

# 매립석탄회 고배합 콘크리트 배합설계 기법

## Concrete Mixture Design Method with Large Amount of Land Reclamation Ash

한상묵\*                      송영철\*\*                      하재담\*\*\*  
Han, Sang Mook              Song, Young Chul              Ha, Jae Dam

### ABSTRACT

The amount of coal ash has been increasing and development of effective use is urgently needed. Various by-products and waste are expected to be used as resources from the point of reduction in environmental load.

This is an experimental study to compare the properties of high volume coal ash concrete using the reclaimed coal ash. For this purpose, authors have started work to develop a production method of hardening coal ash concrete. Laboratory tests show that the optimum mixture of coal ash concrete can be determined from multiple regression analysis.

According to test results, it was found that the compressive strength of the concrete can be determined by a single curve. And it is obtained from the analysis of the results tested for concrete with the ratio of total power to water and amount of land reclamation ash.

### 1. 서론

석탄 화력발전소에서는 석탄을 미분기로 분쇄하여 연소하고 난 후 남는 물질을 석탄회(Coal Ash)라고 하며, 연소 후 포집되는 장소에 따라 크게 플라이애쉬(Fly Ash), 바텀애쉬(Bottom Ash)로 구분한다. 플라이애쉬의 경우 발생회의 75~80%정도로서 대부분 재활용되고 있으나 바텀애쉬의 경우 Grinder로 분쇄 후 Ash Transfer Tank에 보내지고 재활용되지 못한 일부 플라이애쉬와 함께 고압의 Pump로 해수와 함께 회처리장으로 이송되어 매립된다. 따라서 매립석탄회(Bottom Ash + 비정제 Fly Ash)의 경우 적합한 재활용 방안의 개발이 자원재활용 및 전력사업의 경제성 제고를 위하여 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

또한 최근 천연골재의 고갈 및 바다모래 채취에 대한 규제가 강화됨에 따라 콘크리트용 골재 대체재의 개발이 본격화 될 것으로 예상된다. 따라서 매립석탄회의 사용성을 제고하기 위해서는 콘크리트용 골재로서 사용성에 대한 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 바텀애쉬 및 일부 플라이애쉬가 포함된 회처리장에 투기된 매립석탄회를 콘크리트용 골재로 대량 치환하는 방법을 모색하였으며 그에 대한 배합설계기법을 제시하고자 한다.

\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 건전성평가그룹 선임연구원, 공학박사

\*\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 건전성평가그룹장, 공학박사

\*\*\* 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사

## 2. 실험개요 및 방법

### 2.1 사용재료

표-1에서 보는바와 같이, 매립석탄회(RA) 혼입 콘크리트의 사용 재료는 시멘트, 플라이애쉬(FA), 매립석탄회(RA), 쇠석이며, 배합수로는 일반담수 및 NaCl를 단위수량에 2.8% 첨가한 인공 해수를 사용하였다.

매립석탄회는 삼천포화력발전소의 제2회처리장에 투기된 것으로서 위치별 대표적인 10여개의 시료를 채취하여 입도분포, 비중, 흡수율 등 콘크리트의 물성에 영향을 미치는 항목에 관하여 분석하였다. 분석을 위하여 매립석탄회를 5mm체로 체가름 하였으며 입자의 크기에 따라 세립분(5mm이하분)과 조립분(5mm이상분)으로 분류하여 실험을 수행하였다. 매립석탄회의 입도분포 및 물리적 특성을 각각 그림-1 및 표-2에 나타낸다. 상기 그림과 표에서 보는 바와 같이 밀도는 경량골재의 범주에 해당하며 흡수율은 매우 높아 타설시 매립석탄회의 표면수 관리가 매우 중요한 사항으로 판단된다. 또한 세립분의 경우 0.3mm이하의 미립분이 많으며, 조립분의 경우 19mm 체를 거의 통과하여 19~25mm 입도가 부족하다. 따라서 콘크리트의

작업성 및 재료분리를 유발할 수 있으므로 배합설계시 충분히 고려하여야 할 것으로 나타났다.

표 1 사용재료

사용재료	품 목
시멘트(C)	쌍용양회 1종 시멘트(동해산)
플라이애쉬(FA)	삼천포산(KS 품질 만족)
매립 석탄회(RA)	삼천포산(제 2회처리장)
쇄석(G)	$G_{max}=25mm$
배합수(W)	담수, 인공해수(NaCl 2.8%)

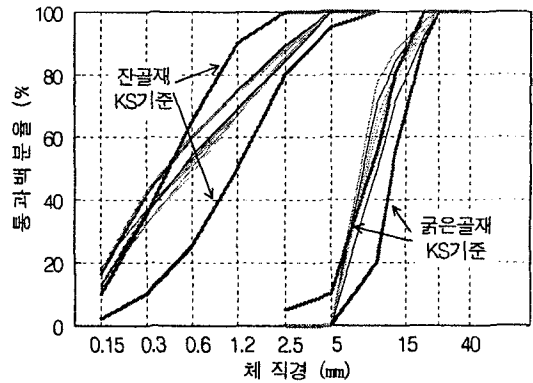


그림 1 매립 석탄회 입도분포

표 2 매립 석탄회 물리적 특성

구분	절건 밀도	흡수율 (%)	조립률	단위용적 중량 ( $kg/m^3$ )	실적률 (%)	공극률 (%)	잔입 자량 (%)	마모율 (%)	안정성 (%)
세립분	2.09	11.89	2.89	949	63.6	36.4	2.89	-	8.98
조립분	2.40	7.53	6.36	1,210	50.4	49.6	8.75	33.9	9.12

### 2.2 검토 배합

일반해양구조물을 상정한 25-210-8을 목표로 최적배합법을 도출하기 위하여 물-시멘트비 (W/C) 65%에서 95%까지 변화한 후 FA를 RA에 대한 중량비 5수준으로 변화 한 총 44종의 배합시험을 수행하였다. 콘크리트 배합은 최대한 매립석탄회를 소비하는 것을 목적으로 매립석탄회 실적율에 해당하는 양을 사용하였으며 예비실험결과를 반영, 단위 굵은 골재량(쇄석)을  $300kg/m^3$ 으로 고정한 경우와 일반배합을 상정한 단위굵은 골재량  $1,050kg/m^3$  두종류를 검토대상 배합으로 한다. 본 연구에서는 혼화제를 첨가하지 않은 배합시험을 기본으로 한다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 배합설계기법 검토

#### 3.1.1 배합 보정

매립석탄회와 같은 다공질의 골재를 활용한 콘크리트에 있어서 표건상태의 정의가 가장 중요한 사항이며 중회귀분석과 같은 다양한 지수를 일괄적으로 추정하는 경우 해석결과 및 정도에 큰 영향을

미치게 된다. 또한 다공질인 바텀애쉬(BA) 내부에 시멘트페스트의 혼입이 콘크리트 배합에 큰 영향을 미치게 된다. 일반적인 경량골재의 경우 충분히 흡수한 상태를 표건상태로 정의를 내리며 RA와 같이 표면공극을 통한 시멘트페스트의 혼입은 발생하지 않는다.

따라서 본 연구에서 사용한 매립석탄회(FA)의 경우 페스트의 혼입에 의한 불확실 요인의 추정이 곤란하기에 표건상태의 정의에 있어서 비빔직후 콘크리트 밀도를 사용하여 1m<sup>3</sup>당 배합을 보정하기로 하며 표건상태는 일반경량골재에 준하여 정의하기로 한다.

실제로 콘크리트의 배합상의 밀도와 비빔후의 밀도를 비교한 결과 각각 1.908과 2.030으로 나타났으며 이러한 원인은 매립석탄회 공극에 시멘트페스트가 혼입된 것으로 판단되며 이를 포함한 매립석탄회 밀도와 표면수를 보정하여 계산하기로 한다.

### 3.1.1 영향요인 분석

콘크리트 강도에 영향을 미치는 요인을 중회귀분석의 변수로 변화하여 배합설계를 검토하였으며, 배합에 영향을 미치는 요인은 표-3과 같이 결합재비와 골재량으로 나누어 살펴보도록 한다.

영향요인 분석 및 추정은 중회귀분석으로 수행하였다. 영향요인으로 정도가 높은 경우 중회귀분석의 잔차는 저감하지만 비선형성이 높은 경우 중회귀분석의 잔차는 저감하지 않으며 일정한 분포경향이 나타난다. 따라서 중상관계수 및 잔차분포에 의하여 콘크리트 강도에 영향을 미치는 요인을 추정하였다. 검토 결과 콘크리트 강도는 물-결합재비와 골재량에 크게 지배된다는 것을 확인하였다.

표 3 영향요인 변수

항 목	변 수	비 고
결합비	C/W: 시멘트/물 비	물결합재 및 결합재 성분
	FA/W: 플라이애쉬/물 비	
	FA/C: 플라이애쉬/시멘트 비	
	RA1/W: 매립석탄회 미립분/물 비	
	RA1/C: 매립석탄회 미립분/시멘트 비	
골재	G: 쇄석의 조골재양	골재성분 및 양
	RA: 매립석탄회양	
	RA2: 매립석탄회 조골재양	
	RA2+G: 총 조골재양	
	RA2/G: 매립석탄회/쇄석 비	

## 3.2 배합설계 평가 및 고찰

### 3.2.1 압축강도

압축강도는 신뢰성이 확보되며 동시에 간단한 변수로 강도추정이 가능한 물-결합재비와 골재량을 기본으로 식(1)에 의한 추정식을 산정하였다.

$$\sigma_{28} = a(C/W + k \cdot FA/W) + b(G + m \cdot RA) + c \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{28}$  : 재령28일 압축강도 (N/m<sup>2</sup>)  
 $C/W$  : 시멘트-물 비 (%)  
 $FA/W$  : 플라이애쉬-물 비 (%)  
 $G$  : 조골재량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $RA$  : 매립석탄회 혼입량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $k$  : 시멘트에 대한 플라이애쉬 환산계수  
 $m$  : 골재에 대한 매립석탄회 환산계수  
 $a, b, c$  : 정수

식(1)에 의한 중상관계수의 결과는 그림-2와 같으며 강도추정식은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{28} = 17.688(C/W + 0.141FA/W) - 0.036(G + RA) + 62.173 \quad (2)$$

식(2)로부터 시멘트에 대한 플라이애쉬의 강도환산계수는 14.1%로 나타났다. 일반적으로 10%이하

의 환산계수로 나타나는 것(T. Saitoh, 2001, 齊藤直, 2000)에 비하면 높은 값을 나타내고 있다. 이는 매립 석탄회(廢石炭灰)에 함유된 염화물이 이온활성화 작용에 의해 시멘트페스트부분의 경화가 조장된 것으로 최근의 연구보고(T. Saitoh, 2004)와 일치하는 것으로 나타났다.

강도추정치와 실측치의 관계는 그림-2와 같이 높은 정도로 추정이 가능하며, 배합시험 강도 오차는 그림-3에서 나타내는 것과 같이 높은 신뢰성을 확인할 수 있었다.

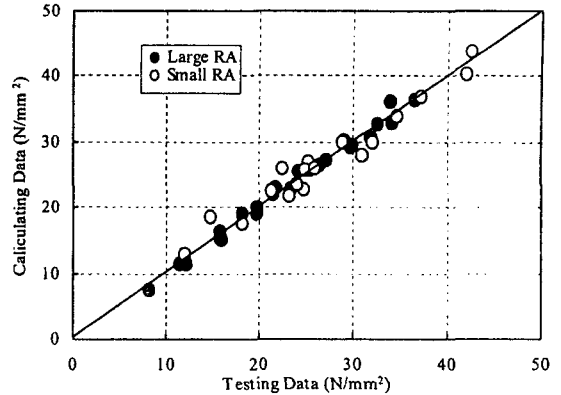


그림 2 압축강도 중상관분석 결과

#### 4. 결론

본 연구에서는 바텀애쉬 및 일부 플라이애쉬가 포함된 회처리장에 투기된 매립석탄회를 별도의 공정 없이 콘크리트용 골재로 대량 치환하는 방법을 모색하였으며 그에 대한 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 매립석탄회가 함유된 콘크리트의 경우 배합상의 밀도와 비빔후의 밀도가 상이한 결과로 나타났으며 이러한 원인은 매립석탄회 공극에 시멘트페스트가 혼입된 것으로 이를 포함한 매립석탄회 밀도와 표면수를 보정하여 계산하는 것이 바람직하다.

2) 압축강도 예측시 물-결합재비는 플라이 애쉬를 고려한 유효 물-결합재비에 의하여 산출하는 것이 상관계수가 높은 것으로 나타났으며 플라이 애쉬는 재령 28일에서 시멘트의 14.1%에 해당하는 부분을 압축강도에 기여함을 알 수 있었다.

3) 매립석탄회를 콘크리트용 골재로 대량 치환한 배합에 있어서 플라이 애쉬를 고려한 유효 결합재-물비에 따른 압축강도식을 도출하였으며 중회귀분석 결과 강도추정식에 의한 강도와 배합시험 강도는 높은 신뢰성을 가지는 것을 확인하였다.

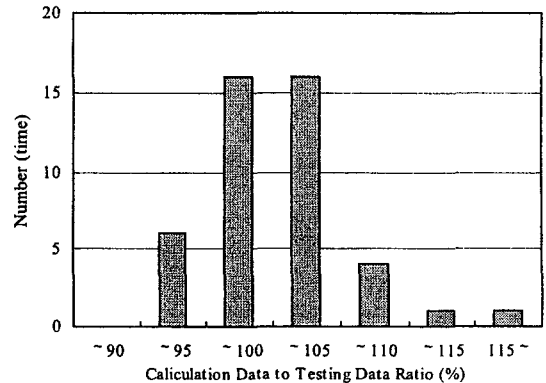


그림 3 압축강도 분포

#### 참고문헌

1. T. Saitoh, S. Hamada, E. Matsuo, K. Fukudome : Casting of large scale wave dissipating block using concrete with large amount of fly ash and metal slags, *International conference on Engineering Materials*, pp.225-234, 2001.1
2. T. Saitoh. : Materials for accelerating the strength development of concrete containing large amounts of coal ash, *8<sup>th</sup> CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, 2004.4
3. “廢棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員會報告書”, 日本コンクリート工學協會, 2003.6
4. 한상묵 외, “매립석탄회 고배합 콘크리트의 특성”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, 2003