료의 동결융해 저항성을 알아보기 위하여 본 연구에서는 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)중 B법(공기 중에서 급속 동결하여 수중에서 융해시키는 시험방법)을 이용하여 시험을 실시하였다⁹⁾. 시험 공시체는 저강도 고유동 재료의 저강도 특성상 기준안 크기의 각주형 공시체를 적용하였을 경우 표면박리 현상으로 탄성계수 측정이 어려움에 따라 압축강도용 공시체(50×50×50mm)를 다량 제작하여 동결융해 공시체로 사용하였다. 시험은 재령 28일에서 실시하였으며 KS 규정인 주파수를 이용한 상대 동탄성계수를 측정하지않고 본 연구에서는 5 사이클마다 공시체 3개의 일축압축강도를 측정하여 사이클에 대한 강도 변화율로 동결융해 저항성 정도를 나타내었으며 중량변화를 측정하였다.

2.3.3 건조-습윤반복실험

건조-습윤반복실험은 저강도 고유동 재료가 여름철 건조와 습윤이 반복되는 환경에 노출되었을 경우 수분 함유에 의한 팽창과 건조상태에서 수분 손실로 인한 수축에 의한 열화정도를 알아보기 위해서 실험을 실시하였다.

본 실험은 현재 규정된 실험방법이 없어 28일 습윤양생한 공시체를 12시간동안 23±2℃의 물속에서 포화시킨 후, 12시간동안 60℃의 오븐에서 건조시키는 것을 1사이클로 하여 총 25사이클을 수행하였으며 압축강도 시험을 실시하였다.

2.3.4 회분식 용출시험

회분식 용출시험은 한 반응조내에서 시험대상 물질과 pH를 조절한 용매를 연속적으로 접촉시키는 방법으로 1973년 일본 정부와 미국 EPA(eniromental protection agency)에 의해 처음 채택되었다¹⁰⁾. 그 이후 AFS (american foundrymen's society), MPCA (minnesota pollution control agency), IEPA(illinois environmental protection agency)등의 연구기관에서 관련 시험법들이 제안되었으며 일반적인 회분식 용출 시험과정은 Fig. 2와 같다.

본 연구에서는 폐기물 공정시험 방법에 있는 용출시험 방법에 따라 시험을 실시하였으며 시료 100g을 3차 증류수와 1:10 (W:V)의 비율로 2000ml 삼각플라스크에 넣어 혼합하였다. 혼합액은 상온, 상압에서 진탕 회수가 매분당 약 200회, 진폭이 4~5cm의 진탕기를 사용하여 6시간 연

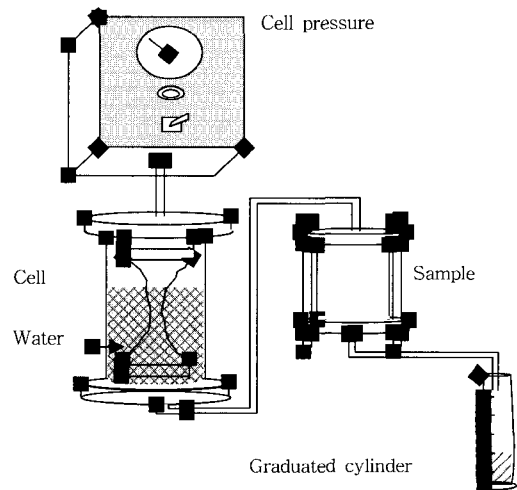


Fig. 1 Pressure constant-head permeability test setup

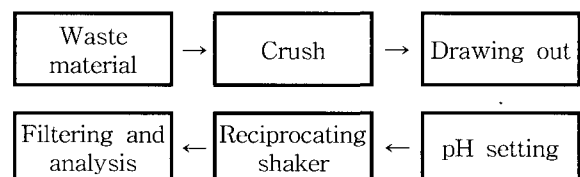


Fig. 2 Procedure of batch leaching test¹⁰⁾

속 진탕한 다음 1.0 μ m의 유리섬유여과지에 여과하고 적당량을 취하여 용출시험용 검액으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 내구성

3.1.1 투수시험

플라이애시와 bottom ash를 첨가한 저장도 고유동 재료의 압력식 정수위 투수시험 결과는 Table 6 및 Fig. 3과 같다.

투수계수 시험결과 각 굴착가능성별 배합에서 bottom ash를 첨가하지 않은 배합의 투수계수가 더 작은 수치를 나타내었다. 이는 bottom ash의 입자형태가 다공성이기 때문에 내부의 공극이 완전히 채워지지 않아 미소공극을 함유하고 있어 투수성이 더 큰 것으로 사료되어진다. 모든 배합의 투수계수는 점토나 실트질의 투수계수 범위인 10^{-4} ~ 10^{-7} cm/sec을 나타내었다.

3.1.2 동결융해시험

동결융해 반복후 저장도 고유동 재료의 반복횟수당 중량변화 측정결과는 Fig.4, Fig. 5와 같으며 압축강도 변화는 Fig. 6, Fig. 7과 같이 나타났다.

공시체들은 동결융해 사이클이 증가됨에 따라 표면에 스케일링 현상이 발생하였으며 저장도의 배합에서는 표면 박리현상이 나타났다. 정제 플라이애시만을 사용한 배합에 비하여 bottom ash를 첨가한 배합의 공시체에서 표면 박리현상이 더 크게 발생하였다. 따라서 bottom ash를 첨가한 배합의 중량변화량이 더 크게 나타났으며 강도가 증가할수록 변화량이 적어 non 굴착배합에서는 그 양이 매우 적었다. 상대 압축강도는 반복횟수가 증가할수록 크게 저하하여 5사이클 이내에 모든 배합의 상대 압축강도가 60%이하로 떨어졌다. 또한 굴착가능성별 배합들이 플라이애시만을 사용한 배합과 bottom ash를 첨가한 배합에서 거

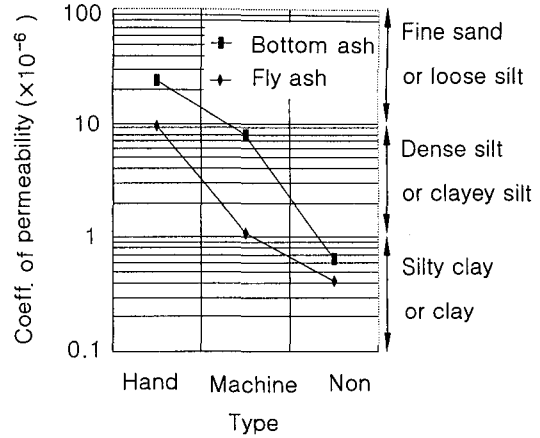


Fig. 3 Permeability of CLSM

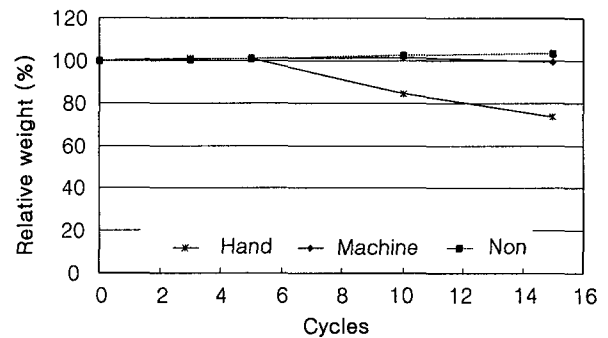


Fig. 4 Relative weight after repeated freezing and thawing of fly ash CLSM

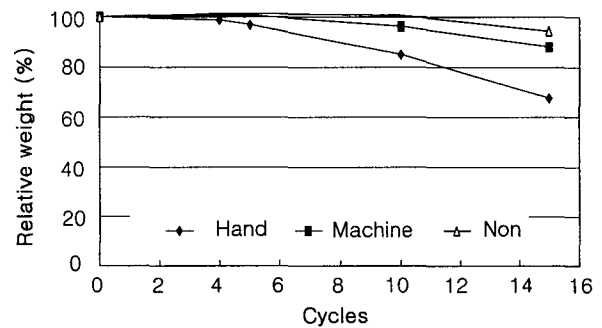


Fig. 5 Relative weight after repeated freezing and thawing of bottom ash CLSM

Table 6 Permeability of materials

Item \ Type	Fly ash			Bottom ash		
	Hand	Machine	Non	Hand	Machine	Non
Quantity of water (cm ³)	851.28	433.56	110	540.98	73	897.42
Sample length (cm)	5	5	5	5	5	5
Sample area (cm ²)	90.55	90.55	90.55	90.55	90.55	90.55
Head (cm)	4005	4005	4005	3005	1005	6005
Time (sec)	1250	5400	3600	660	600	36540
Permeability (cm/sec)	9.39×10^{-6}	1.11×10^{-6}	4.21×10^{-7}	1.51×10^{-5}	6.68×10^{-6}	2.25×10^{-7}

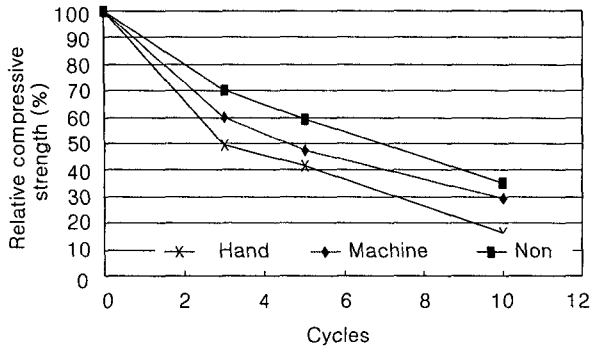


Fig. 6 Relative compressive strength after repeated freezing and thawing of fly ash CLSM

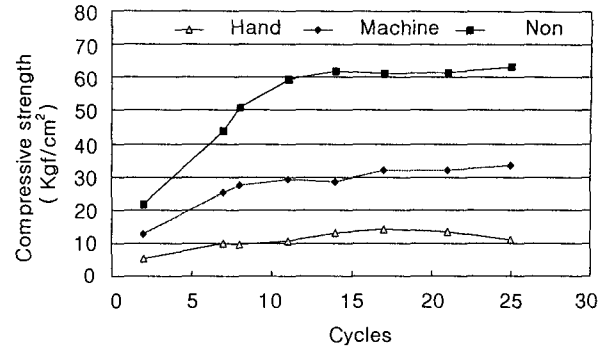


Fig. 8 Compressive strength after repeated wetting and drying of fly ash CLSM

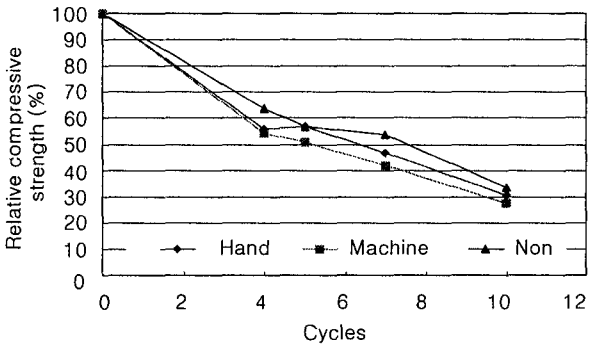


Fig. 7 Relative compressive strength after repeated freezing and thawing of bottom ash CLSM

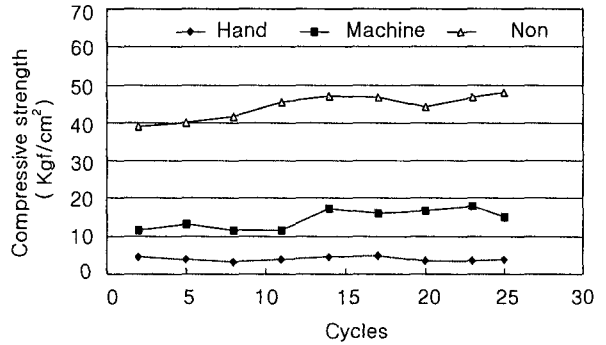


Fig. 9 Compressive strength after repeated wetting and drying of bottom ash CLSM

의 같은 경향을 나타내었다.

3.1.3 건조습윤 반복실험

저강도 고유동 재료의 건조습윤반복에 따른 압축강도 변화는 Fig. 8, Fig. 9과 같다. Fig. 8에서와 같이 플라이 애시만을 첨가한 배합에서는 반복횟수가 증가할수록 강도가 증가하여 굴착가능성별 한계강도를 넘어서는 결과도 출되었다. 그러나 Fig. 9의 bottom ash 첨가배합결과는 사이클이 증가하여도 강도가 증가하지 않아 목표로 한 굴착성을 유지하였다.

3.2 환경영향 평가

3.2.1 용출시험

저강도 고유동 재료의 재료로 사용되는 플라이애시와 bottom ash의 용출시험결과는 Table 7과 같다. 플라이애시의 pH는 10.17로 강알칼리성을 나타내었으나 bottom ash는 8.02로 약알칼리성을 나타내었다. 이는 본 연구에서 사용된 bottom ash가 해수와 접촉하는 과정에서 해수 내에 용해되어 있는 다양한 금속성분들이 bottom ash에서 용출된 수산화(OH)와 반응하여 수산화기를 소모시킨 결과로 판단된다. “폐기물 관리법” 시행령 제2조에서 정하고 있는 폐기물 분류기준인 Table 8은 용출시험 결과에 준하여 폐기물을 일반 폐기물과 특정 폐기물로 분류하는 것으로 Table 7의 플라이애시와 bottom ash의 결과는 일반폐

Table 7 The concentration of trace elements in fly ash and bottom ash (ppm)

Element	pH	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Fly ash	10.17	0.0427	<0.0001	<0.0001	0.0117	0.0002	0.00065	<0.0001	<0.0001
Bottom ash	8.02	0.0107	0.00678	0.00217	0.0261	0.00741	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Table 8 Classify standard of normal/special waste (ppm)

Element	CN	Cu	Cd	Hg	Organic P	As	Pb	Cr ⁶⁺
Limit	1	3	0.3	0.005	1	1.5	3	1.5

기물에 해당하였다.

저강도 고유동 재료에 대한 용출시험은 재령 7일과 28일에서 공기 중 기건한 공시체와 23±2°C의 양생수조에서 양생한 공시체를 이용하여 주위의 수분에 의한 용출차이를 시험하였으며 재령에 따른 수소이온 농도 및 오염물질 함량의 변화를 측정하였다.

공기중에서 기건한 공시체의 용출시험결과와 양생수조에서 양생한 공시체의 용출시험결과는 Table 9, Table 10과 같다. 시멘트의 강알카리성으로 인하여 시멘트양이 증가할수록 pH는 증가하였고 수화과정속에서 배출되어지는 OH⁻ 이온으로 인하여 재령 증가에 따라 pH는 증가하였으며 기건 양생 공시체에 비하여 수중양생 공시체의 pH

가 더 높았다.

저강도 고유동 재료는 지중 공극의 채움재로 사용됨에 따라 강우나 지하수 등의 접촉에 의해 배출되는 침출수의 오염 가능성에 대한 문제를 검토하기 위한 “수질 환경 보전법”에 의한 오염물질 배출허용기준은 Table 11과 같다.

저강도 고유동 재료의 용출시험 결과는 수소이온농도 (pH)만이 오염물질 배출기준안을 상회하는 문제가 있고 나머지 측정 원소는 기준치에 훨씬 못미치는 것으로 나타났다. 그러나 국내의 토양특성이 일반적으로 산성을 나타내므로 저강도 고유동 재료로부터 흘러나오는 침출수가 흙속을 통과하여 중성화 되는 효과를 고려하면 그다지 문제가 되지 않을 것으로 판단된다¹⁰⁾.

Table 9 The concentration of trace elements in Dry CLSM of bottom ash(ppm)

Element		pH	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
7 days	Hand	7.31	0.037	<0.0001	0.00025	0.00389	0.0349	0.00015	<0.0001	<0.0001
	Macine	7.62	0.054	0.00018	<0.0001	0.00285	0.00276	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Non	8.78	0.082	0.00017	<0.0001	0.00285	0.00276	<0.0001	<0.0001	<0.0001
28 days	Hand	8.10	0.024	0.00185	<0.0001	0.00776	0.0355	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Macine	8.61	0.041	0.00117	<0.0001	0.00575	0.0302	0.00024	<0.0001	<0.0001
	Non	10.47	0.085	0.00032	0.00035	0.013	0.00971	0.00040	<0.0001	<0.0001

Table 10 The concentration of trace elements in Wet CLSM of bottom ash(ppm)

Element		pH	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
7 days	Hand	7.39	0.0217	<0.0001	0.00015	0.00359	0.0415	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Macine	7.83	0.0243	<0.0001	0.00024	0.00532	0.00591	0.00012	<0.0001	<0.0001
	Non	8.19	0.0246	<0.0001	0.00031	0.00649	0.00105	0.00012	<0.0001	<0.0001
28 days	Hand	9.08	0.0135	0.00033	<0.0001	0.00452	0.0388	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Macine	10.62	0.0223	0.00023	<0.0001	0.0101	0.0181	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Non	11.44	0.0156	<0.0001	<0.0001	0.0081	0.00073	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Table 11 Waste leachate quality criteria (ppm)

Case	Element	pH	CN	Cu	Cd	Hg	Organic P	As	Pb	Cr ⁶⁺	Cr	Fe	Zn	Mn
	Clean		5.8~8.6	0.2	0.5	0.02	ND*	0.2	0.1	0.2	0.1	0.5	2	1
A		5.8~8.6	1	3	0.1	0.005	1	0.5	1	0.5	2	10	5	10
B		5.8~8.6	1	3	0.1	0.005	1	0.5	1	0.5	2	10	5	10
Special		5.8~8.6	1	3	0.1	0.005	1	0.5	1	0.5	2	10	5	10

* ND : not detectable

Clean area : A preservation for the quality of water(environmental standard I)

A area : A preservation for the quality of water(environmental standard II)

B area : A preservation for the quality of water(environmental standard III, IV, V)

Special area : A waste water disposal area and industrial area

4. 결 론

본 연구는 화력발전소에서 석탄 부산물로서 재활용되어 지지 못하고 매립처리되는 bottom ash를 저장도 고유동 재료에 플라이애시와 함께 사용함으로써 폐자원인 석탄회의 재활용율을 높이고 bottom ash를 혼합한 저장도 고유동 재료의 내구성 및 환경영향 평가를 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

1) 투수계수 시험결과는 모든 배합에서 점토와 실트질의 투수계수인 $10^5 \sim 10^7 \text{ cm/sec}$ 의 범위를 나타내었다. 모든 굴착가능성별 배합에서 bottom ash를 사용한 배합이 정제 플라이애시만을 사용한 배합에 비하여 투수계수가 더 크게 나타나는데 이는 bottom ash의 입자형태가 다공성으로 인하여 내부의 공극이 다량 존재하기 때문으로 사료된다.

2) 동결융해 저항성 시험결과는 저장도로 인하여 동결융해에 대한 저항성은 좋지 않아 모든 배합에서 5사이클 이전에 처음 강도의 60% 이내로 강도가 저하되었다. 또한 중량변화 측정결과와 육안 관찰결과 bottom ash를 첨가한 배합이 표면 스케일링으로 인한 부서짐 정도가 더 컸다. 재료의 동결융해저항성은 나쁘게 나타났지만 사용분야가 입상도 충전재를 대신하는 재료로서 저장도 고유동 재료가 실트나 점토의 투수계수를 나타내는 점을 감안하였을 때 기존에 사용되는 입상도 충전재에 비하여 동결융해 저항성은 크게 문제가 되어지지 않을 것으로 본다.

3) 건조-습윤 반복시험결과 정제 플라이애시만을 사용한 배합에서는 반복횟수가 증가할수록 강도가 증가하여 배합설계시 목표로 하는 굴착성을 넘어서는 결과가 나타났으나 bottom ash를 사용한 배합에서는 반복횟수가 증가하여도 강도의 증진정도가 적어 요구되는 굴착성의 강도를 넘지 않는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 저장도 고유동 재료가 필요로 하는 굴착성을 유지한다는 점에서 bottom ash를 첨가한 배합이 정제 플라이애시만을 사용한 배합에 비하여 우수하다고 할 수 있다.

4) 폐기물 관리법 기준에서 플라이애시와 bottom ash는 일반폐기물로 분류되며 저장도 고유동 재료의 용출시험 결과 폐수배출허용기준에서 pH만을 제외하고는 모든 기준안을 만족하였다. 그러나 국내의 토양특성이 일반적으로 산성을 나타내므로 저장도 고유동 재료로부터 흘러나오는 침출수가 흙속을 통과하여 중성화 되는 효과를 고려하면 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

5) 본 연구의 결과를 살펴보면 저장도 고유동 재료는 외

부환경에 대한 저항성은 크지 않다. 하지만 적용되는 분야가 주로 지중 퇴매움재로 사용됨에 따라 내구성을 크게 고려하지 않아도 되며, 환경영향 평가결과 허용기준안을 만족하여 플라이애시와 bottom ash를 첨가한 저장도 고유동 재료의 사용은 환경적으로나 자원재활용 측면에서 매우 이롭다고 할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 에너지관리공단 에너지자원기술 개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Reported by ACI Committee 229, Controlled Low-Strength Materials, *Concrete International*, July, 1994, pp.55~64.
2. Brewer, W. E., "Durability Factors Affecting CLSM," SP 150-3, American Concrete Institute, Detroit, 1994, pp.39~51.
3. Ronald L. Larsen, "Sound Uses of CLSMs in the Environment," *Concrete International*, July, 1990, pp.26~29.
4. Nantung, T.E. and Scholer, C. F., "Freezing and Thawing Durability and Early Set and Strength Development of CLSM," SP150-4, American Concrete Institute, Detroit, 1994, pp.53~86.
5. Janardhanam and F. Burns, "Mix Design for Flowable Fly-Ash Backfill Material," *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 4, No. 3, August, 1992, pp.252~263.
6. 원종필, 이용수, "Bottom Ash를 혼합한 저장도 고유동 충전재의 특성," 콘크리트학회논문집, 제13권 3호, 2001, 6, pp.294~300.
7. Ayers, M. E., Wong, S. Z. and Zaman, W., "Optimization of Flowable Mix Proportions," SP 150-2, American Concrete Institute, Detroit, 1994, pp.15~37.
8. 권무남, 김영재, 도덕현 등, 토질역학, 건국대학교출판부, 1992, pp.80~112.
9. KS F 2456 - 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법.
10. 김학삼, 홍성완, 조삼덕, 김종학, "성토재로서 석탄회 사용에 따른 수질오염도 평가," 한국지반공학회지, 제 11권 3호 1995, 9, pp.5~15.

요 약

본 연구의 목적은 저장도 고유동 재료(CLSM)로서 매립처리 되는 bottom ash의 재활용 가능성을 실험하는데 있다. 저장도 고유동 재료는 포틀랜드 시멘트, 플라이애시, 모래, 물의 혼합으로 만들어지는 결합성 재료로서 재료의 타설과 동시에 유동성과 셀프레벨링성을 나타낸다. 플라이애시만을 사용한 배합이 bottom ash가 저장도 고유동 재료로서 사용가능한 내구성능을 나타내는지 비교하기 위하여 같이 실험되었다. bottom ash를 사용한 배합의 내구성능은 해로운 물리, 화학적 환경에서 실험되었으며 그 결과로서 bottom ash를 사용한 저장도 고유동 재료의 내구성능은 비구조 부재의 충전을 위한 적용분야에서 사용가능하게 나타났다. 또한 bottom ash를 첨가한 저장도 고유동 재료는 환경적으로도 안전하게 나타났다.

핵심용어 : 내구성능, 저장도 고유동 재료, bottom ash, 플라이애시, 환경
