

# 유리질 중공 미소 구체를 사용한 경량골재콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

## A Experimental Study on the Property of Lightweight Aggregate Concrete Using Hollow Micro Sphere

김 상 현<sup>1</sup>      김 세 환<sup>2</sup>      박 영 신<sup>3</sup>      전 현 규<sup>4</sup>      서 치 호<sup>2\*</sup>

Kim, Sang Heon<sup>1</sup>      Kim, Se Hwan<sup>2</sup>      Park, Young Shin<sup>3</sup>      Jeon, Hyun Gyu<sup>4</sup>      Seo, Chee Ho<sup>2\*</sup>

*The Academy of Applied Science and Technology, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea <sup>1</sup>*

*Department of Architectural Engineering, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea <sup>2</sup>*

*Department of Research, Halla ENCOM, Songpa-Gu, Seoul, 143-701, Korea <sup>3</sup>*

*Department of Research, GS E&C, Youngin-Si, Gyunggi-Do, 449-831, Korea <sup>4</sup>*

### Abstract

In this study, the thermal conductivity, physical and mechanical properties of lightweight aggregate concretes with hollow micro sphere(HMS) are experimentally examined as a basic research for the development of structural insulation concrete. As the results of this experiment, in the case of concrete mixed with HMS, the value of slump has been reduced, so it is found that the dosage of superplasticizer should be increased. As the replacement ratio of HMS increases, it has shown that the compressive strength is somewhat decreased due to the low interfacial adhesion strength of HMS. But the thermal conductivity is found to be greatly improved with the replacement ratio of HMS increases, the thermal conductivity of HMS shows the lower value of 68% at lightweight aggregate concrete and 32% of normal concrete. Also it is found that the compressive strength is decreased and thermal conductivity is increased as the water-cement ratio increases. The most outstanding for insulation performance is observed when using 20% of HMS and 50% of water-cement ratio.

Keywords : hollow micro sphere, lightweight aggregate concrete, thermal conductivity, insulation concrete

### 1. 서 론

최근 세계 에너지 부족위기와 화석연료의 무분별한 사용으로 인해 환경문제가 심각하게 증가되고 있다. 이러한 인식 속에서 세계적으로 공동의 노력을 기울이고 있으며 온실가스의 감소를 위한 교토 의정서나 발리 로드맵과 같은 국제적인 협정에 의해 각국의 노력이 계속되고 있다.

유엔환경계획(United Nations Environment Program)에서는 건축물이 OECD 국가 에너지 사용의 40%, 전 세계 온실가스 배출의 30%를 차지한다고 명시하며 온실가스 배출량 감소를 위해서는 건축물의 에너지 발생량 저감에 대한 노력이 필요함을 말하였다[1]. 더욱이 UN기후변화협약에 의한 온실가스 배출량 감소를 위한 건설분야의 대응으로서 녹색건설 증대 및 기술혁신을 통한 에너지 사용량을 저감시키기 위한 방안은 시급히 요구되고 있는 실정이다.

이에 대하여 국내에서는 2009년 친환경주택의 건설기준 및 성능을 고시하였으며 건물에너지 효율 등급 친환경 건축물 인증 제도를 도입하여 단계적으로 총 에너지 절감 목표를 수립하였으며, 특히 2017년까지 주택 에너지 60%

Received : November 21, 2014

Revision received : February 13, 2015

Accepted : February 25, 2015

\* Corresponding author : Seo, Chee-Ho

[Tel: 82-2-3436-7898, E-mail: chseo@konkuk.ac.kr]

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

절감을 목표로 2025년에는 제로에너지의무화를 추진하고 있는[2] 등 건축물 에너지 효율 기준을 단계적으로 강화해 나갈 것으로 발표하였다.

건물부문에서 에너지 손실이 가장 큰 부위는 외피로서 이 부분의 에너지 손실을 감소하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나 이는 대부분 창호 및 단열재에 대한 연구이며, 건물 외피의 70% 이상을 차지하고 있는 콘크리트에 대한 연구는 미미한 실정이다[3].

기존 콘크리트의 단열성능에 관한 연구는 주로 경량골재, 기포, 발포폴리스티렌 등의 재료가 혼입된 콘크리트에 대하여 열전도율 분석을 통해 열전도율의 감소를 확인하는 수준의 연구[4,5,6,7,8]로 단열성능의 확보에 일정 정도 효과가 있으나 구조용 콘크리트에 사용하기 위한 수준의 강도는 확보하지 못한 것으로 평가되었다.

따라서 본 연구는 단열성능이 향상된 구조용 단열콘크리트의 개발을 위한 기초적 연구로서 유리질 중공 미소 구체를 사용한 경량골재콘크리트를 제조하여 물리·역학적 특성과 열전도 특성에 대해 검토하고자 하였다.

## 2. 단열성능 향상 재료의 종류 및 특성

### 2.1 유리질 중공 미소 구체

유리질 중공 미소 구체(Hollow Micro Sphere, 이하 HMS)는 SiO<sub>2</sub>와 CaO 등을 혼합하여 생성되는 M사제품으로 주요 성분은 규산질로 이루어져 있으며 하나의 입자는 중공구조로 되어있다[9]. HMS의 제조는 주원료인 실리카와 부원료인 Na<sub>2</sub>O, CaO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 혼합하여 생성한 미세분말을 발포시켜 구형의 입자로 만들고 고착방지를 위하여 흠드실리카를 표면에 도포하는 과정을 거치면 중공의 HMS가 생성되어진다.

HMS는 물리·화학적 안정성이 우수하며 다양한 제품의 첨가제로 사용되어 부품의 중량 감소, 치수의 안정성 향상, 충진율 향상, 유체의 유동성 향상 등이 가능하며 특히 높은 단열성능을 얻을 수 있는 신소재이다.

### 2.2 경량골재

경량골재는 골재 내부에 많은 공극을 포함하는 다공성 구조를 지닌 골재로 보통 골재에 비해 밀도가 낮으며 흡수율이 높다[10]. 경량골재의 강도는 골재 내부의 공극의

영향으로 보통골재보다 작은 것이 일반적이며 골재의 강도가 시멘트 페이스트의 강도에 비하여 상대적으로 작은 경우 경량골재를 사용한 콘크리트의 강도는 낮아질 수 있다. 경량골재는 천연경량골재와 인공경량골재로 구분되어지며 인공경량골재는 주로 혈압, 점토 등을 고온으로 소성할 때 팽창, 발포시키는 방법으로 얻어진다[11].

경량골재 콘크리트의 적용은 골재의 낮은 강도, 골재 생산, 콘크리트 제조, 시공 중의 품질관리의 어려움 등의 문제점이 있으나 재료의 경량성 확보를 통한 구조체의 중량 감소, 낮은 열전도율에 따른 단열성능 확보 등의 장점으로 활용성의 확대가 기대되고 있다[10].

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험계획

단열성능향상 재료로서 HMS와 경량골재를 사용한 구조용 단열콘크리트의 특성 평가를 위한 배합인자 및 실험 계획은 Table 1과 같으며 배합표는 Table 2와 같다.

Table 1. Plan of experiment

Factors	Levels	Test contents
Replacement ratio of HMS(%)	0, 20, 25	Slump Air content Unit weight Compressive strength Thermal conductivity
Coarse aggregate type	Normal aggregate(G) Lightweight aggregate(L.G)	
w/c(%)	42, 46, 50, 54	

Table 2. Mixing design of experiment

Type	w/c (%)	S/a(%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						
			w	c	S	G	L.G	HM <sub>S</sub>	Ad.
Plain 1	50		195		733	902	-	0	0.39
Plain 2	50		195		733	-	496	0	0.39
HMS-20*	42		163		615	-	417	79	2.34
	46		179		601	-	407	77	1.37
	50	45	195	390	586	-	397	75	0.55
HMS-25	54		210		572	-	387	73	-
	42		163		577	-	390	99	3.32
	46		179		563	-	381	96	2.54
	50		195		549	-	372	94	1.49
	54		210		536	-	363	92	0.39

\*HMS-20 : replacing 20% by volume of total aggregate

배합계획에 있어 구조용 적용을 위하여 압축강도 27MPa 이상을 목표강도로 설정하여 모든 배합의 단위시멘트량은 390kg으로 고정하였다. 물시멘트비 50%, 보통골재 및 경량골재를 사용하고 HMS를 혼입하지 않은 기준 배합 1, 2를 설정하고 HMS 치환배합은 굵은골재는 경량골재로 하여 전체 골재용적대비 20, 25%의 2수준으로 HMS를 치환하였고, 물시멘트비는 42, 46, 50, 54%의 4수준으로 하여 HMS 치환율과 물시멘트비 변화에 따른 콘크리트의 특성을 비교·검토하고자 하였다.

### 3.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 포틀랜드 시멘트에서 규정하는 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 Table 3과 같은 밀도 2.60g/cm<sup>3</sup>의 세척사를 사용하였다. 굵은골재는 쇄석과 경량골재를 사용하였으며 물리적 성질은 Table 4와 같다. 경량골재는 팽창점판암을 주원료로 로터리킬른을 이용해서 1,200℃의 온도로 소성 후 제조된 쇄석모양의 비조립형이며 경량골재의 형상 및 단면형상은 Figure 1과 같이 폐쇄형 공극구조를 갖는 것으로 나타났다.

HMS는 속이 빈 구(球)형의 미분말로 박막두께가 얇고 주성분이 SiO<sub>2</sub>로 이루어진 분말로써 HMS에 대한 물리적 특성은 Table 5와 같으며 재료의 SEM 분석사진은 Figure 2와 같다.

Table 3. Physical properties of fine aggregate

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Unit weight (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption(%)	F.M.
2.60	1.56	1.15	2.73

Table 4. Physical properties of coarse aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solid volume (%)	Absorption	
				rate (%)	F.M
Normal weight	2.63	1,535	58.4	0.87	6.93
Light weight	1.45	832	58.6	5.60	6.40

Table 5. Physical properties of HMS

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Strength (psi)	Size (μm)	Thermal conductivity(W/mK)	Silica volume(%)
0.6	30,000	8.6~26.7	0.2	24

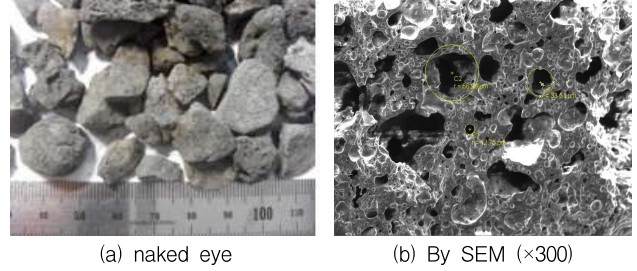


Figure 1. Shape of lightweight aggregate

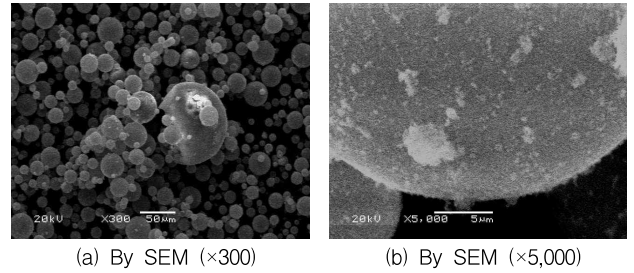


Figure 2. Shape of HMS

본 실험에서 사용된 혼화제는 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였으며 물리·화학적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6. The physical and chemical properties of admixture

Section	Component	Color	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH
Agent	Polycarboxylate	Brown	1.07±0.02	6.5~7.5

### 3.3 실험방법

굳지 않은 콘크리트에 대하여 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험 방법, KS F 2409 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법을 통하여 실험하였고, 굳은 콘크리트는 KS F 2462 구조용 경량 콘크리트의 단위 질량 시험방법, 기건단위용적질량, KS F 2405 콘크리트 압축 강도 시험방법에 의하여 실험을 진행하였다. 열전도율 측정은 ASTM D5334 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique을 준용한 A社의 Quickline-30 장비를 사용하여 표면에 열선이 내장된 표면식 프루브를 시험체의 표면에 접촉하여 열전도율을 측정하였다.

### 4. 실험결과 및 분석

본 연구의 실험결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Results of the experiment

Type	Slump (mm)	Ad. (%)	Air content (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (MPa, 28day)	Thermal conductivity (W/mK)
Plain 1	155	0.10	1.0	2,360	31.9	1.845
Plain 2	195	0.10	3.8	1,870	32.1	0.871
HMS20-42	195	0.60	2.7	1,696	37.2	0.722
HMS20-46	185	0.35	3.2	1,682	33.8	0.695
HMS20-50	180	0.15	3.2	1,678	30.7	0.658
HMS20-54	215	0.00	2.5	1,653	29.8	0.654
HMS25-42	195	0.85	2.9	1,655	34.0	0.684
HMS25-46	185	0.65	3.8	1,648	30.5	0.668
HMS25-50	175	0.40	4.0	1,643	27.8	0.594
HMS25-54	185	0.10	3.0	1,633	26.3	0.593

#### 4.1 슬럼프

슬럼프 실험은 목표 슬럼프 200±30mm로 하여 각 배합에 대하여 고성능 감수제의 사용량을 조절하는 방법으로 진행하였으며 결과는 Figure 3과 같다. 목표 슬럼프를 얻기위한 고성능 감수제 사용량은 물시멘트비의 증가에 따라 감소되었으며 HMS 치환율의 증가에 따라 증가하였다. 이는 물시멘트비와 유동성에 관한 기존 이론에 따른 변화와 함께 상대적으로 미분말인 HMS의 골재 치환에 따라 콘크리트에 사용된 전체 재료의 표면적 증가와 이에 따른 소요수량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

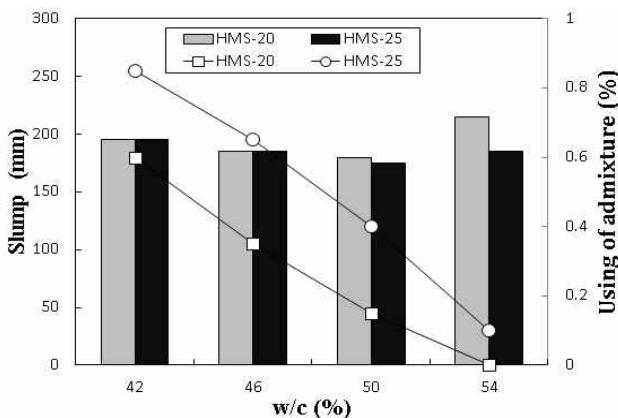


Figure 3. Slump of concrete according to replacement ratio of HMS, w/c and dosage of admixture

#### 4.2 공기량

전 배합의 공기량 측정결과는 Figure 4와 같다. 경량 골재를 사용한 PL 2는 3.8%의 공기량을 보였으며, 동일한 고성능 감수제량의 보통골재를 사용한 PL 1은 1.0%의 낮은 공기량을 나타냈다. 이는 경량골재에 포함된 미포화상태의 공극에 의한 것으로 판단된다.

HMS 20% 치환한 배합에서는 물시멘트비 42, 46, 50, 55%에서 각각 2.7, 3.2, 3.2, 2.5%의 공기량을 나타내었으며, HMS 25%는 2.9, 3.8, 4.0, 3.0%의 공기량을 나타내나 HMS의

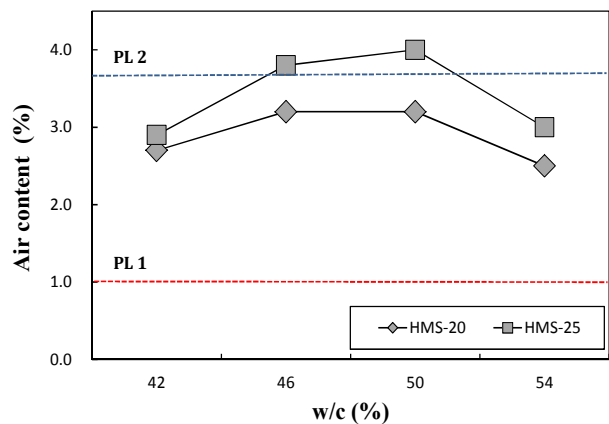


Figure 4. Air contents of concrete according to replacement ratio of HMS and w/c

사용량의 증가에 따라 공기량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 4.1절의 슬럼프 결과와 비교하면 슬럼프의 변화와 반대의 경향으로 나타나 유동성의 저하가 상대적으로 공기량의 증가로 나타난 것으로 판단된다.

#### 4.3 단위용적질량

굳지않은 콘크리트에 대한 단위용적질량을 측정한 결과는 Figure 5와 같다. 쇄석을 사용한 PL 1의 단위용적질량은 2,318kg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 경량골재를 사용한 PL 2는 1,833kg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 물시멘트비 변화에 따른 단위용적질량은 HMS 20% 치환에서 1,620~1,662kg/m<sup>3</sup>, 25% 치환일 때는 1,600~1,622kg/m<sup>3</sup>로 물시멘트비 증가에 따라 단위용적질량이 감소하는 것으로 나타나, HMS 치환율 증가에 따라 약 20~40kg/m<sup>3</sup>의 질량이 감소되는 것으로 나타났다. 경량골재만 사용한 경우 보통골재에 대하여 21%의 단위용적질량 감소가 나타났으며, HMS 및

경량골재를 사용한 경우 28~31%의 감소가 나타나 콘크리트의 경량화를 통한 구조부재의 자중 경감이 가능할 것으로 기대된다.

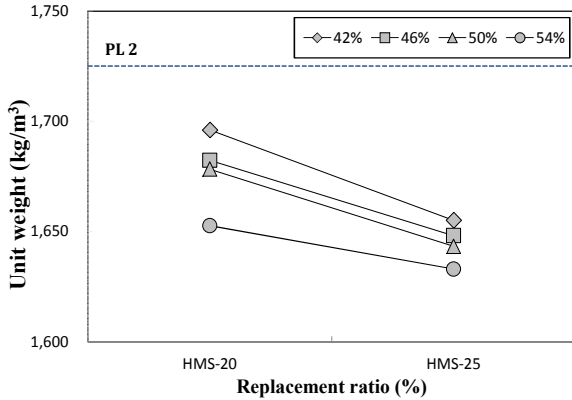


Figure 5. Unit weight of concrete according to replacement ratio of HMS and w/c

#### 4.4 압축강도

재령 28일의 압축강도를 측정한 결과는 Figure 6과 같다. 보통골재를 사용한 PL 1은 31.9MPa, 경량골재를 사용한 PL 2는 32.1MPa로 골재의 변화에 큰 차이없이 유사한 수준을 나타냈다. HMS를 20% 치환한 경우 물시멘트비 42, 46, 50, 54%에 따라 각각 37.2, 33.8, 30.7, 29.8MPa, 25%에서는 각각 34.0, 30.5, 27.8, 26.3MPa의 압축강도를 나타내 동일 치환율에서 물시멘트비의 증가에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다.

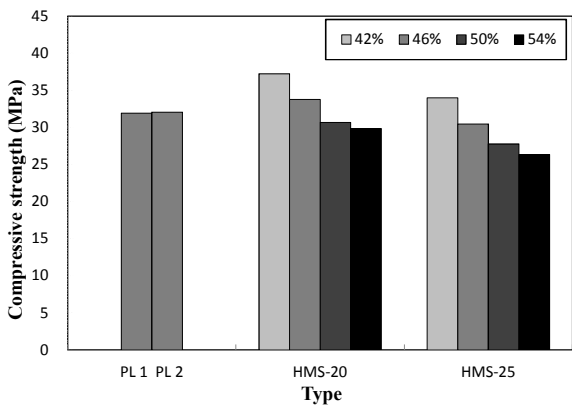


Figure 6. Compressive strength of concrete according to replacement ratio of HMS and w/c

PL 1, 2와 동일한 물시멘트비인 50%에서의 HMS 치환율 20, 25%를 비교하면 각각 31.9, 32.1, 30.7, 27.8MPa로 나타나 HMS의 20, 25%치환에 따라 압축강도가 PL 2대비 4.3, 13.4% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 상기 2.1절에서 언급한 바와 같이 HMS의 제조과정 중 입자간 고착방지를 목적으로 도포된 친수성 실리카로 인해 시멘트매트릭스와 HMS간에 계면부착응력 감소를 야기하며, 콘크리트의 파괴단면에 대한 Figure 7에서 보듯이 시멘트 페이스트와 HMS가 부착되지 않고 계면탈락된 것에 기인하는 것으로 판단된다.

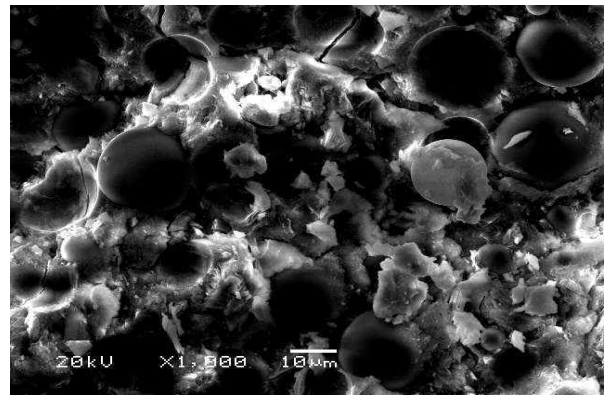


Figure 7. Fractured surface x 1000

#### 4.5 열전도율

HMS치환율과 물시멘트비 변화에 따른 콘크리트의 열전도율을 측정한 결과는 Figure 8과 같다. PL 1은 1.85W/mK로 나타났으며, 경량골재를 사용한 PL 2는 0.87W/mK의 열전도율을 나타내어 경량골재를 사용하는 경우 보통골재 대비 47%의 열전도율값을 보였다. HMS 20, 25%를 치환한 경우 열전도율은 각각 0.65~0.72W/mK, 0.59~0.68W/mK의 범위로 PL 1 대비 32~39%의 열전도율을 나타내었으며 경량골재를 사용한 PL 2 대비 68~83%의 열전도율을 보여 HMS의 사용이 열전도율 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 HMS의 치환율이 20%에서 25%로 증가함에 따라 물시멘트비 42, 46, 50, 54%에 대하여 각각 0.04, 0.03, 0.07, 0.06W/mK만큼 낮아진 결과를 나타내 HMS 치환율이 증가하면 열전도율은 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 HMS의 중공구조로 인해 콘크리트 내의 열의 전달을 낮추는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

또한 물시멘트비의 증가에 따라 열전도율이 낮아지는 것으로 나타났으며 이는 높은 시멘트량과 낮은 물시멘트비에서 열전도율이 증가한다[12]는 기존 이론과 같이 굳은 콘크리트 내부에 존재하는 자유수가 재령이 경과함에 따라 증발하여 형성되는 공극량에 기인한 것으로 판단된다.

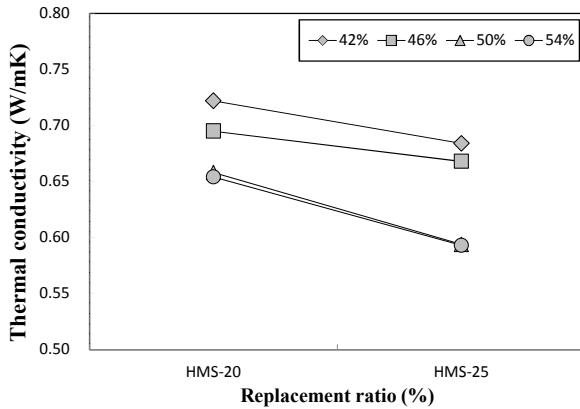


Figure 8. Thermal conductivity of concrete according to replacement ratio of HMS and w/c

Figure 9는 콘크리트의 단위용적질량과 열전도율의 상관관계를 나타낸 것으로 단위용적질량과 열전도율이 매우 높은 상관관계에 있음을 확인할 수 있다.

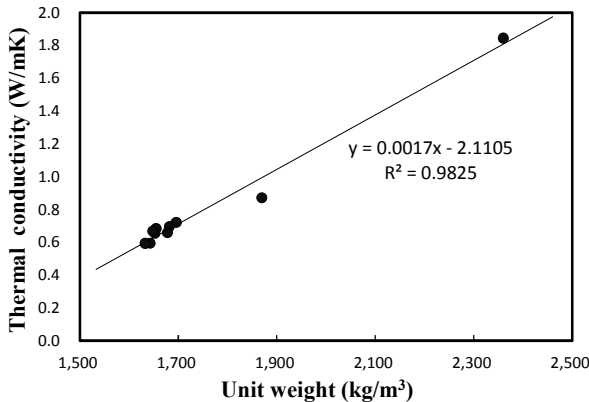


Figure 9. Relationship between thermal conductivity and unit weight

## 5. 결 론

본 연구는 단열성능이 향상된 구조용 단열콘크리트의 개발을 위한 기초적 연구로써 유리질 중공 미소 구체를 사용한 경량골재콘크리트를 제조하여 물리, 역학적 특성과 열

전도 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) HMS 치환율의 증가에 따라 동일 슬럼프를 얻기 위해서는 혼화제 사용량의 증가가 필요한 것으로 나타났으며 이는 상대적으로 미분말인 HMS의 사용에 따라 전체 재료의 표면적 증가와 이에 따른 소요수량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) HMS 치환율의 증가에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 HMS의 제조과정 중 입자간 고착방지를 목적으로 친수성 실리카를 도포함으로써 시멘트 매트릭스와 HMS간에 계면부착응력이 감소한 것에 기인하는 것으로 판단된다.
- 3) HMS를 사용한 경우 미치환 경량골재콘크리트 대비 최고 68%의 열전도율을 나타내었으며, 보통골재를 사용한 일반콘크리트에 대해서는 최고 32%의 열전도율을 갖는 것으로 나타났다. 이는 경량골재 및 HMS의 중공구조가 콘크리트 내의 열의 전달을 효과적으로 낮추는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 구조용 단열콘크리트의 개발을 위한 기초적 연구로서 HMS를 사용한 경량골재콘크리트의 물리, 역학적 특성 및 열전도 특성을 검토한 결과, HMS의 사용으로 인해 슬럼프의 감소가 발생하여 혼화제 사용량의 증가가 필요한 것으로 나타났으며, HMS 치환율의 증가에 따라 압축강도는 HMS의 낮은 계면부착력에 기인하여 감소하는 것으로 나타났다. HMS의 치환에 따라 일반콘크리트 및 경량골재콘크리트 대비 각각 최고 32, 68%의 열전도율을 낮추어 열전도율이 크게 개선되는 것으로 나타났다. 또한 물시멘트비의 증가는 압축강도를 감소시켰으나 열전도율은 개선하는 것으로 나타났다.

**키워드** : 유리질 중공 미소 구체, 경량골재 콘크리트, 열전도율, 단열콘크리트

## Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF), the Korea CCS R&D Center

---

(KCRC) and Construction Technology Research Program (CTRP, 11-Technology Innovation-F04) grants funded by the Korea government.

## References

1. Lemmet, S. Buildings and Climate Change, Summary for Decision-Makers. Paris: United Nations Environment Programme;2009. Chapter 1, The Contribution of Buildings to Climate Change; 9 p.
2. Noh DS. Development program of the greenhouse gas reduction technologies to address the convention on climate. Daejeon (Korea):Korea institute of energy research;2003, p,1-5, Report No.:M1-0028-00-0002-01- A27-00-011-00, Korean.
3. Kim JH, Park YS. Development production technology and mix proportion of improved insulation performance concrete. Magazine of the Korea concrete institute. 2013;25(6):31.
4. So SY. A study on the thermal insulation property of concrete composites using lightweight aggregate. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2004;4(3):93-100.
5. Kim DH, Choi DH. An experimental study on the characteristics of lightweight foamed concrete used as the refractory filler. Journal of KOSHAM, 2012;12(6):231-7.
6. Jang IG, Woo YJ, Lee HS, Yoo JH, Sim KS. An experimental study on the thermal property and the structural lightweight mortar using micro form agent. Journal of the architectural institute of Korea, 2010;25(8):29-36.
7. Kim JM, Jeong JY. Influence of foaming agents on the properties of foamed concretes having various densities. Journal of the Korea institute of building construction, 2012;12(1):22-30.
8. Lee JC. An experimental study on the properties of lightweight aggregate concrete contained coated-expanded polystyrene beads. [dissertation]. [Seoul]:Konkuk University;2004. 135 p.
9. Budov VV. Hollow glass microspheres. use, properties, and technology (Review). Glass and Ceramics, 1994;51(7):230-5.
10. Seo CH. An experimental study on the properties of lightweight concrete [dissertation]. [Seoul]:Hanyang University;1985. 154 p.
11. Mehta PK, Monteiro PJ. Concrete: microstructure, properties, and materials, 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 2006. 258 p.
12. Kim KH, Jeon SE, Kim JK, Yang SC. An experimental study on thermal conductivity of concrete. Cement and Concrete Research, 2003;33(3):363-71.