

# Bottom ash를 이용한 기포콘크리트의 열전도 특성

## Properties of Heat-transfer on

### Lightweight Concrete Using Bottom ash

이승한\*            이중우\*\*            공성훈\*\*\*            ○ 정해구\*\*\*\*

Lee, Seung Han   Lee, Jeung Woo   Kong, Sung Hoon   Jung, Hae Goo

---

In this study, the characteristics of adiabatic and lightweight of cement mortar was improved by using porous Bottom ash which was industrial waste, when a foaming agent was added, the characteristics of mortar using sand and Bottom ash were compared.

From the empirical results the heat-transfer ratio for the mortar using Bottom ash only was shown the lower values than that for a general mortar, and the lightweight concrete with unit weight of  $1.5t/m^3$  could be made.

When the foaming agent of 0.25% and 0.5% in usage of cement was added to that, the compressive strength should be measured as 5 and 8 times of the general mortar respectively.

Also, the characteristics of adiabatic for that mortar was great improved so that the heat-transfer ratio was fallen to  $0.172kcal/mh^{\circ}C$ .

---

## 1.서론

최근 중기 및 전기의 수요 증가에 따른 열병합 발전소에서의 석탄 수요는 증가일로<sup>1)</sup>에 있으며, 석탄을 사용하였을 경우 화력발전소와 마찬가지로 석탄재가 부산되어 폐기물의 재활용 자원으로서의 대량 사용방법의 연구는 중요한 과제로 대두되고 있다. 이에 경량골재로서의 Bottom ash의

유효이용은 시급한 실정이다.

또한, 콘크리트 구조물의 고층화에 따라 콘크리트의 경량화가 요구되며 경량화된 콘크리트로는 Autoclave 양생에 의하여 제조되는 ALC (Autoclaved Lightweight Concrete)판<sup>2)</sup>으로 대표되어진다.

그러나 기포콘크리트 및 ALC판은 경량, 단열 및 차음효과가 우수하나 기포화로 강도가 떨어지는 문제점을 남겨놓고 있다.

이에 본 연구는 Bottom ash의 다공성 내부조직을 이용하여 강도가 크고, 경량이면서 단열특성이 우수한 기포콘크리트의 개발을 목적으로 하였다. 더 나아가 이들의 효율을 높여 온돌용 모르타에 적용시키고자 Bottom ash와 기포제를 병용

---

\* 계명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 계명대학교 건축공학과 교수

\*\*\* 계명대학교 건축공학과 조교수

\*\*\*\* 계명대학교 토목공학과 석사과정

사용하여 단열층 및 미장층에의 사용을 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

모르터의 보온특성을 향상시키기 위하여는 열전도율이 작은 모르터의 제조가 필요 불가결하다. 이를 위하여 본 실험에서는 모르터에 기포제를 사용하고, 공기 이동의 구속효과 및 경계성 있는 모르터 제조를 위하여 다공성 산업폐기물인 Bottom-Ash와 슬래그 세사 및 flyash를 치환 사용하였고, 시멘트는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 세골재는 경남 합천 황강사와 경북 낙동강 무태산 세사를 혼합하여 사용하였다. 이때 모래의 습윤상태는 건조시멘트 모르터 제품을 대상으로 하여 건조상태로 사용하였고, Bottom-ash는 파쇄하여 5mm이하의 세골재로 하여 사용하였으며 그 화학성분은 표-1와 같다.

표-1 Bottom ash의 화학성분

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
종류	*	*	*	*	*	*	*
Bottom ash	49.91	22.54	11.37	5.84	1.25	0.87	0.39

또한 고로슬래그 세사는 표건관리하여 사용하였으며 모르터의 단열특성을 높이기 위하여 표-2와 같은 기포제를 시멘트 사용량의 0.25%와 0.5%를 사용하였다.

표-2 기포제의 성분 및 물성

주성분	외관	비중	PH
고급알루미늄산 에스테르계화합물	암갈색 액체	1.01 - 1.03	7 - 9

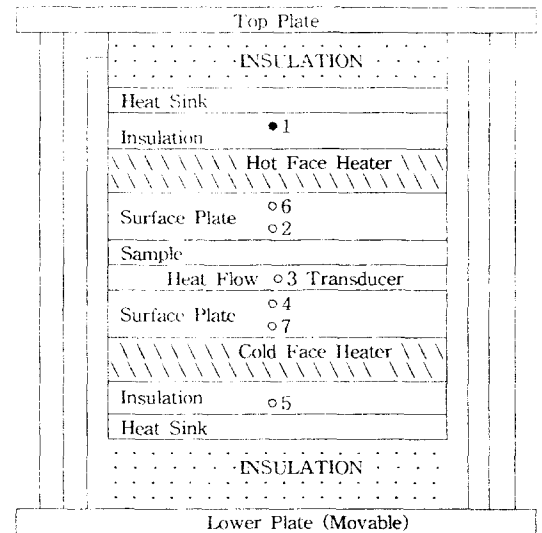
### 2.2 공시체의 제작

시험 공시체 제작에 있어서의 비비기는 시멘

트, 세골재 및 혼합수를 넣고, 모르터믹서로 1분간 비빈 후 미리 발생시켜 놓은 기포를 넣어 연속해서 2분간 혼합하였다. 열전도 측정 공시체의 크기는 300mm×300mm×30mm 시험체를 각배합별 1개씩 12개를 제작하였고, 동시에 7일, 28일 힘강도 및 압축강도 측정용 공시체를 타설하였으며 KS5220<sup>5)</sup>에 따라 9초에 15회 낙하 플로우값이 100±5%가 되는 범위에서 시험체를 제작하였다.

### 2.3 열전도 시험방법

열전도율의 측정은 그림-1에 나타난 Rapid-K (Dynatech R/D Co., Japan)를 사용하여 ASTM-C518에 따라 시험하였다.



#### THERMOCOUPLES:

- 1 = upper heat sink temperature (cu/con), T<sub>t</sub>
- 2 = sample hot face temperature (cu/con), T<sub>h</sub>
- 3 = sample cold face temperature (cu/con), T<sub>c</sub>  
(note: 2-3 = sample temperature drop, ΔT = T<sub>h</sub> - T<sub>c</sub>)
- 4 = heat flow meter temperature (cu/con), T<sub>m</sub>
- 5 = lower heat sink temperature (cu/con), T<sub>b</sub>
- 6 = hot face heater control (cu/con)
- 7 = cold face heater control (cu/con)

그림-1 Rapid-K 시험기의 단면도

시험 방법은 우선 표준샘플에 의해 기기의 보정을 한후, 시료를 건조기에서 110℃로 24시간 건조시킨후, 20℃ 60%RH로 48시간 보존한 후 Rapid-K의 단면내에 장착시켜 열핀법에 의해 측정하였다. 측정방법은 양면의 온도조건을 Hot plate 38℃, Cold plate 13℃(온도차 25℃)를 기준으로 하여, 2시간 경과후 30분 동안의 10회 측정분을 평균값으로 하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

각 재료별 압축강도, 밀도 및 열전도율 측정 결과를 표-3에 나타내었다.

표-3 배합별 시험 결과표

종 류	밀도 g/cm <sup>3</sup>	열전도율 kca/mh℃	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			7일	28일
OPC-FF0.0	1.925	0.408	289	386
OPC-FF0.25	1.275	0.259	32	43
OPC-FF0.5	0.930	0.131	11	20
OPC-FF0-TG1.5	1.895	0.348	263	360
BA-FF0.0	1.493	0.310	173	256
BA-FF0.25	1.292	0.204	133	229
BA-FF0.50	1.077	0.172	95	158
FA30-FF0	1.853	0.352	173	261
FA30-FF0.25	1.676	0.282	91	160
FA30-FF0.5	1.344	0.231	69	103
SG-FF0.0	1.397	0.190	28	36
SG-FF0.25	1.058	0.170	24	25
SG-FF0.50	0.919	0.118	8	9

#### 3.1 열전도 특성

표-3을 바탕으로 그림-2에 사용재료별 기포제첨가량에 따른 열전도특성을 나타내었다.

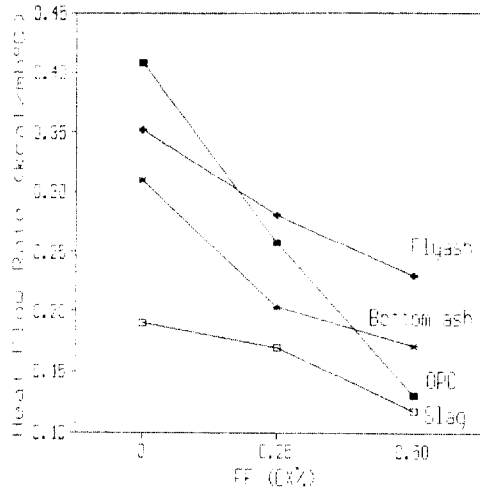


그림-2 기포제첨가량에 따른 열전도 특성

이 그림에서 기포제 미사용시 단열특성은 세골재 SG가 0.19로 가장 좋으며 BA가 0.31, FA30이 0.35순이며 일반콘크리트인 OPC가 0.41로 가장 나쁘게 나타나 있다.

여기에 기포제를 첨가함으로써 기포제 사용량에 비례하여 열전도율은 직선적으로 떨어져 0.5%첨가시 SG가 0.118, BA가 0.172, FA가 0.231로 단열특성은 향상됨을 알 수 있다. 여기서 기포제 0.5%를 사용한 Bottom ash의 경우 국내 생산 ALC의 열전도율 0.1 ~ 0.11kcal/mh℃<sup>2</sup>)보다 약간 높은 0.172kcal/mh℃로 보통콘크리트의 열전도율 1.4kcal/mh℃에 비하여 12%에 불가하다. 이는 Bottom ash의 다공성과 기포의 기공구조로 인하여 열전도율이 작아진 것으로 Bottom ash를 사용하여 단열, 보냉 성능등이 뛰어난 경량인 기포모르타의 제조가 가능함을 나타낸다고 볼 수 있다.

#### 3.2 압축강도 발현 특성

기포제첨가량에 따른 각 재료별 압축강도 발현 특성은 표-3에 나타난 것과 같이 일반시멘트 사용시 7일 압축강도가 289kg/cm<sup>2</sup>인 것이 기포제 0.25%첨가로 32kg/cm<sup>2</sup>로 떨어졌으나, Bottom ash의 경우는 7일 173kg/cm<sup>2</sup>에서 기포제 0.25%첨가

시 일반 시멘트보다  $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 높은  $133\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 강도의 저감폭이 작으며 단열특성은 0.204로 오히려 우수함을 나타내고 있다.

특히, Bottom ash 사용시 28일 압축강도는 그림-3에 나타내듯이  $256\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내고 있으며 기포제 0.25% 첨가시  $229\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 KS규격 바닥용 모르타르강도<sup>3)</sup>  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 능가하고 있어 Bottom ash는 축열층바닥재 뿐만 아니라 바닥용 미장재료로도 사용 가능하다고 사료된다.

한편, Bottom ash에 기포제를 0.5% 첨가의 경우는 열전도율이 0.172로 떨어지며 7일 강도가  $95\text{kg}/\text{cm}^2$ , 28일 강도가 그림-3에서  $158\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타나고 있어, 기포제 첨가시의 타재료보다 강도면에서 우수한 성질을 나타내고 있다. 따라서 Bottom ash를 이용한 모르타르의 경우 용도에 따라 기포제를 적정 혼화하여 소기의 목적을 달성시킬 수 있는 재료로 개발 가능하다고 사료된다.

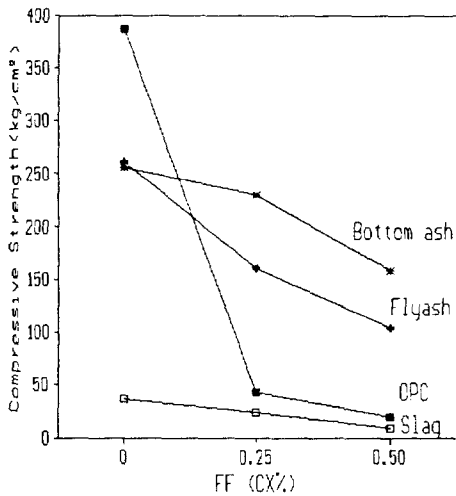


그림-3 기포제 첨가량과 28일 압축강도 특성

그러나 SG는 단열특성은 우수하나 28일 강도가 기포제 미사용시  $36\text{kg}/\text{cm}^2$ , 기포제 0.25%첨가시  $24\text{kg}/\text{cm}^2$ , 0.5%첨가시  $9\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 강도가 낮아, 온돌미장용으로는 사용이 부적합하며 축열층에의 사용은 가능할 것으로 사료된다.

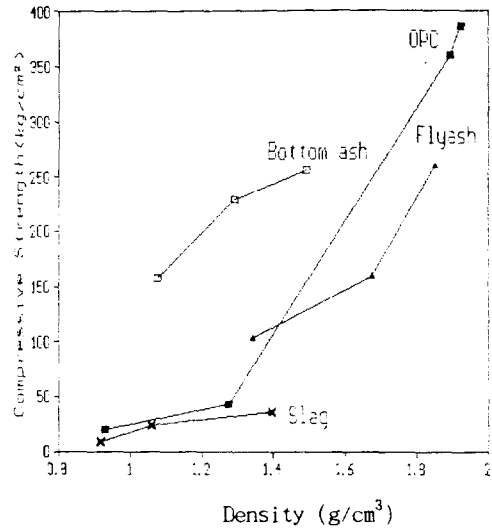


그림-4 밀도와 28일 압축강도와의 관계

또한, 그림-4에 나타나 있듯이 동일 비중시 Bottom ash를 사용한 모르타르는 OPC, Flyash 30% 치환 및 Slag 세사를 사용한 모르타르에 비하여 강도발현이 우수함을 나타내고 있다. 예를 들어 비중 1.3에서 Slag 세사 및 OPC의 강도가 30 ~  $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 인데 비하여 Bottom ash는  $230\text{kg}/\text{cm}^2$  정도의 강도를 나타내 5 ~ 7배의 강도 발현특성을 나타내고 있다.

### 3.3 열전도율과 밀도와의 관계

그림-5는 열전도율과 밀도와의 관계를 나타낸 것이다. 본실험에 의한 1차 회귀분석결과식은  $\lambda = 0.244\rho - 0.1$ 이며 상관계수는 0.887로 그림에 나타낸 것과 같이 높은 상관성을 나타내고 있어 기포콘크리트의 열전도율 추정에 사용할 수 있다고 사료된다.

또한 기포콘크리트의 열전도율과 밀도와의 관계식인 기존의 浜田式<sup>4)</sup>은 그림-4에 나타낸 것과 같이 열전도율을 과대평가하는 것으로 나타나 있어 Bottom ash를 사용한 기포콘크리트의 열전도 추정에 浜田式의 적용은 부적합한 것으로 사료된다.