

무기혼화재 적용에 따른 기포콘크리트의 특성

Characteristics of Foam Concrete with Application of Mineral Admixture

(2009년 8월 4일 원고접수, 2009년 8월 18일 심사완료 / Received August 4, 2009, Accepted August 18, 2009)

김상철^{1)*} 김연태²⁾

¹⁾ 한서대학교, 토목공학과 ²⁾ 서울산업대학교, 구조공학과

Kim, Sang-Chel^{1)*} and Kim, Yun-Tae²⁾

¹⁾ Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

²⁾ Seoul National University of Technology, Seoul, 139-743, Korea

Abstract

Since the structure built in a foam concrete alleviates the settlement and horizontal pressure of the ground subjected to self-loading, various problems related to construction can be solved as well as the save of construction cost. Thus, this study has an aim of applying foam concrete to structural purpose by adding bottom ash as a reinforcing material like fine aggregate, in contrast to conventional non-structural usage such as soundproofing or insulating materials. In addition, it was evaluated in terms of unit volume weight, flow value, air void, water absorption and dosage of foam agent whether replacement of cement by granulated blast furnace slag or fly-ash has an effect on the material characteristics of foam concrete.

As results of experiments, it can be found that the increase of fine aggregate ratio, that is to say, the increase of bottom ash results in the increase of unit volume weight, while decreasing air void and flow value. But, appropriate addition of bottom ash to foam concrete makes it easy to control a homogeneous and uniform quality in foam concrete due to less sensitive to bubbles. As the replacement ratio of mineral admixtures such as granulated blast furnace slag and fly-ash increases, as unit volume weight tends to decrease. In the meanwhile, serious effects were shown on fluidity of foam concrete when more than limit of replacement ratio was applied.

키워드 : 바텀애시, 기포콘크리트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시, 단위체적중량, 플로우

Keywords : Bottom Ash, Foam Concrete, Granulated Blast Furnace Slag, Fly-ash, Unit Volume Weight, Flow

1. 서론

최근 급속한 경제 성장과 구조물의 시공 기술의 발전으로 콘크리트 구조물의 규모가 대형화, 초고층화되어 가고 있으며, 이에 따라 콘크리트 재료 성능 및 기능성 향상에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 콘크리트는 강도에 비해 비중이 높기 때문에 구조물의 자중이 증가하는 문제점을 갖고 있으며, 특히 초고층 구조물에 있어서 자중의 증가는 지반 변형과 침하를 동반하기 때문에 이를 제어하기 위해서는 별도의 막대한 시공비가 소요된다.

19세기 말부터 시작된 경량콘크리트에 대한 연구는 상당한 성과를 보여 비구조적 용도 뿐 만 아니라 구조용으로도 폭 넓게 사용될 수 있다는 것이 인지되고 있음에도 불구하고 경량골재의 수입의존과 경량콘크리트의 배합미

숙, 시공경험 부족 등으로 인해 국내에서는 자중감소의 직접 효과에 의한 구조용 콘크리트보다는 단열이나 방음 등 간접 효과를 위한 비구조적 콘크리트에 주로 활용되고 있다(서치호 2006 ; 문종욱 2006).

따라서 본 연구에서는 비구조적 용도이외에도 구조적 목적을 위해 기존에 사용하던 단순한 기포콘크리트와 달리 바텀애시(bottom ash, B/A)를 골재로 활용함으로써 강도 증진을 기대할 수 있고 또한, 법규강화에 따른 산업폐기물의 처리상의 어려움 및 매립장 부족 등 현재 직면하고 있는 환경적 당면 문제를 해결하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 활용하고자 하는 바텀애시는 석탄 화력발전소에서 발생하는 부산물로서 기존에는 전량 발전소 주변의 회사장(ash pond)에 매립 처리되어 회사장 확보의 어려움과 환경적 문제로 인해 재활용 방안이 절실하였던 재

료이다. 실질적으로 매년 국내에서 수십만 톤이 발생되고 있어 이를 재활용할 수 있는 기술이 개발된다면 경제적 자원이 될 뿐 만 아니라 국가 사회적으로 큰 기여가 될 것으로 판단된다(한국전력공사 1997 ; 김상철 2009).

본 연구에서는 바텀애시를 혼입한 기포콘크리트에 무기 혼화재인 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 시멘트 대체재로 사용함으로써 굳지 않은 기포콘크리트의 성상에 미치는 영향을 실험을 통해 분석, 평가하고자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정을 만족하는 국내 S사에서 생산되고 있는 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, Table 1은 사용된 시멘트의 물성치를 나타낸 것이다.

Table 1 Physical properties of cement

Specific gravity	Fineness (㎎/g)	Setting (min)		Soundness (%)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
		Initial	Final		3 days	7 days	28 days
3.15	3,488	231	407	0.1	224	308	404

(2) 플라이애시

플라이애시는 화력발전소에서 무연탄을 연소한 후 전기 집진기로 포집되어 정제된 것으로 KS L 5405 규정을 만족하였으며, 플라이애시의 물리·화학적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2 Material properties of fly-ash

Physical	Specific gravity		Finess (cm ² /g)		Water absorption (%)		Ig. loss (%)	
	2.14		3,400		0.13		3.28	
Chemical	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
	58.12	23.56	7.69	2.59	1.12	0.31	1.42	1.05

(3) 고로슬래그 미분말

국내 S사의 고로슬래그 미분말을 사용하였으며 사용된 재료의 물리, 화학적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 Material properties of granulated blast furnace slag

Physical	Specific gravity		Finess (cm ² /g)		Water absorption (%)		Ig. loss (%)	
	2.94		7,596		0.10		0.86	
Chemical	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
	33.44	14.93	0.10	43.25	0.22	0.20	0.30	0.59

(4) 바텀애시

본 연구에 사용된 바텀애시는 서천화력발전소에서 발생되는 것을 채취하여 사용하였다. 서천화력발전소에서는 앞서 서술한 바와 같이 발생된 바텀애시를 분쇄기로 분쇄하여 해수에 의해 회사장으로 이송된 후 매립된다. 채취된 바텀애시는 KS F 2526 규정에 따라 입도조정을 한 후 콘크리트 배합에 사용하였다. 실험에 사용된 바텀애시의 비중은 2.22이고 조립율은 2.12이다.

Table 4 Material properties of bottom ash

Physical	Specific gravity		Finess (cm ² /g)		Water absorption (%)		Ig. loss (%)	
	2.22		-		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	13.27	3.15	1.12	1.37	0.64	0.84

(5) 기포제

시중에 시판되고 있는 기포제의 종류로는 동물성과 식물성이 주를 이루고 있는데, 동물성 기포제는 동물의 단백질에 포함되어 있는 아미노산을 가수분해한 단백질 기포제로서 식물성 기포제에 비해 발포성능은 낮은 편이지만, 포막이 강하고 기포 크기가 균일하며, 시멘트페이스트와 혼합하더라도 소포가 적게 되는 특징이 있다. 발포시 특징으로는 백색 또는 담황색의 크림상태로 내부에 0.2~0.8mm 크기의 무수한 기포가 형성된다. 본 연구에서 사용한 동물성 기포제의 재료적 성질을 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5 Material properties of foaming agent used

color	viscosity	pH	sulphate content	freezing point	solid content	specific gravity
dark brown	27~50cps (20℃)	7.1	0.01~0.1%	-18℃	37.8%	1.18

2.2 실험방법

본 연구에서의 배합순서는 시멘트와 바텀애시를 함께 넣어 건비빔을 1분간 행한 후에 물을 투입하고 2분간 비빈 후 이미 생성된 기포를 투입하여 1분 동안 비빈 후에 몰드 제작을 하였다.

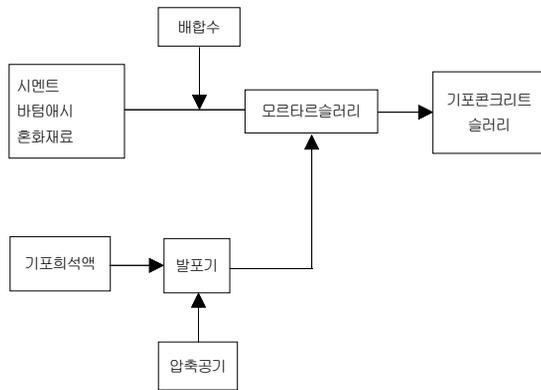


Fig. 1 Flow of mixing process



Fig. 2 Overview of putting foaming agent into a mixer

제작된 공시체는 수분이 증발되지 않도록 밀봉한 상태에서 24시간이 경과한 후에 탈형하여 물의 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지한 항온 수조에서 수중 양생하였다.

2.3 측정항목 및 배합

굳지 않은 상태에 대한 시험으로서 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에 준하여 단위체적중량 시험과 기포량(공기량) 시험, 플로우 시험을 수행하였다. Table 6은 실험에 사용된 실험변수와 측정항목을 나타낸 것이다.

위의 측정항목들은 사용목적과 용도에 따라 결과값이 다르겠지만, 경량기포콘크리트의 경우 구조용과 비구조용 목적을 포함하는 범위로서 단위체적중량(이하 단위중량으로 표기)의 경우는 $0.5 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$, 기포량(공기량)은 20~80%의 범위에 포함되도록 설정하였다(서치호 2006).

Table 6 Testing scheme

Testing parameters	Range of application	Measured items
Unit amount of cement(C)	320, 380, 460, 520kg/m ³	Unit volume weight
Fine agg. ratio(S/C)*	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8	Air void
Water/cement ratio(W/C)	55, 60, 65%	Flow value
Replacement by granulated blast furnace slag	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60%	Water absorption
Replacement by fly-ash	0, 10, 20, 30%	Others

* Fine aggregate corresponds to bottom ash in this study

3. 실험결과 및 고찰

3.1 바텀애시의 적용 비율 효과

잔골재 대체제로서의 바텀애시의 적용이 기포발생과 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 단위시멘트량 320, 380, 460, 520kg/m³, 물-시멘트비 55, 60, 65%에 대해 잔골재비(S/C)는 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 등 5가지 경우에 대해 실험을 수행하였다. Figs. 3과 4는 물-시멘트비 60%와 65%의 조건에서 동물성 기포제를 사용한 경우 잔골재비에 따른 단위중량의 변화를 도시화한 것이고, Figs. 5와 6은 물-시멘트비 60%와 65%의 조건에서 잔골재비에 따른 공기량을 도시화한 것이다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 잔골재비가 증가하게 되면 단위부피 내에 고품분이 증가하게 되므로 단위중량은 상승하고, 이와 반면에 단위부피내 차지하는 공극이 감소하게 되므로 공기량(기포량)은 감소하게 된다.

Figs. 7과 8은 각각 단위시멘트량 380, 460kg/m³을 적용하였을 때 잔골재비 변화에 따른 플로우값을 도시한 것으로, 보통 콘크리트와 같이 물-시멘트비가 높을수록 플로우값이 증가되어 유동성이 높은 것으로 나타났다. 또한, 잔골재비가 높을수록 물과 접촉하는 골재의 비표면적이 증가되므로 상대적으로 플로우값이 감소되는 것을 알 수 있다.

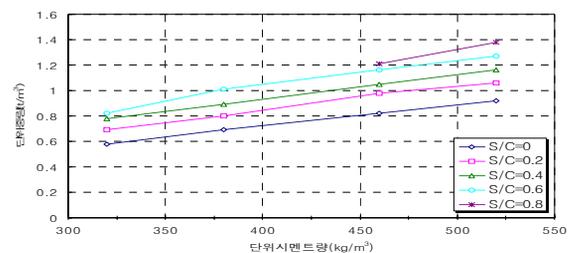


Fig. 3 Effects of unit volume weight in associate with fine aggregate ratio (W/C=60%)

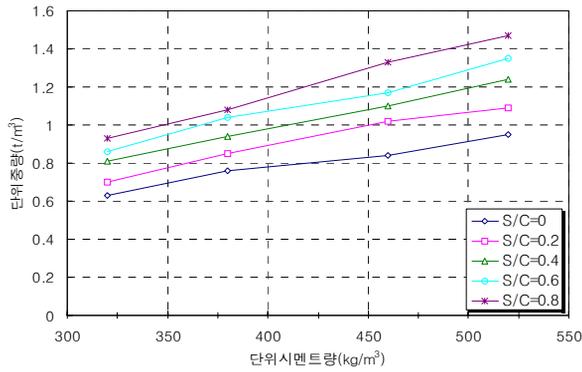


Fig. 4 Effects of unit volume weight in associate with fine aggregate ratio (W/C=65%)

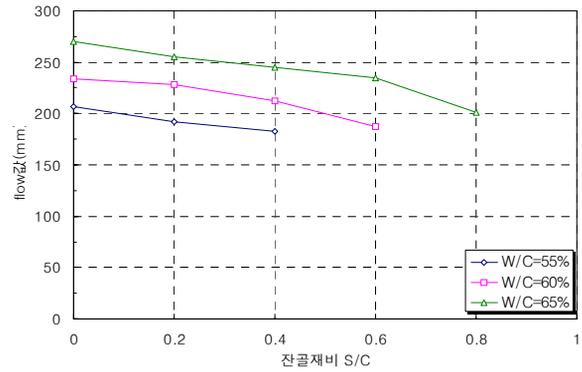


Fig. 7 Flow values associated with fine aggregate ratio (C=380kg/m³)

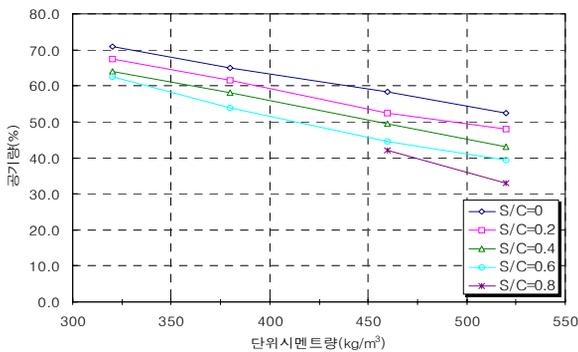


Fig. 5 Effects of air void in associate with fine aggregate ratio (W/C=60%)

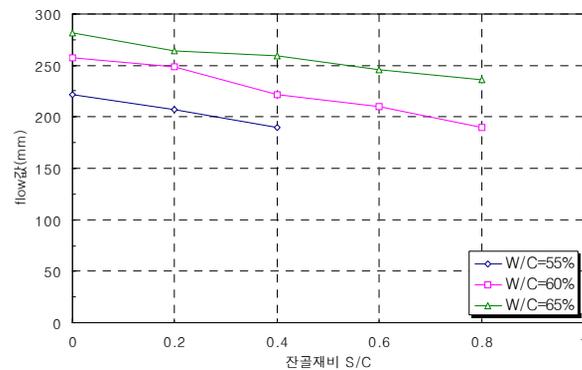


Fig. 8 Flow values associated with fine aggregate ratio (C=460kg/m³)

단위시멘트량 380kg/m³에서 물-시멘트비가 55%일 때 잔골재비 0.4이상을 적용하면 과대한 잔골재비에 따른 단위수량 부족으로 플로우가 형성되지 않고 재료의 뭉침 등이 일어나므로 더 이상 잔골재비의 증가는 곤란하였다. 물-시멘트비 60%에서는 잔골재비 0.6일 때 이와 같은 현상이 일어났다. 이는 물-시멘트비의 크기에 따라 적용 가능한 잔골재량이 있으며, 이는 단위중량과 관계가 있는 만큼 단위중량의 상한값이 존재한다는 것을 나타낸다.

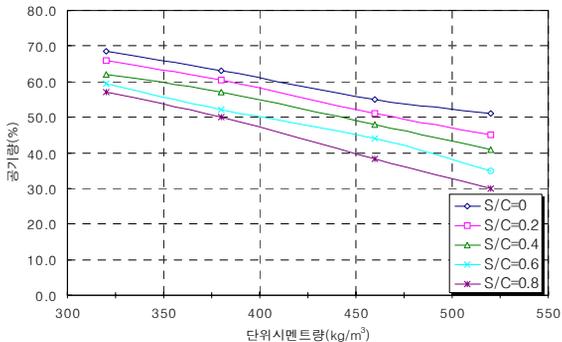


Fig. 6 Effects of air void in associate with fine aggregate ratio (W/C=65%)

Figs. 9와 10은 단위시멘트량 320과 380kg/m³을 적용하였을 때 잔골재비 변화에 따른 기포콘크리트의 흡수율을 나타낸 것이다. 흡수율은 절대건조상태로 측정되기 때문에 동일한 단위시멘트량의 조건에서는 이론적으로 물-시멘트비가 높을수록 증발되는 수분이 많기 때문에 흡수율이 증가되고, 반면에 잔골재비가 증가할수록 내부 공기량의 체적 감소 등의 영향으로 흡수율은 다소 감소되리라 예상하였다.

그러나 Figs. 9와 10에 나타난 결과를 보면, 바텀에시가 적용되지 않았을 때 가장 높은 W/C=65%에서 오히려 가장 낮은 흡수율을 보이고 있으며, W/C의 변화에 따른 흡수율 차이가 크게 나타나지 않고 있다. 이는 잔골재가 함유되지 않았을 경우 물-시멘트비보다 제작시 기포의 깨짐 정도에 의해 흡수율이 영향을 받는 것으로 분석된다. 이 반면에 바텀에시가 혼입될 경우에는 잔골재비가 높아질수록 흡수율이 낮아지는 것을 볼 수가 있으며, 어느 일정 범위 이상의 잔골재비가 적용되었을 때에는 잔골재비의 크기와 관계없이 거의 일정한 흡수율을 나타내고 있다. 다시 말해

흡수율은 물-시멘트비보다 잔골재비의 영향이 보다 지배적으로 작용되고 있다는 것을 의미한다. 이상의 결과에 비추어 콘크리트 제품 성능의 균일성이나 기포의 영향을 비교적 적게 받는 안정성 확보를 위해 바텀애시의 적용은 유효하다는 것을 알 수 있다.

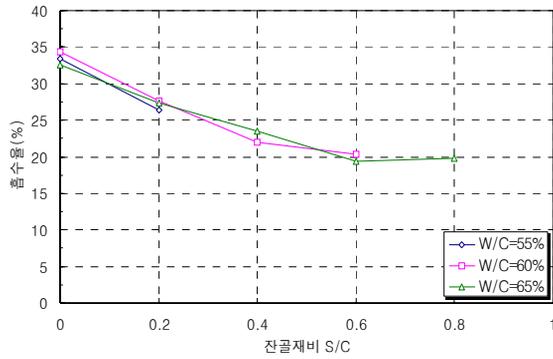


Fig. 9 Water absorption values associated with fine aggregate ratio (C=320kg/m³)

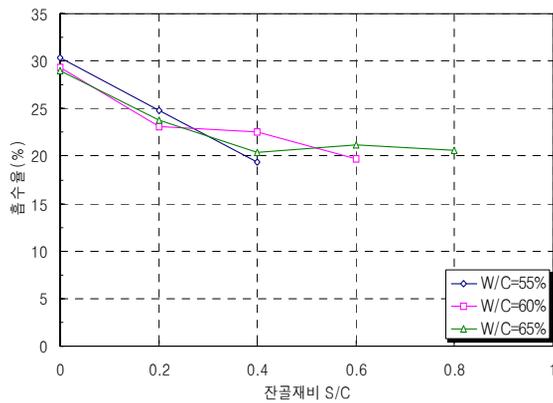


Fig. 10 Water absorption values associated with fine aggregate ratio (C=380kg/m³)

3.2 무기혼화재의 대체 적용 효과

시멘트 대체재로써 고로슬래그 미분말과 플라이애시 적용에 따른 기포콘크리트의 특성변화에 대해 검토하여 보았다. 고로슬래그 미분말은 재료의 특성상 다량을 시멘트 대체재로 사용하더라도 품질상의 변동이 크지 않기 때문에 일반 콘크리트에서와 같이 60%까지 대체 적용하는 것을 검토하였다. 이와 반면에 플라이애시의 경우는 화력발전소의 부산물로 조업상태, 석탄의 종류에 따라 품질의 차이가 발생되어 동일 포대의 플라이애시라 하여도 품질변동이 있기 때문에 최대 30%까지 시멘트 대체재로 적용하였다.

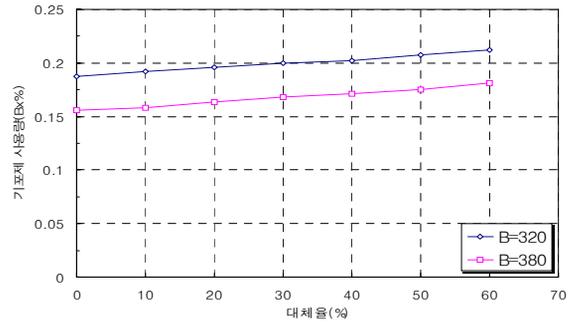


Fig. 11 The amount of forming agent required for corresponding air void associated with replacement by granulated blast furnace slag

Fig. 11은 물-결합재비 W/B=60%이고 바텀애시를 첨가하지 않은 조건(S/B=0)에서 동일한 공기량 확보 즉, 결합재량 B=320kg/m³의 경우는 70±1%, B=380kg/m³에서는 65±1%에 필요한 기포제의 소요량을 도시화한 것이고, Fig. 12는 물-결합재비 W/B=60%와 65%, S/B=0.5와 0.6인 바텀애시를 첨가한 조건에서 동일한 공기량 확보 즉, 결합재량 B= 320kg/m³의 경우는 60±1%, B=380kg/m³에서는 56±1%에 필요한 기포제의 소요량을 나타낸 것이다. 그림 상에 나타난 바와 같이 고로슬래그 미분말 대체하는 양이 클수록 동일 공기량 확보를 위해 소요되는 기포제의 양이 증가됨을 확인할 수 있다.

Figs. 13과 14는 고로슬래그 미분말 대체비율에 따른 플로우값의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 고로슬래그 미분말을 10% 대체하였을 때 소폭 플로우값이 증가되는 경향이 있으나 그 이외의 경우는 대체비율이 증가할수록 플로우값이 감소되었다. 이러한 경향은 바텀애시 첨가와 관계없이 거의 유사한 경향을 보였다. 특히, 고로슬래그 미분말의 대체비율을 60%정도 적용할 경우에는 보다 큰 플로우값의 감소가 나타나기도 하므로 다량의 고로슬래그 미분말의 대체 사용은 주의할 필요가 있다.

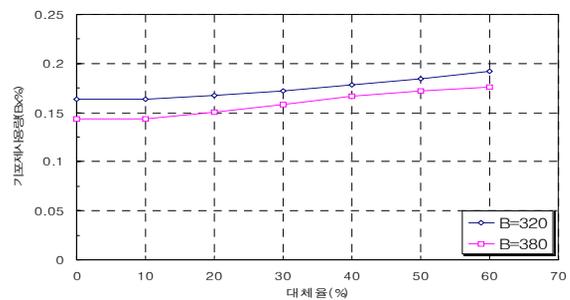


Fig. 12 The amount of forming agent required with replacement by granulated blast furnace slag (B=320kg/m³ W/B=65%, S/B=0.6 and B=380kg/m³, W/B=60%, S/B=0.5)

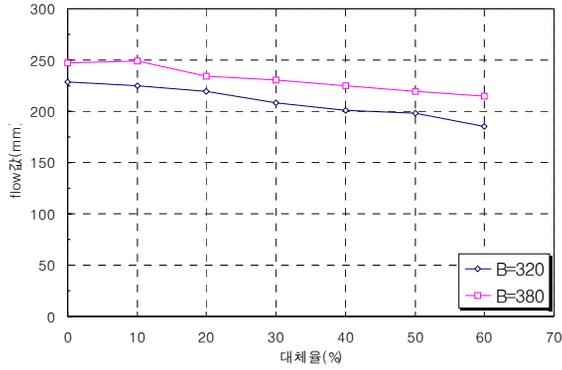


Fig. 13 Flow value associated with replacement by granulated blast furnace slag (W/B=60%, S/B=0)

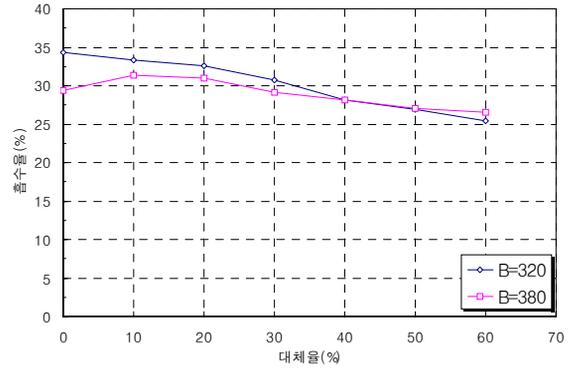


Fig. 15 Water absorption value associated with replacement by granulated blast furnace slag (W/B=60%, S/B=0)

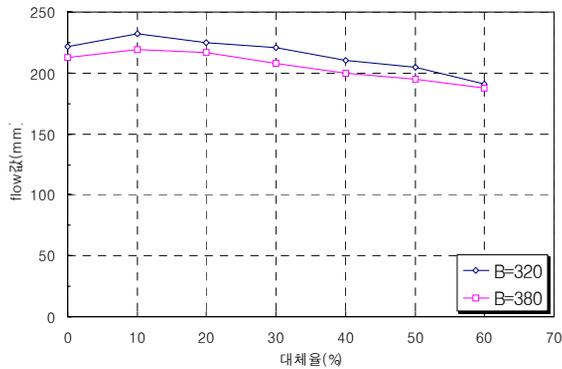


Fig. 14 Flow values associated with replacement by granulated blast furnace slag (B=320kg/m³ W/B=65%, S/B=0.6 and B=380kg/m³, W/B=60%, S/B=0.5)

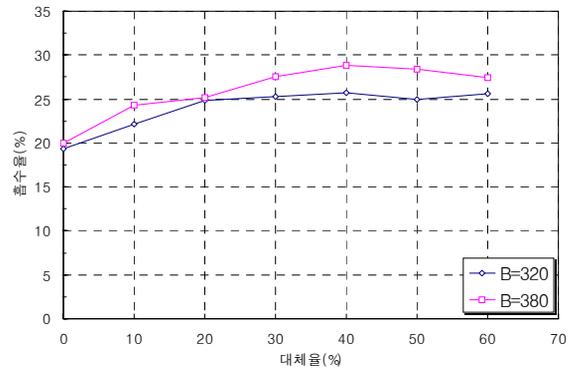


Fig. 16 Water absorption values associated with replacement by granulated blast furnace slag (B=320kg/m³ W/B=65%, S/B=0.6 and B=380kg/m³, W/B=60%, S/B=0.5)

Figs. 15와 16은 고로슬래그 미분말의 대체비율에 대한 흡수율 변화를 나타낸 것이다. 바텀애시가 혼입되지 않은 Fig. 15를 살펴보면, 고로슬래그 미분말의 대체율이 늘어날수록 흡수율은 점차 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 고로슬래그 미분말의 혼입에 따라 기포율이 다소 감소하고, 시멘트보다 분말도가 다소 높은 고로슬래그 미분말의 사용에 따라 기포의 상태가 작고 양호해지며 기포와 기포사이의 결합을 통한 거대 공극 형성이 억제됨에 따른 효과에 기인한 것으로 판단된다. 이와 반면에 잔골재인 바텀애시를 혼입한 결과인 Fig. 16에서 보면, 바텀애시가 들어가지 않은 실험체와는 반대로 고로슬래그 미분말의 대체비율이 증가할수록 오히려 흡수율이 증가되는 양상을 보이고 있다.

Figs. 17과 18에서는 고로슬래그 미분말의 대체비율에 따른 단위중량을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 고로슬래그 미분말의 대체비율이 증가할수록 동일한 공기량임에도 불구하고 단위중량은 감소하는데, 이는 고로슬래그 미분말이 1종 포틀랜드시멘트에 비해 비중이 낮으므로 대체비율이 증가할수록 그에 따라 단위중량의 감소로 나타나게 된다.

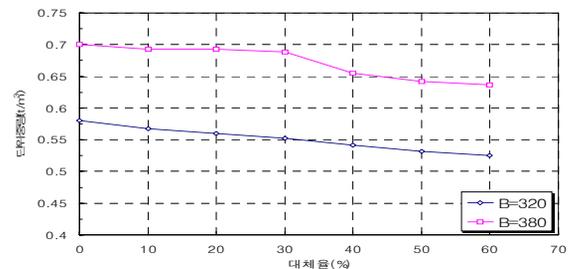


Fig. 17 Unit volume weight associated with replacement by granulated blast furnace slag (W/B=60%, S/B=0)

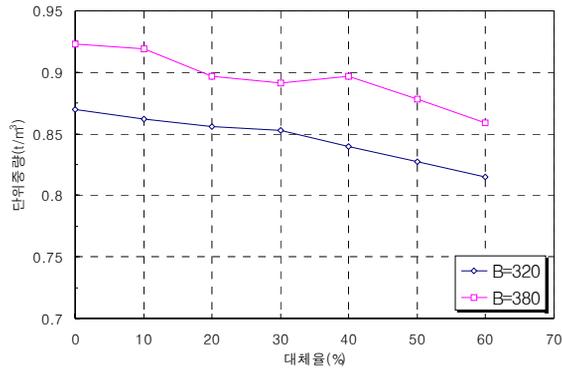


Fig. 18 Unit volume weight associated with replacement by granulated blast furnace slag (B=320kg/m³ W/B=65%, S/B=0.6 and B=380kg/m³, W/B=60%, S/B=0.5)

다음은 플라이애시 적용에 따른 기포콘크리트의 성상에 대해 조사하였다. Fig. 19는 물-결합재비 W/B=60%, 바텀애시를 첨가하지 않은 조건에서 동일한 공기량 확보 즉, 결합재량 B=320kg/m³의 경우는 70±1%, B=380kg/m³에서는 65±1%에 필요한 동물성 기포제의 소요량을 도시화한 것이다. 또한, Fig. 20은 물-결합재비 W/B=60%와 65%, S/B=0.5와 0.6인 바텀애시를 첨가한 조건에서 동일한 공기량 확보 즉, 결합재량 B=320kg/m³의 경우는 60±1%, B=380kg/m³에서는 56±1%에 필요한 기포제의 소요량을 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말에서 나타난 현상과 같이 플라이애시의 대체비율이 증가할수록 기포의 깨짐 현상이 나타나 공기량 확보를 위해서는 기포제의 사용량을 증가시켜야 하는 것으로 나타났다.

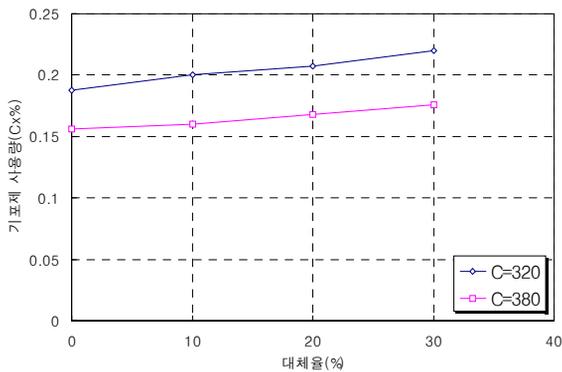


Fig. 19 The amount of forming agent required for corresponding air void associated with replacement by fly-ash (W/C=60%, S/C=0)

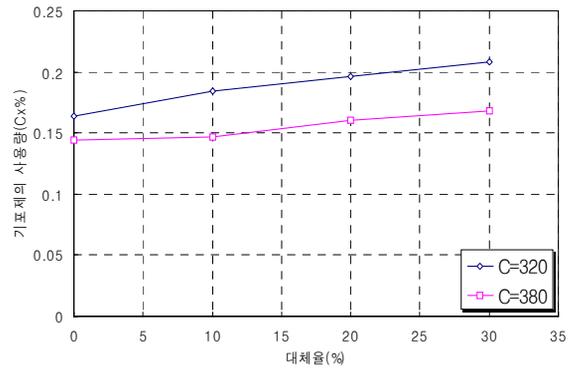


Fig. 20 The amount of forming agent required with replacement by fly-ash (B=320kg/m³ W/B=65%, S/B=0.6 and B=380kg/m³, W/B=60%, S/B=0.5)

Figs. 21과 22는 플라이애시 대체비율에 따른 플로우값의 변화를 도시한 것이다. 대체적으로 플라이애시를 시멘트 대체재로 사용할 경우 20% 이내의 대체비율에서는 플로우값이 다소 증가되는 양상을 나타내지만 그 이상을 적용할 경우에는 감소되는 경향을 보이고 있다. 이 결과로부터 유동성을 향상시키기 위해서는 플라이애시를 10~20% 정도 시멘트의 대체재로 사용하는 것이 유리하며 그 이상의 적용은 입자들의 비표면적 증가나 플라이애시의 품질상 불안정한 문제로 지양할 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 플라이애시의 혼입은 일반적으로 기존 문헌에서도 제시한 바와 같이 플라이애시는 입형이 둥글기 때문에 유동성이 향상된 것으로 판단된다.

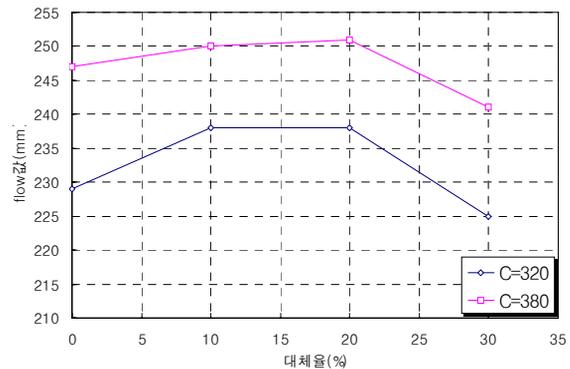


Fig. 21 Flow value associated with replacement by fly-ash (W/C=60%, S/C=0)

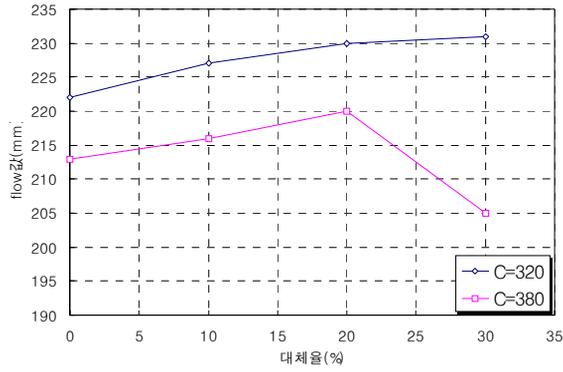


Fig. 22 Flow value associated with replacement by fly-ash ($B=320\text{kg/m}^3$ W/B=65%, S/B=0.6 and $B=380\text{kg/m}^3$, W/B=60%, S/B=0.5)

Figs. 23과 24는 플라이애시 대체에 따른 흡수율을 나타낸 것이다. 플라이애시도 고로슬래그 미분말 대체 때와 마찬가지로 바텀애시가 들어간 실험체에서는 흡수율이 대체율에 따라 증가하였으며, 바텀애시가 들어가지 않은 실험체에서는 감소하는 것을 알 수 있다.

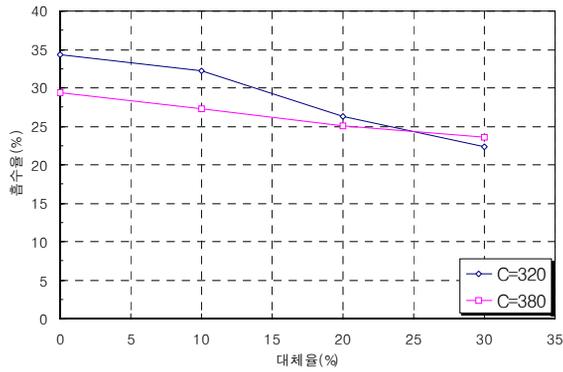


Fig. 23 Water absorption value associated with replacement by fly-ash (W/C=60%, S/C=0)

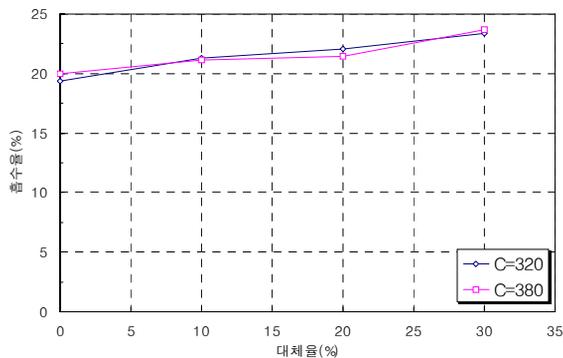


Fig. 24 Water absorption value associated with replacement by fly-ash ($B=320\text{kg/m}^3$ W/B=65%, S/B=0.6 and $B=380\text{kg/m}^3$, W/B=60%, S/B=0.5)

Figs. 25와 26은 플라이애시의 대체비율에 따른 단위중량의 변화를 나타낸 것이다. 플라이애시도 고로슬래그 미분말과 마찬가지로 1종 포틀랜드시멘트에 비해 비중이 낮기 때문에 대체비율이 높아질수록 단위중량이 감소하는 것을 알 수 있다.

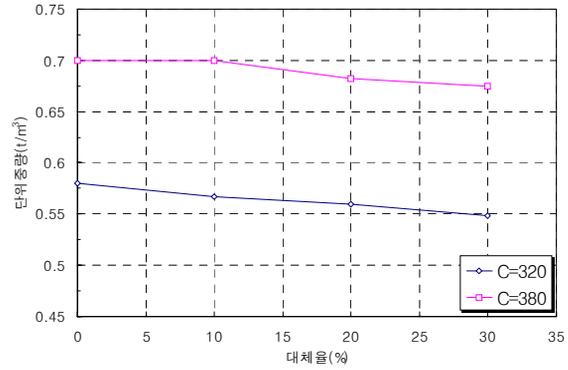


Fig. 25 Unit volume weight associated with replacement by fly-ash (W/C=60%, S/C=0)

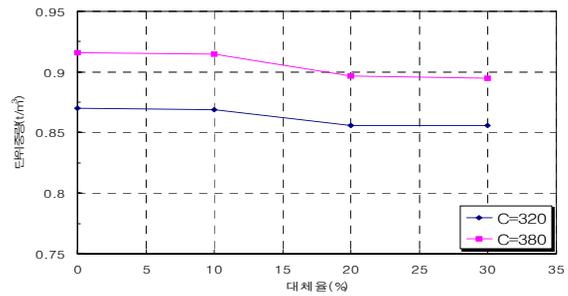
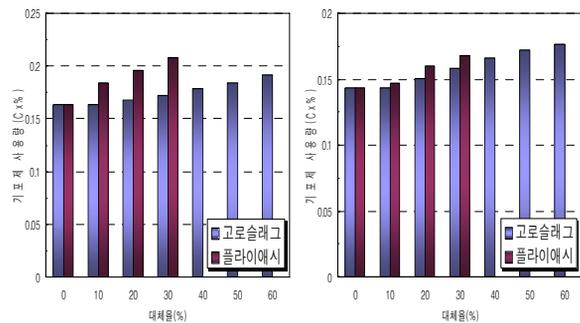
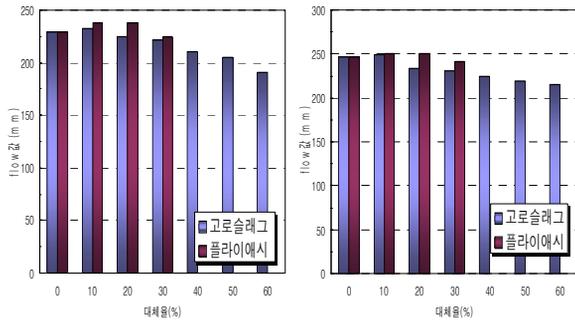


Fig. 26 Unit volume weight with replacement by fly-ash ($B=320\text{kg/m}^3$ W/B=65%, S/B=0.6 and $B=380\text{kg/m}^3$, W/B=60%, S/B=0.5)



(a) $B=320\text{kg/m}^3$, W/C=65%, S/C=0.6 (b) $B=380\text{kg/m}^3$, W/C=60%, S/C=0.5

Fig. 27 The amount of forming agent required for corresponding air void associated with replacement by fly-ash and granulated blast furnace slag



(a) B=320kg/m³, W/C=65%, S/C=0.6
 (b) B=380kg/m³, W/C=60%, S/C=0.5

Fig. 28 Flow value associated with replacement by fly-ash and granulated blast furnace slag

Figs. 27과 28에서 보면, 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 대체비율에 대한 기포제 사용량과 플로우값을 비교해 보았을 때 같은 대체비율에서 동일 공기량 확보를 위한 기포제 사용량은 플라이애시에서 더 많이 소요되고, 유동성 측면에서 본다면 고로슬래그 미분말을 사용했을 때보다 플라이애시를 사용할 때가 더 유리하다 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 구조적 활용 목적으로 다공성의 바텀애시를 골재로 사용한 보강된 기포콘크리트에 있어 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 시멘트 대체재로 혼입한 경우 굳지 않은 성상에서 미치는 영향을 실험을 통해 평가하였다. 그 결과 본 연구의 범위에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 물-시멘트비(W/C)가 높을수록, 단위시멘트량이 증가할수록 단위중량과 플로우값은 상승하고 공기량(기포량)은 감소되었다.
2. 잔골재비(S/C)가 증가하게 되면 단위부피 내 고형분 증가로 단위중량은 상승하는 반면 공기량과 플로우는 감소하였다. 또한, 일정 크기의 잔골재비 적용은 안정적인 흡수율 유지로 물성의 안정성과 소포의 영향에 덜 민감하여 유리하지만, 지나친 잔골재비 적용은 물-시멘트비의 크기에 따라 유동성 저하 등 성능 상에 있어 불리하게 작용한다.
3. 고로슬래그 미분말이나 플라이애시를 시멘트 대체재로 적용하였을 때 대체비율이 높을수록 단위중량은 감소되는 반면, 동일한 공기량 확보를 위해 소요되는 기포

제의 양은 증가되었다. 플로우는 고로슬래그 미분말일 경우 대체율이 10%정도에서, 플라이애시는 20%이내까지 증가되는 양상을 보이지만, 그 이상의 대체비율에서는 플로우는 점차 감소하게 되고 어느 비율 이후부터는 급격한 플로우의 저하가 나타났다. 이 두 종류의 혼화재는 모두 바텀애시가 혼입될 경우 대체비율 증가에 따라 흡수율이 증가하였으며, 바텀애시가 들어가지 않은 실험체에서는 감소하였다.

4. 동일 공기량(기포량) 확보를 위해 소요되는 기포제 사용량은 고로슬래그 미분말을 사용하였을 때 보다 플라이애시를 사용하였을 때 더 크게 소요되고, 유동성은 플라이애시에서 유리하게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 (주)포스코건설의 연구지원사업(MG-000-DC500)에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김상철, “저회를 활용한 콘크리트용 골재 응용기술개발,” 한국 Fly-Ash공업, 2003.
2. 김상철, 안상구, “Bottom Ash를 사용한 기포콘크리트의 배합설계 및 압축강도 특성,” 한국콘크리트학회논문집, 제21권 3호, pp.283-290, 2009.
3. 문종욱, 원종필, 전현규, “경량콘크리트의 적용 및 사례,” 한국콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, 2006.
4. 서치호, 최기봉, 송현수, “경량골재콘크리트의 특성 및 활용,” 한국콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, 2006.
5. 원종필 외 2인, “Bottom Ash를 재활용한 저장도 고유동 재료의 내구성 및 환경영향 평가,” 콘크리트학회 논문집, 2002, 제 14권 2호, pp. 223-230, 2002.
6. 이진용, 배성용, “플라이애쉬 혼입량 및 양생방법이 콘크리트 강도발현에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회지, 제10권 1호, pp.101-107, 1998.
7. 정지용 외 3인, “Bottom ash를 사용한 모르타르의 물리적 특성,” 한국콘크리트학회 2007년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.19 No.2, pp. 813-816, 2007.
8. 최세진 외 5인, “Bottom ash를 잔골재 대체재로 사용한 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, pp.19-24, 2003.
9. 한국전력공사, “석탄회 및 탈황석고 활용 국제워크숍,” 1997. 5

10. I. M. Alobaidi, and J. Billam, "Use of pulverized fuel ash in trench backfill," Journal of Material in Civil Engineering, pp. 228-237, August 2000.
11. J. E. Goldbaum, W. Hook, and D. A. Clem, "Modification of bridges with CLSM", Concrete International, pp. 44-47, May 1988.
12. C. W. Lovell, T. C. Ke, W. H. Huang, and J. E. Lovell. "Bottom ash as highway material", Presented at the 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., January 1991.
13. E. H. Riggs and R. H. Keck, "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, pp. 296-305, 1998.
14. 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会, "発泡ビ-ズ混合軽量土の利用マニュアル(案)", 1993.10.
15. 島津 晃臣, "軽量盛土工法の進展", 土と基礎, Vol.37, No.12, p.7, 1989.
16. 久樂 勝行, 軽量盛土工法の特徴とその適用, 基礎工, Vol.18, No.12, p.2, 1990.

요 약

기포콘크리트로 축조된 구조물은 하중 경감에 따른 지반의 침하와 토압을 감소할 수 있게 되어 구조물 시공과 관련한 제반 문제와 경제적 부담 저감이 가능하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기포콘크리트의 강도향상 목적으로 다공질의 바텀애시를 기포콘크리트에 도입함으로써 과거의 방음이나 단열의 비구조적 용도 이외에도 구조적 목적에 활용하고자 하였다. 또한 시멘트 대체재로써 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 혼입이 바텀애시로 보강된 기포콘크리트 성상에 미치는 영향을 단위체적중량, 플로우값, 공기량(기포량), 흡수율, 소요 기포제량 등을 통해 평가하였다.

실험결과, 잔골재비의 증가 즉, 바텀애시의 사용량이 증가할수록 단위체적중량은 증가하는 반면 공기량이나 플로우는 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 적절한 비율의 바텀애시 적용은 오히려 소포의 영향이 작아져 균일한 품질의 기포콘크리트 제조가 용이한 것으로 나타났다. 고로슬래그 미분말이나 플라이애시의 무기혼화제는 시멘트 대체 비율이 증가할수록 단위체적중량이 감소되는 경향을 보이고 있으며 어느 일정 비율까지 대체하였을 때에는 유동성이 향상되는데 반해 그 이상의 대체에서는 급격한 유동성 저하가 나타났다.