Bottom Ash를 사용한 기포콘크리트의 배합 설계 및 압축강도 특성

김상철^{1)*} · 안상구²⁾

¹⁾한서대학교 토목공학과 ²⁾포스코건설 기술연구소 건설기술연구팀

Mix Design and Characteristics of Compressive Strengths for Foam Concrete Associated with the Application of Bottom Ash

Sang-Chel Kim^{1)*} and Sang-Ku Ahn²⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Hanseo University, Seosan 356-706 Korea

²⁾Construction Technology Research Team, POSCO E&C, Hwasung 445-810 Korea

ABSTRACT Differently from fly ash, the bottom ash produced from thermoelectric power plant has been treated as an industrial waste matter, and almost reclaimed a tract from the sea. If this waste material is applicable to foam concrete as an aggregate owing to its light-weight, however, it may be worthy of environmental preservation by recycling of waste material as well as reducing self-weight of high-rising structure and horizontal forces and deformations of retaining wall subject to soil pressure. This study has an objective of evaluating the effects of application of bottom ash on the mechanical properties of foam concrete. Thus, the ratio of bottom ash to cement was selected as a variable for experiment and the effect was measured in terms of unit weight of concrete, air content, water-cement ratio and compressive strength. It can be observed from experiments that the application ratios have different effects on the material parameters considered in this experiment, thus major relationships between application ratio and each material parameter were finally introduced. The result of this study can be applied to decide a mix design proportion of foam concrete while bottom ash is used as an aggregate of the concrete.

Keywords : foam concrete, bottom ash, unit volume weight, fine aggregate ratio, compressive strength

1. 서 론

석탄 화력발전소에서 발생하는 석탄회 중에서 약 10~15%를 차지하는 bottom ash는 주성분이 SiO₂인 무기질의 다공성 경량체로 되어 있는 것이 특징이다. 동일 연소과정에서 발생되며 유사한 화학 성분을 갖고 있는 플라이애쉬는 이미 상당한 수준의 연구 성과가 있어 시멘트 혼화재, 지반 개량재 등에 널리 이용되고 있지만,¹⁻⁹⁾ bottom ash에 관한 연구는 국내·외에서 일부 대학이나 연구기관에서 연구단계에 머물러 있거나¹⁰⁻¹⁴⁾ 잔골재의 일부분으로 시범 적용하는 정도이다.¹²⁾ 또한 기포콘크리트의 경우를 살펴보면, 구조용 경량골재의 부족, 제조기술의 표준화 부족, 또 극히 낮은 강도 등의 이유로 단순히 단열과 방음 등의 간접효과를 위한 비구조적 목적에 주로 이용되어 왔다.¹⁶⁻²⁰⁾ 따라서 회사장에 주로 매립 처리되고 있는 경량의 bottom ash를 기포콘크리트의 골재로

사용하면 비구조적 이외에도 구조적 목적에 적극 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 초고층구조물에 적용할 경우에는 중량 감소에 따른 지반 침하와 변형 저감을 기대할 수 있고, 연약지반에 적용시 재하되는 하중의 대폭적 경감, 지반의 침하와 구조물에 작용하는 측방 유동압 및 토압을 근본적으로 저감할 수 있어 구조물 축조와 관련한 제반 문제점을 해결할 수 있게 된다.⁴⁾ 그 외에도 국내 화력발전소에서 연간 수십만톤이 발생되고 있는 bottom ash를 부산 자원으로 재활용함으로써 환경보전에 일조함은 물론이고 경제적 자원으로써 국가 사회적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.³⁾

따라서 본 연구에서는 bottom ash를 자원화하는 연구의 일환으로 자중감소에 효과가 있는 경량골재로써 기포콘크리트에 적용함으로써 콘크리트 물성에 미치는 영향을 실험변수별 분석을 통해 레오로지적으로 파악하고자 하였으며 특히, 구조적 목적으로의 활용을 위해 압축강도에 미치는 물성 효과를 중점적으로 평가하였다. 최종적으로는 종합적 분석 결과를 통해 bottom ash를 사용한 기포콘크리트의 배합설계 방안을 제안하였다.

*Corresponding author E-mail: schkim@hanseo.ac.kr

Received July 29, 2008, Revised December 2, 2008

Accepted January 21, 2009

©2009 by Korea Concrete Institute

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

본 연구에서는 기포콘크리트를 구성하는 각 소재의 사용량 또는 적용 비율을 실험변수로 설정하여 실험을 통해 나타난 결과를 토대로 물성에 미치는 영향을 평가하였다. 실험계획에서 평가할 결과값은 단위용적질량(이하 단위질량으로 표기), 공기량(기포량), 압축강도이며, 이때 적용할 배합변수로는 Table 1과 같이 단위시멘트량, 잔골재비(시멘트 중량비에 대한 bottom ash 중량비; S/C), 물-시멘트비(W/C)로 설정하였다.

Table 1에 나타난 측정항목들은 구조물의 공중에 따라 요구되는 결과값이 다르겠지만, 본 실험에서는 잔골재비의 변화에 따른 단위질량의 경우는 0.5~1.5 t/m³, 공기량(기포량)은 20~80%의 범위에서 플로우값이 180 mm 이상 만족되도록 단위수량과 기포제의 사용량을 조정하여 실험을 수행하였다.

2.2 사용 재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정을 만족하는 국내 S사에서 생산되고 있는 1종 포틀랜드시멘트

Table 1 Parametric study

Parameters	Range of experiment	Remarks
Unit amount of cement (C) (kg/m ³)	320, 380, 460, 520	-
Fine aggregate ratio (S/C)	0~2.5, increased by 0.1	Using bottom ash as a fine aggregate
Water-cement ratio (W/C) (%)	Over 50	Control of dosage by range of unit volume weight, voids, flow agent
Amount of foaming agent	-	

Table 2 Physical characteristics of cement

Specific gravity	Autoclave dilation (%)	Blaine (cm ² /g)	Diameter (μm)			Setting time		Compressive strength (MPa)			
			Max.	80% passing	Avg.	Initial (min)	Final (min)	1 day	3 days	7 days	28 days
3.15	0.08	3,488	100	40	21	231	407	9.7	22.4	30.8	40.4

Table 3 Physical and chemical characteristics of bottom ash

Physical	Specific gravity		Fineness modulus		Water absorption (%)		Soundness (%)		
	2.22		2.12		4.76		7.6		
Chemical	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	
	50.57	23.14	3.27	3.15	1.12	1.37	0.64	0.84	

Table 4 Material characteristics of foaming agent

Color	Viscosity	pH	Sulphate (%)	Freezing point	Solubility	Solidity (%)	Specific gravity	Others
Dark brown	27~50cps (20°C)	7.1	0.01~0.1	-18	Soluble	37.8	1.18	Not ignitable Not inflammable Stench and gas

를 사용하였으며, Table 2는 적용된 시멘트의 물성치를 나타낸 것이다.

사용된 bottom ash는 서천화력발전소 주변 회사장에서 채취하여 사용하였다. 채취된 bottom ash는 해수에 의해 냉각 처리되기 때문에 표면 염분은 담수로 세척하고, KS F 2526 규정에 따라 입도조정을 한 후 콘크리트 배합에 사용하였다. 사용된 bottom ash의 물리·화학적 특성은 Table 3과 같고, 입도분포는 Fig. 1과 같다.

기포제는 기포콘크리트를 생산하는데 있어 콘크리트의 용적과 품질확보에 중요한 영향을 미치게 된다. 기포제의 종류는 동물성 기포제, 식물성기포제, 고분자계 기포제로 구분되어 사용되고 있으나, 본 연구에서는 포막이 강해 소포율이 낮아 비교적 안정된 기포를 형성하는 동물성 기포제를 사용하였다.

2.3 배합순서와 공시체 제작

기포혼입방식은 모르타르 슬러리에 발포시킨 기포를 혼입하는 선기포 방식을 채택하였다. 배합순서는 시멘트와 bottom ash를 함께 넣어 1분간 건비빔한 후 배합수를 투입하고 2분간 비빈 뒤 이미 생성된 기포를 투입하여

Fig. 1 Grading curve of the bottom ash

1분 30초 동안 비빈 후에 몰드 제작을 하였다. 제작된 공시체는 수분이 증발되지 않도록 밀봉한 상태에서 24 시간이 경과한 후에 탈형하여 소요 시험 전까지 물의 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지한 항온 수조에서 수중양생하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기포콘크리트의 역학적 특성

Fig. 2는 잔골재비에 따른 콘크리트 단위질량의 변화를 도시한 것이다. 예상한 바와 같이 잔골재비 즉, bottom ash의 적용량이 증가할수록 고품성분의 양이 증가되므로 단위질량은 증가하였으며 이들은 단위시멘트의 사용량에 따라 선형관계를 이루고 있음을 알 수 있다. Fig. 2에 나타난 데이터를 토대로 회귀분석하면 Table 5와 같이 나타낼 수 있다.

Table 5는 단위시멘트량에 따라 $\gamma_t = a(S/C) + b$ 로 나타내며 또한, 단위시멘트량별 계수 a 와 b 의 상관관계를 도시하면 Fig. 3과 같이 선형관계에 있으므로 이를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_t = a(S/C) + b \quad (1)$$

여기서 $a = 0.00138C - 0.0974$
 $b = 0.00115C + 0.2838$

Fig. 4는 잔골재비 변화에 따른 물-시멘트비와의 관계

Fig. 2 Relationship between fine aggregate ratio and unit volume weight of concrete

Table 5 Formation of equations relevant to unit volume weights and fine aggregate ratios according to unit weights of cement

Unit amount of cement (kg/m^3)	Relevant equations	Standard errors
320	$\gamma_t = 0.346(S/C) + 0.661$	0.0330
380	$\gamma_t = 0.438(S/C) + 0.703$	0.0314
460	$\gamma_t = 0.509(S/C) + 0.822$	0.0211
520	$\gamma_t = 0.638(S/C) + 0.880$	0.0221

C : unit amount of cement (kg/m^3), γ_t : unit volume weight (t/m^3)

Fig. 3 Relationship between unit amount of cement and coefficients of Eq. (1)

를 도시한 것으로, 앞서 잔골재비와 단위질량과의 관계와 달리 시멘트량의 영향보다는 잔골재의 양이 증가할수록 물-시멘트비가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 물-시멘트비와 잔골재비의 상관관계를 회귀분석하면 다음 식 (2)와 같다.

$$W/C = 16.01(S/C) + 51.58 \quad (2)$$

여기서 W/C : 물-시멘트비 (%)
 S/C : 잔골재비

그러나 본 연구에서 대상으로 하는 단위질량의 범위는 $0.5 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$ 이기 때문에 단위시멘트량에 따라 잔골재비의 크기는 제한을 받는다. 따라서 bottom ash를 잔골재로 사용한 배합에 있어 적용할 수 있는 잔골재비의 상한값을 도시하면 Fig. 5와 같고 이에 대한 식은 식 (3)과 같다.

$$S/C \leq -0.0073C + 4.578 \quad (3)$$

따라서 본 연구에서 제안하고 있는 단위질량의 범위, 즉 사용 단위시멘트량이 $300 \sim 600 \text{ kg/m}^3$ 정도로 식 (3)의 한계를 만족하는 bottom ash를 사용한 기포콘크리트를 제작하고자 할 때 식 (1)과 (2)는 배합설계에 적용하는데

Fig. 4 Relationship between W/C and S/C

Fig. 5 Upper boundary of fine aggregate ratios (S/C) associated with unit amount of cement

있어 매우 유익한 것으로, 시공하고자 하는 공중의 기포 콘크리트 단위질량이 결정되면 식 (1)을 통해 단위시멘트량과 잔골재비가 결정할 수 있고 또한, 식 (2)를 통해 최적의 물-시멘트비 결정이 가능하다.

또한, 단위질량이 증가하게 되면 단위체적당 차지하는 고형분이 증가하기 때문에 내부 기포의 양은 감소하게 된다. Fig. 6은 단위질량과 공기량(기포량)과의 관계를 도시한 것으로, 단위질량이 증가함에 따라 공기량이 선형적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 이들의 관계식을 구하면 식 (4)와 같다.

$$A_c = -52.69\gamma_t + 105.29 \quad (4)$$

여기서, A_c 는 공기량(기포량, %)을 나타낸다.

3.2 압축강도에 관한 실험결과 및 고찰

3.2.1 물-시멘트비와 단위시멘트량에 대한 압축강도 특성

물-시멘트비와 단위시멘트량을 변화시킨 배합설계에서 압축강도에 미치는 영향을 분석하고자 잔골재비 $S/C = 0$ 인 조건에서 각 실험변수에 따른 압축강도를 Figs. 7과

Fig. 6 Relationship between unit volume weights of concrete and air contents

8에 도시하였다. Fig. 7에 따르면, 일반콘크리트와 달리 기포콘크리트에서 측정된 압축강도는 물-시멘트비에 따라 일정한 경향을 보이지 않고 있어 물-시멘트비와 압축강도와의 상관관계를 구하기는 어렵다. 이와 같은 결과가 나타난 원인을 추론하여 보면, 물-시멘트비가 높을수록 단위 부피 내에 차지하는 공기량은 적어지지만 배합

(a) $C = 320 \text{ kg/m}^3$

(b) $C = 380 \text{ kg/m}^3$

(c) $C = 460 \text{ kg/m}^3$

(d) $C = 520 \text{ kg/m}^3$

Fig. 7 Historical overview of compressive strengths according to water-cement ratios and unit amount of cement ($S/C = 0$)

수가 압축강도 상승에는 영향을 미치지 않기 때문인 것으로, 오히려 물-시멘트의 영향보다는 콘크리트 제작시 기포의 소포 정도의 영향이 더 크게 작용하지 않았나 추정된다. 그러나 Fig. 8의 단위시멘트량을 실험변수로 하여 압축강도를 분석한 결과에 따르면, 단위시멘트량이 높을수록 결합재인 고흥분의 증가로 일반콘크리트와 같이 압축강도가 증가되는 것으로 나타나고 있다.

3.2.2 Bottom ash 혼입에 따른 압축강도 특성

Bottom ash의 혼입이 압축강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 물-시멘트비 60%인 조건에서 각 잔골재비를 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8로 변화하여 단위시멘트량 별로 도식하면 Fig. 9와 같다. 배합의 구성에 따라 다르겠지만 대체적으로 단위부피 내에서 차지하는 공기량이 작을수록 고흥분이 많아지기 때문에 잔골재비가 높을수록 강도가 상승할 것으로 기대하였다. 그러나 Fig. 9에 나타난 결과에 따르면, (a)의 경우는 잔골재비 0.6보다 0.4에서 높은 강도가 나타났고, (c)에서는 잔골재비 0.8이 아닌 0.6에서 가장 높은 압축강도가 나타나는 등 잔골재비가 높다고 반드시 강도가 높게 나타나는 것이 아니고 적용되는 단위시멘트의 양에 따라 압축강도에 미치는 잔골재비의 영향이 달리 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 물-시멘트비 55%와 65%에서도 비슷한 양상을 보였다. 이와 같은 결과에 비추어 볼 때, 단위시멘트량이 낮은 경우 잔골재의 혼입이 강도 상승에는 유리하나 과다한 잔골재의 혼입은 결합재의 부족으로 강도에는 영향을 미

Fig. 8 Historical overview of compressive strengths according to unit amount of cement ($S/C = 0$)

Fig. 9 Historical overview of compressive strengths according to different applications of S/C and unit amount of cement ($W/C = 60\%$)

치지 않고 오히려 단위질량만 높여 기포콘크리트의 무게만 상승시키는 결과가 초래되었다. 그러나 단위시멘트량이 높은 520 kg/m³ 경우에는 bottom ash가 증가할 때 단위부피내 결합재를 포함한 고흥분도 많아지면서 반대로

그 내부에 차지하는 공기량은 Fig. 10에 나타난 바와 같이 크게 감소하기 때문에 압축강도의 상승효과가 확실히 나타났다. 따라서 고품분의 양과 밀접한 관계를 이루고 있는 콘크리트 단위질량과 28일 압축강도와의 상관관계를 Fig. 11과 같이 도시하여 보았다.

Fig. 11에 나타난 바와 같이 28일 강도와 단위질량 간에는 잔골재비에 따라 일정한 선형관계가 있음을 알 수 있다. 그림 상에서 $S/C = 0.6$ 이나 $S/C = 0.8$ 인 경우에는 고품분의 양이 상대적으로 많기 때문에 단위질량 0.75 t/m^3 이하는 제조할 수 없다. 보다 이해를 쉽게 하기 위하여 단위질량 1.0 t/m^3 의 경우를 예들어 보면, $S/C=0$ 에서는 단위시멘트의 양을 비경제적으로 대량 증가시키지 않는 한 내부의 고품분 부족으로 단위질량 1.0 t/m^3 확보가 어렵다. 이에 반해 $S/C = 0.2$ 정도의 bottom ash를 첨가하게 되면 적절한 고품분의 확보와 내부 공기량 감소로 높은 압축강도 확보가 가능하게 된다. 그러나 그림 상에 나타난 바와 같이 bottom ash의 양을 이 보다 더 추가하게 되면 그에 따라 강도가 저하되고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 일반 콘크리트와 달리 기포 콘크리트에 있어서 동일 단위질량의 경우 잔골재비가 상승할수록 강도저하가 발생하지만 잔골재비와 단위질량과는 서로 상관관계를 이루고 있기 때문에 bottom ash의

혼입이 강도에 불리하다고 단언하기는 곤란하다. 오히려 일정 범위 이상의 단위질량이나 압축강도 확보를 위해서는 잔골재의 상승이 요구되기도 한다는 것을 본 분석을 통해 알 수 있다.

본 연구의 결과는 소요 강도와 현장 조건을 고려한 기포 콘크리트의 단위질량이 설정되면 그에 따른 잔골재비 즉, 적용 가능한 bottom ash의 양이 결정될 수 있기 때문에 경제적 콘크리트 배합에 활용할 수 있게 된다.

3.2.3 압축강도와 단위질량과의 상관관계식 구성

Fig. 11에 나타난 기포콘크리트의 압축강도와 단위질량과의 선형적 상관관계를 식으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$f_{cu} = \alpha \gamma_t + \beta \quad (5)$$

여기서, f_{cu} 은 28일 압축강도를 나타내며 α 와 β 는 잔골재비에 따라 결정되는 상수로써 Table 6과 같다.

이상의 값을 통해 소요 28일 압축강도 혹은 경우에 따라 설계기준강도를 알고 또 시공할 공종의 소요 단위질량이 정해지면 Fig. 11을 이용하여 필요로 하는 잔골재비가 결정될 수 있겠지만, 보다 편리하게 수식을 통해 잔골재비를 구할 수 있도록 잔골재비와 각각의 상수들 간의 상관관계를 구해보도록 하였다.

Fig. 12에 대해 회귀 분석한 결과는 식 (6)과 같다.

$$\alpha = \frac{15.41}{1.74 - (S/C)} \quad (6a)$$

$$\beta = -2.92e^{1.88(S/C)} \quad (6b)$$

3.2.4 겉보기 비중과 압축강도와의 관계

기존의 연구에 따르면 기포콘크리트의 겉보기 비중은 압축강도와 매우 밀접한 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다.^{6,7)} 따라서 본 연구에서도 단위시멘트량 $320 \sim 520 \text{ kg/m}^3$ 의 범위에서 기포콘크리트의 겉보기 비중과 압축강도를 Fig. 13과 같이 도시하여 보았다. 또 이 실험결과를 겉보기비중과 압축강도의 관계식으로 나타내면 식 (7)과 같으며 비교적 양호한 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다.

$$f_{cu} = 1.08e^{1.827\gamma} \quad (R^2 = 0.821) \quad (7)$$

Table 6 Coefficients α and β determined from fine aggregate ratios

Fine aggregate ratio (S/C)	α	β	Standard errors
0	9.007	-2.962	0.41
0.2	9.815	-4.158	0.33
0.4	11.851	-6.728	0.34
0.6	12.499	-7.838	0.48
0.8	17.518	-14.191	0.98

Fig. 10 Air contents associated with fine aggregate ratio and unit amount of cement (W/C = 60%)

Fig. 11 Relationship between unit weight of concrete and compressive strengths in 28 days

Fig. 12 Relationship between S/C and coefficients α , β of Eq. (5)

여기서, f_{cu} : 28일 압축강도 (MPa)
 γ : 겉보기 비중

본 실험 결과에서 나타난 겉보기 비중은 기포콘크리트의 압축강도와 같은 역학적 특성을 추정하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 배합설계 적용 예

임의의 지역에 기포콘크리트를 타설하고자 하며, 공중의 특성상 28일 압축강도 $f_{cu}=4$ MPa로 하고 단위질량 $\gamma_t=0.9$ t/m³인 기포콘크리트의 배합을 결정하도록 한다. 또, 순수하게 1종 포틀랜드시멘트와 bottom ash만을 사용한다고 하였을 때 먼저 Fig. 11을 통해 잔골재비 S/C의 위치를 파악하여 개략적인 S/C의 값을 결정한다. 그 후에 식 (6)에 개략으로 구한 S/C를 대입함으로써 α 와 β 값을 구한다. 이 값을 식 (5)에 대입하여 구한 값과 당초 주어진 값 f_{cu} 가 일치할 때까지 S/C의 값을 변화시킨다. 식 (6a)에서는 일차함수이기 때문에 변화의 폭이 작은 반면 식 (6b)는 지수함수로 되어 있어 S/C가 거의 일치되는 점은 쉽게 찾을 수가 있다. 본 예제에서는 $\beta=-6.81$, $\alpha=11.94$

Fig. 13 Apparent specific gravity vs. compressive strength in 28 days

Fig. 14 Flow of mix design proportion

가 산출되며, 이때의 잔골재비 S/C=0.44가 계산된다.

다음 단계로써 Fig. 2나 식 (1)에 구한 잔골재비 S/C=0.44를 대입하게 되면 단위시멘트량 C=375 kg/m³이 구해진다. 이 때 먼저 구한 잔골재비가 상한값 이상인지 확인하기 위하여 식 (3)에 대입하면,

$$S/C = 0.44 < -0.0073 \times 375 + 4.578 = 1.84 \therefore \text{O.K}$$

계산된 잔골재비 S/C의 값을 다시 식 (2)에 대입하면 물-시멘트비 W/C=58.6%가 산출되며 또한, 식 (4)에 대입하면 포함되는 공기량 A_c=57.9%를 계산할 수 있다. Fig. 14는 배합설계 적용방법을 알기 쉽게 도식화하여 나타낸 것이다.

이상의 계산을 정리하여 나타내면 다음 표와 같다.

1) 기본 조건 : $f_{cu}=4$ MPa, $\gamma_t=0.9$ t/m³, 1종 포틀랜드시멘트와 경량골재로 bottom ash 사용

2) 배합설계 결과

W/C (%)	S/C	Unit material (kg/m ³)			Required air content (%)
		C	W	B/A	
58.6	0.44	375	220	165	57.9

단, 이 연구에서 제안된 배합 관계식의 상수값들은 bottom ash의 물성 특성에 따라 다소 차이가 발생할 수 있으므로 직접 사용여부는 실험을 통해 확인할 필요가 있다.

5. 결 론

화력발전소 주변 회사장에 매립 처리되고 있는 bottom ash를 기포콘크리트에 적용함으로써 bottom ash의 적용비율이 기포콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석, 검토하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 잔골재비 (S/C)가 증가하게 되면 단위용적 내 고형분 증가로 단위질량은 선형적으로 상승하지만 적용되는 단위시멘트의 크기에 따라 그 영향의 정도가

다르게 나타났다. 이와 반면에 소요 플로우값을 만족하기 위해 필요로 하는 물-시멘트비의 경우는 단위시멘트의 영향에 관계없이 잔골재비의 크기와 밀접한 관계를 보였다.

- 2) 기포콘크리트 내부에 포함된 공기량은 단순히 단위질량에 의존하며 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 압축강도는 물-시멘트비보다 단위질량의 크기와 밀접한 관계가 있으며, 단위질량이나 단위시멘트량이 높을수록 증가된다. 일반적으로 bottom ash의 사용량이 증가할수록 즉, 잔골재비가 상승할수록 압축강도는 저하되지만 동시에 단위질량도 증가되기 때문에 잔골재비의 상승이 반드시 압축강도 확보에 불리한 것은 아니다.
- 4) Bottom ash를 활용하여 기포콘크리트로 시공할 경우, 필요로 하는 공중의 목표 28일 압축강도와 단위질량이 제시되지만 하면 배합 선정이 가능한 배합설계(안)이 본 연구를 통해 제안되었다.

참고문헌

1. 오병환, 정범석, “플라이애쉬 및 플라이애쉬 콘크리트의 제반 특성 및 이용,” 콘크리트학회지, 3권, 3호, 1991, pp. 5~22.
2. 이진용, 배성용, “플라이애쉬 혼입량 및 양생방법이 콘크리트 강도발현에 미치는 영향,” 콘크리트학회지, 10권, 1호, 1998, pp. 101~107.
3. 한국전력공사, 석탄회 및 탈황석고 활용 국제워크숍, 한국전력공사, 1997, pp.245~270.
4. 천병식, 고용일, “석탄재의 건설재료로서의 활용에 관한 연구,” 한국지반공학학회지, 11권, 2호, 1995, pp. 99~106.
5. Lovell, C. W., Ke, T. C., Huang, W. H., and Lovell, J. E., “Bottom Ash As Highway Material,” Presented at the 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., 1991, pp. 290~294.
6. Goldbaum, J. E., Hook, W., and Clem, D. A., “Modification of Bridges with CLSM,” *Concrete International*, May 1988, pp. 44~47.
7. Malhotra, V. M. et. al., “Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash from Sources in the U.S.,” *ACI Materials Journal*, Vol. 90, No. 6, 1993, pp. 535~544.
8. Riggs, E. H. and Keck, R. H., “Specification and Use of Controlled Low Strength Materials by State Transportation Agencies,” The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill), ASTM STP 1331, A. K. Howard and J. L. Hitch, Eds., American Society-for Testing and Materials, 1998, pp. 296~305.
9. Alobaidi, I. M. and Billam, J., “Use of Pulverized Fuel Ash in Trench Backfill,” *Journal of Material in Civil Engineering*, August 2000, pp. 228~237.
10. 이종호, 조봉석, 이태희, 김용로, 최세진, 김무한, “물시멘트비 및 Bottom Ash 대체율에 따른 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 14권, 1호, 2002, pp. 699~704.
11. 원종필, 이용수, 이준자, “Bottom Ash를 재활용한 저강도 고유동 재료의 내구성 및 환경영향 평가,” 콘크리트학회 논문집, 14권, 2호, 2002, pp. 223~230.
12. 김상철, “저회를 활용한 콘크리트용 골재 응용기술개발,” 한국 Fly-Ash공업, 2003, 140 pp.
13. 최세진, 이성일, 정용, 김양배, 오복진, 김무한, “Bottom Ash를 잔골재 대체재로 사용한 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 15권, 1호, 2003, pp. 19~24.
14. 정지용, 강철, 정갑철, 김진만, “Bottom Ash를 사용한 모르타르의 물리적 특성,” 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 19권, 2호, 2007, pp. 813~816.
15. Garcez, I. and Tittlebaum, M. E., “Investigation of Leachability of Sub-bituminous Fly Ash Enhanced Road Base Materials,” *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Materials Research Society, Vol. 43, 1985, pp. 128~132.
16. 서치호, 최기봉, 송현수, “경량골재콘크리트의 특성 및 활용,” 한국콘크리트학회 전문위원회 발표집, 2006, pp. 201~213.
17. 문종욱, 원종필, 전현규, “경량콘크리트의 적용 및 사례,” 한국콘크리트학회 전문위원회 발표집, 2006, pp. 224~239.
18. 島津 晃臣, “輕量盛土工法の進展,” 土と基礎, Vol. 37, No. 12, 1989, pp. 324~341.
19. 久樂 勝行, “輕量盛土工法の特徴とその適用,” 基礎工, Vol. 18, No. 12, 1990, pp. 191~215.
20. 建設省土木研究所, (財)土木研究センター, ハイグレードソイル研究會, “發泡ビーズ混合輕量土の利用マニュアル(案),” 1993. 10.

요약 Bottom ash는 플라이애쉬와 달리 거의 대부분이 산업폐기물로 분류되어 화력발전소 회사장에 매립처리 되고 있으나, 그 자체가 갖고 있는 경량성을 이용하여 기포콘크리트의 골재로 활용한다면 중량 감소에 따른 지반침하저감 및 구조물에 작용하는 측방 유동압 및 토압을 저감할 수 있을 뿐만 아니라 부산자원으로 재활용함으로써 환경보호 및 경제적인 자원으로 가치창조할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 bottom ash 적용에 따른 기포콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여 그 적용비율을 변수로 하여 단위용적질량, 공기량, 물-시멘트비 등의 변화, 소요 시멘트량의 특성을 실험을 통해 검토하였으며, 이들이 압축강도에 미치는 영향에 대해서도 평가하였다. 실험결과를 분석한 결과, bottom ash의 적용은 그 적용 비율에 따라 단위용적질량, 공기량, 물-시멘트비, 압축강도에 미치는 영향의 정도가 다르게 나타났으며, 이를 토대로 각 인자별 주요 상관관계를 도출하였다. 또한, 본 연구의 결과를 통해 bottom ash를 경량콘크리트의 골재로 활용할 경우 시공시 필요로 하는 조건에 부합할 수 있는 배합비 선정 안을 제안하였다.

핵심어 : 기포콘크리트, bottom ash, 단위용적질량, 잔골재비, 압축강도, 물-시멘트비, 공기량