



## 경량골재와 기포제 종류에 따른 경량기포 콘크리트의 물리적 특성

김하석<sup>1)\*</sup> · 이세현<sup>1)</sup> · 선정수<sup>2)</sup> · 김진만<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국건설기술연구원 건축도시연구소 <sup>2)</sup>공주대학교 건축공학과

### A Physical Properties of Lightweight Foamed Concrete According to Lightweight Aggregate Types and Foaming agent Types

Ha-Seog Kim,<sup>1)\*</sup> Sea-Hyun Lee,<sup>1)</sup> Jung-Soo Sun,<sup>2)</sup> and Jin-Man Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Building and Urban Research Institute, KICT, Goyang 10223, Rep. of Korea

<sup>2)</sup>Department of Architecture, Kongju University, Gongju 31080, Rep. of Korea

**ABSTRACT** In Korea, approximately 48% of all households live in apartments, which are a form of multi-unit dwellings, and this figure increases up to 58%, when row houses and multiplex houses are included. As such, majority of the population reside in multi-unit dwellings where they are exposed to the problem of floor impact noise that can cause disputes and conflicts. Accordingly, this study was conducted to manufacture a high-weight, high-stiffness foamed concrete in order to develop a technology to reduce the floor impact noise. For the purpose of deriving the optimum mixing ratio for the foamed concrete that best reduces the floor impact noise, the amounts of the foaming agent, lightweight aggregate and binder were varied accordingly. Also, the target characteristics of the concrete to be developed included density of over 0.7 t/m<sup>3</sup>, compressive strength of over 2.0 N/mm<sup>2</sup> and thermal conductivity of under 0.19 W/mK. The results of the experiment showed that the fluidity was very excellent at over 190 mm, regardless of the type and input amount of foaming agent and lightweight aggregate. The density and compressive strength measurements showed that the target density and compressive strength were satisfied in the specimen with 50% foam mixing ratio for foamed concrete and in all of the mixtures for the lightweight aggregate foamed concrete. In addition, the thermal conductivity measurements showed that the target thermal conductivity was satisfied in all of the foamed concrete specimens, except for VS50, in the 25% replacement ratio case for Type A aggregate, and all of the mixtures for Type B aggregate.

**Keywords** : floor impact noise, heavy weight impact noise, lightweight foamed concrete, lightweight aggregate

### 1. 서 론

국내 가구의 약 48%는 공동주택인 아파트에 거주하고 있으며, 연립주택 및 다세대 주택을 포함하면 약 58%가 벽과 바닥이 인접세대와 공유하고 있어 소음에 쉽게 노출 될 수 있는 공동주택에 거주하고 있다. 삶의 질에 대한 거주자들의 요구수준이 향상되어 층간소음에 대한 민원과 분쟁은 2005년에 114건, 2011년에 362건으로 매년 지속적으로 증가추세를 보이고 있으며, 사회적으로 해결해 나아가야 할 문제이다.<sup>1-3)</sup>

특히 이중 층간소음이 큰 문제로 대두되고 있으며, 층간소음중 문제가 되고 있는 바닥충격음은 충격음의 충격 특성, 지속시간 등에 따라 중량충격음과 경량충격음으로

구분된다. 중량충격음은 중량물에 의해 발생하는 소음으로 지속시간이 길고 낮은 주파수를 갖는 특징이 있고, 경량충격음은 경량물에 의해 발생하는 음으로 중·고주파수가 많은 특징을 가지고 있다.

바닥충격음을 저감하기 위한 기술들을 지속적으로 개발하고 있음에도 불구하고 중량바닥충격음 저감에 탁월한 성능을 갖는 완충재는 개발되지 않고 있다.<sup>4,5)</sup> 최근 적용되고 있는 층간 소음 저감 방법으로는 뜬바닥 구조에 적용되는 차음재에 국한되어 있어 경량 충격음에 비교적 효과적이지만, 중량 충격음을 효율적으로 저감하기에는 재료 및 기술적인 한계를 나타내고 있는 실정이다. 충격음 저감 대책 중 하나인 유연한 바닥 마감재 및 뜬바닥 구조 등의 표면완충공법의 경우 경량충격음 저감에는 유용하지만 공동주택에서 문제시 되고 있는 중량 충격음에는 효과가 적은 것으로 알려져 있다.

그러나 슬래브의 두께를 높여 중량을 증가시키면 충격에 대하여 바닥은 진동하기 어렵게 되어 충격에 의한 발

\*Corresponding author E-mail : bravo3po@kict.re.kr

Received December 1, 2015, Revised May 24, 2016,

Accepted June 21, 2016

©2016 by Korea Concrete Institute

생음도 저하하며, 슬래브의 강성을 높이는 방법도 충격 점의 유효 질량을 높이는 것이 되어 똑같은 효과를 얻을 수 있다. 보통 슬래브 두께를 30 mm 증가시키면 중량 충격음은 2 dB까지 저감이 가능한 것으로 알려져 있다.

2007년 환경부 발표에 의하면 완충재에 의해 저주파수 대역에서 공진현상이 발생으로 인하여 바닥완충재를 슬래브와 경량기포 사이에 적용한 경우 250 Hz 이상의 주파수 대역의 경량충격음은 저감시켰으나, 125 Hz이하의 대역의 중량충격음은 오히려 증가시키는 것으로 나타났다. 이와 같이 판의 고유진동수와 음의 주파수가 일치하면 판과 음파사이에 격렬한 공명진동이 일어나 음이 급격하게 투과하게 된다. 따라서 중량 충격음 저감을 위해서는 완충재 층에서의 공진현상을 제어할 필요가 있으며, 이를 제어하기 위해서는 기존 단열재와 다른 고유주파수를 갖는 재료를 사용하여야 한다.<sup>6)</sup>

이에 본 연구에서는 기포콘크리트를 고중량 및 고강성으로 배합하여 면밀도가 높아져 공진현상이 발생하지 않도록 하기 위한 연구의 일환으로서 기포 종류 및 혼입율, 경량골재 종류 및 혼입율에 대한 다양한 실험인자 및 수준을 대상으로 기포콘크리트를 제조하고 열, 강도, 탄성계수 등의 특성을 평가함으로써 바닥충격음 저감용 고중량 고강성 기포콘크리트제조의 기초적 자료로서 제시하고자 한다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 연구 계획

본 연구는 공동주택 층간소음 저감방안의 한 방법으로서 바닥 구조 중 기포콘크리트층의 면밀도 향상을 위한 연구이다. 중량 충격음 저감에 유리할 것으로 판단되는 고중량, 고강성 기포콘크리트 및 경량골재 기포콘크리트의 적용성을 평가하기 위해 기포제의 종류, 다양한 조건의 기포 혼입율과 경량골재 종류 및 혼입율 등을 대상으로 밀도가 다른 기포콘크리트를 제조, 실험을 진행하였다. 콘크리트에 대한 세부 목표로서 밀도 0.7 t/m<sup>3</sup> 이상, 압축강도 2.0 N/mm<sup>2</sup> 이상의 특성을 가지며, 열전도율 0.19 W/mK 이하를 만족하는 콘크리트를 개발하고자 하였다

본 연구는 1차 실험으로서 기포제 종류 및 혼입율에 대한 실험을 진행함으로써 다양한 조건에 대한 기포콘크리트의 물리적 특성을 검토하고, 요구성능을 만족할 수 있을 것으로 예측되는 배합을 기준으로 두가지 타입의 경량골재를 혼입 경량골재 기포콘크리트 시험체를 제조하여 물리적 특성을 측정하였다.

### 2.2 사용 재료

본 연구에서 사용된 고화용 재료인 시멘트는 밀도는 3.15 t/m<sup>3</sup>, 분말도 약 3,000 cm<sup>2</sup>/g의 KS L 5201 『포틀랜드

**Table 1** Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Setting		Stability (%)
		Start (min)	Finish (min)	
3.15	3,240	290	380	0.09

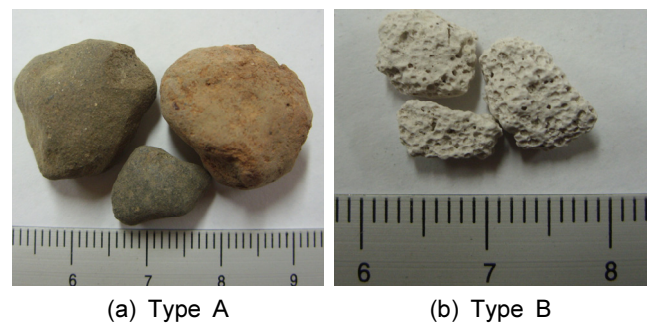
**Table 2** Properties of foam admixture

Types	Active Matter (%)	P.H (Neat, 25°C)	Specific gravity (20°C)
VS <sup>1)</sup>	25.70	7.1	1.046
FP <sup>2)</sup>	35.80	7.2	1.036

<sup>1)</sup>VS : Vegetable soap, <sup>2)</sup>FP : Fe-protein

**Table 3** Properties of lightweight aggregate

Aggregate	Density (g/cm <sup>3</sup> )		Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solid content (%)
	SSD	OD			
Type A	1.88	1.7	10.16	1029.1	60.54
Type B	1.39	0.83	67.01	329.1	39.65



**Fig. 1** Lightweight aggregate

시멘트』의 규정을 만족하는 국내 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 기포제는 시험체의 밀도를 낮추고 열전도율을 향상시키기 위한 목적으로 사용되었다. 기포제 종류는 시중에서 사용되고 있는 동물성 기포제와 식물성 기포제 2종을 대상으로 하였다. 본 실험에 사용한 경량골재는 팽창 점토계의 두 가지 종류를 사용하였다. Type A의 경우 상대적으로 밀도가 높고 흡수율이 낮으며 구형의 강자갈 형태로 표면이 매끄러운 형상이며, Type B의 경우 상대적으로 밀도가 낮고 흡수율 60%이상으로 매우 높으며, 표면에 공극이 그대로 드러나는 형태를 보이고 있다. 각 사용재료의 물리적 특성은 Table 1~3과 같으며 Fig. 1은 골재 입형을 나타낸다.

### 2.3 실험 방법

#### 2.3.1 제조 및 양생 방법

경량기포 콘크리트 및 경량골재 기포 콘크리트의 제조 방법은 Fig. 2에 나타내었다. 시멘트 슬러리는 보통 포틀

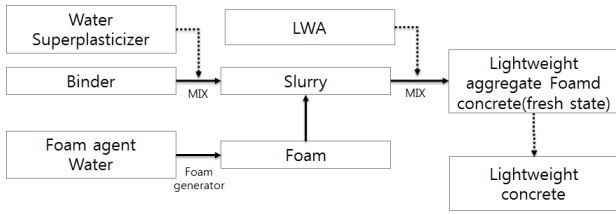


Fig. 2 Mixing method of Lightweight aggregate foamed concrete

랜드 시멘트와 배합수를 첨가하여 저속에서 약 2분간 혼합하였으며, 이후 시멘트 슬러리에 선 발포된 기포를 넣고 리본믹서를 이용하여 1분 30초간 혼합 후 배출하였다. 또한 경량골재 기포 콘크리트의 경우 동일한 방식으로 시멘트 슬러리 및 기포 콘크리트를 제조한 후 팬믹서를 이용하여 경량골재와 혼합 하여 1분 30초간 추가 교반하여 시험체를 제작하였다.

시험체의 밀도 및 압축강도와 탄성계수 측정을 위해 실린더 시험체( $\varnothing 100 \times 200$ ) mm와 길이 변화측정을 위한 바(Bar)형 시험체( $40 \times 40 \times 160$ ) mm, 열전도를 위한 프리즘(prism)형 시험체( $300 \times 300 \times 50$ ) mm를 각각 제작 하였다.

양생은 타설 후 1일간 기포의 안정성 및 시험체의 초기 강도 확보를 위하여 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 5\%$ 의 항온항습실에서 24시간 동안 양생 후 7일간 봉함양생을 실시하였으며, 7일 이후 기건양생을 실시하여 총 3단계로 진행하였다.

### 2.3.2 측정 방법

기포콘크리트의 플로우는 KS F 4039, 현장 타설용 기포콘크리트, 절건 밀도는 KS F 2701, 경량 기포콘크리트 블록에 따라 실시하였다. 압축강도는 ASTM C 495-99a Standard test method for compressive strength of lightweight insulating concrete에 의하여 측정하였다. 동탄성계수는 KS F 2437 공명 진동에 의한 콘크리트의 동 탄성계수 및 동 푸아송비의 시험방법에 따라 실시하였다.

열전도율은 ( $300 \times 300 \times 50$ ) mm 형태로 성형한 기포콘크리트 패널을 독일 Netzsch 사의 HFM436을 이용해 KS M 3808, 발포 폴리스티렌(PS) 단열체에 의거하여 실시하였고, 평균온도  $21 \pm 3^\circ\text{C}$  범위에서 열류방향은 위쪽으로 향

하게 하였다. 길이변화율은 KS F 2460에 따라 초기 타설 후 1일 양생 후 탈형하여 강도 발현을 위하여 7일간 항온항습실( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 5\%$ )에서 봉함양생을 실시하였으며, 7일 이후 항온항습실에서 기건 양생을 실시 후 측정하였다.

## 3. 기포제 종류 및 혼입율에 따른 특성

### 3.1 실험 계획

기포콘크리트 종류 및 투입량에 따른 시멘트 고화체의 강도 및 물리적 특성을 알아보기 위한 실험으로서, 기포제 농도는 문헌에서 제시한 결과 값 중 본 연구의 목적으로 가장 알맞은 3%를 사용하였으며, 기포제 종류는 연속 공극을 형성하는 것으로 알려진 식물성기포제(Vegetable soap, VS)와 단힌공극 혹은 독립 기포를 형성하는 것으로 알려진 동물성기포제(Fe-protein, FP)를 사용하였다.<sup>7,8)</sup> 기포 투입량은 밀도 및 강도 특성을 검토하기 위하여 전체 용적 대비 50, 60, 70%로 설정하였으며, W/B는 예비실험을 통하여 45%로 설정하였다. 실험계획과 배합은 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

### 3.2 실험 결과 및 고찰

#### 3.2.1 유동성(플로우)

시험체의 굳지 않은 특성 중 시멘트 슬러리의 플로우

Table 4 Experiment plan according to forming agent types and additional ratio foam agent

Factor	Levels	Test items
Type of foam agent	Vegetable soap (VS) Fe-protein (FP)	- Flow (mm) - Slurry density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) - Length change (mm)
Concentrations of foam agent (%)	3	- Density - Compressive strength (3,7,28day) (MPa)
Foam ratio (%)	50, 60, 70	- Thermal conductivity (W/mK)
Type of Curing type	Air dry	- Dynamic Modulus ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

Table 5 Mixing design according to forming agent types and additional ratio foam agent

ID	W/B (%)	Types of surfactant	Percent of foam (%)	Water ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Unit Volume weight ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		
					Binder	Foam	Total
1	VS50	VS	50	293	652	20	1,015
2	VS60		60	235	521	24	840
3	VS70		70	176	391	28	665
4	FP50	FP	50	293	652	20	1,015
5	FP60		60	235	521	24	840
6	FP70		70	176	391	28	665

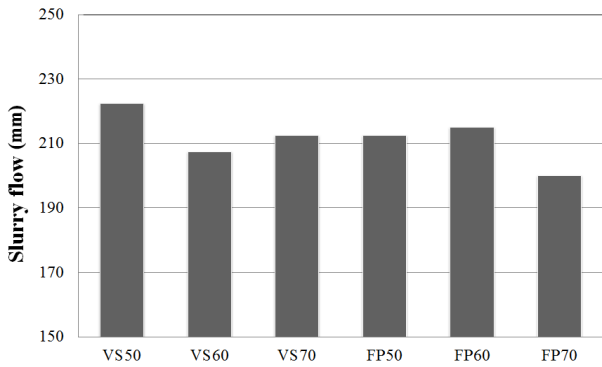


Fig. 3 Variation of the slurry flow of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

측정 결과 Fig. 3과 같다. 모든 배합에서 W/B는 45%로 동일하나 기포량이 증가할수록 슬럼프 플로우는 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 식물성 기포제인 VS 배합과 비교하여 동물성 기포제를 사용한 FP 배합이 유동성 측면에서 약간 불리한 경향인 것으로 나타났다. 기포콘크리트의 굳지 않은 특성 중 유동성의 경우 기포 콘크리트의 이송 및 타설 장소에서의 수평작업과 관련이 있는 항목으로 현장에서의 시공성 및 마무리 정도를 나타내는 척도로써 활용된다. 일반적으로 기포콘크리트의 유동성은 시멘트 슬러리의 양이 많을수록 플로우 값은 증가하고 기포의 양이 많을수록 감소하게 되며,<sup>9)</sup> 본 연구에서도 동일한 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 본 배합 실험의 경우 작업성을 고려하여 슬럼프 플로우는 목표치를 190 mm 이상으로 설정하였으며, 모든 조건에서 목표치를 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.2.2 겉보기 밀도(Slurry, Air dry, Oven dry)

기포제 종류에 따라 차이가 발생할 수 있으나 기포의 단위 중량은  $34\sim 48\text{ kg/m}^3$  범위의 것으로 알려져 있다. 기포 콘크리트에 사용되는 기포는 주로 용적으로 계량하여 투입하게 되며 기포 혼입슬러리 내에서의 중량 비중도 매우 작다. 또한 경화 후에는 공극만 남게 되고 포말을 형성하던 액체는 증발하여 없어지게 되므로 경화한 기포 콘크리트의 중량은 주로 바인더와 배합수로 이루어진 슬러리의 무게에 의존하게 된다.<sup>10)</sup>

Fig. 4는 기포제 종류 및 기포 혼입량에 따른 시험체 함수 조건에 따른 밀도를 측정된 결과이다. 기포제 혼입율이 증가할수록 기포제 종류에 상관없이 모든 조건에서 밀도가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 기건 밀도와 절건밀도 측정 및 비교 결과 동물성 기포제를 사용한 FP 배합에서 더 높은 중량차이를 나타내었다. 이는 동물성 기포제의 경우 내부가 막힌 공극으로 형성되어 있어 기건 조건에서 수분의 손실이 연속공극 혹은 열린 기포가 형성된 식물성 기포제를 사용한 VS 배합보다 적게 발생하기 때문으로 판단된다.

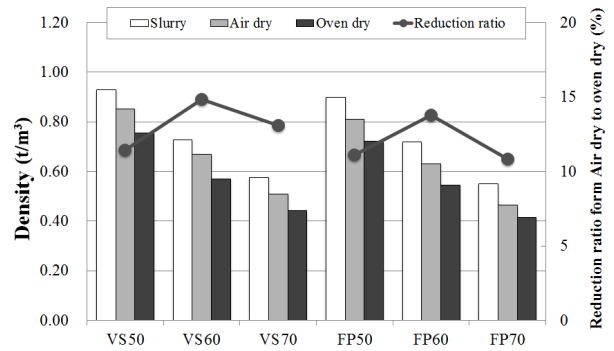


Fig. 4 Variation of the density of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

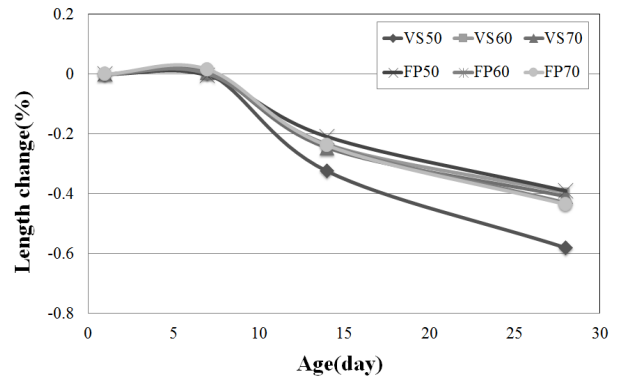


Fig. 5 Variation of the length change of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

### 3.2.3 길이변화

Fig. 5는 기포 콘크리트의 재령에 따른 체적 안정성을 검토하기 위한 길이변화를 측정된 결과이다. 길이변화 측정 결과 초기 7일까지는 체적 변화가 크지 않게 나타났으며, 일부 시험체에서 팽창하는 경향이 나타났으나 그 수치는 미미하였다. 그러나 7일 봉함양생 이후 기건양생을 실시한 결과 모든 시험체에서 0.2~0.32%의 수축을 나타내었다. 그 중 VS50 경우 0.32%로 가장 큰 수축량을 나타내었으며, FP50가 0.21%로 가장 작은 수축량을 나타내었다. 이와 같은 이유는 초기 봉함 양생시에는 수분 손실이 발생하지 않아 건조 수축이 발생하지 않았지만, 7일 양생 후 기건 양생 시 기포콘크리트의 경우 공극이 연속되어 있거나, 독립기포라도 공극간에 존재하는 기포막이 얇기 때문에 내부까지 수분 손실이 빠르게 발생하고 이에 따라 건조 수축이 크게 발생한 것으로 판단된다.

### 3.2.4 압축강도

기포콘크리트의 압축강도는 시험체의 밀도와 매우 밀접한 관계가 있다.<sup>11)</sup> 밀도가 높다는 것은 경화 매트릭스의 공극율이 작으며, 단위시멘트량이 상대적으로 크다는 것으로서 압축강도에 직접적인 영향을 미친다.<sup>12)</sup>

본 연구에서도 압축강도와 단위용적질량간의 관계가

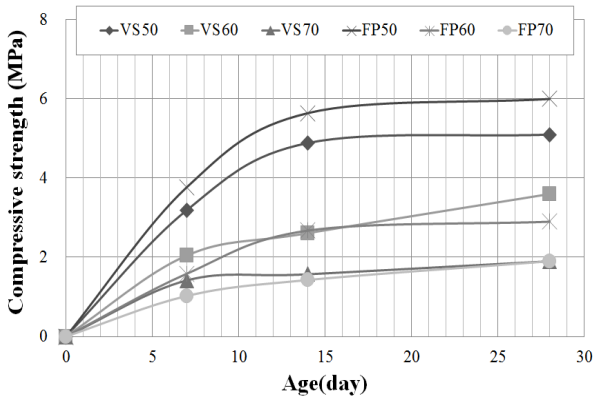


Fig. 6 Variation of the compressive strength of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

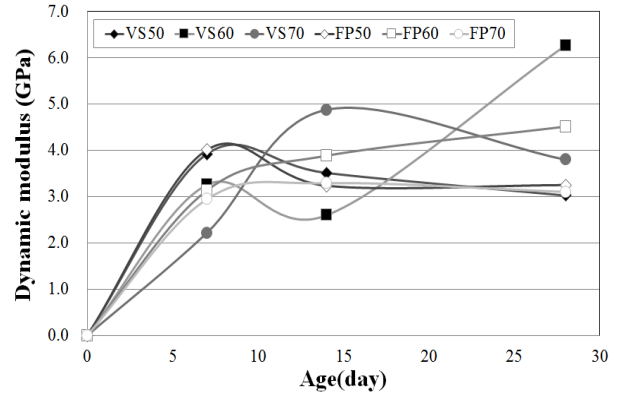


Fig. 8 Variation of the dynamic modulus of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

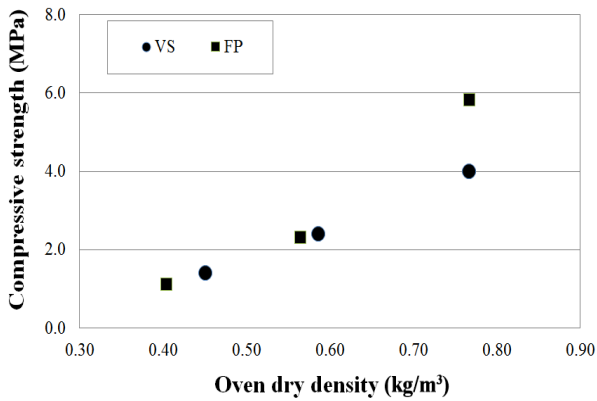


Fig. 7 Relation of compressive strength and density of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

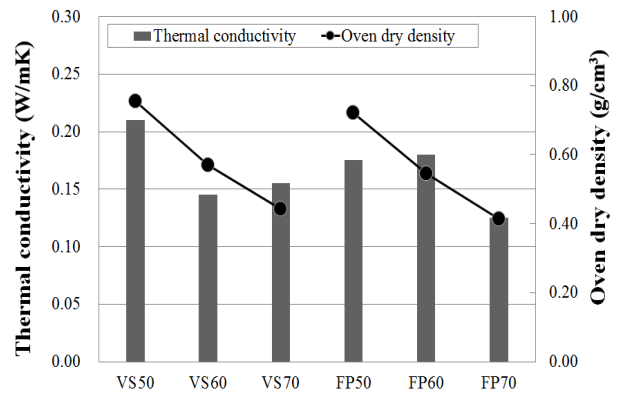


Fig. 9 Variation of the thermal conductivity of lightweight foamed concrete according to forming agent types and percent of foam

매우 큰 것으로 나타났으며, 기포제 종류 및 기포 혼입량에 따른 압축 강도를 Fig. 6, 단위용적질량과 압축강도와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 각 시험체의 압축강도는 기포 혼입량의 증가에 따라, 즉 단위용적질량과 유사하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 기포 혼입율 70%의 경우 기포제 종류에 의한 강도 차이는 없는 것으로 나타났지만, 기포 혼입율 50의 경우 동물성 기포제가 약간 더 높은 강도 값을 보이는 것을 확인하였다.

### 3.2.5 동탄성계수

본 연구에서 직접적 파괴를 이용한 압축강도 시험을 실시하였으며, 동시에 비파괴시험법 중 하나인 동탄성계수를 측정하여 현재의 강도를 추정해 보았다. 동탄성계수를 구하는 방법은 초음파의 전파속도와 진동에 의한 공명주기를 이용하는 방법이 있으며, 본 실험에서는  $\varnothing 100 \times 200$  mm 시험체를 종진동 형태로 1차 공명주기인 고유진동수를 측정하는 방법을 채택하여 측정하였다.

측정 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 28일 재령 기준 기포 혼입율 60이 기포제 종류에 상관없이 가장 높게 나타났으며, 기포 혼입율 50과 70의 경우 유사한 결과 값을

보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 시험편 밀도 및 강도와 동탄성계수의 연관성은 발견할 수 없었다.

### 3.2.6 열전도율

일반적으로 공극을 많이 함유한 재료의 열전도율과 선팅창율은 작다. 공기는 열전도율이 보통 재료 중에서 최소( $\lambda=0.022$  kcal/mh $^{\circ}$ C, 상온)이므로 재료 중에 있는 기포의 상태에서는 대류 및 복사에 의한 열 이동이 적기 때문이다. Fig. 9는 기포제 종류에 따른 각 기포콘크리트 패널의 열전도율을 측정된 결과이다. VS를 사용한 시험체의 경우 열전도율은 각각 0.21, 0.145, 0.155 W/mK로 나타났으며, FP를 사용한 시험체의 경우 열전도율은 각각 0.175, 0.18, 0.125 W/mK로 나타났으며, 수치상으로는 큰 차이로 보이나 전체적인 범위를 기준으로 볼 경우 0.12~0.21 W/mK의 범위로 열전도율의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

그러나 VS50의 경우 본 연구의 목표 범위인 열전도율 0.19 W/mK이하의 값을 초과하는 것으로 나타났으며, VS50를 제외하고는 모두 만족하는 것으로 나타났다.



## 4. 경량골재 종류 및 혼입율에 따른 특성

### 4.1 실험 계획

본 연구는 1차 선행연구를 통해 적정 기포제 및 기포 혼입율을 선정 후 2종의 경량골재를 사용하여 경량골재 기포콘크리트를 제조하고 제조된 시험체에 대하여 공학적 특성 및 체적변화, 단열성능을 검토하기 위한 실험이다.

기포제 농도는 3%로 고정하였으며, 기포 투입량은 경량골재의 투입에 의한 밀도의 증가를 고려하여 전체용적의 70%로 설정하고 경량골재는 용적비 25, 50%를 선발포 된 기포용적에 내할로 계산하여 투입하였다. W/B 비는 골재의 침하 및 부립과 같은 재료분리를 고려하여 선행 예비 실험을 통해 도출된 40%로 채택하였다. 실험 계획은 Table 6과 같으며 실험배합은 Table 7에 나타내었다.

### 4.2 실험 결과 및 고찰

#### 4.2.1 유동성

Fig. 10은 슬러리 상태의 플로우와 골재와 함께 교반된 굳지 않은 상태의 경량골재 기포콘크리트의 슬럼프 및

**Table 6** Experiment plan according to types of LWA and replacement ratio of LWA

Factor	Levels	Test items
Type of foam agent	1 Fe-protein (FP)	- Flow (mm) - Slurry density (g/cm <sup>3</sup> )
Fly ash replacement (%)	2 0, 25	- Length change (mm) - Density (g/cm <sup>3</sup> )
LWA type	2 Type A Type B	- Compressive strength (MPa) - Thermal conductivity (W/mK)
LWA replacement (%)	3 0, 25, 50	- Dynamic Modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )

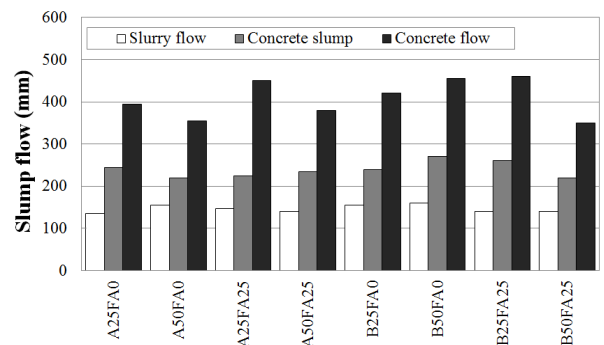
**Table 7** Mixing design according to types of LWA and replacement ratio of LWA

ID	W/B (%)	Types of LWA	Fly ash replacement (%)	LWA replacement (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Unit Volume weigh (kg/m <sup>3</sup> )				
						C	FA	Foam	LWA	Total
1	A25FA0	A	0	25	167	418		21	329	935
2	A50FA0		0	50	167	418		14	658	1,257
3	A25FA25		25	25	161	327	76	21	329	914
4	A50FA25		25	50	161	327	76	14	658	1,236
5	B25FA0	B	0	25	167	418		21	243	849
6	B50FA0		0	50	167	418		14	486	1,085
7	B25FA25		25	25	161	327	76	21	243	828
8	B50FA25		25	50	161	327	76	14	486	1,064

플로우를 각각 측정된 결과이다. 시멘트 슬러리의 경우 유동성이 너무 높거나 낮으면 골재와 함께 교반하는 과정에서 골재의 침하 또는 부립이 발생할 가능성이 있어 예비실험을 통해 적정 플로우를 150±15 mm로 설정하였으며 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이후 골재와 함께 교반하여 슬럼프와 플로우를 각각 측정된 결과 Type A 경량골재를 사용한 배합의 경우 초기플로우가 높을수록 콘크리트의 슬럼프 및 플로우 값도 큰 것으로 나타났다. 이는 경량골재 기포 콘크리트 유동성의 경우에도 초기 슬러리의 유동성에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 다만 Type B 골재를 사용한 배합의 경우 이와는 좀 다른 불규칙한 유동특성을 보였으며 이는 골재가 60%가 넘는 흡수율을 가지고 있어 실험 전 경량골재의 프리웨팅을 통한 수분 보유량 및 취급과정에서 발생하는 수분 손실에 의한 골재의 수분 차이에 대한 영향이 발생하였으며, 슬러리와 비슷한 밀도를 가지고 있어 골재 자중에 의한 침하 및 분산 효과를 발휘하지 못하였기 때문으로 판단된다.

#### 4.2.2 겔보기 밀도(Slurry, Air dry, Oven dry)

Fig. 11은 경량골재 종류 및 혼입율에 따른 시험체의 밀도를 측정된 결과이다. 경량골재 혼입율이 증가함에 따



**Fig. 10** Variation of the slump flow about to slurry and fresh concrete state according to types of LWA and replacement ratio of LWA

라 밀도가 증가하는 것으로 나타났으며, Type A 경량골재가 Type B 경량골재와 비교하여 동일 투입비율에서 상대적으로 높은 밀도는 나타내었으며, 이는 Table 3에서 나타난 바와 같이 경량골재 자체의 밀도가 높은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

또한 모든 배합에서 최종 목표로 설정하였던 기건 밀도  $0.7 \text{ t/m}^3$  이상을 모두 만족하고 있으나 Type A를 50% 대체한 A50FA25 시험체의 경우 밀도가 1.2 이상으로 나타나, 추후 보다 경량한 시험체를 만들기 위해서는 경량골재 사용량에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 단 시험체의 절건밀도 측정 결과 Type A 골재를 사용한 시험체의 경우  $0.7 \sim 1.1 \text{ t/m}^3$ 의 범위에 있었으며, Type B 골재를 사용한 시험체의 경우  $0.6 \sim 0.7 \text{ t/m}^3$  범위로 단위 중량의 차이가 발생하였다.

#### 4.2.3 길이변화

Fig. 12는 경량골재 기포 콘크리트의 7, 14, 28일 재령에 대한 길이변화를 측정된 결과이다. 초기 7일의 봉합양생의 경우 Type A 경량골재를 사용한 A50FA0 시험체가 약 0.16%의 가장 큰 팽창을 보였으며, B25FA25 시험체가 0.03%의 가장 큰 수축을 보였다. 전체적으로 흡수율이 낮은 Type A 경량골재를 사용한 배합에서는 초기 팽

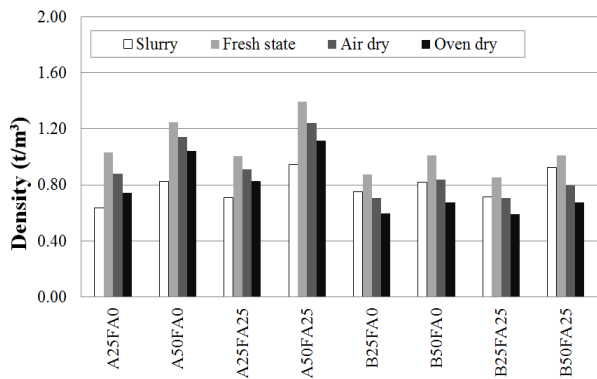


Fig. 11 Variation of the density about to slurry and fresh concrete state according to types of LWA and replacement ratio of LWA

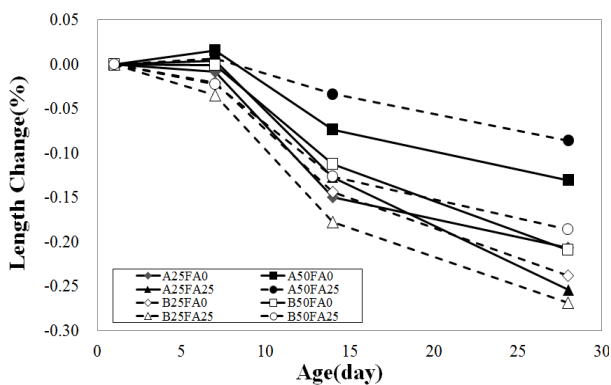


Fig. 12 Variation of the length change according to types of LWA and replacement ratio of LWA

창 후 수축함으로서 체적의 변화가 0.15%이하의 수축변화를 나타내었으며, 흡수율이 높은 Type B 경량골재를 사용한 시험체의 경우 봉합양생기간인 초기 7일에서도 B50FA0를 제외한 3가지 배합의 시험체에서 수축이 나타났으며, 28일 재령에서 B25FA25가 -0.27%의 가장 큰 체적 변형이 발생하였다.

또한 골재 대체율 및 Type에 따른 체적 변화를 살펴보면 골재 대체율이 높을수록 체적 변화가 적게 발생하였으며, 동일 대체율에서 Type A 골재가 B 보다 상대적으로 적은 체적 변화를 나타내었다. 이는 일반적으로 골재는 종류에 상관없이 체적 안정성을 갖고 있는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 사용된 경량골재의 경우 Type A의 시험체는 체적 안정성에 유리하지만 Type B 시험체의 경우 높은 흡수율 및 낮은 체적 안정성으로 시험체의 변형에 보다 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

#### 4.2.4 압축강도

Fig. 13은 압축강도 측정 결과를 나타낸 것으로 경량골재 혼입율이 적을수록 낮은 강도를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 기포 용적을 기준으로 골재 혼입율을 용적 치환하는 방법을 사용하여 경량골재 혼입율이 낮아질수록 기포 혼입율이 높아져 강도를 발현하는 시멘트 매트릭스의 밀도가 낮아짐으로서 강도 저하가 나타나는 것으로 판단된다. 또한 28일 재령 기준으로 Type A 경량골재를 50% 치환한 A50FA25가 압축강도 4.2 MPa로 가장 높은 강도값을 보였으며, B50FA0, A50FA0, B50FA25순으로 각각 3.9, 3.7, 2.9 MPa로 본 연구의 목표 압축강도인 2 MPa 이상으로 나타났다. 본 연구 결과 경량골재 대체율이 증가할수록 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 골재 대체율이 증가함에 따라 기포량이 감소하였기 때문으로 판단되어 지며, Type A 골재를 사용한 배합이 Type B 골재를 사용한 배합과 비교하여 동일 대체율에서 높은 값을 보이는 것은 배합과정에서 기포가 소실되었기 때문으로 판단된다.

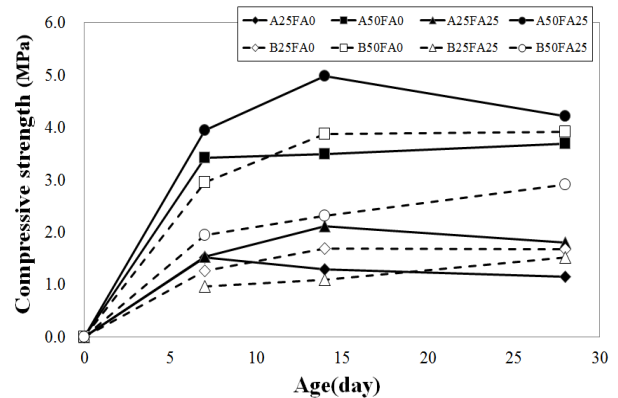


Fig. 13 Variation of the compressive strength according to types of LWA and replacement ratio of LWA

#### 4.2.5 동탄성계수

경량골재 종류 및 투입량에 따른 동탄성 측정 결과는 Fig. 14에 나타내었다. 압축강도와 반대로 동탄성 측정 결과에서는 Type B 골재를 사용한 B50FA25 시험체가 가장 높게 나타났으며, B50FA0 시험체가 두 번째로 높은 값을 나타내었다. 또한 A25FA25를 제외하고는 5,000~6,500 MPa의 범위에 속하는 것으로 나타났다.

본 연구 결과 Type B 경량골재를 사용한 시험체의 경우 골재량이 많을수록 탄성계수 값이 큰 것으로 나타났으며, Type A 경량골재를 사용한 시험체의 경우 경량골재 사용량과의 관계는 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 또한 Type A 경량골재를 사용한 시험체보다 Type B 골재를 사용한 시험체에서 압축강도가 높아질수록 탄성계수 값이 뚜렷하게 증진하는 것으로 나타났다. 그러나 경량골재 자체의 탄성계수 및 시험체 내부에서의 골재 분포도에 따른 탄성계수 값에 미치는 영향인 것으로 판단되며, 시험체의 강도와 탄성계수 값에 대한 뚜렷한 연관성은 발견되지 않았다.

#### 4.2.6 열전도율

인공경량골재는 열처리에 의해 생산되어지며, 열처리가 진행되는 동안 원재료가 팽창하여 다공성의 세포질 구조를 만든다. 즉 경량골재의 공극 구조와 밀도는 원재료 및 골재가 생산되는 과정에 의해 결정되게 되는 것이다. 또한 골재의 공극과 밀도는 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며, 많은 공극을 가진 골재는 더 많은 공기를 포함하고 있으며, 이렇게 포함된 공기는 가장 단열이 잘 되는 물질 중 하나로서, 경량골재의 내부의 수만은 공기는 콘크리트에서 열의 이동을 감소시키는 작용을 하게 된다.<sup>13)</sup>

Fig. 15는 경량골재 종류 및 투입량에 따른 각 경량골재 기포콘크리트 패널의 열전도율을 측정된 결과이다.

열전도율 측정 결과 Type B 골재를 사용한 시험체의 경우 대체율에 상관없이 모든 시험체에서 목표 열전도율인 0.19 W/mK이하를 만족하는 것으로 나타났으며, 각각의 결과값은 0.14, 0.16, 0.12, 0.16 W/mK로 나타나 0.12~0.16의

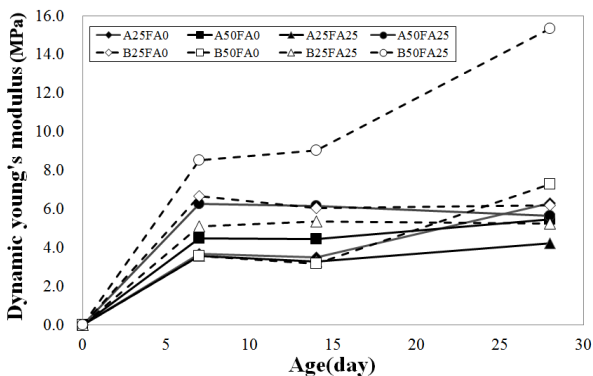


Fig. 14 Variation of the dynamic young's modulus of foamed concrete according to types of LWA and replacement ratio of LWA

범위인 것으로 나타났다. Type A 골재를 사용한 시험체의 경우 대체율 25%에서는 목표 열전도율 값을 만족하였으나 대체율 50%에서는 두 배합 모두 목표값을 초과하는 것으로 나타났다. 각각의 결과값을 살펴 보면 0.17, 0.26, 0.17, 0.26 W/mK으로 무기 혼화재 투입에 상관없이 골재 혼입율이 동일할 경우 열전도율 값이 동일한 것으로 나타났으며, 절건밀도 또한 유사하게 나타나, 열전도율은 전체적으로 골재의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

본 연구의 목적상 Type A 골재를 사용할 경우 대체율 25%가 유리할 것으로 판단되어지며, Type B 골재를 사용할 경우 대체율 50%도 사용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4.2.7 재료분리

Fig. 16은 실험체 단면에 골재 분포사진이며 Fig. 17은 경량골재 기포콘크리트 시험체에 대하여 재료분리에 대하여 검토한 결과이다. 원형 실린더 형태의 시험체를 대상으로 상중하 3등분하여 중앙을 기준으로 상부와 하부의 단위질량을 각각 측정하여 단위질량차를 계산하였다.

측정 결과 Type B 시험체의 경우 상하부 질량차가 10% 이하로 매우 양호한 상태를 나타내었다. 그러나 Type A 시험체의 경우 경량골재 50% 대체의 경우 10% 이하의 양호한 결과를 나타내었으나 경량골재 대체율 25% 시험체의 경우 상부와 비교하여 하부에 가라앉은 골재가 상대적으로 많아서 질량차가 20%이상 나타났다. 이는 골재의 밀도와 밀접한 관련이 있으며 초기 배합에서 골재와 교

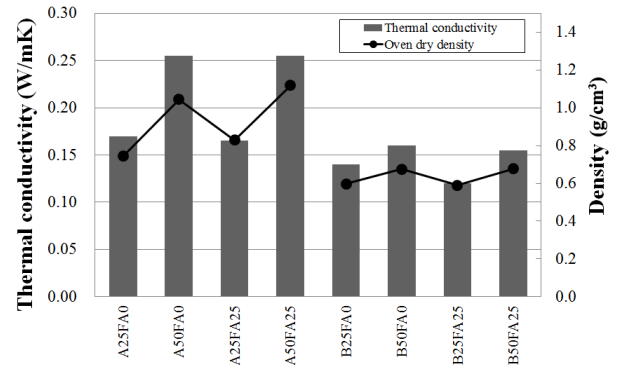


Fig. 15 Variation of the thermal conductivity of foamed concrete according to types of LWA and replacement ratio of LWA

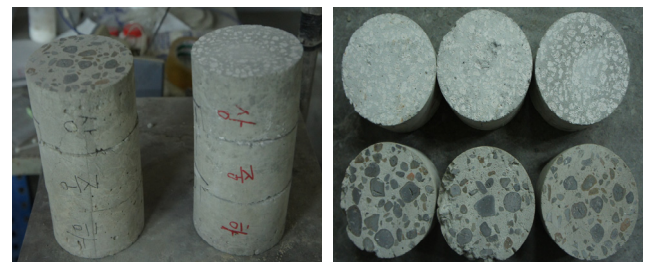


Fig. 16 Difference of aggregate distribution in specimen with light weight aggregate



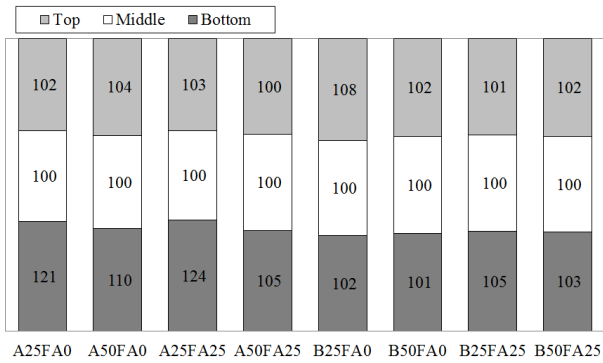


Fig. 17 Variation of the material segregation of foamed concrete according to types of LWA and replacement ratio of LWA

반하기 전 시멘트 기포 슬러리의 경우 골재 혼입율 25%의 경우  $0.65\sim 0.75 \text{ kg/m}^3$  범위이며, 골재 혼입율 50%의 경우  $0.82\sim 0.95 \text{ kg/m}^3$  범위에 있다. Type B의 경우 절건 밀도가  $0.83 \text{ kg/m}^3$ 으로 슬러리와 유사한 밀도를 보이고 있어 상하부의 단위질량차가 10% 내외로 나타났으나, Type A 골재의 경우 절건 밀도가  $1.7 \text{ kg/m}^3$ 로서 기포 슬러리의 밀도보다 상대적으로 두배 가까이 높음으로서 콘크리트 타설 후 골재가 아래쪽으로 일부 침하하기 때문이다. 또한 구형의 입형을 가진 Type A 골재의 경우 침하시의 시멘트 슬러리의 저항을 적게 받기 때문이다.<sup>14-16)</sup>

## 5. 결 론

국내에서 유통되고 있는 식물성(VS) 및 동물성(FP) 기포제 와 2종의 인공경량골재를 대상으로 바닥충격음 저감용 경량 기포, 경량골재 기포콘크리트에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기포제 종류 및 혼입량에 상관없이 모든 배합에서 유동성은 190 mm 이상으로 목표 플로우를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 경량 골재를 사용한 배합의 경우 모든 배합에서 시멘트 슬러리는  $150\pm 15 \text{ mm}$ 의 유동성을 보이나 경량골재 투입 후 재료분리 없이 슬럼프 200 mm 이상으로 매우 우수한 유동성을 나타내었다.
- 2) 경량 기포 콘크리트의 밀도 검토 결과 모든 실험조건에서 기포 혼입량 50% 실험 배합만이  $0.7 \text{ t/m}^3$  이상을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 경량골재 기포콘크리트 밀도 검토 결과 모든 배합에서 기포 밀도  $0.7 \text{ t/m}^3$  이상을 만족하는 것으로 나타났다. 다만 Type A 경량골재가 Type B 경량골재와 비교하여 동일 투입비율에서 상대적으로 높은 밀도는 나타내었다.
- 3) 압축강도 시험 결과 기포콘크리트 기준 기포 혼입율 50% 시험체에서 2.0 MPa 이상을 만족하는 것으로

나타났으며, 경량골재 기포 콘크리트의 경우에 골재 종류에 상관없이 골재 혼입율 50%에서 목표 압축강도를 상회하는 것을 확인하였다.

- 4) 열전도율 측정 결과 일부 배합을 제외하고는 목표 값인  $0.19 \text{ W/mK}$  이하 값을 대부분 만족하는 것으로 나타났으며, 기포 혼입율이 증가할수록 열전도율 값이 감소하나 60~70%의 기포 혼입율에서 시험체의 강도 저하가 우려되어 50%로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 또한 식물성 기포제인 VS 보다는 동물성 기포제인 FP가 보다 유리할 것으로 판단된다. 경량골재를 혼입한 경량골재 기포 콘크리트의 경우 Type A 골재의 경우 대체율 25%가 적절하며, Type B 골재의 경우 대체율 25와 50% 모두 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구를 통하여 목표 성능에 가장 부합되는 배합은 Type B 골재를 50% 대체한 경량골재 기포콘크리트 배합으로 판단되어 지며, 추후 중량 충격음에 대한 특성을 추가 연구하고자 한다.

## 감사의 글

This research was supported by a grant from a Strategic Research Project (A study on noise reduction solution for adjacency household in apartment house) funded by the Korea Institute of Construction Technology and the Functional Districts of the Science Belt support program, Ministry of Science, ICT and Future Planning (2015K000281).

## References

1. National Noise Information System. 2013, <http://www.noiseinfo.or.kr/index.jsp/>
2. Kim, C. et al., "Reduction of Floor Impact Sound and research subjects," *Journal of the Korea institute of Building construction*, 2003, Vol.3, No.3, pp.43-47.
3. Population and Hosung sensus, 2013, <http://www.census.go.kr/>
4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Regulations on the housing standards, 2014.
5. Lee, K.D., "A Study on the Characteristics of the Floor Impact Noise and Vibration According to Structure Types of Apartment House," *Journal of the Korea institute of Building construction*, 2009, Vol.9, No.2, 99, pp.35-39.
6. Ministry of environment, Development of Floor impact Noise Insulation System in Apartment Buildings, 2007.
7. Kim, J. et al., "Properties of Foamed Concrete According to Types and Concentrations of Foam Agent," *Journal of the Korea concrete institute*, 2012, Vol.24, No.1, pp.61-70.
8. Kim, J. et al., "Properties of Bubble According to Types and Concentrations of Concrete Foaming Agent," *Journal of the*

- Korea concrete institute*, 2011, Vol.23, No.2, pp.151-158.
9. Lee, D. et al., "Physical Properties and Quality control of Foamed Concrete with Fly Ash," *Journal of the Korea concrete institute*, 2001, Vol.13, No.1, pp.66-76.
  10. Oh, S. et al., "An Experimental Study on the Physical properties of Foamed Concrete with Blast-Furnace Slag," *Journal of Architectural institute of Korea*, 2002, Vol.18, No.7, pp.59-67.
  11. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro, *Concrete : Micro-structure, Properties, and materials*, McGraw-Hill, San Francisco, 2004, pp.49-67.
  12. David R. Karsa. "Surfactants in Polymers, Coatings, Ink and adhesives," V.1. Blackwell Publishing, 2003. pp.95-9.
  13. Kim, S.-Y., (An) effect of mixing condition of lightweight aggregate concrete using the stone-powder on thermal conductivity, 2011 Hanyang Univ.
  14. *Building materials*, Architectural Institute of Korea(Kimoondang), 2011.
  15. *New Concrete Engineering*, Korea Concrete Institute(Kimoondang), 2005.
  16. Ashworth, T., Ashworth, E., Graves, R.S., and Wysocki, D.C., *Insulation Materials : Testing and Applications*. ASTM STP. Philadelphia, 1991, pp.415-29.

**요 약** 층간소음의 문제가 가장 크게 대두되고 있는 현재 층간소음 저감 방법으로 뜬바닥 구조에 적용되는 차음재등이 연구되고 있으나 이러한 방법의 경우 경량충격음에는 효과적이거나 중량 충격음을 저감하기에는 재료 및 기술적 한계에 다다르고 있다. 중량충격음 저감을 위해서는 슬래브의 중량을 증가시켜 충격에 대해 바닥은 진동하기 어렵게 하여 충격에 의한 발생음을 저감시키거나, 슬래브의 강성을 높여 충격점의 유효 질량을 높여 중량충격음을 저감하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 중량 충격음을 저감하기 위한 한 방편으로 고중량, 고강성 기포콘크리트 제조함으로서 바닥충격음을 저감하기 위한 기술을 개발하고자 하였다. 연구 결과 기포제 종류 및 혼입량과 경량골재 종류 및 투입량과 관계없이 유동성은 190 mm이상으로 매우 우수한 것으로 나타났다. 밀도 및 압축강도 측정 결과 기포콘크리트의 경우 기포 혼입율 50%에서만, 경량골재 기포콘크리트의 경우 모든 배합에서 목표 밀도 및 압축강도를 만족하는 것으로 나타났다. 열전도율 측정 결과 기포콘크리트의 경우 VS50을 제외하고는 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 경량골재 기포콘크리트의 경우 Type A 골재의 경우 대체율 25%, Type B의 경우 모든 배합에서 목표를 만족하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 바닥충격음, 중량충격음, 기포콘크리트, 경량골재