

# 산업부산물을 활용한 소파블럭 제조기술 개발

## Development of manufacturing technology of Wave Dissipating Block with industrial byproduct

한상목\*                      조명석\*\*                      송영철\*\*\*  
Han, Sang-Mook              Cho, Myoung-Suk              Song, Young-Chul

### ABSTRACT

Reclamation coal ash, which is generated as a byproduct at a coal thermal power plant is not recycled but dumped into an ash landfill disposal site. Furthermore, various byproducts and wastes have been proposed for use from the point of reduction in the environmental load. Authors have started research to develop manufacturing technology of concrete mixture design method with large amount of land reclamation coal ash. In this study an optimum mix proportion design for utilizing the reclamation coal ash and containing copper slags as an aggregate for secondary concrete products such as a wave dissipating blocks was successfully developed.

#### 1. 서론

환경 및 자원문제가 세계적 관심사로 대두되고 있는 가운데 국내에서도 각종 산업부산물의 재활용 기술개발이 다각적으로 추진되고 있으며, 최근에는 화력발전소에서 발생하는 석탄회뿐만 아니라 금속의 제련, 제강 등에서 발생하는 슬래그 등에 대한 재활용 노력이 적극적으로 이루어지고 있다. 현재 분말이 작고 고르며 콘크리트에 첨가하여 화학적, 물리적 성질에 대한 개선효과가 입증된 Fly ash 및 고로슬래그 등은 콘크리트 혼화재로서 널리 사용되고 있으나, 매택석탄회(Bottom ash+비정제 Fly ash) 및 동의 제련과정에서 발생하는 슬래그는 다른 산업부산물과는 달리 건설용 재료에 대한 기술적 검토와 접근이 충분히 이루어지지 못하고 있다.

이에 본고에서는 화력발전소의 회처리장에 투기된 매택석탄회와 국내에서 생산되는 동슬래그를 대상으로 콘크리트 2차제품인 소파블럭의 콘크리트용 골재로서 배합설계기법을 포함한 연구내용 및 결과를 소개하기로 한다.

#### 2. 실험개요 및 방법

소파블럭 제작용 콘크리트의 목표성능을 표-1에 나타낸다. 여기서 슬럼프에 대한 목표성능이 서로 다른 이유는 일반다짐 및 진동다짐을 실시하기 위한 것으로 진동다짐은 비교적 용량이 커서 붓다짐으로 작업이 곤란한 대형 구조물에 적용하기 위한 것이다.

표-1 목표성능

기준	목표성능
설계기준강도	21MPa
슬럼프	8.0±2.5cm 및 0cm
공기량	Non-AE
단위중량	2,300kg/m <sup>3</sup>

표-2 사용재료

사용재료	품 목
시멘트	쌍용양회 1종 시멘트
Fly Ash	삼천포산(KS 품질 만족)
매택석탄회	삼천포산(제2회처리장)
쇄석	G <sub>max</sub> =25mm
동슬래그	CUS 5

\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 건전성평가그룹 선임연구원, 공학박사  
\*\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 건전성평가그룹 선임연구원  
\*\*\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 건전성평가그룹장, 공학박사

사용재료는 표-2에 나타난 바와 같으며 매립석 탄회는 삼천포화력 제2회처리장에서 채취한 것이며<sup>1)</sup> 동슬래그는 KS기준<sup>2)</sup>을 만족하는 5mm이하의 입자를 사용하였다. 각 골재성분의 물리적 성적을 표-3에 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 매립석 탄회 단독으로는 소요단위중량을 만족하기는 어려우며 동슬래그를 추가하여 목표치를 만족하는 배합을 도출하기로 한다.

표-3 매립석탄회 물리적 특성

구분	Gmax (mm)	밀도	흡수율 (%)	조립률	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)	공극률 (%)
매립석탄회	5mm이하	5	2.09	11.89	2.89	949	63.6
	5mm이상	15	2.12	7.53	6.36	1,210	50.4
동슬래그	5	2.58	1.45	7.04	2,400	-	-
쇄석	25	2.58	1.45	7.04	1,547	-	-

### 3. 콘크리트 배합 평가

동슬래그는 제조과정에서 수쇄과정을 거치므로 불순물을 포함할 우려는 없지만 골재표면이 유리질로서 콘크리트 배합시 Entrapped Air를 다량으로 내포하므로 이에 대해서 충분히 검토하여야 한다. Entrapped Air가 다량으로 내포하는 경우 동결융해성능의 저하, 대형구조물의 압밀, 골재침강과 같은 문제점이 발생할 우려가 있으므로 충분히 고려하여야 한다.

#### 3.1 콘크리트 밀도

배합상의 이론밀도와 실측밀도(경화 후의 밀도)의 관계를 그림-1에 나타낸다. 그림에서 나타난 바와 같이 무슬럼프(No Slump)를 제외한 일반 슬럼프(Normal Slump)의 경우 다소 오차는 존재하지만 하나의 일직선상에 배치하고 있는 것을 알 수 있다. 저자가 기존에 언급한<sup>1)</sup> 밀도의 오차가 발생하는 요인으로 매립석탄회 내부에 페스트의 침투가 큰 요인이라고 밝힌바 있으며, 매립석탄회 공극사이에 페스트의 혼입이 주원인으로 판단한다면 다음의 식(1)이 실용적으로 사용될 것으로 판단된다.

$$\rho_m = \rho_t + 65 \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $\rho_m$  : 실제 밀도 (t/m<sup>3</sup>),  $\rho_t$  : 배합 밀도 (t/m<sup>3</sup>)

#### 3.2 공기량 및 슬럼프

그림-2에 동슬래그 혼입량에 따른 슬럼프 및 공기량의 관계를 나타낸다. 그림으로부터 동슬래그 혼입량의 증가에 따라 공기량은 증가하고 슬럼프는 감소하는 경향으로 나타났다. 특히 공기량에 대해서는 동슬래그의 혼입량에 의해 다음 식(2)에 의해 예측 가능함을 알 수 있다.

$$Air = 3.5 \frac{CS}{(CS+G)} + 1.877 \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $Air$  : 공기량 (%),  $CS$  : 동슬래그 단위량 (t/m<sup>3</sup>)

$G$  : 굵은골재(쇄석) 단위량 (t/m<sup>3</sup>)

상기의 단순회귀분석에서는 슬럼프의 예측을 정도 높게 예측하기

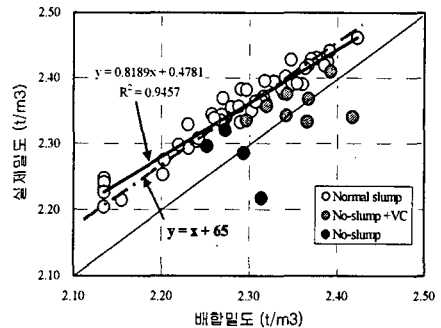


그림-1 배합밀도와 이론밀도의 관계

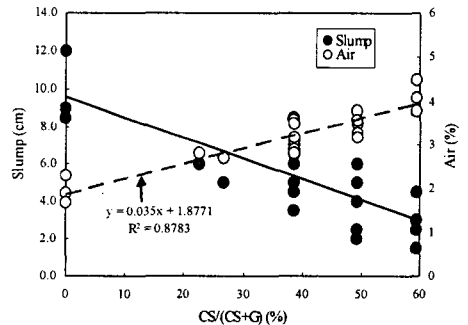


그림-2 동슬래그 혼입량에 따른 슬럼프 및 공기량 변화

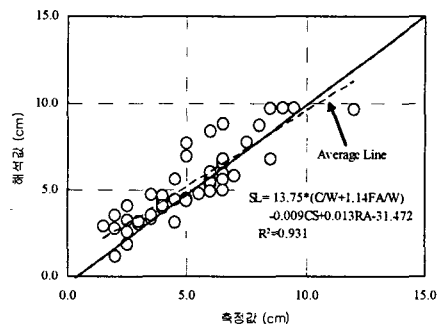


그림-3 동슬럼프에 대한 중회귀분석 결과

가 곤란하였으며 실용상 사용가능한 예측을 위하여 중회귀분석을 실시하였으며 그 결과는 그림-3과 같다.

그림-3에서 식(3)에 의해 나타낸 슬럼프 예측치로  $\pm 2.5\text{cm}$ 의 범위 내에서 관리가능하다는 것을 알 수 있다.

$$SL = 13.75(C/W + 1.14FA/W) - 0.009CS + 0.013RA - 31.472 \quad \dots\dots\dots (3)$$

- 여기서  $SL$  : 슬럼프값 (%)  
 $C/W$  : 시멘트-물 비 (%)  
 $FA/W$  : 플라이애쉬-물 비 (%)  
 $CS$  : 동슬래그 단위량 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )  
 $RA$  : 매립석탄회 단위량 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )

### 3.3 압축강도

소파블럭용 배합에 대한 압축강도와 시멘트-물 비( $C/W$ )의 영향을 그림-4에 나타낸다. 그림으로부터  $C/W$ 만으로는 강도에 대한 오차분포가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 플라이애쉬(FA), 매립석탄회(RA), 동슬래그(CS)의 혼입량과 단위수량의 변화에 기인한 것도 있지만 동슬래그를 혼입한 콘크리트의 압축강도는 공시체의 다짐정도에 따라 변동하는 경우가 크며, 이러한 원인은 내부에 존재하는 갭한 공기량 및 블리딩으로 빠져나오는 수량의 변동이 콘크리트의 강도에 크게 영향을 미치기 때문이다<sup>3)</sup>. 따라서 강도추정은 단순 및 중회귀분석으로 추정이 곤란하며, 공시체의 제작방법, 초기 매립석탄회의 함수상태 등을 통일시하여 재평가를 통한 보다 정확한 강도추정이 가능할 것으로 판단되지만, 실용상 관점에서 현 데이터를 활용하여 기본배합의 선정방법에 대해서는 다음과 같은 방법에 의해 결정하는 것으로 한다.

그림-5와 같이 동일 물-시멘트비 및 동일 물-결합재비에서 단위수량 및 동슬래그 혼입량에 의한 강도경향을 살펴보면 동일 강도발현이 이루어져야함에도 불구하고 단위수량이 많을수록 강도는 저하하는 것으로 나타났으며, 단위수량 165 $\text{kg}/\text{m}^3$ 의 경우 동슬래그 혼입량이 많을수록 강도는 저하하는 것으로 나타났다. 따라서, 매립석탄회 혼입 소파블럭용 콘크리트를 제조함에 있어서 단위수량을 최소화하며 동슬래그 혼입량도 적게 조절한 배합이 적합하다고 할 수 있다.

동일 단위수량에 대한 동슬래그 혼입율에 따른 물-시멘트비와 강도와의 관계를 그림-6에 나타낸다.

그림으로부터 동슬래그를 혼입한 경우 동일 물-결합재비에도 불구하고 강도분포가 크게 흩어져 있으므로 전체적인 경향을 파악하기는 불가능하다는 것을 알 수 있지만 동슬래그 혼입량( $CS/(CS+G)$ )이 38.5%에서 강도가 일정하게 안정화된 것을 확인할 수 있으며, 동슬

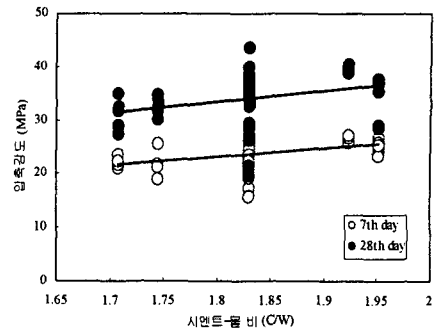


그림-4 시멘트-물 비와 압축강도

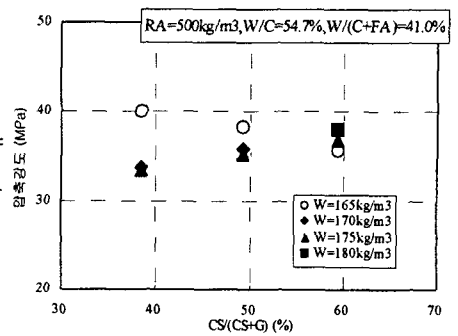


그림-5 동슬래그 혼입율과 강도의 관계

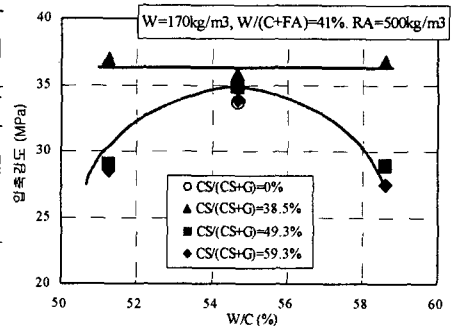


그림-6 동슬래그 혼입율에 따른 W/C와 강도의 관계

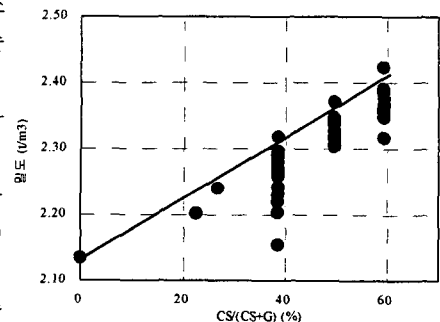


그림-7 동슬래그 혼입율에 따른 밀도의 변화

래그 혼입량이  $CS/(CS+G)=38.5\%$  이상에서는 물-시멘트비(W/C) 55%부근에서 피크를 나타내고 있다. 따라서 그림-6에서는 동슬래그 혼입량이 적을수록 적합한 배합이라 할 수 있으며 W/C=55% 정도가 유효한 배합이라고 판단된다.

그림-7은 동슬래그 혼입율에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 매립석탄회를 다량 혼입한 콘크리트의 배합에 있어서 목표밀도  $2.3t/m^3$ 를 만족하기 위해서는 동슬래그 혼입율  $CS/(CS+G)$ 이 49.3%이상 필요한 것으로 나타났다. 참고적으로 그림상의 실선은 다짐을 동일한 조건으로 실시한 경우에 얻을 수 있는 최대 밀도 예상선을 나타낸 것이다.

이상의 결과를 종합하면 매립석탄회 혼입 소파블럭용 배합설계로는 목표밀도  $2.3t/m^3$ 를 만족하기 위하여 동슬래그 혼입율을 최소화하여야 하며 본 연구의 경우 동슬래그 혼입율  $CS/(CS+G)$ 이 49.3%정도가 적당한 것으로 판단된다. 또한 물시멘트비 55%부근에서 강도가 일정하게 발현되므로 이상의 두 조건을 만족하는 배합을 기본배합으로 선정하기로 한다.

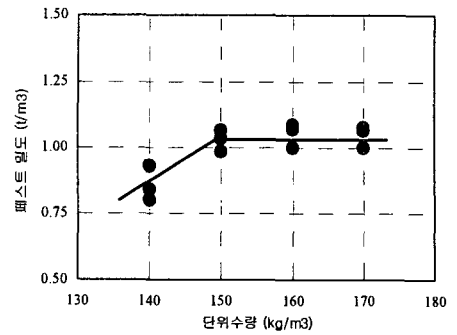


그림-8 다짐시험에 의한 페스트밀도와 단위수량의 관계

### 3.4 진동다짐

진동다짐이란 재료분리가 발생할 우려가 있는 배합을 대상으로 단위수량을 적게 하여 재료분리에 대한 콘크리트 품질변동을 저감하기 위한 기법으로 프리캐스트 제품에 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 대형의 소파블럭의 경우 내부진동기로 다짐이 불가능할 경우를 대비하여 거푸집에 외부 진동모터를 부착하여 다짐효과를 평가하기 위한 것으로, 상기 사항을 고려한 시험방법으로 KS에 규정된 시험법인 '굳지 않은 콘크리트의 반죽질기 시험 방법(비비 방법 KS F 2427)'을 사용하였으며, 단위수량을 140~170kg/m³, 물-결합재비는 41, 43%의 총 12배합을 대상배합으로 하였다.

그림-2.4.31은 VeBe시험에 의한 페스트밀도와 단위수량과의 관계를 나타낸 것이다. 그림으로부터 단위수량 140 kg/m³이하에서는 다짐의 불량으로 페스트밀도가 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 진동다짐을 실시하기 위해서는 단위수량 150kg/m³이상으로 설정하여야 한다.

## 4. 결론

본 연구에서는 회처리장에 투기된 매립석탄회와 동제련과정에서 발생하는 동슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하여 소파블럭을 제작하는 방안을 검토한 것으로 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 매립석탄회 단독으로는 소요의 밀도 및 강도확보가 곤란하였으며 경제성과 안정성을 고려한 동슬래그를 일정 비율 혼합한 소파블럭용 배합설계기법을 제시하였다.
- 2) 검토결과, 동슬래그를 혼입한 콘크리트의 경우 갇힌 공기의 연행이 많은 것으로 나타나 충분한 다짐을 실시하여야 하며, 이로 인한 블리딩이 발생하지 않도록 단위수량은 가능한 최소가 되도록 배합을 설정하여야 한다.

### 참고문헌

- 1) 한상묵, 송영철, 하재담, "매립석탄회 고배합 콘크리트 배합설계 기법", 콘크리트학회 2004년도 봄 학술발표회 논문집, Vol.16, No.1, 2004.5
- 2) KS F 2543 "콘크리트용 동슬래그 골재", 한국표준협회
- 3) 土大學會, "鋼スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針", 콘크리트라이브러리-92, 1998.