

경량 기포콘크리트의 성능향상에 대한 섬유혼입의 영향

Effect of Fiber Addition for Improving the Properties of Lightweight Foamed Concrete

이 경 호¹

양 근 혁^{2*}

Lee, Kyung-Ho¹ Yang, Keun-Hyeok^{2*}

Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 443-760, Korea ¹
Department of Plant-Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 443-760, Korea ²

Abstract

The objective of this study is to develop mixture proportioning approach of crack controlled lightweight foamed concrete without using high-pressure steam curing processes, as an alternative to autoclaved lightweight concrete blocks (class 0.6 specified in KS). To control thermal cracks owing to hydration heat of cementitious materials, 30% ground granulated blast-furnace slag (GGBS) was used as a partial replacement of ordinary portland cement (OPC). Furthermore, polyvinyl alcohol (PVA) and polyamid (PA) fibers were added to improve the crack resistance of foamed concrete. The use of 30% GGBS reduced the peak value of hydration production rate measured from isothermal tests by 28% and the peak temperature of foamed concrete measured from semi-adiabatic hydration tests by 9%. Considering the compressive strength development, internal void structure, and flexural strength of the lightweight foamed concrete, the optimum addition amount of PVA or PA fibers could be recommended to be 0.6kg/m³, although PA fiber slightly preferred to PVA fiber in enhancing the flexural strength of foamed concrete.

Keywords : lightweight foamed concrete, fiber reinforcement, crack restriction, hydration heat

1. 서 론

최근 건축물 에너지 고효율의 요구가 증가됨에 열전도율이 낮은 기포콘크리트가 건축물의 간막이벽, 주택의 외벽 단열 및 패시브하우스 등 건축물 적용 사례가 증가하고 있다. 일반적으로 기포콘크리트는 골재를 사용하지 않고 시멘트 슬러리 내에 다량의 공극을 도입하여 단열성과 경량성을 주요 목적으로 사용되고 있다. 기포콘크리트는 제조 방식에 따라 크게 건식형인 ALC와 현장타설용의 습식형으로 구분된다[1]. ALC 블록의 경우 2차제품의 형태로 주로 단열 간

막이벽, 패시브 하우스 및 돔하우스 등에 사용된다. 습식형인 현장 타설용 기포콘크리트는 주로 공동주택 및 단독주택의 바닥구조에서 단열 및 차음성을 목적으로 사용된다.

ALC 블록은 재료성형 상의 문제로 인해 다음과 같은 구조적·유지관리적 문제점들이 지적되고 있다[2,3]: 1) 비교적 모서리 경도가 낮아 운반 및 취급 시 모서리 깨짐 등이 발생할 수 있다; 2) 못과 같은 앵커류의 시공이 어려우며, 습식환경에서 내부로 수분침투가 용이하여 단열성을 떨어뜨린다. 특히 ALC 블록은 제조 및 양생 시 고온·고압을 필요로 하는데, 제조 공정에서 약 340 kWh/m³의 에너지를 소비하는 에너지 다소비 산업에 속한다[4]. 이에 따라 ALC 블록의 산업은 다소 정체되어 있다.

최근 ALC 블록의 단점을 보완하기 위해 ALC 성능 수준의 습식형 경량기포 콘크리트 연구가 국내외적으로 이루어지고 있다[5,6]. 습식형 경량기포 콘크리트는 독립 공극분포가 가능하며 일정 이상의 모서리 경도를 높일 수 있을 뿐만 아니라

Received : March 12, 2015

Revision received : April 6, 2015

Accepted : June 4, 2015

* Corresponding author : Yang, Keun-Hyeok

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

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

제조 공정에서 소비되는 에너지는 매우 낮다. 하지만 일반적으로 습식형 경량기포 콘크리트의 제조 시 ALC 블록과 동일한 수준의 밀도에서 동등 이상의 압축강도 발현을 위해서는 높은 단위 시멘트 양을 사용하게 되며[7], 높은 단위 시멘트 양의 사용은 수화열에 의한 온도균열 및 기포 콘크리트의 양생 시 건조수축에 의한 균열 발생 가능성이 높게 된다[8].

본 연구의 목적은 0.6품의 ALC 블록과 동등수준의 절건 밀도와 압축강도를 갖는 습식형 경량기포 콘크리트에서 균열제어를 위한 배합설계 제시이다. 기포콘크리트에서 시멘트의 수화열에 의한 온도균열 발생 가능성을 낮추기 위하여 보통포틀랜드시멘트(ordinary Portland cement, OPC)의 30%를 고로슬래그(granulated ground blast-furnace slag, GGBS)로 치환하였다. 또한 기포콘크리트의 균열저항성을 높이기 위하여 PVA(polyvinyl alcohol) 및 PA(polyamid) 섬유를 혼입하였다. 섬유의 혼입이 기포콘크리트의 플로우, 공극분포 및 압축강도와 휨강도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 배합상세 및 실험

2.1 사용재료

일반적으로 OPC의 수화 발열량은 GGBS의 치환율이 증가와 함께 감소한다. 하지만 콘크리트의 압축강도 등의 품질 관리를 위해 GGBS의 치환율은 보통 50% 이하를 적용하고 있다. 본 연구에서는 기포콘크리트의 압축강도 발현을 고려하여 GGBS의 치환율을 30%로 결정하였다. OPC의 밀도 및 비표면적은 각각 $3,150\text{kg/m}^3$ 및 $3,340\text{cm}^2/\text{g}$ 이다. 사용된 GGBS는 KS 3종 규격으로서 밀도와 비표면적은 각각 $2,900\text{kg/m}^3$ 및 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 이다.

기포콘크리트의 균열제어를 위해 사용된 PVA 및 PA섬유의 특성을 Table 1에 나타내었다. PVA섬유는 인장강도가 900MPa 이며 형상비는 300 이다. PA섬유는 인장강도가 620MPa 이며, 형상비는 261 이다. 두 섬유의 길이는 모두 6mm이다.

기포제는 독립형 기포를 생성하는 독일의 N사 제품으로서 암갈색의 액상형이며, 어떠한 화학반응도 일으키지 않은 가수분해형 단백질 종류이다. 기포제로 사용 시 2.5%의 농도로 물에 희석시켜 사용하였다.

낮은 물-결합재비에서 유동성확보를 위해 사용된 고성능

Table 1. Properties of fibers used

Type	Length (mm)	Diameter (μm)	Aspect ratio	Density (g/cm^3)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
PVA	6	20	300	1.2	900	20,000
PA	6	23	261	1.14	620	30,000

Table 2. Mixture proportions of foamed concrete mixtures

Unit binder content (kg/m^3)	Water to binder ratio (%)	Air content (%)	Super plasticizer (by binder%)	Fiber content (kg/m^3)
500	30	63.2	0.4	0.3, 0.6, 0.9, 1.2

감수제는 황색의 액상형이며, 폴리카르본산계열이다. 고성능 감수제의 밀도는 $1,090\text{kg/m}^3$ 이며, 고형분은 25%이다.

2.2 배합상세

섬유가 혼입된 습식형 경량 기포콘크리트의 주요 변수는 혼입 섬유의 종류 및 혼입량이며, 배합상세를 Table 2에 나타내었다. 기포콘크리트 체적 대비 혼입된 섬유의 양은 PVA섬유의 경우 0.3kg/m^3 , 0.6kg/m^3 , 0.9kg/m^3 및 1.2kg/m^3 로 증가 하였으며, PA섬유의 경우 0.6kg/m^3 와 0.9kg/m^3 이다. 기포콘크리트의 목표 플로우와 28일 압축강도는 각각 $240\pm 10\text{mm}$ 와 4.9MPa 이다. 기포콘크리트의 배합설계는 Yang의[4]를 참고하여 결정 하였으며, 그 상세는 다음과 같다: 1)결합재는 OPC 70%와 GGBS 30%로 구성된다; 2) 단위 결합재량은 500kg/m^3 이다; 3) 물-결합재비는 30%; 4) 기포율은 63.2%; 5) 고성능 감수제 첨가량은 단위 결합재량의 0.4%이다.

기포콘크리트의 배합 방식은 선기포 방식을 이용하였다. 결합재와 섬유를 배합용기에서 핸드믹서기로 1분 30초 이상 건비빔을 실시하고 여기에 물과 감수제를 넣고 3분이상 습비빔을 실시하여 페이스트를 형성한다. 생성된 페이스트에 미리 형성시킨 기포균을 투입하고 다시 1분 30초 이상 2차 습비빔을 실시하여 기포콘크리트슬러리를 완성한다.

2.3 양생 및 측정상세

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 물리적 특성을 평가하기 위해 KS F 4039의 규격[9]에 준하여 굳지 않은 콘크리트에서 슬러리밀도, 플로우 및 침하깊이를, 굳은 콘크리트에서 절건밀도 및 압축강도를 측정하였다. 기포콘크리트의 역학적 특성은 기포 체적에 의해 중요한 영향을 받지만 목표 기포 체적비에 대한 실제 기포의 투입은 쉽지 않다. 본 배합에서 실 기포 체적비는 공업용 메틸알콜을 이용한 간이 소포법

[10]을 이용하여 측정하였다.

굳은 콘크리트의 역학적 특성에서는 압축강도 이외에 탄성계수, 및 휨강도(KS F 2408 : 콘크리트의 휨강도 시험방법)를 측정하였다. 압축강도 및 응력-변형률 관계는 ϕ 100×200mm 실린더를 이용하여 측정하였다. 섬유 혼입이 기포콘크리트의 공극구조에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수은 침입법(mercury intrusion porosimetry, MIP)을 통한 공극률분석 및 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)에 의한 공극형상과 섬유분포를 측정하였다.

굳은 콘크리트의 특성평가를 위한 시험체들은 항온·항습 환경에서 48시간 양생 후 폴리에틸렌 팩에 밀봉양생 및 수중양생을 하였다. 측정된 슬러리밀도, 플로우, 침하깊이는 KS F 4039와 비교하였으며, 절건밀도 및 압축강도는 KS F 2701[11]와 비교하였다.

3. 사용 결합재의 수화발열 평가

Figure 1에는 OPC 100%와 OPC 70%+GGBS 30%인 경우 결합재들의 미소수화열 비교를 나타내었다. 미소수화열은 ASTM C 1702의 절차에 따라 양생온도 20℃에서 측정하였다. Figure 2에는 OPC 100%와 OPC 70%+GGBS 30%인 결합재를 사용하여 배합된 기포콘크리트에서 간이단열 온도상승 실험결과를 나타내었다. 간이단열 온도상승 실험은 양생온도 20℃에서 두께 100mm의 발포스티로폼을 이용하여 내부 사이즈가 300mm×300mm×300mm로 제작된 단열상자를 이용하였다[12]. 간이단열 온도상승 실험을 위한 기포콘크리트 배합상세로서 단위 결합재량은 500kg/m³, 물-결합재 비는 30%, 그리고 기포율은 63%이다.

누적 미소수화열량은 OPC 100%와 OPC 70% + GGBS 30%가 각각 76.3cal/g 및 74.3cal/g이며, 두 종류 결합재 모두 약 12시간에서 열발생률이 가장 높았다. 12시간에서 최대 열발생률은 OPC 100% 대비 OPC 70%+GGBS 30%가 약 28% 낮은 열발생률을 나타내었다(Figure 1). 간이단열 온도상승실험의 경우 OPC 100% 및 OPC 70%+GGBS 30%의 내부 최고온도는 각각 82.6℃ 및 75.2℃이며, 두 종류의 결합재 모두 12시간에 내부 최고 온도를 나타내었다. 간이단열 온도상승실험에서 OPC 70%+GGBS 30%가 OPC 100%

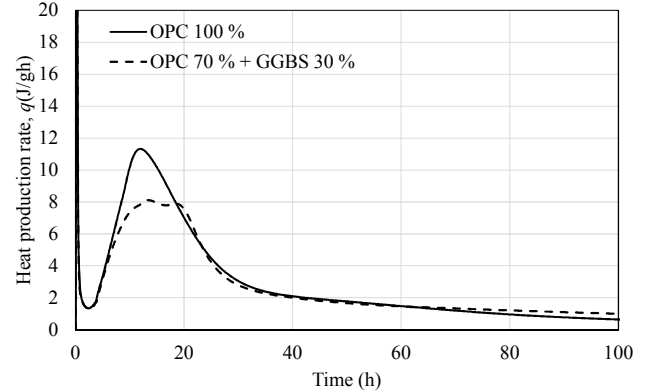


Figure 1. Hydration heat production rates of paste samples measured from isothermal tests

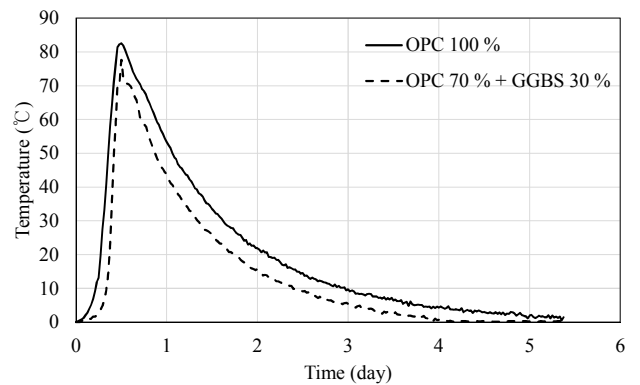


Figure 2. Temperature profiles of lightweight foamed concrete mixtures measured from semi-adiabatic hydration tests

대비 내부 최고온도를 약 7.4도 저감(약 9%)시켰다. 기포콘크리트 배합에서 수화열 저감을 위하여 OPC의 30%를 GGBS로 치환하였지만 큰 효과를 얻을 수 없었다. 기포 콘크리트에서 효율적인 수화열 저감을 위해서는 압축강도 저하에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 플라이애쉬 등의 첨가를 고려할 필요가 있다고 판단된다.

4. 실험결과 및 분석

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 실험결과를 Table 3에 요약하여 나타내었다. 모든 배합에서 소포현상은 나타나지 않았다. 즉 사용된 섬유는 기포의 소포에 영향을 미치지 않았다.

4.1 플로우

섬유의 혼입량에 따른 기포콘크리트의 플로우는 Table 3에 나타낸바와 같이 210~240mm의 범위로 나타났으며,

Table 3. Summary of test results.

Specimens	Slurry density (kg/m ³)	Flow (mm)	Defoamed depth(mm)	Actual air content(%)	Oven-dried density (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)		Modulus of elasticity (MPa)	Modulus of rupture (MPa)
						7day	28day		
Plain	710	240	0	64	574	2.97	4.86	2,519	0.28
P03	711	235	0	64	581	2.68	4.91	2,476	0.36
P06	709	240	0	64	582	2.90	4.90	2,485	0.44
P09	711	235	0	64	580	3.03	4.74	2,410	0.48
P12	701	210	0	65	570	2.52	4.16	2,189	0.65
A06	713	240	0	64	584	2.67	4.91	2,487	0.58
A12	704	225	0	66	567	2.88	4.87	2,522	0.36

* In specimen notation except plain specimen with no fiber, the first and second parts refer to the type (P: PVA fiber and A: PA fiber) and content of fiber, respectively. For example, specimen P03 indicates the lightweight foamed concrete with the unit content of 0.3kg/m³.

섬유종류에 관계없이 섬유 혼입률 1.2kg/m³이하에서 목표 플로우를 만족하였다. 기포콘크리트의 플로우는 섬유의 혼입량이 0.9kg/m³까지는 큰 영향을 받지 않았지만, 혼입량 1.2kg/m³이상에서는 급격히 감소하였다. 이는 섬유 혼입량의 증가와 함께 나타나는 섬유 뭉침현상때문이라 판단된다 (Figure 3).

4.2 슬러리밀도 및 실 기포율

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 슬러리밀도 및 실기포율은 Table 3에 나타난 바와 같이 주요 변수인 섬유 종류 및 혼입량에 대한 영향은 받지 않았다. 슬러리밀도 및 실기포율은 기포콘크리트의 압축강도 및 절건밀도 등의 품질을 예측할 수 있는 중요한 자료로 활용될 수 있으며, 계획된 슬러리밀도 및 기포율과의 오차를 비교하여 오차 범위가 낮을수록 높은 수준으로 기포콘크리트의 품질을 예측 평가 할 수 있다 [7]. 섬유가 혼입된 기포 콘크리트의 슬러리밀도는 704~713kg/m³의 범위로 나타났으며, 계획된 슬러리밀도와 오차범위는 0.06%~1.77%로 평균 1.12%의 오차를 나타냈다. 실 기포율은 64%~66%의 범위로 나타났으며, 계획된 기포율과 오차범위는 1.24%~4.39%로 평균 1.91%의 오차를 나타냈다. 이는 기포콘크리트의 배합에서 목표 기포 혼입량이 적절하게 이루어졌음을 의미한다.

4.3 섬유분포 및 공극분포

PVA섬유가 혼입된 기포콘크리트에서 전형적인 섬유 분포 형상을 Figure 4에 나타내었다. PVA섬유가 0.6% 혼입된 기포콘크리트에서 섬유는 공극주위 그리고 공극과 공극을 연결하는 가교로서 분산이 잘 이루어졌다. 반면 PVA섬유가 1.2kg/m³ 혼입된 기포콘크리트에서는 섬유의 뭉침이 발

생하였으며, 특히 뭉친섬유 주위에는 기포들이 파괴되는 현상을 보였다. 즉, 기포콘크리트에서 1.2kg/m³ 이상의 섬유 혼입은 섬유의 뭉침현상으로 인해 유동성뿐만 아니라 내부 공극형성에도 부정적 영향을 미쳤다(Figure 4(b)참조).

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 내부 미세공극의 분포를 Table 4 및 Figure 5에 나타내었다. 섬유가 혼입된 기포콘크리트의 경우 겔공극($\phi < 10$ nm)은 존재하지 않았으며, 내부 공극은 주로 매크로 모세관공극($50 \text{ nm} \leq \phi < 50 \mu \text{ m}$)으로 형성되어 있었는데[13], 여기서 ϕ 는 공극의 지름이다. 공극크기는 PVA섬유가 혼입된 경우 섬유의 혼입량이 증가할수록 크기가 큰 공극이 증가한 반면, PA 섬유가 혼입된 경우에는 섬유 혼입량에 관계없이 섬유 무혼입 대비 미세공극이 증가하였다.



Figure 3. Fiber ball phenomenon in foamed concrete

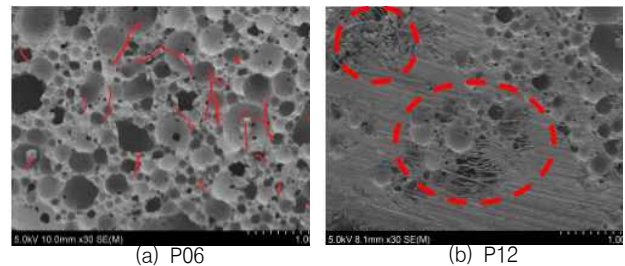


Figure 4. Typical fiber distribution in concrete specimens

Table 4. Pore size of foamed concrete

Pore diameter(nm)	Pore volume (%)				
	Plain	P06	P12	A06	A12
1,000~5,000	50.88	48.77	15.36	62.97	65.56
5,000~10,000	19.80	21.14	51.05	12.03	4.04
10,000~50,000	26.45	26.90	30.97	17.54	28.51

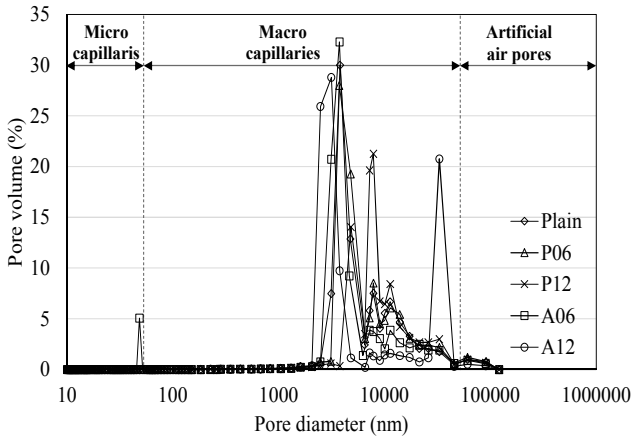


Figure 5. Pore size distribution

4.4 절건밀도와 압축강도

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 절건밀도 실험결과를 Figure 6에 나타내었다. 섬유가 혼입된 기포콘크리트의 절건밀도는 567~584kg/m³ 범위로 나타났으며, 모든 배합에서 ALC블록의 0.6품에 해당하는 결과를 나타내었다. 섬유가 혼입된 기포콘크리트의 절건밀도는 섬유 종류 및 혼입량에 대해서는 영향을 받지 않은 반면, 슬러리밀도 및 실 기포율에 큰 영향을 받았다(Table 3 참조).

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 압축강도를 Figure 7에 나타내었다. PA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 압축강도는 섬유의 혼입량에 대해 영향을 받지 않았다. PVA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 압축강도는 섬유 혼입량이 0.9kg/m³까지는 섬유 혼입량에 대해 영향을 받지 않았지만, 섬유 혼입량 1.2kg/m² 이상에서는 압축강도가 감소하였다. 이는 Figure 4에 나타낸바와 같이 뭉친 섬유 주위에서 기포의 파괴로 인한 내부결함 때문으로 판단된다. PVA 섬유 혼입량이 0.3kg/m³, 0.6kg/m³과 PA 섬유 혼입량이 0.6kg/m³인 시험체들의 28일 압축강도는 ALC 블록의 0.6품에 해당하는 4.9MPa를 만족하였다.

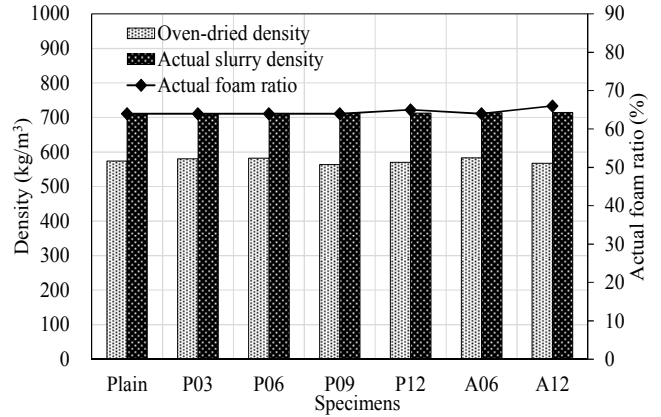


Figure 6. Density and actual foam ratio of foamed concrete

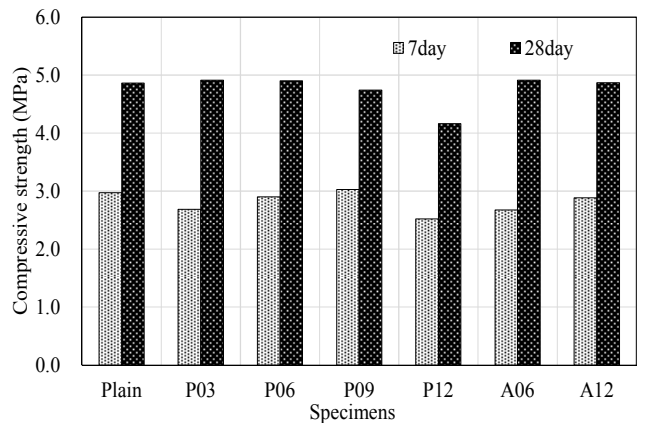


Figure 7. Compressive strength of foamed concrete

4.5 탄성계수

섬유가 혼입된 기포콘크리트의 탄성계수를 차원분석을 위해 압축강도의 루트승으로 무차원($E_c/\sqrt{f_{ck}}$)하여 Figure 8에 나타내었다. 섬유가 혼입된 콘크리트의 $E_c/\sqrt{f_{ck}}$ 는 1,073~1,146 수준에 있었다. 섬유가 혼입된 기포콘크리트의 탄성계수는 섬유의 종류 및 혼입량의 영향보다는 압축강도의 영향을 크게 받았으며, PVA섬유가 혼입된 경우 섬유 혼입량이 0.9kg/m³ 이상 혼입 시 탄성계수는 감소하는 것으로 나타났다.

4.6 휨강도

PVA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 휨강도는 0.2MPa ~ 0.65MPa의 범위로 나타났으며, 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 증가하였다(Table 3). 섬유의 혼입량이 0kg/m³에서 1.2kg/m³까지 0.3kg/m³씩 증가함에 따라 기포콘크리트의 휨강도는 각각 약 1.32배, 1.57배, 1.74배 및 2.36배

증가하였다. PA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 경우 휨강도는 0.21MPa~0.26MPa 범위로 나타났다. 섬유의 혼입량이 0.6kg/m³일 때 기포콘크리트의 휨강도는 섬유 무혼입 콘크리트 대비 약 2.01 배 증가하였으며, 혼입량 1.2kg/m³에서는 1.70 배로 증가하였다. PA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 휨강도는 혼입량이 0.6kg/m³일 때 무혼입에 비해 약 2배 이상 증가하지만 혼입량이 1.2kg/m³일 때에는 증가율이 오히려 감소하였다. 즉, 기포콘크리트의 휨 강도는 PVA 또는 PA 섬유 혼입량이 증가할수록 증가하지만 혼입량이 1.2kg/m³이상에서는 오히려 떨어졌다.

차원분석을 위해 섬유가 혼입된 기포콘크리트의 휨강도를 압축강도의 루트승으로 무차원($f_r/\sqrt{f_{ck}}$)하여 Figure 9에 나타내었다. 섬유가 혼입된 콘크리트의 $f_r/\sqrt{f_{ck}}$ 는 0.13~0.32 수준에 있었다. 동일 섬유 혼입량에서는 PA 섬유 기포콘크리트의 $f_r/\sqrt{f_{ck}}$ 가 PVA 섬유 기포콘크리트에 비해 높았다.

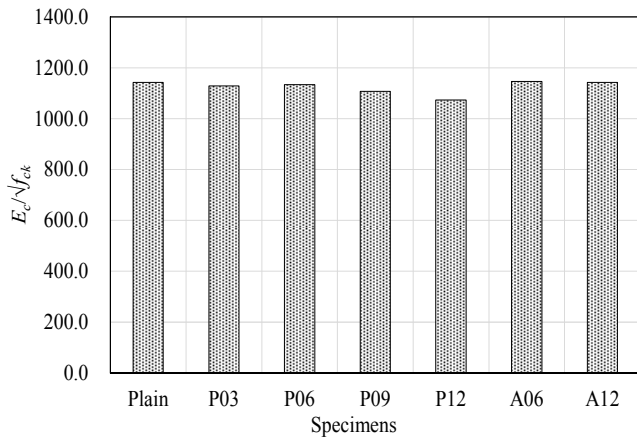


Figure 8. $E_c/\sqrt{f_{ck}}$ of each specimen

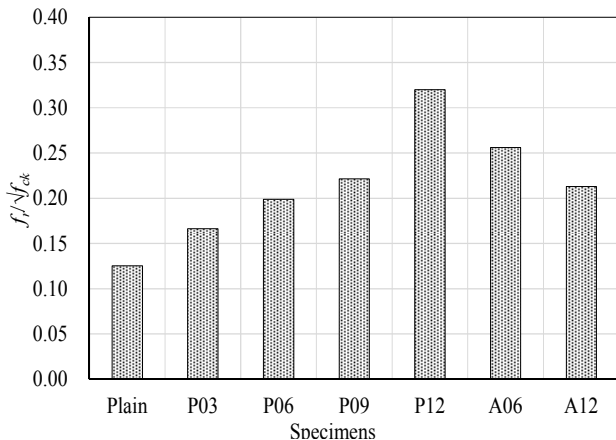


Figure 9. $f_r/\sqrt{f_{ck}}$ of each specimen

5. 결 론

ALC 블록 0.6폼 수준의 밀도와 압축강도를 갖는 습식형 경량 기포콘크리트에서 균열제어를 위해 고로슬래그를 사용한 시멘트 치환 및 섬유를 혼입한 배합실험을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시멘트에 30%의 고로슬래그를 치환한 결합재는 미소수 화열 측정 결과 최대 열발생률을 약 28% 저감시키며, 간이단열온도상승 실험결과 내부 최고 온도를 약 9% 저감시킴으로서 수화열 저감효과에 크지는 않았다.
- 2) 기포콘크리트에서 PVA 및 PA섬유의 혼입량은 0.9kg/m³ 이상 혼입 시 섬유뭉침이 발생하였으며, 섬유뭉침은 기포콘크리트의 플로우 및 압축강도를 감소시켰다.
- 3) PVA섬유가 혼입된 기포콘크리트의 압축강도는 섬유 혼입량이 0.9kg/m³ 이하에서는 섬유 혼입량에 영향을 받지 않았지만 섬유 혼입량이 1.2kg/m³에서는 오히려 압축강도가 감소하였다.
- 4) 기포콘크리트의 $f_r/\sqrt{f_{ck}}$ 는 섬유혼입량이 증가할수록 증가하지만 그 혼입량이 1.2kg/m³에서는 오히려 감소하였다.
- 5) 기포콘크리트의 공극분산성 및 휨 강도 향상을 고려 하면 최적의 섬유 혼입률은 0.6kg/m³이 추천된다.

요 약

ALC 블록(0.6폼) 성능 수준의 습식형 경량 기포콘크리트 배합설계 제시를 위하여 7배합의 섬유가 혼입된 기포콘크리트 배합실험을 수행하였다. 수화열에 의한 온도균열 제어를 위해 결합재에 고로슬래그를 30% 치환하였으며, 기포콘크리트의 균열저항성을 높이기 위하여 PVA 및 PA 섬유를 혼입하였다. 고로슬래그를 30% 치환한 결합재는 시멘트 100% 대비 최대 열발생률 및 콘크리트 내부 최고 온도를 각각 28% 및 9% 저감시킬 수 있었다. 실험결과 섬유가 혼입된 경량기포 콘크리트의 압축강도, 공극분포, 휨 강도를 고려하면 PVA 및 PA 섬유 0.6kg/m³ 혼입이 추천될 수 있었다.

키워드 : 경량기포 콘크리트, 섬유보강, 균열제어, 수화열

Acknowledgement

This research was supported by a grant (14CTAP-C078666-01) from Infrastructure and Transportation Technology Promotion Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Korea Concrete Institute, New Concrete Engineering, Korea: Kimoonjang Publishing Company; 2001, 930 p.
2. Song H, Improvement of Physical Property of Autoclaved Light-Weight Concrete Using Admixtures and Chemical Reactants, Journal of The Korean Digital Architecture · Interior Association, 2012 Dec;12(4):87-91.
3. Kim YY, Song H, Lee JK, Chu YS, Improvement of Fundamental Properties in ALC Added Admixtures and Silica Powder Size, Architectural Institute of Korea, 2007 Aug;13(8):107-111.
4. Yang KH, Lee KH, Test on High-Performance Aerated Concrete with a Lower Density, Construction and Building Materials, 2015 Jan;74(15):109-117.
5. Xia Y, Yan Y, Hu Z, Utilization of Circulating Fluidized Bed Fly Ash in Preparing Non-Autoclaved Aerated Concrete Production, Construction and Building Materials, 2013 Oct;47:1461-1467.
6. Yang L, Yan Y, Hu Z, Utilization of Phosphogypsum for the Preparation of Non-Autoclaved Aerated Concrete, Construction and Building Materials, 2013 Jul;44:600-606.
7. Lee KH, Development of Mixture Proportioning Model for Low-Density High-Strength Foamed Concrete [master's thesis], [Korea]: Kyonggi University; 2013, 103 p.
8. Jaung JD, Cho HD, Park SW, Properties of Hydration Heat of High-Strength Concrete and Reduction Strategy for Heat Production, The Korea Institute of Building Construction, 2012 Apr;12(2):203-210.
9. KS F 4039, Foamed Concrete for Cast-in-Site: Korean Industrial Standards; 2009, 1-8.
10. Lee DH, Jun MH, Ko JS, Physical Properties and Quality Control of Foamed Concrete with Fly Ash for Cast-in-Site, Journal fo the Korea Concrete Institute, 2001 Feb;13(1):69-76.
11. KS F 2701, Autoclaved Lightweight Aerated Concrete Block: Korean Industrial Standards; 2012, 1-6.
12. Kim YS, Kim DH, Jee NY, The Properties of Internal Temperature of Paste and Concrete according to Component Ratio Variation of Ternary System Cement, Journal of the Korea Concrete Institute, 2008 Dec;20(6):797-807.
13. Esmaily H, Nuranian H, Non-autoclaved high strength cellular concrete from alkali-activated slag, Construction and Building Materials, 2012 Jan;26(1):200-206.