

## 건축물 열환경 특성제어를 위한 상변화 축열재

윤희관 · 한성국 · 심명진 · 안대현 · 이웅목 · 박종순 · 김재용<sup>†</sup>

충북대학교 환경공학과  
(2010년 4월 27일 접수, 2010년 6월 18일 채택)

### Heat Storage Material by Using Phase Change Materials to Control Buildings Thermal Environment Characteristics

Huy-Kwan Yun, Seong-Kuk Han, Myeong-Jin Shim, Dae-Hyun Ahn, Woong-Mok Lee,  
Jong-Soon Park, and Jae-Yong Kim<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheong-Ju 361-763, Korea  
(Received April 27, 2010; Accepted June 18, 2010)

축열이용기술은 열저장효과를 이용하여 냉난방 부하가 적을 때 남는 열을 저장하였다가 부하가 증가할 때 이용하는 방법으로써, 열저장 물질의 온도이용 특성에 따라 현열축열과 잠열축열로 구분한다. 잠열축열은 특정 온도 범위에서 상변화 할 때 높은 잠열을 갖는 물질을 이용하여 열을 저장하는 방법으로 동일한 열저장을 위해 소요되는 공간 크기가 현열 축열에 비하여 작아지게 되고 일정한 온도범위에서 열의 흡수 및 방출이 가능한 특성이 있다. 본 연구는 건축물의 냉난방시 소요되는 에너지를 절약하기 위하여 상온 상변화물질을 축열재로 사용하여, 건축자재로 범용적으로 사용되고 있는 시멘트, 석고 등에 적용하고자 하였다. 제조된 물질이 에너지절약성능은 물론 건축자재로서 필요한 물성을 갖추기 위하여 최적배합 방법 및 비율을 도출하고자 하였다. 그에 따라 중량비로 3% 들어간 축열모르타르의 냉각지연효과는 약 19%로 나타났다.

Heat storage application techniques can be categorized into the sensible heat storage and the latent heat storage according to the method of heat storage. Heat storage is the way of saving remaining heat when heating and cooling loads are light, and then using it when the heating and cooling loads are heavy. Latent heat storage is defined as the method of saving heat by using substances which have high potential heat when phase change is in the range of a certain temperature and when heat storage space is small, compared to those of sensible heat storage and it is possible that absorption and emission of heat at a certain temperature. This study is conducted to save energy when either air-conditioning or heating is operated in a building. We have tried to find out the essential properties of matter and the optimum mixing rate about cement and gypsum for building materials, which have been widely used for proper phase change materials (PCM), when thermal environment property is applied. So we obtained the result of the cooling delay effect about 19% with heat storage mortar containing 3 wt% of PCM.

**Keywords:** PCM, heat system, latent heat, mortar, microcapsule

### 1. 서 론

건축물의 단열방법은 단열재의 설치 위치에 따라 내단열과 외단열로 구분 할 수 있으며, 내단열은 현재 주로 공동주택들에 행해지고 있는 방법으로 외단열에 비하여 효율이 떨어지고, 단열재 뒷부분의 온도저하로 인한 결로 및 곰팡이 발생 등의 문제점을 안고 있다. 또 외단열의 경우 외부 표면이 거칠어 매연이나 기름때 섞인 먼지에 의한 오염의 제거가 어렵다는 단점이 있다. 이에 반하여 축열은 열저장효과를 이용하여 냉난방 부하가 적을 때 남는 열을 저장하였다가 최대 부하 때 이용하는 방법으로 현열축열과 잠열축열로 구분할 수 있다. 잠열

축열은 특정 온도 범위에서 상변화에 따른 높은 잠열을 갖는 물질을 이용하여 열을 저장하는 방법으로 열저장 공간의 크기가 현열축열에 비하여 작고 일정한 온도에서 열의 흡수 및 방출이 가능하다[1,2].

본 연구에서는 건축물의 냉난방시 소요되는 에너지를 절약하기 위하여 상온 상변화물질을 이용한 축열형 건축자재를 제조하였다. 본 제조시료에 대한 물성의 특성분석 과정을 거쳐 축열형 건축자재로 활용하기 위한 최적조건을 도출하고자 하였다.

<sup>†</sup> 교신저자(e-mail: jykim4@korea.com)

**Table 1. Specification of Encapsuled PCMs**

	B	C	K
Particle size (μm)	13	7	20
Shell	Acryl	Melamine	Melamine
Melting point (°C)	26	24	28
Heat of fusion (J/g)	142	211	166
Phase	Powder	Powder	Slurry

**Table 2. Materials of Cement Mortar**

Composition		Level		Item
Basic	Cement Mortar	1	Dry Mortal 100	Density
Materials (B)	W/C (wt%)	1	Flow 100 ± 5%	
	PCM (wt%)	4	1, 2, 3, 4	Indentation hardness
Additives	Water Reducer (wt%)	1	0.5	Shrinkable ratio
	Viscosity Increaser (wt%)	3	0.05, 0.1, 0.15	Heat Storage

## 2. 실험

### 2.1. 재료

#### 2.1.1. 상변화물질

본 연구에서는 캡슐화되어 있는 상변화물질을 사용하였으며, 국내에서 판매되고 있는 C, K 축열미립자와 비교 실험을 위하여 B 축열미립자를 각각 구입하여 사용하였다. 실험에 사용한 축열미립자의 주요 사양은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2. 모르타르

시판되고 있는 H사의 바닥용 건조시멘트 모르타르를 사용하였다.

#### 2.1.3. 감수제

시멘트 페이스트의 응결 및 경화지연이 가장 적은 것으로 알려진 펠라민계 고유동화제를 사용하였다.

#### 2.1.4. 기타

점도 조절 및 캡슐화된 축열미립자와 시멘트 모르타르의 상분리 방지를 위하여 셀룰로스계 증점제를 사용하였으며, 물은 상수도를 사용하였다.

### 2.2. 방법

#### 2.2.1. 축열용 모르타르

축열용 시멘트 모르타르는 Table 2와 같이 시멘트 모르타르와 플로우를 100 ± 5%가 되도록 물과 시멘트 모르타르의 비를 중량비로 1 : 1이 되도록 하고, 여기에 축열미립자를 중량비 1~4%까지 1%씩 증가시키며 부가하고, 감수제를 중량비 0.5%, 증점제를 중량비 0.05, 0.1, 0.15%로 부가하여 총 12가지의 배합비를 가지고 큐브몰드를 만들어 비중, 압축강도, 길이변화율, 축열 성능을 검토하였다[3].

상변화물질, 증점제를 사용함으로써 물/시멘트비의 증가가 예측되는 조건하에서 온도에 시공되는 습식 시멘트 모르타르의 작업성 및 기계적 강도를 만족시키기 위하여 물/시멘트비를 가급적 작게 하기

**Table 3. Mixing Ratio of Cement Mortar**

Items No	Dry Mortal Names	W/C (%) (Flow)	PCM (Mt×)	Water reducer (C×)	Viscosity increaser (C)
1	B		0	0	0
2	1-5-05				0.05
3	1-5-10		1	0.5	0.1
4	1-5-15				0.15
5	2-5-05				0.05
6	2-5-10	100	55 ± 5 (100 ± 5%)	2	0.5
7	2-5-15				
8	3-5-05				0.05
9	3-5-10		3	0.5	0.1
10	3-5-15				0.15
11	4-5-05				0.05
12	4-5-10		4	0.5	0.1
13	4-5-15				0.15

**Table 4. Compression Hardness for KS L 5220**

Item	Capacity level	
	Commonly	Floor
Compression stress (N/mm <sup>2</sup> )	7 days	7 upper
	28 days	14 upper
		21 upper

위하여 펠라민계 감수제를 시멘트 중량비로 0.5%로 부가하였으며, 또한 시멘트 모르타르에 비해 비중이 작은 축열미립자를 모르타르에 첨가하는 배합의 특성을 고려하여 모르타르의 재료분리 저항성, 소성유동, 윤활성 및 저계면 활성을 위하여, 일반적인 증점제로 널리 사용되고 있는 셀룰로스계 증점제를 사용하였다. 배합수로서 물은 상수도를 사용하였다[4].

축열온도의 최적배합을 도출하기 위하여, 각각의 인자 및 수준에 대한 기초 실험을 통하여 선정된 최종 배합비를 Table 3에 나타내었다.

축열용 시멘트 모르타르의 평가를 위해 한국산업규격(KS)에서 규정된 시험 방법에 따라 Table 3의 배합비별로 각각의 공시체를 제조하고 양생을 실시한 후 성능을 평가하였다.

### 2.3. 성능평가

#### 2.3.1. 압축강도

온돌용 재료의 압축강도는 시공 후 구조물의 안전은 물론, 대형가구 및 전자제품 등의 설치에 따른 하중의 집중, 중량물의 낙하에 따른 파손 등 장기안정성 측면에서 가장 중요한 필수 성능으로서, 평가대상 기술의 기준이 될 수 있는 한국산업규격 KS L 5220 (건조 시멘트 모르타르)에서는 미장, 조적 또는 바닥 재료로 사용되는 건축 재료로서 공장에서 제조되는 시멘트 계 모르타르에 대하여 다음의 Table 4와 같이 압축강도에 대하여 규정하고 있다[5].

압축강도 시험은 KS L 5220 (건조 시멘트 모르타르)에 규정하는 방법에 따라 시험을 행하였다. 계량된 배합비의 재료를 KS L 5109의 4. (장치)에 규정하는 장치를 사용하여 혼합한 후 혼합이 완료된 재료를 50 × 50 × 50 mm의 크기로 성형한 후, 습기실에서 48 h 동안 저장한

후 탈형하여 다시 습기실에서 이후 강도측정 재령까지 저장하였다. 각각의 재령에 도달한 공시체는 KS L 5105 (수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 시험하였으며, 이때 사용기기는 만능재료시험기(UTM, SHIMADZU, UH-100A, JAPAN)였으며, 분당 5 mm의 가압속도로 파괴 시까지 가압하여 최대 파괴하중을 구하였다.

2.3.2. 길이변화율

공시체의 측면 길이 변화를 측정하는 콤퍼레이터 방법을 이용하여 측정하였다. 길이 변화율 공시체 제작은 고안된 배합비의 재료를 KS L 5109의 4 (장치)에 규정하는 장치를 사용하여 혼합하고, 혼합이 완료된 재료를 40 × 40 × 160 mm의 크기로 성형한 후, 습기실에서 48 h 동안 저장한 후 탈형하여 다시 습기실에서 5일간 저장하고 이후 재령까지 온도 18 ~ 25 °C, 상대습도 40 ~ 80%의 실험실 내 대기 중에 저장하였다. 공시체 탈형 후 20 ± 1 °C의 수중에서 7일간 수중 양생하였다. 재령이 7일이 되었을 때 길이를 측정하여 이 시점을 기준으로 하였다.

2.3.3. 축열성능

2.3.3.1. 수중 냉각시험

각각의 온도센서가 부착된 공시체를 건조기에 넣고 60 °C에서 12 h 유지한 후 상온(18 °C)의 물에 즉시 침수시키고, 각 배합별 공시체 및 물의 온도변화 추이를 Data Logger를 사용하여 측정하였다[6].

2.3.3.2. 기중 냉각시험

각각의 온도센서가 부착된 공시체를 건조기에 넣고 60 °C에서 12 h 유지한 후 상온(18 °C)의 대기 중에 방치시킨 후 각 배합별 공시체의 온도변화 추이를 Data Logger를 사용하여 측정하였다[7].

2.3.3.3. 건조기 내 냉각시험

각각의 온도센서가 부착된 공시체를 건조기에 넣고 60 °C에서 12 h 유지한 후 건조기 전원을 차단한 후 밀폐된 건조기 내부에 위치한 각 배합별 공시체의 온도변화 추이를 Data Logger를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 비중

KS L 5110 (시멘트의 비중 시험)에 규정하는 방법에 따라 시험을 실행한 결과 모르타르의 비중은 2 이상인 것으로 나타났다.

3.2. 압축강도

선별한 10종의 배합에 대한 재령별 압축강도 시험 결과는 Table 5 및 Figure 1과 같다.

Figure 1 및 Table 2에 나타난 것과 같이 각 배합별 공시체의 압축강도는 축열미립자 및 증점제 함량이 증가할수록 강도가 저하되는 경향을 나타내었으며, 특히 축열미립자의 함량이 증가할수록 압축강도의 저하가 큰 것으로 나타났다.

이는 축열미립자와 증점제를 혼입량이 증가하는 경우, 배합시 시공성을 고려하여 모든 배합의 플로우 값을 100 ± 5%로 고정함에 따라 물/시멘트비가 증가하는 것과 유기물 고분자의 혼입에 따른 모르타르 공시체의 치밀화가 저하되는 것에 기인하는 것이다.

상기의 배합별 압축강도 결과로부터 잠열제의 모르타르에 혼입하는 함량은 3% 이하에서 바닥용 모르타르 압축강도 기준인 21 MPa 이상의 값을 나타내었으며, 4% 혼입 시 기준에 미달하는 압축강도를 나

Table 5. Compression Hardness Test Result

No	Item Names	Compression hardness (N/mm <sup>2</sup> )			Ratio (28 days, %)	
		7 days	14 days	28 days		
1	B	27.8	29.4	34.3	100.0	◎
2	1-5-05	28.2	30.8	33.9	98.7	◎
3	1-5-10	28.3	29.4	30.1	87.8	◎
4	1-5-15	27.2	28.6	28.2	82.2	◎
5	2-5-05	24.6	26.6	28.4	82.9	◎
6	2-5-10	25.2	25.7	27.6	80.4	◎
7	2-5-15	23.5	26.4	26.6	77.6	◎
8	3-5-05	20.7	22.0	25.1	73.1	◎
9	3-5-10	20.7	21.7	23.3	67.8	◎
10	3-5-15	19.9	20.4	21.0	61.1	◎
11	4-5-05	17.2	18.3	20.8	60.6	×
12	4-5-10	17.2	18.0	19.3	56.3	×
13	4-5-15	16.5	16.9	17.4	50.7	×

× : less, ◎ : over

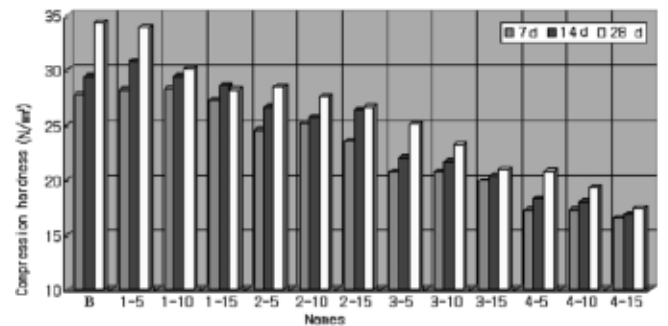


Figure 1. Compression hardness result with curing time.

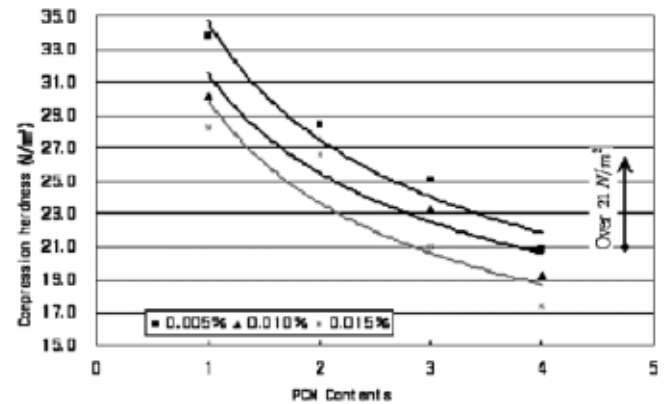


Figure 2. Compression strength variation with additive ratio.

타냈다. 이로써 기계적 강도 측면에서 바닥용 모르타르에 대한 잠열제의 혼입량은 3% 이하가 바람직한 것으로 나타났다.

Figure 2는 이상의 각 배합별 축열제량과 증점제량 변화에 따른 재령별 압축강도의 변화를 비교하여 정리한 것이다.

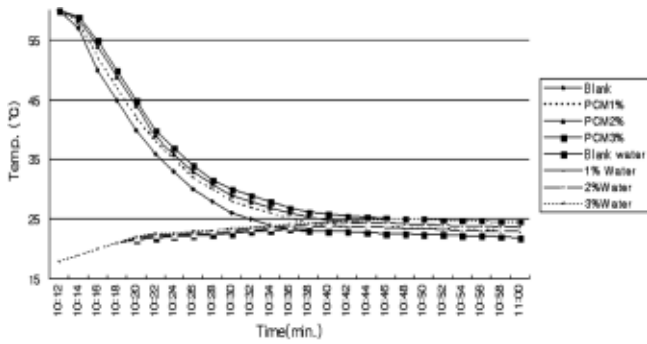


Figure 3. Temperature variation of mortar in water.

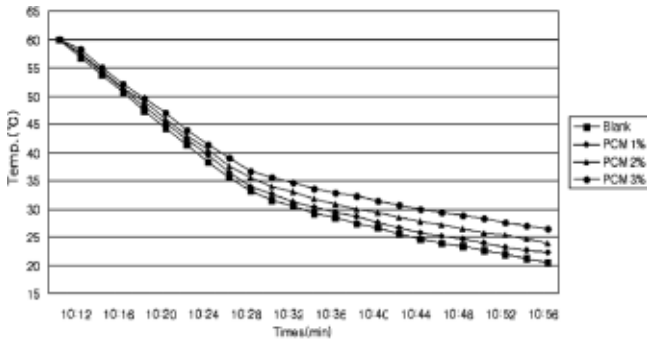


Figure 4. Temperature variation of mortar in dry oven.

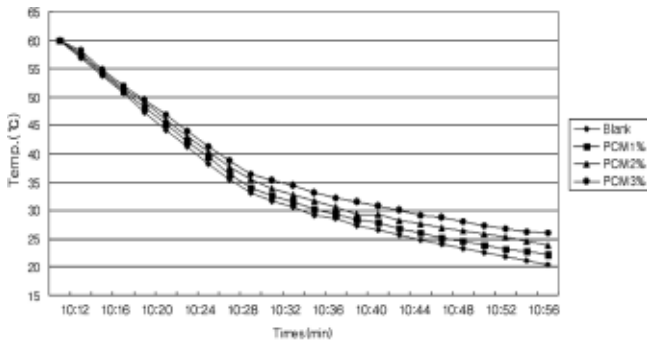


Figure 5. Temperature variation of mortar in air.

### 3.3. 길이변화율

배합별 모르타르의 길이변화율 시험 결과로부터, 일반적인 바닥용 모르타르의 길이변화율 기준 값이  $\pm 0.050\%$ 인 점을 감안할 때, 대부분의 배합에서 길이변화율이 0.03~0.05%로써 기준값을 만족하고 있음을 알 수 있다. 이는 사용한 건조시멘트 모르타르 기성제품의 품질 관리에 의한 제어효과와 동시에 시멘트의 수화반응에 따른 수축경화 작용에 대하여 혼입한 축열미립자의 분산효과수반에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.4. 축열성능

각각의 온도센서가 매립된 공시체를 28일간 양생 후, 이를 건조기에 넣고 60 °C에서 12 h 유지한 후 상온(18 °C)의 수증, 기중 및 건조기 내에서의 각 배합별 공시체의 냉각온도 변화추이를 Data Logger를 사용하여 측정된 결과를 Figures 3~5에 각각 나타내었다.

상변화축열제를 3% 혼입한 축열용 온돌공시체 배합에서 27~36 °C

Table 6. Length Change Ratio of Mortar

Names	Shrinkable ratio (%)		Remarks
	14 days	28 days	
B	-0.01	-0.03	○
1-5-05	-0.01	-0.03	○
1-5-10	-0.02	-0.04	○
1-5-15	-0.01	-0.04	○
2-5-05	-0.01	-0.04	○
2-5-10	-0.01	-0.03	○
2-5-15	-0.02	-0.05	○
3-5-05	-0.02	-0.04	○
3-5-10	-0.01	-0.04	○
3-5-15	-0.01	-0.04	○
4-5-05	-0.02	-0.04	○
4-5-10	-0.01	-0.04	○
4-5-15	-0.01	-0.03	○

× : less, ○ : over

Table 7. Temperature Difference of PCM Contents

Item	Blank (PCM 0%)	PCM 1%	PCM 2%	PCM 3%
Temperature (blank 26°C)	26.6	27.9	29.8	31.7
Heat storage	100.0	104.9	112.0	119.2

\* Temperature : Blank 26.6 °C, Cooling : 18 °C room

부근에서 축열성능을 확보하고 있음을 확인하였다. 또한 기중냉각 시험에서의 상변화축열제를 혼입한 공시체의 배합별 냉각시 온도차이를 산정한 결과를 Table 7에 나타내었다. Table에서 알 수 있듯이 상변화축열제의 함량이 증가할수록 Blank에 대비한 공시체의 온도는 비례적으로 높은 것으로 나타났으며, 상변화축열제 혼입율 3%에서 Blank 대비 약 19%의 냉각지연 효과를 나타내었다.

## 4. 결 론

본 연구는 상온 영역에서 상변화 특성을 갖는 캡슐화된 축열미립자를 건축자재에 적용함으로써 건물에서의 에너지를 절약하기 위함이다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 축열 건축자재를 만들기 위하여 다양한 시도를 한 결과 가장 일반적으로 널리 사용되는 시멘트 모르타르에 혼합 할 경우 모르타르의 비중은 2 이상이였다.
- 2) 축열미립자의 비중은 0.9로 모르타르와는 비중 차가 크고, 일반적인 모르타르의 입도는 수십  $\mu\text{m}$ ~5 mm 이내로 분포가 넓고 큰 반면에, 축열미립자의 입경은 10  $\mu\text{m}$  정도이다.
- 3) 분말 상태에서는 혼합이 어렵고 분산이 어려우므로 모르타르와 축열제 감수제 증점제 등의 비율을 달리하며 시험 한 결과 축열미립자 : 감수제 : 증점제 비율은 3 : 0.5 : 0.1의 비율로 혼합한 경우 압축강도가 제일 좋았으며 축열미립자를 혼합 할 경우 압축강도가 다소 줄어들음을 알 수 있었다.
- 4) 축열모르타르의 길이변화율은 모두 만족스러웠으며, 축열미립자가 시멘트모르타르의 증량비로 3% 들어간 축열모르타르의 냉각지연 효과는 약 19% 정도이었다.

## 참 고 문 헌

1. K. H. Kim, Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University, Cheong-Ju, Korea (1998).
2. H. K. Yun and J. Y. Kim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 218 (2009).
3. B. Boh and B. Sumiga, *Mater. Geoenviron.*, **55**, 329 (2008).
4. J. H. Song, Theory and practical affairs of offensive odor analysis, Sinkwang Cultural Company, Pa-ju, Korea (2007).
5. D. Heim and J. A. Clarke, *Energy Build.*, **36**, 795, (2004).
6. G. Zhou, Y. Zhang, X. Wang, K. Lin, and W. Xiao, *Sol. Energy*, **81**, 1351 (2007).
7. C. Kim and M. Kaviany, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **33**, 2721 (1978).