

## Bottom Ash를 혼합한 저강도 고유동 충전재의 특성

원종필<sup>1)\*</sup> · 이용수<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>건국대학교 농공학과

(2001년 2월 2일 원고접수, 2001년 5월 22일 심사완료)

### Properties of Controlled Low-Strength Material Containing Bottom Ash

Jong-Pil Won<sup>1)\*</sup> and Yong-Su Lee<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Agricultural Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

(Received February 2, 2001, Revised May 22, 2001)

#### ABSTRACT

The effectiveness of bottom ash on the mechanical and physical properties of Controlled Low-Strength Material (CLSM) is investigated in this study. CLSM is defined by the ACI Committee 229 as a cementitious material that is in a flowable state at the time of placement and having a specified compressive strength of 83 kgf/cm<sup>2</sup> or less at the age of 28 days. This study was undertaken on the use of bottom ash as a fine aggregate in CLSM. Four different levels of bottom ash with fly ash contents, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %, are investigated. Laboratory test results conclude that inclusion of bottom ash increases the demand for mixing water in obtaining the required flow. However, the sand was reduced because it was adjusted to maintain a constant total volume. Mixture proportions were developed for producing CLSM at three 28-day strength levels: removal with tools (less than 7 kgf/cm<sup>2</sup>), mechanical means (less than 20 kgf/cm<sup>2</sup>), and power equipment (less than 83 kgf/cm<sup>2</sup>). The physical and mechanical properties supports the concept that by-product bottom ash can be successfully used in CLSM.

**Keywords :** bottom ash, controlled low-strength material (CLSM), fly ash, flow

#### 1. 서 론

산업이 발전함에 따라 국내의 석탄회 발생량은 계속적으로 증가하여 2005년 이후에는 연간 5천만톤의 석탄이 소비될 것으로 예상되어 석탄회도 600만톤이 넘어설 전망이다<sup>2)</sup>. 따라서 석탄회를 재활용하는 것은 자원의 절약 및 환경보전이라는 측면에서 매우 시급하고 중요한 과제이다<sup>2)</sup>. 석탄회 발생량은 1999년도에 3,952,000톤에 이르렀으며 발생량의 증가와 더불어서 발전설비의 향상에 따라 석탄회의 품질이 향상되어 1998년 32.2%, 1999년 42.5%로 재활용율도 증가하고 있다<sup>3)</sup>. 그러나 석탄회의 재활용 분야 중에서 콘크리트의 혼화재와 시멘트 원료로 사용되는 양이 가장 많으며 전체 재활용율의 약 90%를 차지한다<sup>3)</sup>.

이와 같이 현재 석탄회가 재활용 되어지는 분야들은 양질의 플라이애쉬를 사용하는 분야들로서 전체 석탄회의 약 10~25%를 차지하는 bottom ash는 거의 재활용되어지지 못하고 있으며 재활용되어지지 못한 잉여의 플라이애쉬와 bottom ash는 발전소 주변에 매립 되어지고 있는 실

정이다. 그러나 이러한 매립처리는 발전소 주위의 용지 확보에 어려움을 겪고 있으며 환경오염의 문제를 야기시키고 있다.

본 연구에서 연구하고자 하는 재료는 플라이애쉬와 bottom ash의 재활용율을 극대화 시킬 수 있는 재료로서 28일 재령 압축강도가 83 kgf/cm<sup>2</sup>보다 작은 저강도 고유동 충전재이며 일반적으로 지중구조물의 되메움재나 채움재로서 사용이 되어지고 있는 입상도 충전재를 대신할 수 있는 재료이다. 물성은 콘크리트라고도 할 수 없고 또한 토양이라고도 할 수 없는 성질을 나타냄으로 콘크리트에서 중요시 되어지는 동결융해, 표면침식, 유해한 화학물질의 침입 등에 저항할 수 있도록 설계되어지지 않고 지중공극을 잘 채울 수 있는 유동성과 장래에 재굴착을 가능하도록 하는 강도를 나타내도록 설계되어진다<sup>4,5)</sup>.

이와 같은 저강도 고유동 충전재는 다짐이 어려운 지역의 시공을 가능하게 하였고 다짐에 소요되는 노동력과 비용을 절감하게 하였다. 저강도이고 유동성인 재료의 특성으로 인하여 지하시설물의 충전, 파이프하부의 충전, 지하수의 오염을 방지하기 위한 폐공의 충전, 그리고 지반의 침하 및 환경오염원인 폐광등의 충전에 효과적으로 사용되어지는 재료이다<sup>4,5)</sup>.

\* Corresponding author

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

E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr

본 연구에서는 이와 같은 저장도 고유동 충전재에 플라이 애쉬와 bottom ash를 사용함으로써 폐자원인 석탄회와 재 활용율을 높이고 bottom ash를 혼합한 저장도 고유동 충전재의 물성을 파악하여 사용 가능성을 제시하려 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

저장도 고유동 충전재는 사용되어지는 적용분야에 따라서 장래에 굴착을 필요로 할 수 있다. 따라서 굴착성을 나타내는 수치로서 압축강도가 사용되어지는데 인력에 의한 굴착은  $7 \text{ kgf/cm}^2$ 이하, 백호와 같은 장비에 의한 굴착은  $7 \sim 14 \text{ kgf/cm}^2$  정도가 요구된다. 그러나 필러로서 잔골재나 플라이애쉬를 사용한 고유동 충전재는  $20 \text{ kgf/cm}^2$ 의 강도에서도 백호로 굴착이 가능하다<sup>45)</sup>.

본 연구에서는 이러한 굴착여부에 따라서 목표로 하는 강도를 3단계로 나누었다. 28일 강도를 기준으로 인력에 의해 굴착가능한 강도인  $7 \text{ kgf/cm}^2$ 이하, 백호와 같은 장비에 의한 굴착가능한 강도  $7 \sim 14 \text{ kgf/cm}^2$ , 굴착이 불가능한 강도  $22 \text{ kgf/cm}^2$ 이상으로 목표강도를 나누었으며 이들 강도에 따른 플로우 실험은 타설시 지중의 공극을 신속하고 치밀하게 메울수 있도록 하면서 재료분리현상이 나타나지 않도록 하는 범위내에서 플로우치( $20 \sim 30 \text{ mm}$ )를 높도록 설계하였다. 연구에 사용되어지는 bottom ash에 대한 품질기준안이 없는 상태이고 생산되어지는 bottom ash의 품질이 석탄의 종류, 시간, 보일러내 온도 등에 따라 불규칙하게 생산 되어지고 있어 목표로 하는 특성치의 범위를 넓게 잡았다.

본 연구는 고유동 충전재가 사용되는 적용분야에서 광범위하게 적용할수 있도록 굴착성을 토대로 목표 강도와 플로우를 정하였으며 예비실험을 통하여 경제적인 배합이 되도록 실험들이 이루어졌다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

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

Table 1 Physical properties of cement

Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity	Stability (%)	Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			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		

#### 2.2.2 골재

잔골재는 강모래를 사용하였으며 품질시험 결과는 Table 2와 같다.

#### 2.2.3 플라이애쉬

플라이애쉬는 태안화력발전소에서 유연탄의 연소후 전 기집진기로 포집되어 정제되어진 것으로 KS L 5405 규정을 만족하였으며 입자의 모양은 구형으로 플라이애쉬의 물리·화학적 특성은 Table 3과 같다.

#### 2.2.4 Bottom Ash

bottom ash는 태안화력발전소에서 바닷물을 이용하여 수압으로 회처리장으로 운반하는 도중에 재료를 취득한 것으로 염분을 다량 함유하고 있으나 저장도 고유동 충전재의 적용분야가 비구조적인 분야로 염분의 피해가 크지 않으므로 그대로 사용하였다.

bottom ash는 태안화력발전소의 호기별로 차이가 있는데, 본 연구에서 사용한 bottom ash의 물리·화학적 특성은 Table 4와 같다. Table 4에서와 같이 화학적 성분들은 플라이애쉬와 거의 비슷하였으나 강열감량(L.O.I.)은 KS L 5405 플라이애쉬 기준치인 6%이상이었다.

bottom ash의 입자 모양은 Fig. 1(a)와 같이 각진 모양과 둥근 모양 등 여러 가지 모양이 불규칙하게 존재하였으며 Fig.1(b)와 같이 표면은 거칠고 다공성으로 소요의워 커빌리티를 얻기 위해서는 다량의 물이 혼합하여야 할

Table 2 Properties of fine aggregate

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

Table 3 Physical and chemical properties of fly ash

Specific gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Absorption (%)	L.O.I (%)
2.14	3,400	0.13	3.28

#### Chemical Compositions(%)

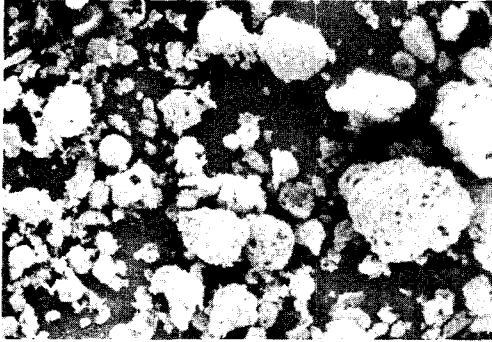
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
58.12	23.56	7.69	2.59	1.12	0.31	1.42	1.05

Table 4 Physical and chemical properties of bottom ash

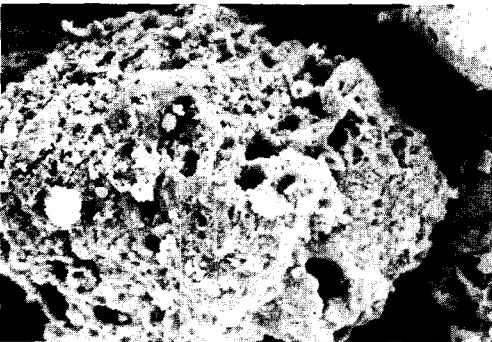
Specific gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Absorption (%)	L.O.I. (%)
1.98	-	-	13.4

#### Chemical compositions(%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
50.29	24.08	3.81	3.05	1.29	1.37	0.64	0.84



(a) (×100)



(b) (×400)

Fig. 1 Scanning electric microscope photograph of bottom ash

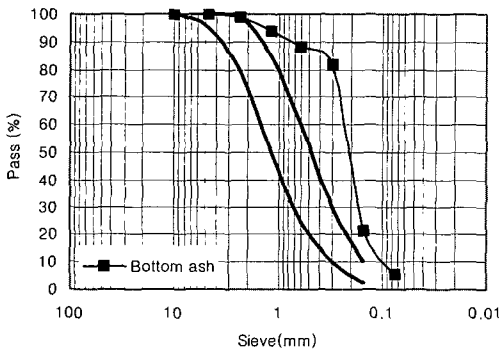


Fig. 2 Particle size distribution of bottom ash

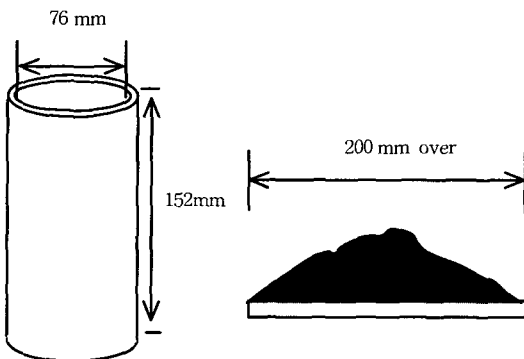


Fig. 3 Flow test set-up

것으로 사료되어지며 입자안에는 플라이애쉬의 입자들도 포함되어있는 것을 볼 수 있다. 입자들의 입도는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 굵은 실선은 KS F 2526 에서 규정하고 있는 잔골재 입도 범위이다. Bottom ash 대부분의 입자는 잔골재의 입도범위를 벗어난 0.1~0.3mm의 범위를 나타내고 있으며 색은 석탄 원석과 같은 짙은 검은색이었다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 공시체 제작 및 양생

본 실험에서는 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 실험방법)에 따라 50×50×50mm의 입방형공시체를 3개씩 2회 반복 제작하였다. 다짐은 하지 않았으며, 완성된 공시체는 48시간 동안 초기 양생을 실시한 후 탈형하여 23±2℃의 수조에서 수중양생을 실시하였다.

#### 2.3.2 공기량

공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법-공기실 압력방법)에 따라서 실시하였다.

#### 2.3.3 단위용적중량

KS F 2409 (굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법)에 따라 실시하였다. 다짐은 하지 않았으며 그릇속의 시료의 중량을 용기의 중량으로 나누어 구하였다.

#### 2.3.4 플로우

ACI committee 229에서 규정하고 있는 방법으로 Fig. 3과 같이 Ø76×152mm의 원형실린더 몰드를 사용하였으며 몰드를 들어올린 후 30초 후 퍼진 지름의 가장 큰 방향과 그것의 직각 방향을 측정하여 두 지름의 평균을 플로우치로 정하였다. 목표로 하는 플로우치는 200~300mm으로 정하였다.

#### 2.3.5 응결시간

모르타르의 응결시간은 KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법)에 따라서 실시하였으며 시멘트량에 따라서 2, 3, 5시간 간격으로 실시하였다.

저강도 고유동 충전제는 관입저항침이 28 kgf/cm<sup>2</sup>에서 경화되어 안정된 상태를 나타내며 현장에서는 24간 정도에서 재료가 안정화되어야 한다고 정하고 있다<sup>5,6)</sup>.

#### 2.3.6 압축강도

압축강도실험은 KS L 5105에 따라 5 ton 용량의 변위 제어 방식 만능재료시험기를 이용하였고, 재하속도는 2 mm/sec로 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험배합

bottom ash는 대부분의 입자가 0.1~0.3mm 범위의 미세한 입자였으며 단위수량의 변화에 따라 상당히 민감한 반응을 보였다. 단위수량의 조그만 차이가 플로우치에 크게 영향을 주어서 bottom ash는 모래를 사용하지 않고 사용하기가 어려웠다. bottom ash는 굳지 않은 상태에서 결합재로서의 역할을 하기에는 물흡수력이 크에 따라 플라이애쉬의 양이 적을 때는 재료분리 현상을 나타내었다. 따라서 결합재인 플라이애쉬량을 많이 필요로 하여 배합 설계시 플라이애쉬량을 280 kg으로 고정을 하였다.

bottom ash의 양은 플라이애쉬의 25%, 50%, 75%, 100%만큼을 첨가하였으며, bottom ash를 첨가한 양만큼 모래의 양을 줄여주는 역할을 하였다. 예비실험을 거쳐서 플로우를 만족하는 배합수의 양을 정하고 이 배합들에 있어서 시멘트양에 따른 강도의 증진 정도를 알기 위해서 시멘트양을 10 kg/m<sup>3</sup>씩 증가시키면서 실험을 실시하였으며, 그 결과 플로우는 모두 목표로 하는 범위에 해당하였다. 각 배합에 대한 플로우 및 7일과 28일강도 시험결과는 Table 5, Fig. 4와 같이 나타났다.

시멘트양 첨가량이 적은 경우 bottom ash 첨가수준이 가장 적은 25%에서 가장 높은 강도를 발현하였으나 시멘트 양이 많아질수록 다른 첨가수준에서 더 큰 강도를 나타내었다. 압축강도 실험 결과를 고찰해보았을 때 단위시멘트량이 많아 질수록 더 많은 양의 bottom ash를 첨가할 수 있는 경향이 나타났다. 실험결과를 토대로 다음과 같이 굴착가능성에 따라서 배합을 정하고 응결시간을 측정하였으며 물리·역학적 특성을 파악하였다.

#### 3.2 Hand 굴착배합

예비실험인 Table 5의 실험결과 시멘트량이 30~40 kg/m<sup>3</sup> 범위에서 손도구를 이용하여 굴착할수 있는 강도범위를 발현하였다. 경제성과 28일 이후의 강도증진을 고려하여 시멘트량이 30 kg/m<sup>3</sup>인 배합들을 선택하여 응결시험을 실시하였다. 실험 결과 Fig 5에서와 같이 경화하여 안정화 된다고 판단되어지는 28 kgf/cm<sup>2</sup>의 관입저항치는 25시간이상의 경과시간을 필요로 하는 결과가 나타났다. 현장에서는 24시간 정도의 경화 시간을 필요로 함으로 bottom ash 첨가율이 25%인 배합이 현장에서 적용하기에 알맞은 결과라 사료된다.

#### 3.3 Machine 굴착배합

Table 5에서와 같이 시멘트양 50~70 kg/m<sup>3</sup>에서 기계장

비로 굴착할 수 있는 강도가 발현되었다. 플라이애쉬와 bottom ash의 포졸란 반응으로 강도발현이 28일 이후에 장기적으로 계속 발현 되어질 것으로 판단이 되어짐에 따라 배합의 선택은 강도가 약 10~15 kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내는 시멘트 60 kg/m<sup>3</sup>의 배합을 선택하여 실험을 실시하였다. 각 배합들의 응결시간을 측정한 결과 Fig 6과 같이 bottom ash의 첨가수준의 높아질수록 응결시간이 지연되었으며 15~20시간에서 소요의 관입저항치를 나타냈다. 모든 배합에서 현장에서 필요로 하는 응결시간을 만족하였다.

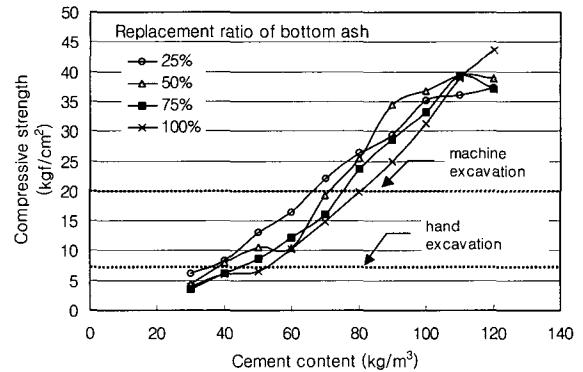


Fig. 4 28-day compressive strength of controlled low strength material using various bottom ash replacement ratio

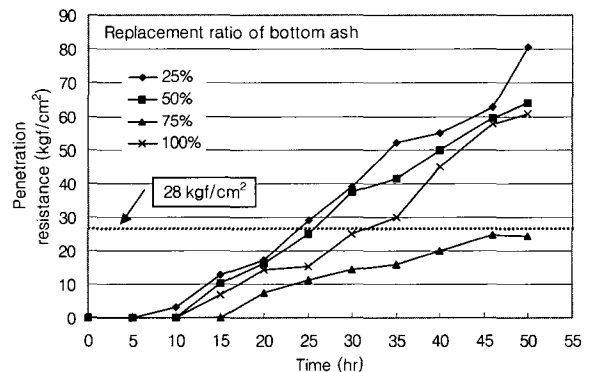


Fig. 5 Penetration resistance of various replacement ratio of bottom ash: hand excavation

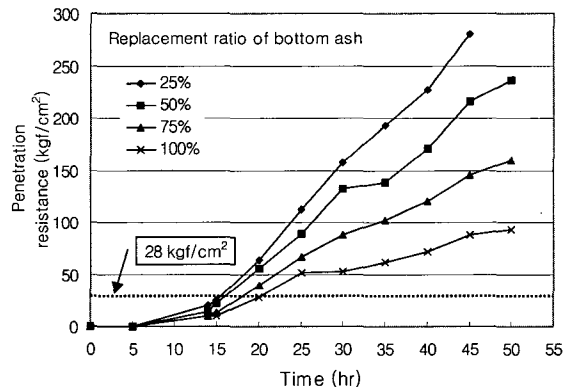


Fig. 6 Penetration resistance of various replacement ratio of bottom ash: machine excavation

Table 5 Mix proportions of CLSM

No.	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					Flow (cm)	Compressive strength - 7 days (kgf/cm <sup>2</sup> )	Compressive strength - 28 days (kgf/cm <sup>2</sup> )
	Cement	Fly ash	Bottom ash	Water	Sand			
1	30	280	70	340	1264	25.6	3.43	6.23
2	40	280	70	340	1256	24.2	4.61	8.25
3	50	280	70	340	1247	24.8	6.48	13.00
4	60	280	70	340	1239	25.2	8.43	16.45
5	70	280	70	340	1231	24.4	9.55	22.03
6	80	280	70	340	1223	23.0	12.49	26.27
7	90	280	70	340	1214	23.8	16.40	29.26
8	100	280	70	340	1206	24.0	17.83	35.20
9	110	280	70	340	1198	22.7	20.89	36.08
10	120	280	70	340	1189	24.0	23.64	37.29
11	30	280	140	371	1090	22.5	3.49	4.45
12	40	280	140	371	1082	24.7	4.48	7.93
13	50	280	140	371	1073	26.3	5.61	10.63
14	60	280	140	371	1065	24.5	8.03	10.39
15	70	280	140	371	1057	25.4	9.04	19.17
16	80	280	140	371	1049	23.9	11.70	25.52
17	90	280	140	371	1040	24.5	13.48	34.45
18	100	280	140	371	1032	23.6	16.72	36.68
19	110	280	140	371	1024	24.3	17.49	39.39
20	120	280	140	371	1015	22.5	18.3	38.92
21	30	280	210	416	882	24.2	2.69	3.56
22	40	280	210	416	873	26.5	4.25	6.25
23	50	280	210	416	865	27.1	5.25	8.69
24	60	280	210	416	857	27.7	6.87	12.21
25	70	280	210	416	848	27.6	8.60	16.13
26	80	280	210	416	840	26.1	10.92	23.67
27	90	280	210	416	832	25.3	13.49	28.59
28	100	280	210	416	824	26.5	15.35	33.28
29	110	280	210	416	815	27.5	16.12	39.26
30	120	280	210	416	807	25.0	18.87	37.11
31	30	280	280	451	696	22.6	3.01	3.86
32	40	280	280	451	688	22.4	4.08	6.03
33	50	280	280	451	680	26.4	4.48	6.57
34	60	280	280	451	672	26.6	6.35	10.29
35	70	280	280	451	663	25.0	7.43	14.85
36	80	280	280	451	655	24.3	9.81	19.86
37	90	280	280	451	647	25.7	10.15	24.93
38	100	280	280	451	638	25.1	13.89	31.36
39	110	280	280	451	630	25.3	13.20	38.94
40	120	280	280	451	622	24.7	17.03	43.66

**Table 6** Suggested mix proportions of CLSM

Item Type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					Flow (cm)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	Air (%)
	Cement	Fly ash	Bottom ash	Water	Sand				
Hand excavation	30	280	70	340	1264	25.6	6.23	2026.7	3.4
	30	280	140	371	1090	22.5	4.45	1920.0	4.2
	30	280	210	416	882	24.2	3.56	1840.0	4.8
	30	280	280	451	696	22.6	3.86	1746.7	4.0
Machine excavation	60	280	70	340	1239	25.2	16.45	2053.4	3.1
	60	280	140	371	1065	24.5	10.39	1933.4	3.2
	60	280	210	416	857	27.7	12.21	1853.4	3.6
	60	280	280	451	672	26.6	10.29	1746.7	5.0
Non excavation	80	280	70	340	1223	23.0	26.27	2026.7	2.2
	80	280	140	371	1049	23.9	25.52	1960.0	2.7
	80	280	210	416	840	26.1	23.67	1880.0	2.7
	80	280	280	451	655	24.3	19.86	1800.0	3.7

**3.4 Non 굴착배합**

손도구나 일반적인 굴착장비(backhoe 등)를 이용하여 굴착할수 없는 강도를 발현하는 배합으로서 이와 같은 배합들은 충전재로서 뿐만 아니라 구조적인 역할을 수행하여야 하는 분야에 사용되어질 수 있다. 이러한 배합은 시멘트량이 80 kg/m<sup>3</sup> 이상을 함유하는 배합으로 적용분야의 중요성에 따라서 강도등의 목표특성치들은 bottom ash 품질의 불균일성으로 사용 이전의 자체 실험을 실시해야 할 것으로 사료되어진다. 굴착이 어려운 배합들 중에서 최소의 시멘트량을 갖는 시멘트 80 kg/m<sup>3</sup>에 대하여 실험을 실시하였다. 응결시간은 Fig.7과 같으며 모든 배합에서 15시간 이내로 빠른 응결을 나타내고 있다.

이상의 결과들로부터 Table 6과 같이 각각의 굴착가능성에 따라서 bottom ash의 적절한 사용량을 제안하였으며 그 물성을 나타내었다. Table 6과 같이 bottom ash 양을 증가시킬수록 단위중량이 감소하였으며 공기량에는 크게 영향을 미치지 않는 결과가 나타났다. 또한 플라이애쉬와 bottom ash의 높은 미연탄소량에 의해서 공기량은 매우

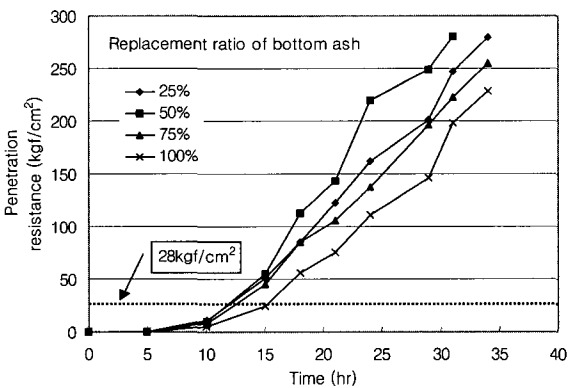
낮게 나타났다. bottom ash양을 증가시킬수록 목표로 하는 플로우를 발현하기 위해서는 단위수량을 증가시켜야 했다. 이는 bottom ash를 건조한 상태에서 실험을 실시함에 따라 많은 양의 배합수가 bottom ash에 흡수되어짐에 따라서 발생한 것으로 재료분리는 크게 발생하지 않았다. 또한 물-결합재비가 증가함에 따라서 bottom ash의 압축 강도 발현이나 응결시간이 지연되는 결과를 초래하였다.

**4. 결 론**

본 연구는 화력발전소에서 석탄 부산물로서 생산되어 재활용되어지지 못하고 매립처리되는 bottom ash를 저장도 고유동 충전재에 플라이애쉬와 함께 사용함으로써 폐자원인 석탄회의 재활용율을 높이고 bottom ash를 혼합한 저장도 고유동 충전재의 물성을 파악하여 현장사용가능성을 제시하려 하였다. 기초 물성과 역학적 특성에 관한 결과는 다음과 같다.

1) 재료의 제성질을 분석한 결과 bottom ash는 정제 플라이애쉬와 화학적 성분의 차이가 크지 않았으며 KS L 5405에서 규정하고 있는 SiO<sub>2</sub>성분의 하한치를 만족하였고 강열감량은 규정치를 초과하는 것으로 나타났다. 하지만 본 연구와 같이 저장도로 제어되는 재료의 경우 강열감량의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

2) bottom ash를 함유한 저장도 고유동 충전재의 실험 결과 목표로 하는 특성치를 나타내기 위해서 모래를 대체하는 수준이 높아질수록 필요로 하는 단위수량은 증가하였고 단위중량은 감소하였으나 공기량에는 크게 영향을 미치지 않았다. 공기량은 작게 나타났는데 이는 bottom ash 내의 미연탄소에 공기가 흡착되었기 때문으로 사료된다.



**Fig. 7** Penetration resistance of various replacement ratio of bottom ash: non excavation

3) 압축강도와 플로우 시험결과 bottom ash 첨가량이 증가함에 따라서 본 연구에서 목표로 하는 특성치들을 만족시키는데 문제가 없었다. bottom ash 첨가 수준이 증가함에 따라 배합에서 모래의 양이 감소하는 결과를 나타내었다. 따라서 bottom ash가 잔골재인 모래를 대신할 수도 있음을 보여주었다.

4) 응결시간에 있어서 현장에서 요구되어지는 24시간의 응결시간은 시멘트량이 적게 첨가된 hand 굴착강도에서는 대체수준이 적은 25%만이 만족하였으나 machine 굴착배합과 굴착이 어려운 배합에서는 모든 첨가수준에서 만족하는 응결시간을 나타내었다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. 한국전력공사, 한국계면공학연구소(1996), 석탄회 (Fly ash)활용 국제 워크숍, pp.3~16, 89~111.
2. 한국전력공사(1997), 석탄회(Fly Ash) 및 탈황석고 활용 국제 워크숍, pp.199~226.
3. 한국전력공사 홈페이지  
<http://dava.kepco.co.kr/env/encare/encare3.html>
4. Reported by ACI Committee 229(1994), Controlled low-strength materials, *Concrete International*, July, pp.55~64.
5. Christine, A. L., Rajendran, N., and Stanley, E. S., "Use of Pond Ash in CLSM," *Concrete International*, December, 1998, pp.58~62.
6. John S. Landwermeyer and Edward K. Rice(1997), Comparing quick-set and regular CLSM, *Concrete International*, May, pp.34~39.

### 요 약

본 연구는 화력발전소에서 산업부산물로 생산되어지는 bottom ash가 저강도 고유동 충전재(CLSM)의 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 저강도 고유동 충전재 재료는 ACI 229 소위원회에서 재령 28일 압축강도가 83 kgf/cm<sup>2</sup>보다 낮은 재료로 정의되어져 있으며 이러한 저강도 고유동 충전재에 잔골재를 대신하여 bottom ash가 사용되어 질수 있는가를 연구하였다. 플로우가 200~300 mm이 되도록 시멘트, 플라이애쉬, bottom ash, 모래를 혼합하였으며 굴착가능성별로 손도구로 굴착이 가능한 강도 7 kgf/cm<sup>2</sup>이하, 기계장비를 이용하여 굴착할 수 있는 강도 20 kgf/cm<sup>2</sup>이하, 굴착이 어려운 강도 83 kgf/cm<sup>2</sup>이하로 나누어 실험을 실시하였다. 플라이애쉬에 대하여 bottom ash를 25, 50, 75, 100%수준으로 시험하였다. 실험결과 목표로 하는 플로우를 얻기 위해서는 bottom ash의 첨가수준이 증가할수록 단위수량이 증가하였으며 용적 배합이므로 잔골재 양은 감소하는 결과를 나타내었다. Bottom ash는 저강도 고유동 충전재의 재료로 사용가능함을 보여주었다.

**핵심용어** : 저강도 고유동 충전재, bottom ash, 굴착성, 압축강도, 플로우, 플라이애쉬