

# Bottom ash를 사용한 저강도 고유동 충전재의 강도특성

## Compressive Strength of CLSM Containing Bottom ash

원 종 필 · 이 용 수\*(건국대)

Won, Jong Pil · Lee, Yong Su

### Abstract

This research was undertaken on the use of bottom ash as a fine aggregate in Controlled Low-strength Material (CLSM). The mixtures contained constant fly ash. And four different level of bottom ash with fly ash contents, 25%, 50%, 75%, 100% are investigated. Mixture proportions were developed for producing CLSM at three 28-day strength levels: removal with tools (less than  $7 \text{ kgf/cm}^2$ ), removal by mechanical means (less than  $200 \text{ kgf/cm}^2$ ), and removal with power equipment (less than  $83 \text{ kgf/cm}^2$ ). To obtain these strengths, cement contents of 30, 60, and  $120 \text{ kg/m}^3$  were utilized. The compressive strength properties support the concept that by-product bottom ash can be successfully used in CLSM.

### 1. 서 론

석탄은 풍부한 매장량, 저렴한 가격, 공급원의 안정성 등으로 전세계적으로 화력 발전의 근간이 되는 원료로서 사용되고 있으며 석탄회 발생량은 국민의 생활수준 및 에너지 다소비 증가 등에 따른 원활한 전력 수급을 위해 석탄 화력발전소가 계속 증가하고 있다. 그러나 산업부산물인 석탄회들은 매립되어지고 있어 환경보호와 자원 재활용의 차원에서 커다란 문제로 대두되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 현재 화력발전소에서 생산되는 석탄회의 재활용율을 극대화 시키기 위해서 플라이애쉬와 bottom ash를 첨가한 배합의 강도특성을 실험하여 저강도 고유동 충전재에 bottom ash의 적용가능성을 실험하였다.

본 연구에서 개발하려는 저강도 고유동 충전재는 자가다짐이 되는 결합성 충전재료로서 다짐이나 재료의 불균일성으로 발생 할 수 있는 문제점을 해결할 수 있는 재료이다. 본 재료는 구조적 충전재료에 비해 뛰어난 물리적 특성과 충전재료에 요구되는 경제성을 가지고 있으며, 특히 압밀이 필요 없고 매우 유동적으로 설계할 수 있기 때문에 재료의 타설과 압밀이 어려운 접근불능 지역의 시공에 이상적이다. 이러한 용이한 타설과 간편한 해체로 인해 많은 부분에 적용할 수 있는데 폐하수구, 폐탱크, 폐공, 페터널의 충전, 손상된 슬래브의 지지, 도로기초, 단

열재, 침식저항 목적의 충전, 무수축 충전재료, 파이프, 전기선, 수로 및 지하 매설물 주위의 충전등에 사용될 수 있다.

## 2. 실험계획

저강도 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  $7 \sim 14 \text{ kgf/cm}^2$  정도의 압축강도가 요구된다. 그러나 필러로써 잔골재나 플라이애쉬를 사용한 고유동 충전재는  $20 \text{ kgf/cm}^2$ 의 강도에서도 백호로 굴착이 가능하다.

본 연구에서는 이러한 굴착여부에 따라서 목표로 하는 강도를 3단계로 나누어 실시하였다. 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 플로우시험은 타설시 지중의 공극을 신속하고 치밀하게 메울수 있도록 하면서 재료분리현상이 나타나지 않도록 하는 범위내에서 플로우치(20~30 cm)를 높도록 설계하였다. 연구에 사용되어지는 폐석탄회에 대한 품질기준안이 없는 상태이고 생산되어지는 bottom ash의 품질이 석탄의 종류, 시간, 보일러내 온도 등에 따라 불규칙하게 생산이 되어지고 있어 목표로 하는 특성치의 범위를 넓게 잡았다.

본 연구는 고유동 충전재가 사용되는 적용분야에서 광범위하게 적용할수 있도록 굴착성을 토대로 목표 강도와 슬럼프 플로우를 정하였으며 플라이애쉬, bottom ash를 사용한 배합의 강도특성을 시험하였다.

## 3. 사용재료

### 1) 시멘트 및 골재

시멘트는 H사의 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 잔골재는 표면건조포화상태 비중 2.61의 강사를 사용하였다.

### 2) 플라이애쉬

본 연구에서 사용되어진 플라이애쉬는 태안화력발전소에서 유연탄의 연소후 전기집진기로 포집되어 정제되어진 것으로 KS L 5405 규정을 만족하였으며 입자의 모양은 구형으로, 주사형 전자현미경 사진은 Fig 1과 같다.

### 3) Bottom Ash

태안화력발전소에서 bottom ash를 바닷물을 이용하여 수압으로 회처리장으로 운반하는 도중에 재료를 취득한 것으로 염분이 다량 함유하고 있으나 고유동충전재의 적용분야가 비구조적인 분야로 염분의 피해가 크지 않으므로 그대로 사용하였다.

Bottom ash의 입자 모양은 입자들이 Fig. 2와 같이 각진 모양과 둥근 모양등 여러 가지 모양이 불규칙하게 존재하였으며 표면은 거칠고 다공성으로 소요의 워커빌리티를 얻기 위해서는 다량의 물이 혼합하여야 할것으로 사료되어진다. 입자의 입도 분석은 체분석을 실시하였고 그 결과는 Fig. 3과 같다.



Fig. 1 Scanning Electric Microscope photograph of fly ash ( $\times 5000$ )



Fig. 2 Scanning Electric Microscope photograph of bottom ash ( $\times 400$ )

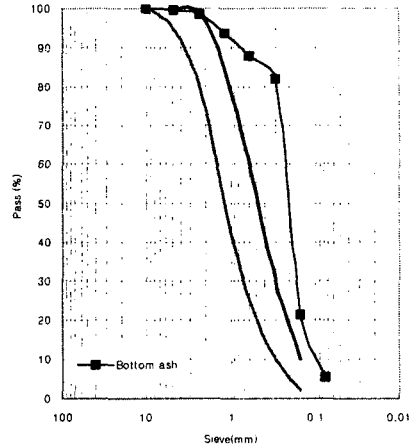


Fig. 3 Particle size distribution of bottom ash

#### 4. 실험방법

##### 1) 공시체 제작 및 양생

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

##### 2) 공기량

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

##### 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.

##### 4) 플로우

ACI committee 229에서 규정하고 있는 방법으로 Fig. 3과 같이  $\Phi 76 \times 152$  mm의 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 200~300 mm으로 정하였다.

##### 5) 압축강도

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

## 5. 실험결과 및 고찰

Bottom ash를 첨가한 배합은 예비실험을 거쳐 플라이애쉬량을 280 kg으로 고정하고 bottom ash 양의 25%, 50%, 75%, 100%만큼 첨가하였으며 플로우를 만족하는 단위수량을 정하고 이 배합들에 있어서 시멘트양에 따른 강도의 증진 정도를 알기 위해서 시멘트양을 10 kg/m<sup>3</sup>씩 증가시키면서 실험을 실시하였다. bottom ash를 첨가한 양만큼 모래의 양을 줄여주는 역할을 하였으며 28일 강도 시험 결과는 Fig. 1과 같다. 굴착가능성에 따른 배합은 Table 1과 같으며 장기강도는 Fig. 2와 같다.

Table 1 Suggested mix proportions of bottom ash CLSM

Type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					Flow (mm)	Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Air (%)
	Cement	Fly ash	Bottom ash	Water	Sand				
hand excavation	30	280	70	340	1264	256	4.73	2027	3.4
machine excavation	60	280	140	371.3	1065.2	245	12.05	1933.4	3.2
non excavation	120	280	280	451.4	622	247	34.75	1800	3.7

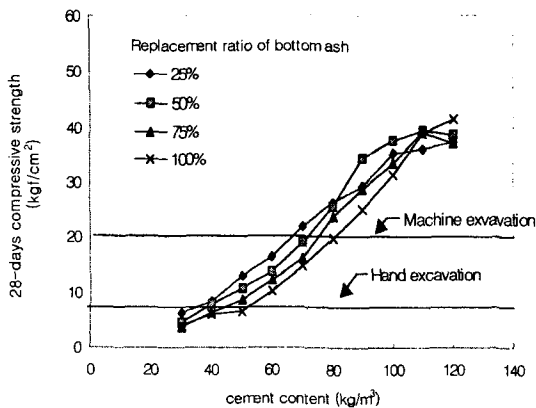


Fig. 4 28-days compressive strength of controlled low-strength material using various bottom ash replacement ratio

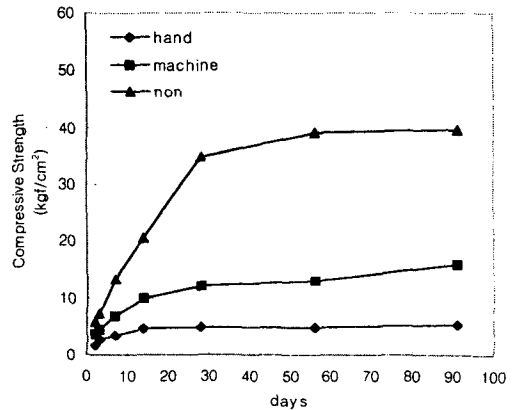


Fig. 5 Compressive strength of fly ash CLSM at various ages

## 6. 결 론

본 연구는 화력발전소에서 석탄 부산물로서 생산되어 재활용되지 못하고 매립처리되는 bottom ash를 저장도 고유동 충전재의 재료로서 사용가능한지를 시험하기 위해서 플라이애쉬

만을 사용한 배합과 bottom ash를 첨가한 배합의 물성을 비교하였으며 기초 물성과 강도특성에 관한 결과는 다음과 같다.

(1) 주사현미경(SEM) 사진촬영결과 입자의 형태는 불규칙하였으며 입자 표면은 다공성으로 bottom ash를 첨가할 경우 많은 단위수량을 필요할 것으로 판단되어진다.

(2) Bottom ash를 함유한 저항도 고유동 충전재의 실험결과 목표로 하는 특성치를 나타내기 위해서 모래를 대체하는 수준이 높아질수록 필요로 하는 단위수량은 증가하였고 단위중량은 감소하였으나 공기량에는 크게 영향을 미치지 않았다.

(3) 압축강도 시험 결과는 bottom ash가 결합재로서의 작용성 뿐만이 아니고 채움재로서의 역할을 수행할 수 있다는 결과를 나타내었으므로 bottom ash가 잔골재인 모래를 일부 대신할 수도 있음을 보여주었다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국전력공사, 한국계면공학연구소(1996), 석탄회(Fly Ash) 활용 국제 워크숍
2. 한국전력공사(1997), 석탄회(Fly Ash) 및 탈황석고 활용 국제 워크숍
3. Report by ACI Committee 229(1994), Controlled low strength materials, Concrete International, July, pp. 55~64
4. M.E. Ayers, S.Z. Wong, and W. Zaman(1994), Optimization of flowable mix proportions, SP 150-2, American Concrete Institute, Detroit, pp. 15~37
5. Bruce W. Ramme(1997), Progress in CLSM : Continuing innovation, Concrete International, May, pp. 32~33