

상변화물질을 활용한 단열 경량 골재 콘크리트의 개발 기술

Development Technology Insulation Lightweight Aggregate Concrete Using a Phase Change Material

김세환 Se-Hwan Kim
건국대학교 건축공학과
박사과정

김상현 Sang-Heon Kim
건국대학교 산업기술연구원
연구원

서치호 Chee-Ho Seo
건국대학교 건축공학과
교수

1. 머리말

콘크리트는 높은 안전성, 시공성 및 경제성 등의 장점으로 건축물에 약 70% 이상 사용되고 있으나 낮은 단열성능으로 단열재의 추가 시공 등이 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 따른 공사기간 및 공사비 증대뿐만 아니라 결로현상 등 주거환경을 저해하는 문제 등을 발생시켜 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 또한 내단열 구조의 건축물은 열을 저장할 수 있는 용량이 충분하지 않아 공조시스템을 가동하면 단시간에 실온이 상승하고, 공조시스템을 차단하면 단시간에 온도가 낮아지므로 실온을 일정하게 유지하기 위해서는 공조장치의 작동시간이 늘어나게 된다¹⁾. 이러한 단열구조는 과도한 에너지 소비와 추가적인 온실가스 발생을 초래하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 단열성능이 향상된 콘크리트의 개발이 제안되고 있으며, 이에 대한 세부적인 기술로써 다공성의 경량골재를 사용하는 경량골재 콘크리트가 단열성능 향상 가능성이 높은 것으로 알려져 있다²⁾. 한편 1970년대에 물질의 잠열을 이용한 에너지 저장기술에 대한 활용가능성이 제시되었으며, 1980년대 후반부터 열저장 및 온도 조절 기능이 있는 상변화물질(Phase Change Materials, 이하 PCM)에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다³⁾.

본 고에서는 콘크리트의 단열성능 향상방안으로 천연 에너지원이나 난방 등에서 발생하는 열을 저장하여 필요시 방열하는 Energy Storage Type인 PCM을 경량골재에 적용한 PCM 함침 경량골재와 이 골재를 사용하여 제조된 단열 경량골재콘크리트의 실험 결과에 대하여 소개하고자 한다.

2. 상변화 물질

2.1 상변화 물질의 정의

잠열(Latent Heat)이란 어떤 물질이 상전이 될 때 즉, 고체에서 액체(또는 액체에서 고체), 액체에서 기체(또는 기체에서 액체)가 될 때 열을 흡수하거나 방출하는 열을 의미한다. 잠열은 현열(Sensible Heat), 즉 상전이가 일어나지 않는 상태에서 온도변화에 따라 흡수(또는 방출)하는 열보다 매우 크다.

물의 경우 섭씨 0℃ 얼음(고체)에서 물(액체)로 바뀔 때 1g당 80cal(335J)의 열을 흡수한다. 이러한 열은 같은 양의 섭씨 0℃ 물을 80℃까지 올릴 때 필요한 열량과 같다. 잠열의 큰 열 흡수/방출 효과를 이용하여 에너지를 저장하거

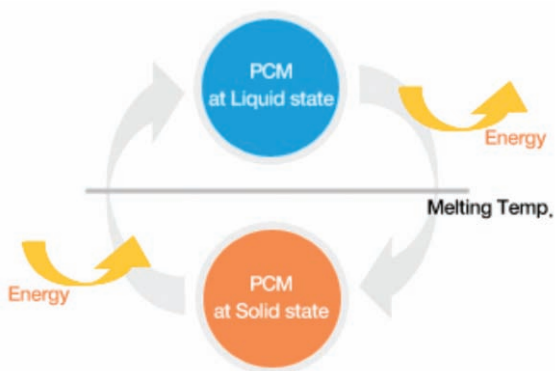


그림 1. 상변화에 따른 에너지 흡수 및 방출

나 온도를 일정하게 유지시키는 목적으로 사용할 수 있다. 이러한 목적으로 사용되는 물질을 잠열저장물질, 상변화물질 또는 상전이물질이라 한다(그림 1).

2.2 PCM을 활용한 건설재료 동향

PCM은 의학, 식물학, 스포츠 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 1980년대 초 이후로 많은 연구자들은 건축물에 사용되는 콘크리트, 석고, 세라믹, 유리 등에 PCM을 혼합하는 연구를 수행하였다.

독일의 B사는 석고보드에 캡슐화로 되어있는 상변화 물질을 혼합하여 시판하고 있으며, 미국의 D사는 <사진 1>과 같이 석고보드 안쪽에 은박으로 포장된 형상의 PCM을 혼합한 제품을 적용한 사례가 있다. 국내에서도 일부 연구기관 및 기업에서 적용방안을 검토 중에 있으며, <사진 2>는 국내의 M사와 한국건설기술연구원 이 공동으로 개발한 경량철골 지붕에 상변화 물질

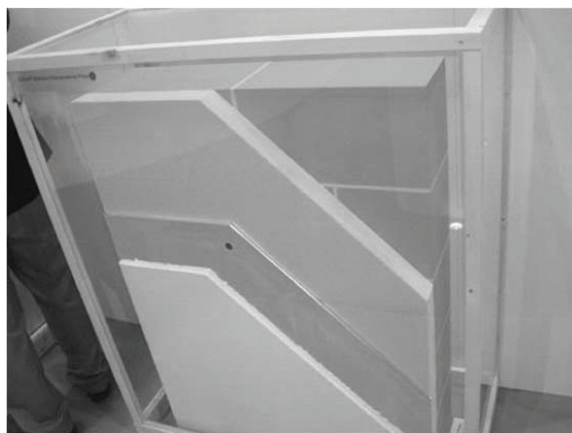


사진 1. 조적조 주택의 내부에 적용한 사례

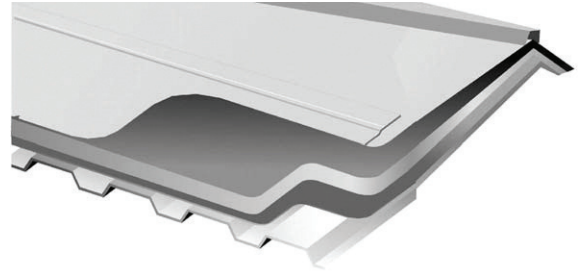


사진 2. 경량철골 지붕의 단열재 하부에 적용한 사례

을 적용한 사례이다. 해당 구성방식은 철골 빔 위에 강판 데크를 고정하고 그 상부에 축열 시트를 설치하여 경량철골 구조에서 부족한 열용량을 보완한 것으로, 겨울철 실내에 전달되는 냉기를 차단함은 물론 여름철에 강판이 과열되어 실온이 상승되는 것을 억제할 수 있는 현열·잠열 보완 시스템이다. 특히, 여름철에는 약 2℃의 온도를 낮추는 효과가 있어 냉방기의 가동 횟수를 절반으로 줄일 수 있는 효과도 기대할 수 있다⁴⁾.

3. PCM함침 단열 경량골재콘크리트 실험

3.1 사용재료 및 실험 방법

3.1.1 경량골재

실험에서 사용한 경량골재는 아시아 지역의 중국에서 생산한 A골재와 유럽 지역의 벨기에에서 생산한 B골재, 미주지역의 미국에서 생산한 C골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 <표 1>과 같으며, 외형은 <사진 3>과 같다.

표 1. 경량골재의 물리적 성질

구분	절건 밀도 (g/cm ³)	24시간 흡수율(%)	내부 공극률(%)	실적률 (%)	조립률
A 골재	1.2	12.1	53.2	64.9	5.2
B 골재	1.3	14.7	53.1	69.2	5.0
C 골재	1.4	5.6	45.5	58.6	6.4



(a) A 골재

(b) B 골재

(c) C 골재

사진 3. 경량골재의 외형

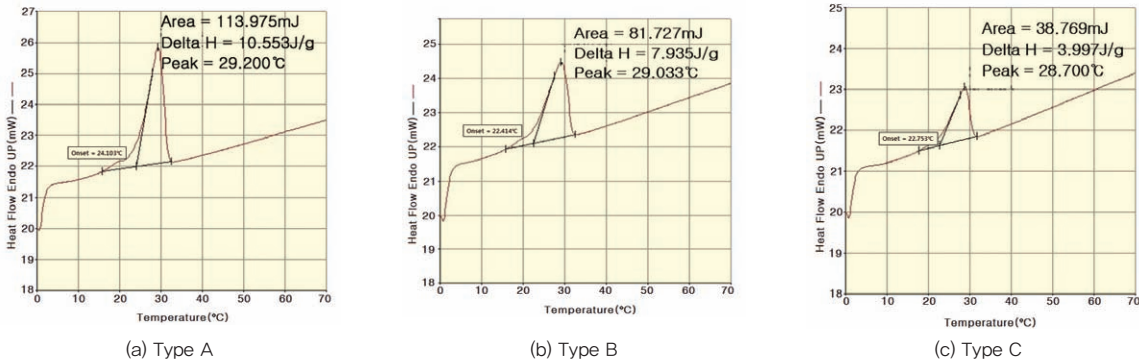


그림 2. PCM 함침 C골재의 열용량 분석(DSC)

3.1.2 PCM 및 코팅재료

경량골재의 열저장 능력의 증가를 위하여 사용된 상변화물질은 일반적으로 용점으로 분류되며, 분자의 구조에 따라 열저장 용량이 달라진다. 본 연구에서 사용한 PCM은 용융온도가 31°C이며, 열용량은 169 kJ/kg 인 독일의 R사의 제품을 사용하였다. 또한 경량골재의 높은 흡수 특성에 대한 개질 개선 및 PCM의 용융 시 경량골재 외부로의 누출을 막기 위한 표면 코팅을 위하여 에폭시 수지를 사용하였다. 에폭시 수지의 주제는 국내 L사의 당량가 182의 bis-phenol A type을 사용하였으며, 경화제는 미국 A사의 제품을 사용하였다.

3.1.3 PCM함침 경량골재

함침된 PCM에 의한 경량골재의 열저장 용량은 시차 주사 열량법(DSC)에 의하여 평가하였으며 <그림 2>는 A, B 및 C골재의 흡열 변화에 대한 흡수한 열량(ΔH)의 측정 결과이다. PCM이 함침된 골재의 열저장 용량은 ‘흡수된 PCM의 중량 분율×이론 열저장 용량’ 및 ‘실험에 의한 측정 열저장 용량’으로 계산하여 <표 2>에 나타내었다. 이때 이론 열저장 용량은 제조사의 제시값인 169 J/g이며, 측정 열저장 용량은 122.05 J/g로 계산되었다.

표 2. PCM 및 에폭시 수지 처리 후 경량골재의 DSC에 의한 열용량 측정 비교

구분	PCM 함침율(%)	이론 열저장 용량(J/g)		DSC에 의한 열저장 용량(J/g)
		제조사 기준	측정값 기준	
A 골재	7.5	12.6	9.2	10.5
B 골재	11.0	18.6	13.5	7.9
C 골재	4.1	6.9	5.0	4.0

DSC에 의한 열저장 용량을 평가한 결과, A골재의 경우 약 10.5 J/g로 나타났으며, B골재의 경우 7.9 J/g, C골재의 경우 4.0 J/g로 측정되었다. 이때 DSC의 측정조건은 0°C에서 10°C/min으로 온도를 상승시키면서 70°C까지 측정하였다.

DSC에 의해 측정된 열저장 용량값은 이론 열저장 용량보다는 측정 열저장 용량값에 가까운 것으로 나타났다. A골재와 C골재의 경우 측정 열저장 용량과 DSC에 의한 열저장 용량이 유사한 측정값을 보였다. 이는 PCM 함침량의 증가에 따라 열저장 용량의 증가를 확인할 수 있었다. 다만 B골재의 경우 가장 많은 PCM 함침에도 불구하고 낮은 측정값을 보였다. 이는 Epoxy resin양에 영향을 받은 것으로 판단되며, 골재 표면에 노출된 PCM이 동일한 비극성인 Epoxy resin에 의하여 용해되거나 혼합 반응하여 열저장 용량 증가에 기여하지 않은 것으로 판단된다.

3.1.4 실험 계획

실험 계획은 <표 3>과 같다. PCM에 함침된 경량골재 콘크리트의 물리적 특성 및 열전도율을 평가하기 위하여 공극구조가 각기 다른 3종의 경량골재를 함침 전후로 나누어 배합하였으며, 경량골재의 상태에 따

표 3. 배합계획

실험인자	항목	
골재 종류	7	일반 골재, 함침 경량골재(3종), 미함침 경량골재(3종)
진골재율	1	43%
W/B	1	39%

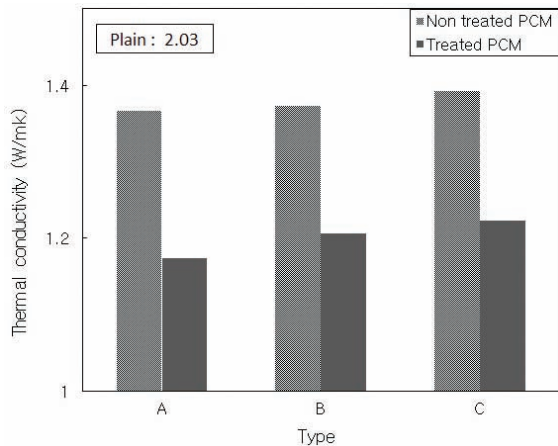


그림 3. 열전도율 측정 결과

른 특성 평가를 위하여 모르타르 부분의 배합비는 동일하게 적용하였다.

경량골재 콘크리트의 열전도율을 평가하기 위하여 표면 접촉식 열전도율 장비를 사용하였으며 장비의 열전도율 측정 범위는 0.05 ~ 2.0 W/mK이다.

3.2 실험 결과

〈그림 3〉은 PCM 함침 전후의 경량골재를 사용한 단열 경량골재콘크리트의 열전도율 결과를 나타낸 그림이다.

공기의 열전도율이 보통 재료 중에 가장 낮기 때문에 공극을 많이 함유한 재료는 낮은 열전도율을 나타내는 것이 일반적이다. 본 실험에서도 다공극의 경량골재를 사용한 결과 함침하지 않은 경량골재를 사용한 경량골재 콘크리트의 열전도율은 A, B, C 골재 각각 1.36, 1.37, 1.39 W/mK의 값을 나타내어 Plain 배합의 2.03 W/mK보다 약 33%의 단열성능 향상이 있는 것으로 나타났다.

함침된 A골재의 경우 비함침 골재의 열전도율은 1.37 W/mK에 비해 14.1% 낮은 1.21 W/mK로 측정되었으며, B골재는 12.1% 낮은 1.22 W/mK, C골재는 비함침 대비 12.2% 낮은 1.22 W/mK로 측정되어 모든 골재에서 함침 후 열전도율 성능향상을 보였다. 또한 함침된 골재의 경우 Plain 배합에 비해 A, B, C경량골재는 각각 43, 41, 40%의 단열성능 향상을 나타내었다. 함침 후 열전도율이 낮게 측정되는 것은 함침된 PCM의 열저장용량에 값에 기인하는 것으로 판단

된다. 열저장용량이 가장 큰 A골재가 14%의 열전도율 감소를 나타냈으며, B, C골재는 12%의 감소율을 나타내었다.

〈표 4〉은 경량골재의 함침 유무에 따른 경량골재 콘크리트의 초음파 속도이다. 미함침 경량골재의 초음파속도는 3.98, 3.98, 4.29 km/s로 나타내어 측정된 열전도율 1.36, 1.37, 1.39 W/mK로 비례하는 것으로 나타났다. 또한 PCM 함침 경량골재는 3.90, 3.91, 4.12 km/s로 미함침 경량골재에 비해 2~4% 정도 낮은 것으로 나타났다. 이는 PCM 함침 및 에폭시 코팅에 따라 콘크리트 배합 및 양생과정에서 경량골재 내부공극으로 수분 이동이 발생하지 않고 내부공극이 유지되는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

PCM 함침 이후 경량골재의 열저장용량과 열전도율을 비교한 결과는 〈그림 4〉와 같으며, 경량골재의 열저장용량이 증가함에 따라 열전도율이 감소하여 단열성능 향상에 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 맺음말

최근 산업의 발전, 사회 및 개인의 에너지 소비량 급증, 유가의 급속한 상승으로 에너지 소비에 지출되는

표 4. 초음파속도 측정 결과

종류	A	B	C
PCM 미 함침	3,980(m/s)	3,980(m/s)	4,290(m/s)
PCM 함침	3,900(m/s)	3,910(m/s)	4,120(m/s)

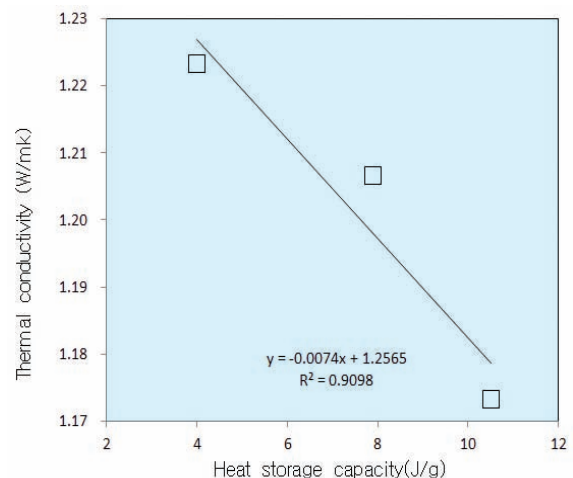



그림 4. 열저장용량과 열전도율과의 관계

비용이 점차 증가하고 있으며, 지구온난화에 따른 공기조화설비 사용 급증으로 유례없는 전력난을 겪고 있다. 이에 따른 건축재료에서의 에너지 사용량 저감을 위한 많은 연구, 개발이 요구되고 있다. 본 고에서 제안한 상변화물질을 이용한 단열 경량골재콘크리트 기술 개발은 추가 단열재 시공이 불필요하여 공사기간 및 공사비 절감의 효과를 얻을 뿐만 아니라 건축물의 쾌적감을 높이고 에너지 소비를 줄일 수 있어 에너지 효율 등급의 기준이 강화되는 국제적 추세에 대응할 수 있는 경쟁력을 갖추게 될 것이다. 

담당 편집위원 : 류동우(대진대학교) dwryu@daejin.ac.kr

참고문헌

1. 김병운, 파라핀을 이용한 잠열축열재의 건자재 적용을 위한 모형실험 연구, 대한건축학회 논문집, Vol. 13, No. 4, 2011, 265 pp.
2. 서치호, 경량콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구, 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 1985, pp. 113 ~ 115.
3. 김보현, 이한승, PCM을 혼합한 시멘트 모르타르의 열적성능에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 23, No. 4, 2011, 522 pp.
4. 이문환, 고진수, 건축물의 쾌적환경 조성을 위한 축열재의 활용, 건설기술정보, 2008. 3, 10 pp.



김세환은 건국대학교 건축대학 건축공학과에서 '콘크리트 펌프공법의 가압장치에 의한 물성변화에 대한 실험적 연구'로 석사학위를 취득하였으며, 현재 같은 연구실에서 박사과정으로 재학 중이다. 주 관심 연구분야는 경량골재 콘크리트의 품질 및 시공성과 단열콘크리트 기술 개발 분야이다.
hnest1@dreamwiz.com



김상헌 박사는 건국대학교 건축대학 건축공학과에서 '콘크리트 펌프압송에 따른 관내압력에 관한 실험적 연구'로 공학박사학위(2008년)를 취득하였다. 주 연구분야는 건축시공기술 및 경량콘크리트 개발 분야이며 현재 건국대학교 산업기술연구원에 재직 중이다.
granalma@hanmail.net



서치호 교수는 한양대학교 건축공학과에서 공학박사학위(1986년)를 취득하였다. 현재 건국대학교 건축공학과에서 교수로 재직 중에 있으며, 대한건축학회 회장(제35대)을 맡아 활동하고 있다. 주 연구분야는 건축재료 및 시공분야 전반을 대상으로 하고 있으며 건축기술분야의 학문적 연계와 사회 기여를 위한 활발한 활동을 하고 있다.
chseo@konkuk.ac.kr



(제3판)구조동역학(MATLAB코드 포함)

- 저 자 : 김두기
- 출판사 : 구미서관
- 발행일/Page : 2013-11-25 / 798(판형 B5)
- ISBN : 978-89-8225-959-3(93530)
- 정 가 : 32,000원

목차

제1장 개론	제4장 랜덤진동	제7장 바람진동	제10장 유지관리
제2장 단자유도계	제5장 환경진동	제8장 파랑진동	참고문헌
제3장 다자유도계	제6장 지진진동	제9장 진동제어	찾아보기

도서 소개

구조동역학의 기본에서 전문적인 내용까지 쉽게 이해하고 적용할 수 있도록 하였다. 개론(제1장)에서 기본 개념과 기초 이론을 설명하였고, 단자유도계(제2장) 및 다자유도계(제3장)에서는 구조동역학 기본 이론을 설명하였으며, 응용분야로 랜덤진동(제4장), 환경진동(제5장), 지진진동(제6장), 바람진동(제7장), 파랑진동(제8장), 진동제어(제9장), 유지관리(제10장)를 다루었다. 제2판(2009)에 비해 제3판(2013)은 ① 예제와 연습문제를 추가하였고, ② 내용과 자료를 갱신하고 오류를 수정함으로써 최신 경향을 반영하고자 하였다. 내용의 이해와 응용에 필요한 관련전산코드, 문제풀이, 수업자료등을 저자의 홈페이지를 통해 공개함으로써 독자들과 지식과 정보를 공유하고자 하였다.

