

바닥 난방의 잠열축열재 이용기술

A Method of Floor Heating System by Using Phase Change Material

백 춘 기

C. K. Paek

대한주택공사 주택설비에너지연구소

- 1950년생
- 건축설비 및 건물 에너지 관리에 관심을 가지고 있다.

신 용 태

Y. T. Shin

충청실업전문대학

- 1963년생
- 건축설비 및 환경분야와 건물 열해석에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

최근 에너지 저장에 관한 연구로서 새로운 축열방식으로 주목받고 있는 잠열축열재에 관한 많은 연구가 수행되고 있으나, 물질자체의 개발 및 성능에 대한 연구에 주력하고 있으며 실제 거주공간에 적용하기 위한 실용화 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 글에서는 국내에서도 생산되고 있는 바닥난방용 잠열축열재를 온돌에 설치하고 열원을 심야전력으로 하는 발열선을 이용한 난방시스템과 현행 온돌의 자갈축열층을 잠열축열재로 변경했을 때의 열적 특성을 살펴 봄으로써 앞으로 바닥난방에 잠열축열재의 활용가능성 판단에 필요한 자료를 제시하고자 한다.

2. 심야전력을 이용한 잠열축열식 온돌

2.1 개 요

축열식 온돌에 이용되는 잠열재는 난방에 적합한 온도를 유지할 수 있는 30℃ 정도에서

상변화를 수반하는 물질이 이용되고 있다.

현재 국내에 소개되어 있는 잠열재로서 바닥난방에 이용될 수 있는 것은 국내에서도 생산되고 있는 그림 2와 같은 캡슐형과 파이프에 잠열재가 봉입된 형상이 있다.

열원은 발열선 또는 온도저항특성을 갖는 면

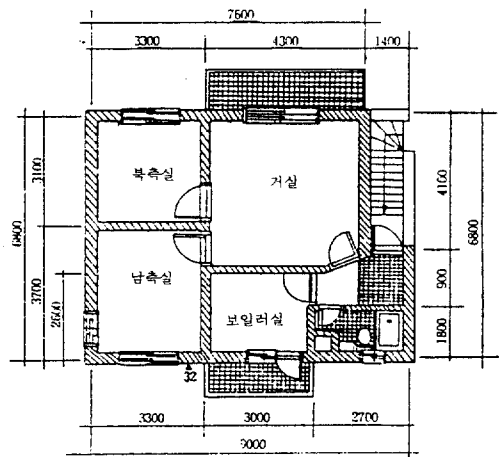


그림 1 대상세대의 평면도

상 발열체가 많이 이용되고 있다.

본 글에서는 캡슐형상의 잠열체에 발열선을 이용하여 실험한 내용을 분석하여 타당성을 검토하기로 한다.

2.2 실측실험

(1) 대상건물

잠열체를 설치한 건물은 17 평형 1세대로서, 외벽 천정 등에 50mm 단열재를 실내측에 설치하였다. 실험대상건물은 2층 축세대에 위치하고 난방면적이 12.27 평형(실제 난방면적 10.43 평)이다. 그림 1은 그 평면도이며, 표 1은 대상건물의 최대난방부하를 나타낸다.

표 1 실험대상건물의 최대난방부하

구분	바닥면적 (m ²)	부하량(Kcal/h)			단위면적당부하량 (Kcal/m ² h)
		관류열부하	환기부하	계	
거실	18.06	1,078.58	171.64	1,250.22	69.226
남측실	12.21	768.39	116.04	884.43	72.435
북측실	10.23	575.62	97.22	672.84	65.771
계	40.50	2,422.59	384.90	2,807.49	69.321

(2) 잠열체의 설치

온돌바닥에 설치한 잠열축열체는 주원료가 염화칼슘 6수화물 (CaCl₂ · 6H₂O)로서 국내에서도 생산기술을 도입하여 보급중에 있다. 잠열체의 상변화 온도는 29℃로 그 물성은 표 2와 같다. 잠열체가 상변화할 때 흡수 또는 방출하는 열, 즉 용융잠열은 45 kcal/kg이다. 이러한 잠열체는 그림 2와 같이 캡슐형식으로 포장하여 파넬형식으로 제작되어 있다.

잠열체의 설치방법은 그림 3과 같이 슬라브 위에 PE 필름을 깔고 축열대상 세대의 직하층이 열악한 비난방공간이기 때문에 단열재로서 스티로폴 50mm를 설치하였다. 스티로폴 위에 다시 PE 필름을 깔고 TH-30 잠열체를 시공한 후 1차 시멘트(1:3) 30mm를 타설하였다.

표 2 잠열축열체의 물성

용융점	29℃
용융잠열	45 kcal/kg
비열 (고체)	0.34 kcal/kg℃
비열 (액체)	0.55 kcal/kg℃
비중	1510 kg/m ³
열전도율(고체)	0.94 kcal/mh℃
열전도율(액체)	0.46 kcal/mh℃

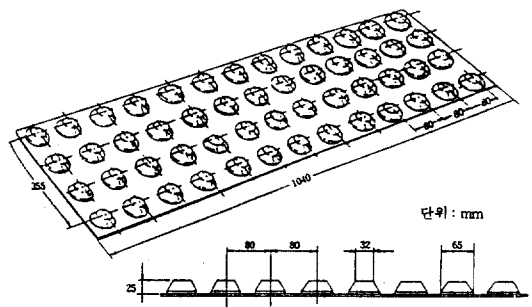


그림 2 시공된 잠열축열체의 규격

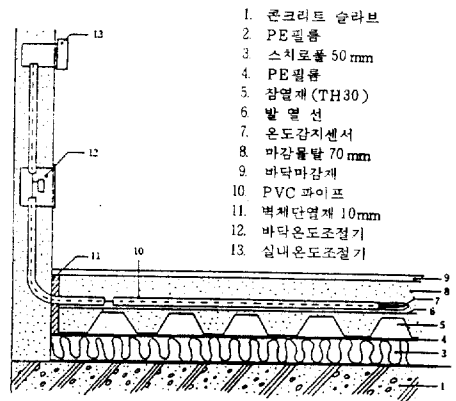


그림 3 잠열체의 설치 상세

PE 필름은 방습용으로 하부면으로부터 습기가 스며드는 것을 방지하여 부식의 발생을 억제함으로써 축열체의 내구성 향상을 도모하기 위한 것이며, 1차 시멘트 몰탈작업은 잠열체의 시공이 끝난 후, 발열선 및 바닥 온도조절기를 설치할 수 있도록 고르게 실시하였다.

1차 시멘트 몰탈 시공후 약 80mm의 pitch로 발열선을 설치하고 바닥온도조절 감지센서는 PVC 파이프(φ10)내에 삽입한 후 그림 4와 같이 센서와 파이프를 접속한 후 외벽면에 고정시켜 설치하였다.

온도조절기함은 사용이 편리한 내벽의 150cm높이에 설치하였다. 여기에 공급되는 심야 전력 공급계통도는 그림 5와 같다.

잠열재 및 발열선의 용량은 표 3과 같이 잠열재의 투입량의 경우 남측실은 7.4kg/m²로 설치하였으나, 거실 및 북측실은 약 10%정도 증가시킨 8.2~8.3kg/m²를 설치하였다. 발열선의 용량은 3개실이 154~167w/m²으로 거의 동일한 조건으로 설치하였다.

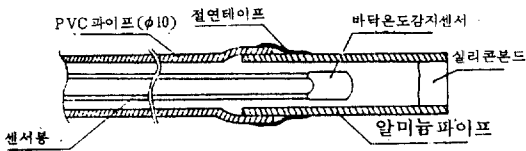


그림 4 바닥온도 감지센서 설치방법

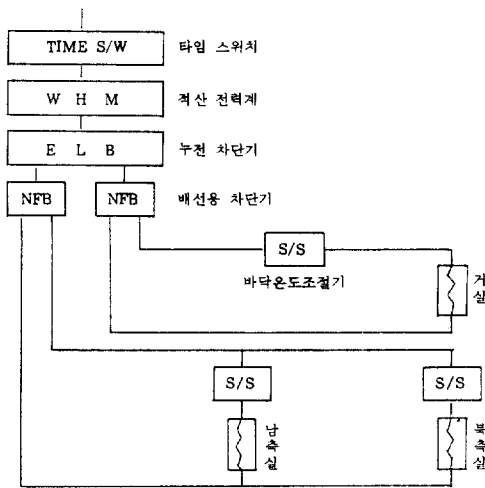


그림 5 심야전력 공급 계통도

표 3 잠열재 및 발열선 투입량

실구분	잠 열 재		발 열 선	
	투입량[kg]	kg/m ²	용량[w]	W/m ²
거 실	126.3	8.3	2,540	167.1
남측실	71.8	7.4	1,500	154.6
북측실	67.5	8.2	1,320	160.9
계	265.6	8.0	5,360	161.9

2.3 실측결과

(1) 심야전력 사용량

실제 심야전력 사용량을 매일 기록하여 이를 집계한 결과는 표 4와 같다. 전원공급시간, 온도조절기의 조작상태 등 실험조건에 따라 사용량이 변동하게 되므로 정상적인 운전조건에 의한 평균사용량을 근거로 월별 사용량을 산출하였다. 혹한기인 1월에는 단위난방면적당 사용요금이 928 원/m²·월으로 나타났으며, 4월에는 613 원/m²·월으로 나타났다.

표 4 심야전력사용량

월	하루평균 사용량 (kwh/일)	월간심야 전기료 (월/일)	실제난방 면 적 (m ²)	단위면적당 월간전기료 (월/m ² ·월)
1	49	37,595	40.50 (12평)	928
2	44	30,492	40.50 (12평)	753
3	28	21,483	30.27 (9평)	709
4	25	18,562	30.27 (9평)	613

* 심야전기료 = 22.5 원/kwh + 부가세 10%

(2) 축열특성

그림 6은 1월의 실온 및 바닥온의 변화를 나타낸 것으로 외기온이 -7.9℃~3.9℃의 범위에 있을 때 실온 및 바닥온은 평균 21.27℃, 24.84℃로 나타나고 실온은 10시간이 경과한 17:00 이후에는 20℃이하로 떨어져 축열량 부족현상이 나타나고 있다.

그림 7은 2월의 경우로서 외기온이 -4.1℃~5.9℃로 변화할 때 실온 및 바닥온은 각각 19.8℃~26.8℃, 22.5℃~32.0℃의 분포를 보여 본 실험방식의 목적치인 실온 20℃, 바닥온 25℃를 크게 벗어나지 않고 있다.

이상에서와 같이 심야전력을 이용한 잠열축열식 온돌구조의 실측결과, 심야전력 공급개시와 함께 축열이 이루어지면서 비교적 빠른 속도로 바닥온도가 상승되어 35℃까지 도달하며, 전력공급이 종료되면 먼저 현열축열분의 방열이 3~6시간 가량 이루어진 후 잠열축열분이 방열되어 바닥온도는 25℃를 유지한다. 바닥온도 25℃를 기준으로 할 때 방열지속시간은 9시간 전후로 잠열방열이 완료되면 온

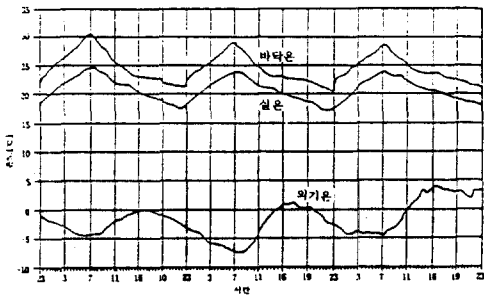


그림 6 1월의 실온, 바닥온, 외기온의 변화 ('90. 1. 5 23:00 ~ 1. 8 23:00)

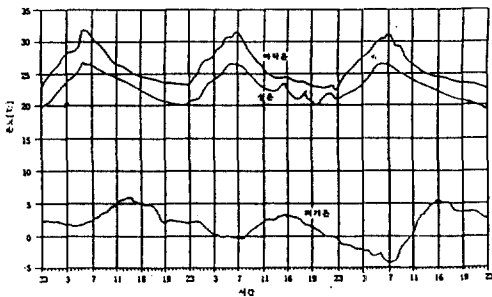


그림 7 2월의 실온, 바닥온, 외기온의 변화 ('90. 2. 10 23:00 ~ 2. 13 23:00)

도 강하속도가 빨라져 저녁시간대에는 축열량 부족현상이 발생한다.

2.4 분석

(1) 심야시간대의 과열

심야전력 공급시간대의 바닥온도 과열현상은 그림 8의 모델종류별 바닥상면온도변화에서 알 수 있듯이 몰탈층 축열형, 잠열재표준형, 잠열재증가형, 열차단막설치형, 몰탈층증가형 순으로 나타나고 있다. 잠열재를 시공하지 않고

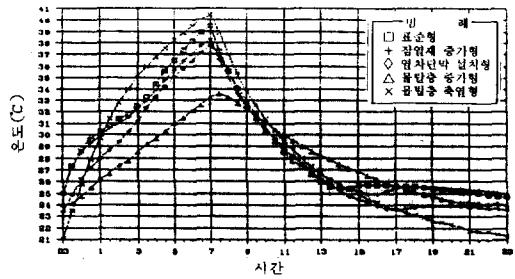


그림 8 모델 종류별 바닥표면온도 변화

몰탈만으로 축열하는 경우보다, 잠열재를 시공하고 몰탈두께를 증가시키는 것이 바닥온도의 과열방지에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 바닥온도 중심의 좌식생활에 적용되기 위해서는 축열층구조의 최적화와 바닥에 카페트 등을 이용한 방열량의 제어가 필요하다.

(2) 방열의 지속시간

바닥으로부터의 방열 지속시간은 표 2와 같이 바닥온도 25°C를 기준으로 할 때 잠열재증가형, 잠열재표준형, 몰탈층증가형, 열차단막설치형, 몰탈층축열형 순으로 나타나 이러한 결과를 바탕으로 부족열량만큼 잠열재를 증가시키는 것이 지속시간의 증가와 과열방지에도 효과가 있을 것으로 분석된다.

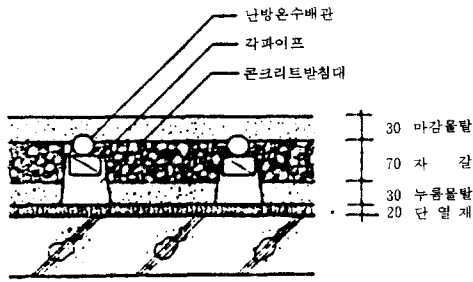
3. 자갈축열층의 잠열재 대체방식

3.1 개요

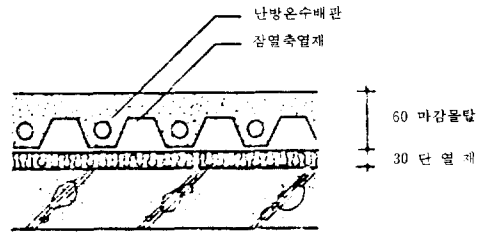
현행 온돌구조의 자갈축열층은 부피가 크고 시공이 번거로우며 실온 및 바닥온도의 변화 폭이 쾌적한 실내환경의 유지가 어렵다. 따라서 축열량이 크고 일정한 온도에서 지속적으로 방열하는 성질을 가진 재료(잠열재)를 축열재

표 5 모델 종류별 온도지속시간(25°C 기준) (3. 26 23:00 ~ 4. 01 23:00)

TYPE	바닥최고온	바닥최고온	바닥평균온	온도변화표	온도지속시간
잠열재표준형	40.4	24.5	29.7	15.9	14.1시간
잠열재증가형	39.2	24.7	23.5	14.5	16.0시간
열차단막설치형	38.7	23.4	28.6	15.3	7.7시간
몰탈층증가형	34.5	23.8	28.2	10.7	11.4시간
몰탈층축열형	41.5	21.1	29.44	20.4	7.9시간



현행 자갈축열방법



잠열재 축열방법

그림 9 자갈축열방식과 잠열재축열방식 시공도

로 하였을 경우 비난방시간의 급냉현상을 방지하여 연속난방효과가 예상되므로 자갈축열방식과 잠열재 축열방식의 2개 모형실을 동일 조건으로 시공하고 각각 축열성능 및 온도지속시간을 측정하였다.

3.2 실측실험

자갈축열방식과 잠열재축열방식의 비교실험을 위해 2개실을 동일규격 및 조건으로 시공하고 각실에 자갈층 70m/m과 잠열재(8kg/m²)를 설치하였으며 $\phi 15$ 동관으로 난방배관을 하였다. 열원으로는 가스보일러로 각실에 균등분배 되도록 하였으며, 측정기기로는 각 부위별 온도측정용 DATA LOGGER와 적산열량계, 온수유량계를 설치하였다. 현행 자갈축열방식과 잠열재축열방식의 시공은 그림 9에 예시한 바와 같다.

3.3 실험결과

축열층으로서 자갈과 잠열재는 각각 시공한 동일한 조건의 2개의 실에 유량조절을 통하여 동일한 열량을 공급하여 실험실측한 결과 그림 10과 같이 난방공급종료 후 직선적으로 온도가 강하하는 자갈층에 비하여 잠열재를 시공한 경우에는 바닥온도 25℃ 수준에서 약 6시간 정도 방열이 이루어져 온도지속효과가 뚜렷이 나타나고 있다. 잠열재를 시공한 경우에는 3시간동안 난방을 공급했을 때 25℃까지 바닥온도가 하강하는데 소요되는 시간은 약 9시간이지만, 자갈로 축열층이 구성된 경우에는 약 4시간 후에 25℃까지 온도가 하강하게 된다.

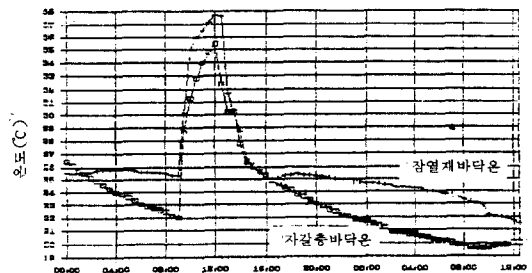


그림 10 자갈층과 잠열재 온돌구조의 바닥 온도변화의 비교

3.4 분석

현행 자갈축열층의 잠열재 대체방안 실험에 이타의 분석을 통하여 잠열재의 축열효과에 따른 온도지속효과를 확인하였다. 이러한 실험결과를 이용하여 잠열재의 온도지속효과에 따른 에너지 절약효과가 예상된다.

난방가동시점을 방바닥 온도가 25℃이하로 내려가는 때로 가정하면 잠열재를 시공한 경우에는 3시간동안 난방을 공급했을 때 25℃까지 바닥온도가 하강하기까지 걸리는 시간은 약 9시간이다. 그러나 자갈로 축열층이 구성된 경우에는 약 4시간 후에 25℃까지 온도가 하강하게 된다.

이와 같은 온도지속시간의 차이를 현행 간헐난방시스템에 활용할 경우 난방스케줄의 횡수 및 시간조절이 가능하므로 난방비 절감효과를 기대할 수 있다.

자갈을 축열층으로 가진 현행의 온돌구조는 난방가동시간을 3시간으로 하였을 때 일일 가동횟수는 3.4회가 되지만 자갈층 대신 잠열

재를 시공하였을 경우에는 일일 난방가동 횟수는 2회로도 난방이 가능할 수 있다.

4. 결 론

바닥난방의 축열재로서 염화칼슘 6 수화물 ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)을 이용한 난방실측 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

4.1 심야전력을 이용한 잠열축열식 온돌

열원을 심야전력으로 한 발열선 또는 면상 발열체식은 심야시간대의 과열과 저녁시간대의 축열량부족현상이 발생한다. 따라서 바닥 온도중심의 좌식생활에 적용되기 위해서는 축열층 구조의 최적화로 과열을 방지하고 바닥에 카페트 등을 이용한 발열량의 제어가 필요하다. 따라서 잠열식 온돌에 심야전력이용 축열식보일러를 구성하는 시스템으로 구성하는 것도 과열방지과 방열량의 제어가 가능한 개선방법이 될 수 있을 것이다.

4.2 자갈축열층의 잠열재 대체방식

(1) 현행 자갈축열재 대신 잠열재로 대체 시공할 경우 일정한 온도에서 지속적으로 방열하여 비난방시간의 급냉현상을 방지함으로써 연속난방효과를 가지므로 실내온열환경이 향상된다.

(2) 현행온돌층에 사용되는 자갈층의 대체역할로 골재난의 해소와 공정의 단순화로 시공성이 향상된다.

(3) 잠열재의 온도지속효과에 의해 간헐난방회수 및 난방가동시간의 조절이 가능하여 에너지 절약효과가 있다.

4.3

본 검토에서는 여러가지 잠열재를 동시에 비교 검토하지 못하고 실제 거주공간이 아닌 실험주택에서 실험한 것으로서 잠열재가 바닥난방의 축열재로서 이용될 수 있다는 가능성만을 제시하였으나 이를 계기로 실제거주공간에서도 많은 실험과 연구가 이루어지길 바란다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, 가스暖房(個別暖房)에 관한 연구, 1983. 12.
2. 대한주택공사, 蓄熱式 電氣溫水보일러 實驗研究, 1986. 6.
3. 金永浩, 아파트의 暖房方式別에너지 使用에 관한 考察, 住宅調査研究 81-2, 1981.
4. 한국전력공사, 심야전력, 1989. 10.
5. 한국동력자원연구소, 잠열저장재 개발연구, 1989. 3.
6. 대한건축학회, 잠열저장재 적용처 조사연구, 1988. 8.
7. 한국과학기술연구원, 열저장 시스템의 개발에 관한 연구, 1989.
8. 이채문·임장순, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 축열방열시 열전달 특성에 관한 실험적연구, 태양에너지 제 9권 1호, 1989. 4.
9. 한성옥·정현생, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 결정형성에 대한 NaCl 의 영향, Energy R & D Vol. 9. No. 3, 1988.
10. 이수각, 화학반응을 이용한 축열기술, 제 4회 에너지절약기술워크샵 논문집, 1989.
11. 김종엽, 잠열저장재개발, 제 4회 에너지절약기술워크샵 논문집, 1989.
12. 신재은, 심야전력을 이용한 주택난방, 온돌, 1989. 11.
13. 유제인, 수축열(냉)식 공조시스템, 공기조화·냉동공학 제 18권제 5호, 1989.
14. 오병철 외 1인, 潛熱材에 따른 溫水溫突의 熱效率에 관한 研究, 大韓建築學會 學術發表論文集, 1985. 9.
15. 琴鍾洙, 潛熱床暖房システムに關する研究, 東京大學博士論文, 1989. 12.
16. 佐佐木皓二, 潛熱蓄熱方式による施設暖房の實用化に關する研究(第3報), 神川園試研報 第32號, 1985.
17. 深井一夫 外 1人, 深夜電力利用による潛熱蓄熱式暖房の實例調査, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1984. 10.
18. 深井一夫 外 1人, 室内熱環境形成における潛熱蓄熱材(PCM)の利用に關する研究

(1), 空気調和 衛生工學會 學術講演會 講演集, 1986. 10.

19. 深井一夫 外 2 人, 室内熱環境形成における潜熱蓄熱材(PCM)の利用に関する研究
(2), 空気調和 衛生工學會 學術講演會 講演集, 1986. 10.