

## 유리질중공미소구체를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Property of the Concrete with Glass 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>5)\*</sup>  
Sang-Heon Kim      Se-Hwan Kim      Young-Shin Park      Hyun-Gyu Jeon      Chee-Ho Seo

#### Abstract

In this research, as a measure of reducing energy lost through external wall, we used Glass Hollow Micro Sphere (HMS) to improve insulation performance to structural concrete. The following is a result of experimenting concrete using HMS.

As usage of HMS, decrease in slump arose and it is judged as a need of using superplasticizer. Replacement ratio increasing more and more, amount of air showed tendency to decrease and compressive strength decreased for interfacial adhesion had not been formed. as replacement ratio and unit volume decreased. It appears that thermal conductivity decreased about 30.0~46.5 percent as compared with normal weight concrete.

Keywords : Glass hollow micro sphere, Insulation performance, Thermal conductivity

#### 1. 서 론

최근 에너지 절감 및 환경보존에 대한 요구가 세계적으로 증대하면서 모든 산업분야에서 이에 대한 대응방안 및 신기술 개발이 요구되고 있다. 건축물을 통한 에너지 사용량은 OECD 국가 에너지 사용의 40%, 전 세계 온실가스 배출의 30%를 차지한다고 명시하였다 (UNEP, 2009). 이에 국내에서도 녹색성장이라는 패러다임 아래, ‘저탄소 녹색성장 기본법’의 제정과 ‘친환경주택 건축의 건설기준 및 성능’을 고시하였으며, 의무대상으로 지목되는 신축 공동주택은 2017년은 60%, 2025년에는 100% 절감을 목표로 하고 있다 (Noh, 2003). 또한 건설사는 에너지고효율주택인 그린홈 (Green Home)에 대한 다각적인 연구와 각종 패시브 기술을 선보이며 친환경 주택 시장을 확장시키려는 노력이 계속되고 있다.

2012년 에너지경제연구원의 연구결과에 따르면 공동주택의 에너지 소비량에서 가장 많은 비중을 차지하는 부문은 난방에 이용되는 에너지 소비량이며, 난방에너지 소비량은

전체 에너지 소비량의 약 42% 수준을 나타내고 있으며, 난방에너지의 사용량은 1990년부터 2010년까지 꾸준한 증가세를 보이고 있다 (Choi, 2012).

콘크리트는 국내 주거용 건축물에 70% 이상 사용되는 구조용 재료로서 경제성 및 시공성이 우수하지만, 단열성능이 낮아 난방에너지 효율성 관점에서 취약한 것으로 평가받고 있다.

기존의 단열성이 높은 콘크리트는 기포체에 의해 콘크리트 속에 무수한 기포를 골고루 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 경량기포 콘크리트 연구가 진행되었으나 열전도율의 저감효과에 비해 강도가 지나치게 낮다는 단점을 지니고 있어 구조용 단열재료로 활용하기에 어려움이 있다 (Kim, 1994).

이에 본 연구는 단열성능을 확보한 구조용 콘크리트 개발을 목표로 유리질중공미소구체 (Glass Hollow Micro Sphere, 이하 HMS)를 콘크리트 재료로 활용하여 열적 성능을 향상시키고자 하였다. 실험을 통해 HMS를 사용한 콘크리트의

1) 정회원, 건국대학교 산업기술연구원, 공학박사  
2) 정회원, 건국대학교 대학원 박사과정  
3) 정회원, 한라엔컴 R&D센터 센터장, 공학박사  
4) 정회원, GS건설 기술연구소 책임연구원, 공학박사  
5) 정회원, 건국대학교 건축대학 교수, 교신저자

\* Corresponding author : chseo@konkuk.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2014년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

물리·역학적 특성 및 열전도율 시험을 통한 열적특성을 평가하여 실구조물 적용을 위한 기초적 연구자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험 개요

본 실험은 단열성능을 갖는 구조용 콘크리트 개발을 목적으로 유리질의 중공구조를 가진 HMS를 사용하여 콘크리트를 제작하고 이에 대한 물리·역학적 특성 및 열적 특성을 평가하고자 하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

시멘트는 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 이에 대한 물리·화학적 성질은 Table 1, 2와 같다.

#### 2.2.2 유리질중공미소구체 (HMS)

HMS는 SiO<sub>2</sub>와 CaO 등을 혼합하여 제조된 것으로 주성분은 규산질이며 Photo 1, 2와 같이 중공구조를 갖는 구형의 분말이다. HMS는 다양한 규격으로 생산되는데 입자크기는

6~120μm, 박막두께는 평균값으로 0.5~1.5μm이며 육안으로는 파우더 형태로 나타난다. 또한 HMS는 제조과정 중 친수성 실리카로 표면처리를 하여 입자간 부착을 방지하고 물과의 접촉 시 분산될 수 있도록 하였다. 밀실한 박막을 통해 내·외부가 차단된 박막내부는 공기와 SO<sub>2</sub>로 충전되어 있다.

본 실험에서는 동일한 밀도이나 파쇄강도가 상이한 2종을 선정하였는데, A Type은 파쇄강도가 192N/mm<sup>2</sup>, 평균입자 크기 약 25μm이고, B Type은 124N/mm<sup>2</sup>, 50μm를 갖는다.

실험에 사용된 HMS의 물리·화학적 특성은 Table 3, 4와 같다.

#### 2.2.3 골재

실험에 사용된 골재는 KS규격에 만족하는 쇄석과 세척사를 사용하였으며 물리적 성질은 Table 5와 같다.

#### 2.2.4 혼화제

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

Table 1 The physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Stability (%)	Set time (Min)		Com. strength (N/mm <sup>2</sup> )		
			Ini	Fin	3age	7age	28age
3.15	3,400	0.1	230	390	22.5	29.4	40.2

Table 2 The chemical properties of cement

Elements	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Ign. loss	Free CaO	Insol
Contents (%)	61.3	21.1	5.2	4.0	2.8	2.4	2.0	0.6	0.2



Photo 1 HMS (Naked Eye)

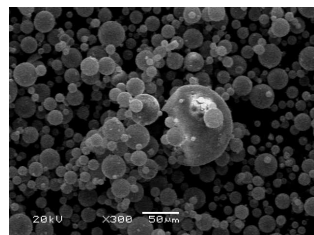


Photo 2 SEM (x300)

Table 3 The physical properties of HMS

Section	Crush strength (N/mm <sup>2</sup> )	Thermal conductivity (W/mK)	Density (g/cc)	Absorptance (%)	Particle Size ; mean (μm)
A Type	192	0.2	0.6	0.1%	25
B Type	124	0.2	0.6		50

Table 4 The chemical properties of HMS

Elements	SiO <sub>2</sub>	Limestone	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>
Contents (%)	62.4	33.3	4.0	1.9	1.5

Table 5 Physical properties of aggregates

Section	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorptance (%)	F.M (%)
Coarse aggregate	1,535	2.6	0.87	6.93
Fine aggregate	1,562	2.6	1.07	2.25

Table 6 The physical and chemical properties of admixtures

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

### 2.3 배합계획

본 실험에서는 시멘트 중량을 고정시키고 HMS 치환율을 20, 25%로 계획하였으며, 물시멘트비를 55, 50, 45%로 설정하였다. HMS는 사전실험 결과를 통해 전체골재용적에 대하여 치환하였으며, 시험체 제작에 따른 믹싱 중 발생하는 충격에 의해 파쇄될 수 있어 이에 대한 충분한 강도의 입경이 다른 2타입을 선정하였다. 배합목표로 시공성 확보를 위한 목표슬럼프는 200mm, 오차범위±20mm로 하였다. 본 실험의 배합인자 및 실험계획은 Table 7과 같으며 배합표는 Table 8과 같다.

### 2.4 실험방법

#### 2.4.1 굳지 않은 콘크리트

본 실험의 실험 항목은 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공

기량, 단위용적질량을 측정하였으며, 실험은 KS규격에 준하여 진행하였다.

#### 2.4.2 굳은 콘크리트

HMS를 치환한 콘크리트의 물리적 특성을 평가하기 위하여 압축강도는 재령 3, 7, 28일에 측정하였으며, 열전도율은 재령 28일에 표면접촉식 열전도율 분석기 (Photo 3)를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지 않은 콘크리트

#### 3.1.1 슬럼프

본 실험에서는 목표슬럼프를 만족시키기 위해 폴리카르보나계 고성능감수제를 사용하였다. 실험결과, 고성능감수제의 투입량이 조절된 상태에서 슬럼프는 Fig. 1과 같이 180~220mm의 슬럼프 값을 나타내었다. 이를 위한 시멘트 중량에 대한 고성능감수제 투입량은 Plain에서 0.10% 사용하였으며, A

Table 7 Contents of experiment

Section	Factor	Number	
		Type	2
Mixing design condition	Contents of HMS (%)	3	0 (Plain), 20, 25
	w/c (%)	3	55, 50, 45
	S/a (%)	1	45
	Fresh concrete	Slump Air contents	
Contents of test	Hardened concrete	Compressive strength Unit weight Thermal conductivity	

Table 8 Mixed design

Type	w/c (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
			w	c	HMS	S	G
Plain	50	45	195	390	0	733	902
A20-55	55	45	215	390	74	577	711
A20-50	50	45	195	390	76	595	733
A20-45	45	45	176	390	79	614	756
A25-55	55	45	215	390	93	541	666
A25-50	50	45	195	390	95	558	688
A25-45	45	45	176	390	98	575	709
B20-55	55	45	215	390	74	577	711
B20-50	50	45	195	390	76	595	733
B20-45	45	45	176	390	79	614	756
B25-55	55	45	215	390	93	541	666
B25-50	50	45	195	390	95	558	688
B20-45	45	45	176	390	98	575	709



Photo 3 Thermal conductivity analyzer

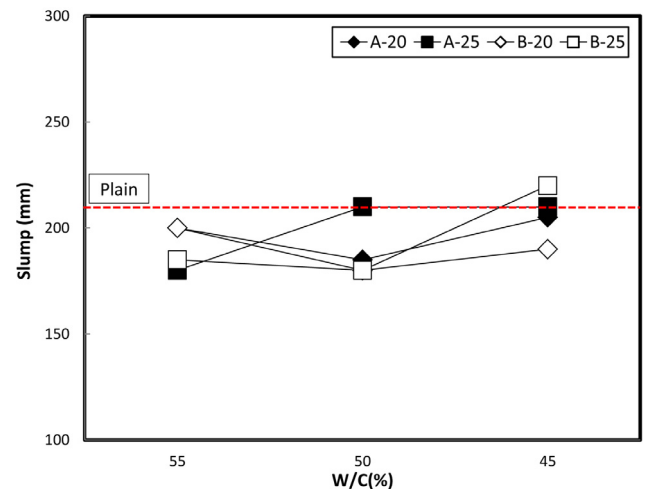


Fig. 1 Test result of concrete slump

Type HMS를 20%치환한 물시멘트비율 55%는 0.20%, 50%는 0.20%, 45%는 0.50%를 투입하였고 HMS 25% 치환시 물시멘트비 별로 각각 0.2, 0.3, 0.7% 투입하였다. B Type HMS를 20% 치환한 물시멘트비율 각각 0, 0.15, 0.55%가 투입되었으며 25% 치환에서는 각각 0.05, 0.45, 0.85% 투입하였다.

실험결과, 물시멘트비 50%와 45%에서는 HMS 치환율에 따라 고성능감수제의 사용량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 유동성 확보에 기여해야할 배합수가 친수성의 HMS 입자표면으로 흡착되는 것에 기인한 것으로 판단된다. 반면 물시멘트비 55%는 워커빌리티에 기여하는 단위수량이 상대적으로 많아 고성능감수제 사용량에 증가 요구는 크게 나타나지 않았던 것으로 판단된다.

### 3.1.2 공기량

공기량 조절을 위한 추가적인 AE제 등의 혼입이 없는 상태에서의 공기량 실험결과는 Fig. 2와 같다. Plain 콘크리트의 공기량은 2.2%로 나타났으며, A Type HMS를 20% 치환한 물시멘트비 55%에서는 2.0%의 공기량을 나타냈으며, 50, 45%에서는 2.5, 1.7%로 나타났다. B Type은 20% 치환율에서 물시멘트비 별로 각각 1.6, 1.6, 1.9%로 측정되었다. HMS를 25% 치환한 경우 A Type은 1.8, 1.7, 1.4%, B Type은 1.6, 1.9, 1.4%로 나타나, HMS를 사용하는 경우 Plain에 대비하여 전반적으로 공기량이 감소한 것으로 나타났다.

일반적으로 실리카폼 사용량의 증가하면 공기량이 감소하는데, 이는 실리카폼의 분말도에 기인한다 (Kosmatka and Wilson, 2011)는 기존의 이론과 같이 HMS의 미세한 입자크

기로 인해 콘크리트 내부의 공기량 감소가 나타난 것으로 판단되며, 적정수준의 공기량 확보를 위해 AE제의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.1.3 단위용적질량

굳지않은 콘크리트의 단위용적질량 측정결과, Plain은 2,324kg/m<sup>3</sup>로 일반적인 콘크리트와 유사한 수준을 보였으며, A Type의 HMS를 20% 치환한 물시멘트비 55% 콘크리트의 경우 2,070kg/m<sup>3</sup>, 50%는 2,056kg/m<sup>3</sup>, 45%는 2,107kg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 25% 치환 시 물시멘트비 별로 각각 2,016, 2,018, 2,039kg/m<sup>3</sup>로 나타났다. B Type의 단위용적질량은 HMS를 20% 치환 시 물시멘트비 별로 각각 2,071, 2,080, 2,092kg/m<sup>3</sup>이었으며, 25%를 치환한 경우 2,015, 2,003, 2,038kg/m<sup>3</sup>로 측정되었다.

중공체인 HMS의 강도가 충분하지 않은 경우 믹싱 과정 중 파괴가 일어나며 이 경우 단위용적질량의 변화가 나타날 수 있어 이에 대하여 Fig. 3과 같이 실측공기량을 감안한 추정단위용적질량과 실측단위용적질량을 비교하였다. 비교결과 HMS를 사용하지 않은 Plain배합의 경우와 비교하여 차이가 크지않은 것으로 나타나 HMS의 파괴는 일어나지 않은 것을 확인할 수 있으며, 파쇄강도가 124N/mm<sup>2</sup> 이상인 경우 믹싱과정 중 HMS의 파괴는 발생하지 않는 것으로 판단된다.

## 3.2 경화된 콘크리트

### 3.2.1 압축강도

A Type HMS를 사용한 콘크리트의 압축강도는 Fig. 4와 같으며 물시멘트비가 50%인 Plain 콘크리트는 재령 3, 7, 28일 각각 20.3N/mm<sup>2</sup>, 31.5N/mm<sup>2</sup>, 38.8N/mm<sup>2</sup>로 측정되었다.

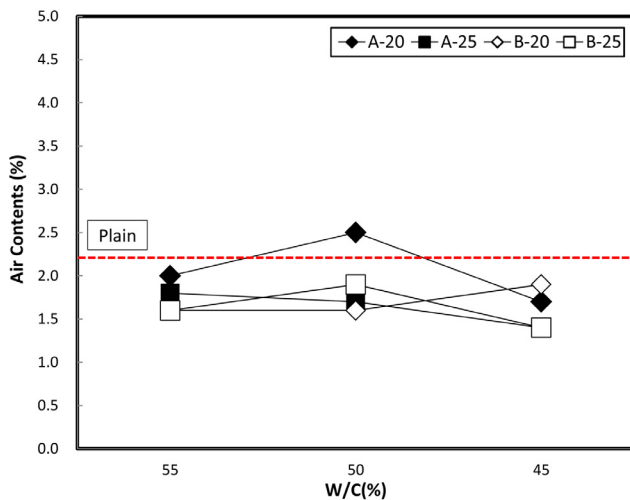


Fig. 2 Concrete air contents value of test result

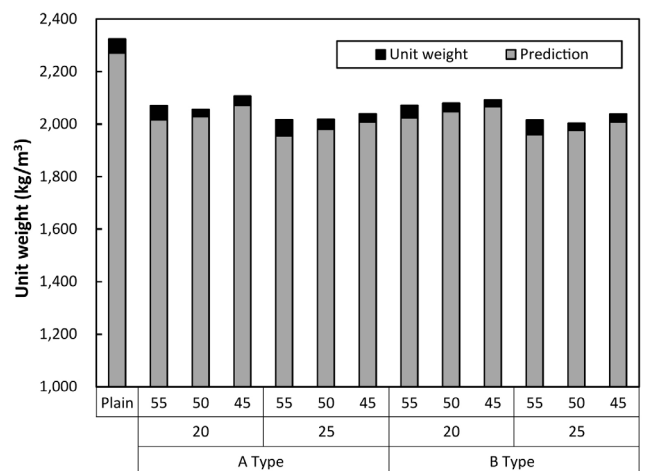


Fig. 3 Test result of unit weight

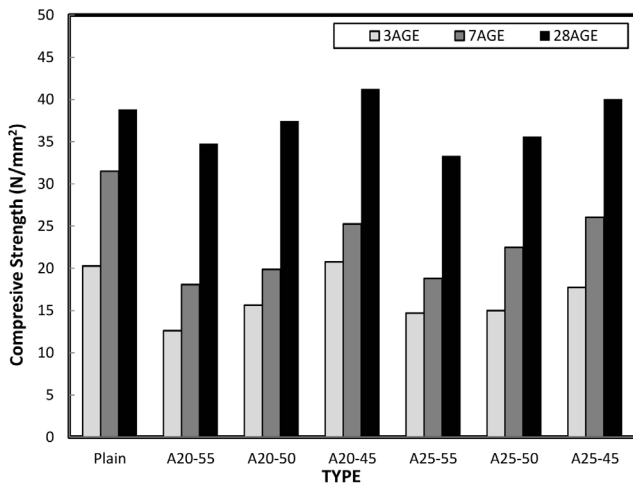


Fig. 4 Test result of A type compressive strength

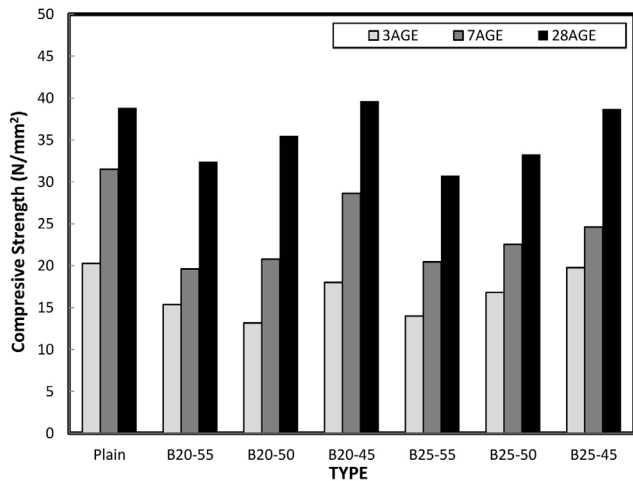


Fig. 5 Test result of B type compressive strength

A Type 20% 치환율에서 물시멘트비 55%의 재령별 강도는 12.6, 18.1, 34.7N/mm<sup>2</sup>, 물시멘트비 50%는 15.6, 19.9, 37.4N/mm<sup>2</sup>, 45%는 20.7, 25.2, 41.2N/mm<sup>2</sup>로 나타났다. 25% 치환율에서는 55%의 경우 재령별 압축강도는 14.7, 18.8, 33.3N/mm<sup>2</sup>로 나타났으며, 50%는 15.0, 22.5, 35.6N/mm<sup>2</sup>, 45%는 17.7, 26.0, 40.0N/mm<sup>2</sup>로 나타났다.

B Type HMS 콘크리트의 압축강도는 Fig. 5와 같으며 HMS 20% 치환율에 물시멘트비 55%의 경우 재령 별로 15.4, 19.6, 32.4N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보였다. 50%는 13.1, 20.8, 35.5N/mm<sup>2</sup>, 45%는 18.0, 28.6, 39.6N/mm<sup>2</sup>로 나타났다. 25% 치환율에서 물시멘트비 55%는 14.0, 20.5, 30.7N/mm<sup>2</sup>, 50%는 16.8, 22.6, 32.3N/mm<sup>2</sup>, 45%는 19.8, 24.6, 38.7N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었다.

동일한 물시멘트비를 기준으로 살펴보면 HMS의 치환한

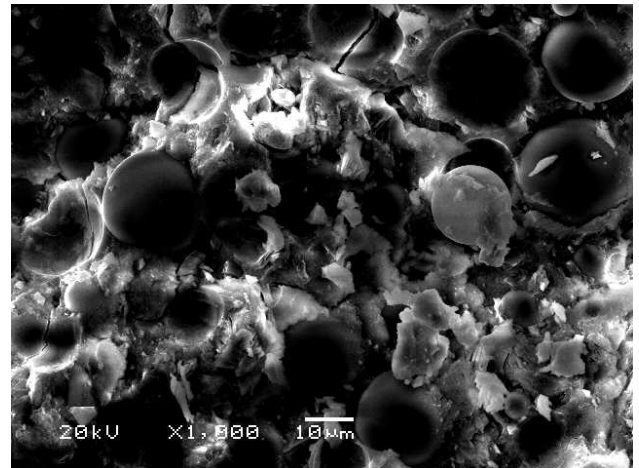


Photo 4 Fracture surface x1000

배합은 Plain 배합보다 약 3.6~8.5% 감소하는 것으로 나타나, HMS의 치환은 압축강도를 다소 저하시키는 것으로 판단되었다. 이는 재령 28일의 HMS를 사용한 콘크리트의 파괴단면의 형상을 촬영한 Photo 4에서 보듯이 HMS의 둥근 형상 및 입자표면과 시멘트 매트릭스와의 전이역에 부착이 형성되지 않은 것에 기인한 것으로 판단된다. 이는 부드럽고 둥근 골재를 입자가 거칠고 모난 골재로 변경했을 시 시멘트 페이스트와 골재 사이에 부착응력은 증가한다 (Kosmatka and Wilson, 2011)는 기존 이론과 HMS의 제조과정 중 입자간 고착방지를 목적으로 친수성 실리카를 도포함으로 인해 시멘트매트릭스와 HMS간에 계면부착응력이 감소한 것에 기인하는 것으로 판단된다.

HMS의 입경변화에 따른 강도는 A TYPE이 B TYPE에 비해 평균 6%의 높은 강도를 나타내었다. 이는 입경의 낮아짐에 따라 많은 양의 HMS입자가 시멘트 매트릭스에 고르게 분산되어 콘크리트의 강도 향상에 도움이 된 것으로 판단된다.

### 3.2.3 열전도율

열전도율 측정결과는 Fig. 6과 같이 기준 배합인 Plain의 경우 1.81W/mK로 나타났으며, A Type을 20% 치환한 물시멘트비 55, 50, 45%의 배합에서 각각 1.10, 1.21, 1.27W/mK, 25% 치환의 경우 물시멘트비 별로 각각 0.97, 1.07, 1.18W/mK의 열전도율을 나타냈다. B Type은 20%에서 1.19, 1.20, 1.27W/mK로 나타났으며, 25%에서 0.97, 1.17, 1.25W/mK로 나타났다.

HMS를 사용한 콘크리트의 열전도율은 Plain 콘크리트보다 약 30.0%~46.5% 정도 감소한 것으로 나타났으며, 이는 콘크리트에 사용된 중공구조의 HMS 입자가 지닌 낮은 열전

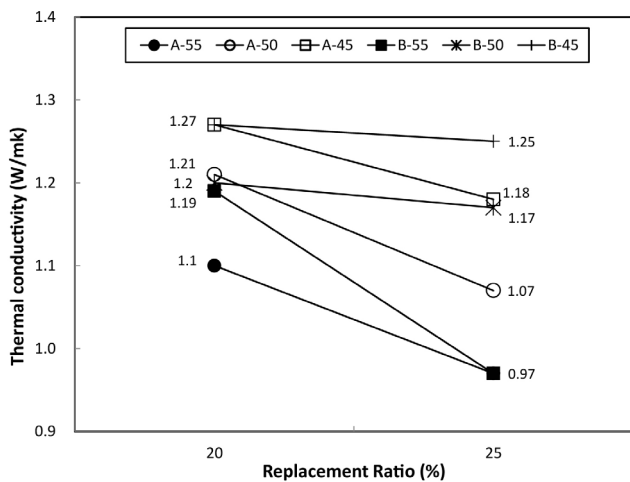


Fig. 6 Test result of thermal conductivity

도율에 기인한 것으로 풀이된다. 또한 물시멘트비가 증가할수록 열전도율은 낮아지는 경향을 확인할 수 있었으며, 이는 높은 시멘트량과 낮은 물시멘트비에서 열전도율이 증가한다 (Kim et al., 2003)는 기존 이론과 같이 굳은 콘크리트 내부에 존재하는 자유수가 재령이 경과함에 따라 증발하여 형성되는 공극량에 기인한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 보통콘크리트와 HMS를 치환한 콘크리트 실험을 진행하여 비교·분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 동일 수준의 슬럼프를 얻기 위해서 HMS 치환율 증가에 따라 고성능감수제의 사용량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 HMS의 사용에 따라 사용재료의 표면적의 증가에 기인한 것으로 판단된다.
- (2) HMS를 사용한 경우 공기량이 다소 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서 공기량 확보를 위해 AE제를 사용이 필요할 것으로 판단된다.
- (3) 압축강도는 HMS의 치환으로 인해 다소 감소하는 것

으로 나타났다. 이는 HMS의 형상과 제조과정 도포된 친수성 실리카에 의한 계면부착응력이 감소에 기인한 것으로 판단된다.

- (4) HMS 치환에 따라 Plain 대비 약 30.0~46.5% 낮은 열전도율을 보였으며, 물시멘트비가 높아질수록 열전도율은 낮아지는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(11기술혁신F04)에 의해 수행되었습니다.

#### References

1. Choi, M. S. (2012), A study on the energy efficiency indicators for services and residential sectors with IEA standard, Korea energy economics institute, 30-32.
2. Kim, K. H., Jeon, S. E., Kim, J. K., Yang, S. C. (2003), An experimental study on thermal conductivity of concrete, Cement and Concrete Research, 33(3), 363-371.
3. Kim, Y. J. (1994), An Experimental Study on the Properties of the Insulated Concrete used of artificial Lightweight Aggregate, Master dissertation, Konkuk Univ, Dept. of Architectural Engineering.
4. Kosmatka, S. H., and Panarese, W. C. (2002), Design and control of concrete mixtures, Portland Cement Association, 106.
5. Kosmatka, S. H., and Panarese, W. C. (2002), Design and control of concrete mixtures, Portland Cement Association, 76.
6. Noh, D. S. (2003), Development program of the greenhouse gas reduction technologies to address the convention on climate, Korea institute of energy research, 1-5 (in Korean).
7. UNEP (2009), Buildings and Climate Change, UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris, 9.

Received : 02/24/2014

Revised : 04/15/2014

Accepted : 04/29/2014

---

## 요 지

본 연구에서는 건축물의 외피를 통해 손실되는 냉난방 에너지를 감소시킬 수 있는 방안으로써, 구조용 콘크리트에 단열성능을 향상시킬 수 있는 할로마이크로스피어 (Hollow Micro Sphere, 이하 HMS)를 사용하였다. 중공구조의 마이크로 크기의 입자인 HMS를 사용한 콘크리트를 실험한 결과는 아래와 같다.

HMS의 사용으로 인해 슬럼프에 감소가 나타나 고성능감수제의 사용이 필요할 것으로 판단된다. 공기량은 HMS의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 압축강도는 HMS의 계면부착력이 형성되지 않는 것에 기인하여 치환율 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 열전도율과 단위용적질량은 치환율이 증가할수록 감소하였다. 열전도율은 보통콘크리트 약 30.0~46.5% 감소한 것으로 나타났다.

**핵심 용어** : 유리질중공미세구체, 단열성, 열전도율

---