

슬래그 혼입 기포콘크리트의 성능향상을 위한 양생조건의 평가

Evaluation of Curing Conditions for Improving the Various Properties of Aerated Concrete Incorporating Slag Powder

박종범¹

윤현섭¹

양근혁^{2*}

Park, Jong-Beom¹

Yoon, Hyun-Sub¹

Yang, Keun-Hyeok^{2*}

Researcher, Department of Architectural Engineering Graduate School, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea ¹
Professor, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea ²

Abstract

The objective of the present study is to evaluate a practical approach for enhancing the compressive strength and minimizing deforming of aerated concrete. Test results measured in the aerated concrete mixes that were produced using 40% ground granulated blast-furnace slag (GGBS) as a replacement of cement and cured under different conditions (i.e., high temperatures of 40°C and 60°C for 10 hrs or 15 hrs) were compared with those obtained from the specimens cured under room temperature. No deforming was observed in the mixes with 40% GGBS. The compressive strength of the prepared aerated concrete cured under high temperature was higher than that of the concrete cured at room temperature, even at the lower ranges of the apparent dry density. However, the curing time is needed to be controlled as not exceeding 10 hrs at the temperature of 60°C to prevent the decrease in the compressive strength due to foam mergences.

Keywords : aerated concrete, ground granulated blast-furnace slag, deforming, curing condition, compressive strength

1. 서 론

경량 기포 콘크리트는 기포의 도입방법에 따라 크게 선 기포 방식의 습식형 기포 콘크리트와 후 기포 방식의 고온고압 기포 콘크리트(autoclaved aerated concrete, AAC)로 구분된다[1]. 선 기포방식의 습식형 기포 콘크리트는 시멘트계 재료에 기반한 페이스트와 기포 발생기를 통해 미리 생성된 기포군을 혼합해 제작한다. 경량 기포 콘크리트는 매트릭스 내의 수많은 공극으로 밀도가 보통 콘크리트의 약 1/4 이하 수준이며, 이와 같은 특성으로 높은 단열성능을 가진다[2]. 특히, 선 기포방식으로 제작되어지는 습식형 경량 기포

콘크리트는 우수한 시공성 및 경제성으로 국내에서는 주로 공동주택 등의 바닥 단열재 등으로 이용되고 있다[3]. 그러나 기존 습식형 기포 콘크리트는 타설 후 소포에 의한 체적감소 및 균열발생 등으로 인해 강도발현이 미흡한 문제점을 갖고 있다[4].

일반적으로 소포현상은 기포들 간의 병합에 의해 발생하게 된다. 기포콘크리트 내에 존재하는 기포량이 적을 때 개개의 기포는 응집력이 작아 간섭하지 않지만 기포량이 증가하게 되면 기포간의 응집력이 증가한다[5]. 이에 따라 기포간 이격거리가 감소하면 기포막의 병합 및 중첩이 발생하게 되며 이는 소포로 이어질 수 있다. 기포 콘크리트에서 소포현상을 방지하기 위한 대책으로 단위 시멘트양을 높이거나 물-결합재비(water to binder ratio, W/B)를 낮추어 기포의 양을 상대적으로 감소시켜 기포간의 간섭을 최소화하는 방법이 있다[6].

고로슬래그(ground granulated blast furnace slag, GGBS)는 시멘트보다 높은 분말도를 가지는 특성으로 습식

Received : July 26, 2018

Revision received : August 22, 2018

Accepted : October 23, 2018

* Corresponding author : Yang, Keun-Hyeok

[Tel: 82-31-249-9703, E-mail: yangkh@kgu.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

형 기포 콘크리트에서 결합재로 일정량 치환하여 사용할 경우 높은 충전효과에 기인하여 기포간 응집력을 낮추고 병합을 방지하는 효과도 기대할 수 있다[7]. 하지만 GGBS는 잠재 수경성 재료로서 기포 콘크리트에 혼입할 경우 초기 강도 저하나 응결지연이 발생할 수 있다. Kim et al.[8]은 습식형 기포 콘크리트에서 GGBS의 치환율이 40%일 때 소포 현상 개선과 함께 가장 높은 28일 강도 발현을 얻었으나, 낮은 초기 강도발현 문제점을 보였다. 이러한 문제점은 초기 양생 온도를 높임으로서 개선될 수 있는데, 양생환경이 35℃ 이상인 경우 응결시간 확보와 함께 초기에 빠른 강도발현이 가능하다. 결과적으로 습식형 기포 콘크리트에서 GGBS 혼입과 그에 따른 고온양생은 연속공극 형성 방식에 따른 소포 현상 제어 및 초기 강도 발현 등의 문제점 개선에 유리할 수 있다.

이 연구에서는 기포 콘크리트에서 소포현상을 줄이면서 압축강도를 높이기 위하여 GGBS 40%를 혼입하고 고온 양생 조건에 따라 경화된 기포 콘크리트의 공극특성과 압축강도를 평가하였다. 기포 콘크리트 배합은 가능하면 높은 단열성을 확보하기 위하여 열전도율 0.1W/m·K 수준에서 계획하였다. 기포 콘크리트의 양생단계에서 온도는 20℃, 40℃ 및 60℃로 변화 하였으며, 40℃ 및 60℃의 지속시간은 10시간 및 15시간으로 설정하였다. 굳기 전 기포 콘크리트에서는 슬러리 밀도, 소포 깊이 및 플로우를 측정 하였다. 경화 기포 콘크리트의 압축강도 및 겉보기 밀도(ρ)는 재령 7일 및 28일에서 측정하였으며, 응력-변형률(stress-strain curve) 관계, 탄성계수(E_c) 및 열전도율은 재령 28일에 측정하였다. 측정된 기포 콘크리트의 품질은 KS F 4039(현장 타설용 기포 콘크리트)에서 제시하는 요구 성능과 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 사용재료

배합에 사용된 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, OPC)와 GGBS의 밀도는 각각 3.15g/cm³ 및 2.89g/cm³이며, 비표면적은 각각 3,260 cm²/g 및 4,355 cm²/g이다(Table 1). OPC의 주요 성분으로서 CaO는 62.4%, SiO₂는 21.7%이다. GGBS의 주요 구성 성분은 CaO가 43.9%, SiO₂가 33.5%, Al₂O₃는 15.2%이다. 사용된 동물성 기포제는 암갈색 색상의 가수분해형 단백질 종류이며, 밀도는 1.06g/cm³ 이다.

Table 1. Physical properties and chemical compositions of cementitious materials

Materials	Specific Density (g/cm ³)	Surface area (cm ² /g)	Chemical compositions (% by mass)						
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI*
OPC	3.15	3,260	21.7	5.3	3.1	62.4	1.6	1.7	0.8
GGBS	2.94	4,355	33.5	15.2	0.5	43.9	2.6	2.5	3.93

*Loss on ignition

2.2 배합 상세

고로슬래그 혼입 기포 콘크리트의 배합실험은 ASTM C796-97에 따라 진행 하였다. Table 2에는 기포 콘크리트의 배합 및 양생조건을 나타내었다. 모든 배합에서 GGBS의 치환율은 기포 콘크리트에 대한 Kim et al.[8]의 실험결과를 바탕으로 40%를 선정하였으며 단위 결합재량 및 W/B 는 각각 250kg/m³와 30%로 고정하였다. 결합재로서 OPC

Table 2. Curing process of the prepared foamed concrete mixes and summary of test results

Specimens	Binder mixing ratio (%)		Foamed ratio (%)	Curing conditions		Results of fresh concrete				Results of hardened concrete			
	Cement	GGBS		Temperature (°C)	Retention time (hour)	Flow (mm)	Slurry density (g/cm ³)	Defoamed depth (mm)	Apparent specific density	Compressive strength (MPa)		Thermal conductivity (W/m·k)	Elastic modulus (MPa)
OPC	100	0	72	20	0	195	0.388	5	0.29	0.57	0.64	0.098	-
20-0				20	0				0.30	0.40	0.66	0.110	453
40-10				40	10				0.30	0.67	0.81	0.105	541
40-15	60	40	70	40	15	195	0.385	0	0.32	0.75	0.86	0.106	668
60-10				60	10				0.31	0.75	0.86	0.122	565
60-15				60	15				0.29	0.60	0.60	0.101	340

60%와 GGBS 40%를 사용한 배합에서의 변수는 양생온도 및 고온양생 지속시간이다. Table 2에서 OPC 100%를 사용한 기포콘크리트를 제외한 OPC 60%와 GGBS 40%의 결합재를 사용한 배합들의 시험체 명은 양생온도와 지속시간으로 구성하였다. 시험체 명의 첫 번째와 두 번째 숫자는 각각 양생온도와 지속시간을 의미한다. 예를 들어 40-10 시험체는 결합재로서 OPC 60%와 GGBS 40%를 사용한 기포 콘크리트를 항온항습 환경(온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $60\pm 5\%$)에서 24시간 동안 정치 한 후 40°C 온도에서 10시간 동안 양생한 이후 다시 항온항습의 환경으로 이동시켜 재령 28일까지 양생된 것을 의미한다. 이 연구에서는 양생 온도를 40°C 및 60°C 로 변화하였으며, 해당온도에서의 양생 지속시간을 10시간 또는 15시간으로 하였다. 항온항습의 환경에서는 재령 28일 동안 일정한 조건에서 양생하였으며, 40°C 및 60°C 의 높은 온도에서는 그 지속시간을 10시간 또는 15 시간으로 하였다. 계획된 고온조건에서 양생이 된 시험체는 다시 항온항습의 환경에서 재령 28일까지 양생하였다.

2.3 배합 및 시험방법

기포 콘크리트의 배합은 결합재를 70리터의 배합 용기에 투입 한 후 1분 동안 건비빔을 실시하였으며, 배합수를 투입한 후 3분 이상 충분히 혼합하여 페이스트를 생성하였다. 이후 5%로 희석된 동물성 기포제와 압축공기(0.6MPa 이상)를 기포 생성기에 투과시켜 기포균을 생성한 후 페이스트와 혼합하였다.

굳지 않은 기포 콘크리트의 슬러리 밀도, 침하깊이 및 플로우는 KS F 4039에 따라 측정하였다. 양생된 기포 콘크리트는 재령 28일에서 KS F 2459에 따라 겉보기 밀도를 측정하였다. 압축강도 및 응력-변형률 관계는 500kN 용량의 만능재료시험기를 이용하여 측정하였는데, 이때 압축 변형률 측정을 위하여 공시체 양쪽에 전기저항 게이지 및 변위 측정자기 센서(linear variable differential transformer)를 설치하였다. 탄성계수는 ASTM C469에 따라 응력-변형률 곡선에서 원점과 최대응력의 40%를 연결하는 기울기로 산정하였다. 열전도율은 ASTM C518에 따라 $300\times 300\times 50\text{mm}$ 인 시험체를 제작하여 재령 28일 때에 측정하였다. 기포 콘크리트의 공극형상 및 분포는 광학현미경을 이용하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지 않은 기포 콘크리트 특성

굳지 않은 기포 콘크리트의 특성에 대한 실험결과를 Table 2에 요약하였다. 기포 콘크리트 슬러리 밀도는 결합재 종류에 의해 영향을 받지 않았다. OPC 100%와 OPC 60% 및 GGBS 40%인 결합재를 이용한 시험체의 슬러리 밀도는 각각 $0.388\text{g}/\text{cm}^3$ 과 $0.385\text{g}/\text{cm}^3$ 로 유사한 수준이었다. 소포로 인한 침하는 OPC 100% 시험체에서는 5mm인 반면, OPC 60% 및 GGBS 40% 슬러리에서는 소포로 인한 침하가 발생하지 않았다. 즉, 시멘트보다 높은 분말도 갖는 GGBS를 혼합한 기포 콘크리트는 GGBS의 충전효과에 의해 기포간 응집력이 감소되었으며, 이로 인해 소포현상 또한 개선된 것으로 판단된다[9].

기포 콘크리트의 유동성 또한 사용된 결합재 종류에 의해 영향을 받지 않았다. 두 배합에서 측정된 플로우는 195mm로서 KS F 4039에서 제시하는 현장 타설용 기포 콘크리트의 요구 유동성(플로우 180mm 이상)을 만족하였다.

3.2 공극형상

경화된 기포 콘크리트의 공극형상 및 분포를 Figure 1에 나타내었다. OPC 100% 시험체는 6mm 이상 크기의 공극이 다수 형성되었다. 반면, OPC 60%와 GGBS 40% 결합재를 이용한 20-0, 40-10, 40-15 및 60-10 시험체는 0.5~3mm 크기의 공극이 고르게 형성되었다. 시멘트에 비해 높은 분말도를 갖는 GGBS 혼합은 기포 콘크리트에서 기포간 응집력을 감소시킬 수 있다. 이에 따라 GGBS를 40% 혼합한 시험체에 비해 상대적으로 기포간 응집력이 큰 OPC 100% 배합에서는 기포간 병합에 의해 열린공극이 형성될 수 있으며, 이는 비교적 큰 크기의 공극 형성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 시험체 60-15의 경우에는 0.5~3mm 크기의 공극 외에 5mm 이상 수준의 공극도 다수 관찰되었는데, 기포 콘크리트를 60°C 에서 15시간 이상 양생할 경우 오히려 내부 수증기압의 증가로 기포간 병합이 쉽게 발생할 수 있다고 판단된다.

3.3 압축강도 발현율

기포 콘크리트의 재령 7일과 28일 압축강도를 Figure 2에 나타내었다. 그림에서 세로축은 OPC 60%와 GGBS 40% 결합재를 이용한 표준양생 한 20-0 시험체의 압축강도로

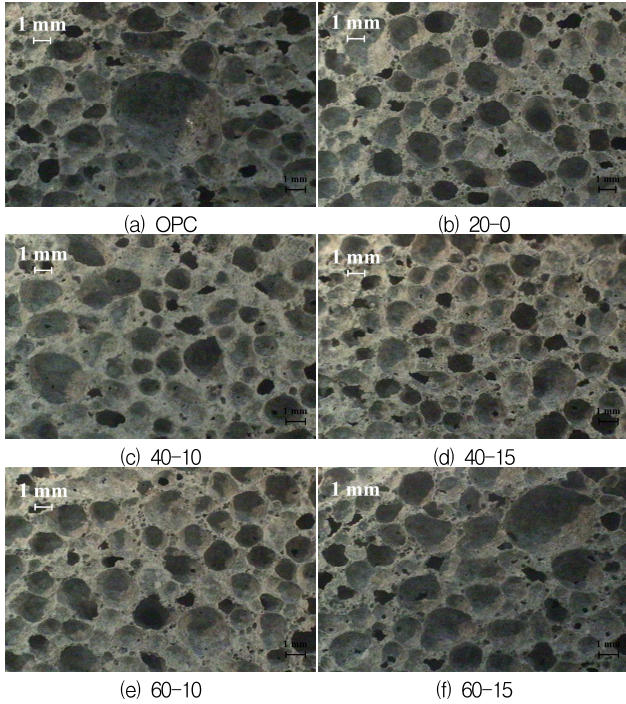


Figure 1. Typical micro-porosity image of aerated concrete

무차원한 값이다. 시험체 20-0의 압축강도 대비 재령 28일 동안 상온에서 양생한 OPC 100% 배합은 재령 7일에서 약 1.43 배 높았으나 재령 28일에서는 동일한 수준을 보였다. OPC 60% 및 GGBS 40% 결합재를 이용한 배합의 압축강도는 시험체 60-15를 제외한 모든 양생조건에서 시험체 20-0의 압축강도보다 높았다. 특히 시험체 60-10과 40-15의 압축강도가 높았는데, 시험체 20-0의 압축강도 대비 시험체 60-10 시험체의 압축강도는 재령 7일과 28일에서 각각 1.88배 및 1.30배 높았으며, 시험체 40-15는 각각 1.86배와 1.30배 높았다. 시험체 60-15 시험체의 재령 28일 압축강도는 시험체 20-0의 경우에 비해 약 9% 낮았는데, 이는 Figure 1 (f)에 나타낸바와 같이 기포간 병합으로 인한 다수의 큰 공극의 영향이라 판단된다. 결과적으로 GGBS의 혼입과 양생 온도의 상승은 기포콘크리트의 강도 발현 증가에 긍정적인 영향을 미쳤는데, 그 영향은 재령 28일 보다는 재령 7일에서 더욱 컸다. 이는 초기재령에서의 양생온도 상승이 결합재로서 활용된 GGBS의 수화반응 속도 향상과 함께 기포콘크리트의 강도발현 성능 확보에 있어 유리할 수 있음을 의미한다[10]. 하지만 기포간 병합으로 인한 압축강도 저하를 방지하기 위해서는 양생온도 60°C에서 그 지속시간을 10시간 이하로 제한할 필요가 있다.

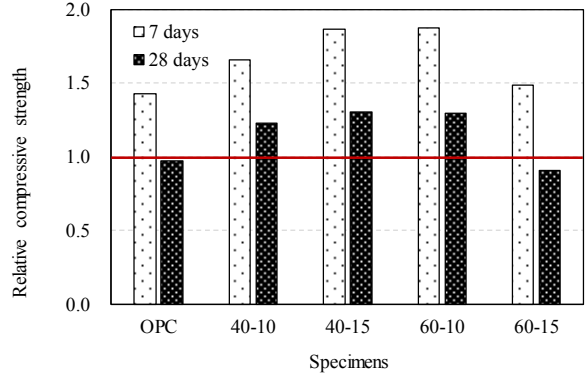


Figure 2. Compressive strength of aerated concrete relative to that of the specimen 20-0

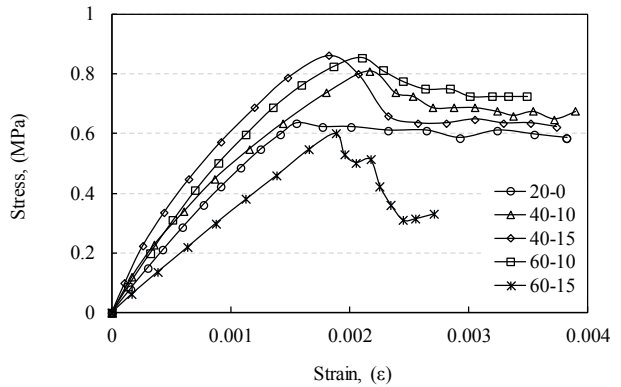


Figure 3. Stress-strain curve of aerated concrete

3.4 응력-변형률 관계

고로 슬래그 혼입 기포 콘크리트의 응력-변형률 관계 특성은 압축강도에 의해 중요한 영향을 받았다(Figure 3). 압축강도가 높은 기포 콘크리트는 초기강성(탄성계수)의 증가와 함께, 최대 응력 시의 변형률도 증가하는 경향을 보였다. 최대응력 이후 거동은 시험체 60-10를 제외하고 비슷한 소성흐름 현상을 보였다. 시험체 60-15는 가장 낮은 압축강도에 불구하고 최대응력 이후 다른 시험체에 비해 빠른 내력의 감소 기울기를 보였다. 이는 큰 공극들 사이의 시멘트 매트릭스들에서 하중저항 능력이 현저히 감소하였기 때문으로 판단된다.

3.5 겉보기 밀도

고로슬래그 혼입 기포 콘크리트의 겉보기 밀도는 양생온도 및 고온양생 유지시간에 큰 영향을 받지 않았다. 시험체 20-0, 40-10, 40-15 및 60-10에서 측정된 겉보기 밀도는 0.30~0.32g/cm³ 수준으로서 KS F 4039의 0.4품

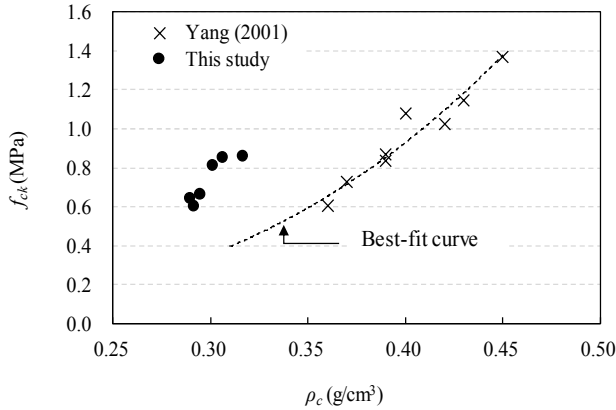


Figure 4. Effect of apparent specific density on the compressive strength of aerated concrete

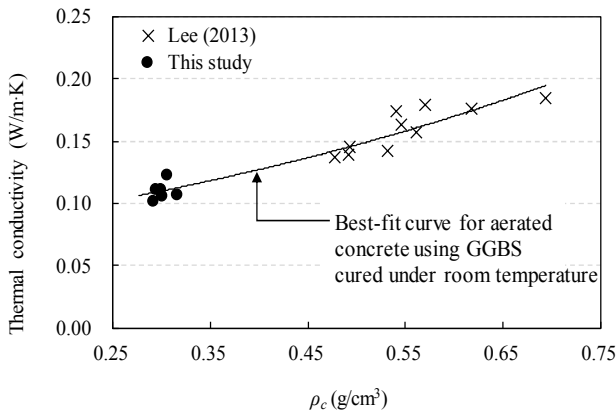


Figure 5. Effect of apparent specific density on the thermal conductivity of aerated concrete

(0.30g/cm^3 이상 0.40g/cm^3 미만)을 만족하였다. 반면 OPC 100% 배합 및 시험체 60-15의 겉보기 밀도는 0.29g/cm^3 로 다른 시험체에 비해 다소 낮았다.

Figure 4에는 GGBS 혼입 기포 콘크리트의 압축강도와 겉보기 밀도와의 관계를 나타내었다. 비교를 위해 상온에서 양생된 OPC 60%와 GGBS 40% 결합재를 이용한 기포 콘크리트 실험결과[7]를 함께 나타내었다. 일반적으로 기포 콘크리트의 압축강도는 겉보기 밀도가 감소함에 따라 감소한다. 이 연구에서는 열전도율 $0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$ 수준의 기포 콘크리트 생산을 목표로 하였기 때문에 단위 결합재량을 250kg/m^3 사용하였다. 그에 따라 기포 콘크리트의 겉보기 밀도는 약 0.3g/cm^3 수준으로 매우 낮으며 28일 압축강도도 1MPa 이하로 낮다. 하지만 상온양생을 실시한 GGBS 혼입 기포 콘크리트의 압축강도와 겉보기 밀도 관계와 비교하면 이 연구의 배합들은 동일 겉보기 밀도에서 비교적 높은 압축강도

발현 특성을 보인다. 즉, 고온양생을 실시한 GGBS 혼입 기포 콘크리트의 압축강도는 낮은 밀도 범위에서도 상온 양생한 기포 콘크리트의 강도보다 높았다.

3.6 열전도율

모든 시험체의 열전도율은 GGBS 혼입 및 양생조건에 관계없이 KS F 4039의 0.4품 조건($0.130\text{W/m}\cdot\text{K}$ 이하)을 만족하였다. 시험체 20-0, 40-10 및 40-15의 열전도율은 각각 $0.110\text{W/m}\cdot\text{K}$, $0.105\text{W/m}\cdot\text{K}$ 및 $0.106\text{W/m}\cdot\text{K}$ 로 비슷한 수준이었으며, 시험체 60-10는 가장 높은 열전도율 값($0.122\text{W/m}\cdot\text{K}$)을 보였다(Table 2).

Figure 5에는 기포 콘크리트의 열전도율에 대한 겉보기 밀도의 영향을 나타내었다. 이 연구의 시험체들은 상온에서 양생된 기존 실험결과들[10]의 추세선과 동일한 선상에 있었다. 즉, 고온 양생된 GGBS 혼입 기포 콘크리트의 열전도율은 겉보기 밀도의 감소와 함께 감소하는데 그 감소 경향은 상온 양생의 경우와 비슷하였다. 기포 콘크리트의 열전달 저항성능에 대한 GGBS 혼입 및 고온양생의 영향은 미미하다고 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 기포 콘크리트에서 소포현상을 줄이면서 압축강도를 높이기 위하여 GGBS 40%가 혼입된 배합을 고온조건에서 양생하였다. 기포 콘크리트 배합은 가능하면 높은 단열성을 확보하기 위하여 열전도율 $0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$ 수준에서 계획하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) OPC 100% 기포 콘크리트에서 침하 깊이는 5mm인 반면 GGBS 40%를 혼입한 배합에서는 침하가 나타나지 않았다.
- 2) GGBS 40%를 혼입한 배합을 40°C 에서 10시간 또는 15시간 양생 그리고 60°C 에서 10시간으로 양생한 경우에는 OPC 100% 배합에 비해 공극크기들이 작았다. 반면 GGBS 40%를 혼입한 배합을 60°C 에서 15시간 양생한 경우에는 OPC 100% 배합에서와 같이 5mm 이상의 대형 공극들이 다수 발생하였다.
- 3) GGBS 40%를 혼입한 배합을 40°C 에서 10시간 또는 15시간 양생 그리고 60°C 에서 10시간으로 양생한 경우 28일 압축강도는 상온양생한 동일배합 또는 OPC 100% 배합의 경우에 비해 약 1.2~1.3배 높았다. 반

면 GGBS 40%를 혼입한 배합을 60℃에서 15시간 양생한 경우 28일 압축강도는 상온 양생한 동일배합의 경우에 비해 약 9% 낮았다.

- 4) GGBS 40%를 혼입한 배합을 40℃에서 10시간 또는 15시간 양생 그리고 60℃에서 10시간으로 양생한 경우 겉보기 밀도와 열저항성은 KS F 4039의 0.4품의 요구조건을 만족하였다.
- 5) GGBS의 혼입 및 고온양생의 영향은 기포 콘크리트의 소포제어 및 압축강도 증진 측면에서 유리하였지만, 밀도 및 열전달 저항성능에 미치는 영향은 미미하였다.

요 약

이 연구의 목적은 기포 콘크리트의 소포를 제어하면서 압축강도를 높일 수 있는 실용적 조건을 평가하는 것이다. 시멘트 양 대비 고로슬래그를 40% 혼입한 기포 콘크리트를 고온조건(40℃ 및 60℃의 온도에서 10시간 및 15시간)에서 양생 후 측정된 실험결과를 상온양생 조건의 경우와 비교하였다. 고로슬래그를 40% 혼입한 기포 콘크리트에서 침하는 발생하지 않았다. 고온양생을 실시한 기포 콘크리트의 압축강도는 낮은 밀도 범위에서도 상온 양생한 기포 콘크리트의 강도보다 높았다. 하지만 기포간 병합으로 인한 압축강도 저하를 방지하기 위해서는 양생온도 60℃에서 그 지속시간을 10시간 이하로 제한할 필요가 있었다.

키워드 : 기포 콘크리트, 고로슬래그, 소포, 양생조건, 압축강도

Acknowledgement

This research was supported by a grant(18CTAP-C132555-02) from Technology Advancement Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government and the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA)

References

1. Lee CH, Eo SH, An experimental study on the physical properties of lightweight foamed concrete according to the mix proportions, Journal of the Construction and environment research institute, 2014 Dec;9(2):52-63.
2. Kim DH, Choi DH, An experimental study on the characteristics of lightweight foamed concrete used as the refractory filler, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 2012 Dec;12(6):231-7.
3. Lee KH, Yang KH, Effect of fiber addition for improving the properties of lightweight foamed concrete, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2015 Aug;15(4):383-9.
4. Han SY, Han MC, Properties and mock-up test of lightweight foamed concrete based on blast furnace slag by crack reducing admixture, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2017 Dec;17(6):507-15.
5. Lee SH, Yong WJ, Park JJ, A study on the sound absorption properties of cellular concrete with continuous voids, Journal of the Korea Concrete Institute, 2003 Aug;15(4):566-73.
6. Lee SH, Effect of foaming agent on the continuous void in lightweight cellular concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 2002 Oct;14(5):742-9.
7. Yang WH, An experimental study on the properties of foamed concrete within blast-furnace slag [master's thesis], [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2001, 58 p.
8. Kim SW, Park WS, Jang YI, Yun SH, Yun HD, Kim DG, Effect of curing temperature on the strength development of concrete containing blast-furnace slag and silica fume, Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, 2014 Dec;4(2):271-80.
9. Oh SC, Seo CH, Kim DH, An experimental study on the physical properties of foamed concrete with blast-furnace slag, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2002 Jul;18(7):59-67.
10. Lee KH, Development of mixture proportioning model for low-density high-strength foamed concrete [master's thesis], [Suwon (Korea)]: Kyonggi University; 2013, 103 p.

1. Lee CH, Eo SH, An experimental study on the physical properties