

현대 온돌 시스템 적용을 위한 신한옥 바닥난방의 열적특성 비교

The comparison of thermal characteristics of new Han-ok floor heating for applying modern On-dol system

이 태 강* 이 주 엽** 송 민 정** 김 선 우***
Lee Tai-Gang Lee Ju-Yeob Song Min-Jeong Kim Sun-Woo

Abstract

The experiment on thermal characteristics of on-dol systems were carried out to apply to New Han-ok's heating system. Change of surface temperature varied with heating times, distribution of surface temperature, radiation property were surveid on four on-dol system in laboratory conditions. Followings are results.

- 1) "Hwang-to unit" was most favorable condition of the distribution of floor surface temperature. And the results from reaching time to thermal comfort temperature of on-dol system showed that "Hwang-to unit" was the most favorable to continuance of floor temperature.
- 2) There were a little difference in surface floor radiations of 30℃ for three wet on dol-systems.
- 3) It was suggested that "Hwang-to unit" is the most appropriate to floor heating system of new han-ok considering eco-friendship and continuance of floor temperature in intermittent heating condition.

키워드 : 신한옥, 온돌 시스템, 바닥 표면온도, 온수 난방,

Keywords : New Han-ok, On-dol system, floor surface temperature, hot water heating system

1. 서 론

우리나라 전통가옥인 한옥은 독창적인 주거 형태라 할 수 있으며, 자연환경에 순응하면서 면면히 발전해 왔다. 또한 이러한 한옥에 대한 관심의 증가와 더불어 고유 주거형태에 관한 연구 뿐 만 아니라 최근 환경 친화적인 측면에서 기존의 콘크리트 건물의 대안을 모색하고자하는 연구의 일환으로 전통 한옥이 지니고 있는 비용적인 면에서 좀더 저렴하고 대중적으로 보급할 수 있는 한옥에 대한 연구도 많이 진행되고 있다.

이러한 한옥에 재료, 공간 구성, 설비 시스템 등을 현대화한 신한옥이 보급되고 있으나, 전통성 구현과 경제성 측면만이 강조되어 난방을 비롯한 단열, 차음성능 등은 현대 건축에 비해 낮은 수준을 지녀 신한옥의 보급과 조성시 건축공간의 쾌적성 추구에는 따른 많은 문제점을 안고 있다.

특히 신한옥 주거 만족 실태조사 결과 난방에 대한 불만족 비율이 높게 나타나, 외벽 및 창호와 같은 개구부의 단열 성능 개선¹⁾과 더불어 기존 방식에 비해 친환경적이며 효과

적인 난방방식이 도입이 필요한 것으로 판단된다.

바닥 구조체의 방열을 위해 저온의 온수 등 다양한 열원을 이용하여 가열할 수 있다는 등의 잇점으로 국내 대부분의 주거 건물은 온수에 의한 바닥 복사 난방 방식을 채택하고 있다.

그러나 신한옥의 바닥 구조는 한식 장판지를 제외하고는 대부분 공동주택과 같은 현대 주거의 바닥 구성층을 그대로 답습하고 있어, 난방시의 바닥 온도분포의 비균일성, 바닥 마감 부위의 균열·누수와 같은 하자 발생 등의 문제점이 야기될 수 있다. 또한 한옥과 같은 목조 가구식 2층 바닥 적용시, 바닥 중량 구조체 지지와 같은 구조적 문제, 온수 난방시 2층 온수의 원활한 공급에 문제가 드러나고 있어, 신한옥의 저변 확대를 위해서는 고유 양식과 특성에 적합한 효율성 높은 바닥 온돌 시스템 개발과 더불어 시공성 향상, 공기의 단축, 건식화 공법화에 대한 검토가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현행 경량기포콘크리트 온수 온돌 구조체(이하 현행구조)를 비롯해, 신한옥 실태조사 결과에서 다수 사용되고 있는 친환경적인 제조항도 바닥재를 이용한 온수온돌구조(이하 황토바닥재), 현행구조의 경량기포를 비롯한 축열층을 생략하고 강성을 증가시킨 굴곡형-스틸렌폼과 마감 모르타르만으로 대신한 굴곡형 스틸렌폼 온수 온돌

* 주저자 및 교신저자, 전남대학교 건축과학기술연구소, 선임연구원 (leetaigang@hanmail.net)

** 전남대학교 건축과학기술연구소, 선임연구원 (weaponlee@hanmail.net, minjeongsong@hanmail.net)

*** 전남대학교 공과대학 건축공학부, 교수(swk@chonnam.ac.kr)

1) 송민정 외, 신한옥 주거만족도 실태조사 연구, 한국생태환경건축학회, 2013. 04.

표 1. 실험 대상 바닥 구조 내용

구조명	단위 Unit 크기 (mm)	실험 대상 바닥 구성	비 고
현행기포 콘크리트 온수온돌 구조	-	발포폴리스틸렌폼 100t + 폴 콘크리트 70t + (온수배관 XL 파이프 20mm 포함) 40mm 시멘트 모르타르 마감	-국내 공동주택 등 주거건축 가장 많이 사용 기포 콘크리트 대신 단열성능이 유사한 폴 콘크리트 사용
굴곡 스틸렌폼 온수온돌 구조	1200×625×70	발포폴리스틸렌폼 100t + 굴곡 발포폴리스틸렌폼 70t + (온수배관 XL파이프 20mm 포함) 40mm 시멘트 모르타르 마감	- W형상으로 강성증가 및 접지면적 최소화로 바닥충격을 차단성능 향상 - 경량기포 타설 생략 - 굴곡 스틸렌폼 위 배관및 마감 모르타르 시공으로 시공성 향상
제조황토바닥재 온수온돌구조	280×200×70	발포폴리스틸렌폼 100t + 복사형 단열재 20mm(상품명 슈 퍼 온도리) + 황토바닥재 70t + 온수배관 XL파이프 20mm + 20mm 황토모르타르 마감주)	- 황토소재의 친환경성 - 기존 온수 난방활용 - 온수배관 매립 홈에 바로 배관작업 및 시공성 향상
전열선히트 파이프 전기온돌구조	2030×900×100	스티렌폼 100t + 히트 파이프 유닛 (공장 목재 기성제품으로 내장된 진공 히트 파이프에 전기 열원 이용하여 발열)	- 기존 열선방식 배제한 건식 바닥 복사 난방 - 친환경적 목재 사용 - 2층 한옥 바닥 하중 경감 - 온도조절센서 부착, 분할난방 가능



굴곡 스틸렌폼



황토 바닥재



히트 파이프

주) 황토 바닥재 위쪽 표면에는 온수 배관용 홈이 제작되어 있어 20mm의 황토 모르타르 마감 만으로도 마감이 가능함

구조(이하 굴곡스티렌폼), 2층 한옥 바닥에 적용이 수월하고 건식공법인 발열선을 이용하는 목재 바닥전기온돌 시스템의 4가지 온돌 구조를 대상으로 축소 시험체를 제작한 후, 이 시험체를 대상으로 난방 및 냉각시의 구조별 바닥 표면 온도 변화 추이를 비교 분석하여 신한옥 특성에 적합한 바닥 시스템의 대안을 선정하는데 기초적인 자료를 제시코자 한다.

2. 연구내용

2.1 실험대상 바닥구조 내용

연구 대상인 바닥구조의 내용은 <표 1>과 같이, 굴곡 스틸렌폼온수 온돌 구조는 현행구조의 경량 기포 콘크리트 대신 W-형상의 발포 폴리스틸렌 폼을 사용하여 마감하는 구조로서 마감모르타르 층의 강성 증가와 경량기포 양생 시 수축에 따른 균열 문제가 발생하지 않으며, 현행 구조를 개선한 시공성 향상과 공기단축을 기대할 수 구조라 할 수 있다.

제조 황토 바닥재를 사용한 온수 온돌구조는 천연 황토를 소재로 하여 벽돌과 같이 압축한 온돌 바닥재로서 내구성을 지니면서 습도의 조절능력이 우수하고, 온돌 바닥재 위에 난방코일이 바로 배관되어 간편하게 시공할 수 있고, 황토 모르타르로 마감되는 친환경적인 구조체로 온수 난방시 황토가 지닌 열적 특성인 축열성능을 기대할 수 있는 구조로서 선정하였다.

신한옥의 특성상 1층 바닥과 달리 가구식 2층 한옥 바닥의 경우 기존 난방 방식을 도입할 경우, 온돌 구성층의 자중

으로 하중 증가에 따른 구조적 문제, 온수 난방에 따른 온수 배관과 온수의 순환에 따른 설비적 문제를 해결하기 위해서는 한옥구조와 조화를 이루면서 건식화가 해결방안의 하나라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 기존 건식 바닥난방 방식에서 채택하고 있는 전기면상 발열방식인 발열필름을 이용한 방식과 전기 선상발열 방식인 발열선(heating cable)을 이용한 방식 중에서 내구성과 안정성 시공성을 고려하여 목재 바닥구조에 적합한 진공 파이프를 설치한 유닛형 목재 전기 온돌과넬 시스템(이하 히트 파이프 구조)를 대상구조에 포함하였다.

2.2 실험 방법 및 내용

현재 국내 온돌 시스템의 열 전달 특성을 파악하기 위한 실험 방법으로는 아직 표준화된 기준 및 방법이 규격으로 제정되어 있지 않고 있으며 단지 건식 온돌에 대한 방열량에 관한 시험방법이 KS F2912 :2008(건식 온수 온돌판의 방열량 계산 및 시험방법)로 제정되어 운용되고 있을 뿐 습식 공법에 의한 온돌 시스템의 열적 특성을 파악하는 데는 대부분 온돌 표면과 온돌 구성층에 설치한 온도 센서를 통해 구조체 표면과 그 하부 구성층에 온도 센서를 부착한 후 온수 공급에 따른 열전달 특성을 비교 하는 방법을 이용하고 있다.²⁾³⁾

- 2) 정혜권 외 2명, 건식온돌과 습식온돌의 열전달 특성 비교 연구, 대한건축학회논문집 25권11호, 2006.11
- 3) 여한승 외 2명, 이중바닥온돌 시스템 개발을 위하여 열적특성의 비교에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 20권 10호, 2004.10

본 실험은 외기의 영향이 작은 전남대학교 건축학과 2층의 건축환경실험실 내에서 실시하였으며, 실험실 슬라브 하부로의 열이 전달되는 축열현상과 실내의 기온의 영향을 최소화 하기 위해 슬라브 위에 100mm 두께의 폴리스티렌폼 위에 바닥 시험체를 각각 타설한 다음 양생 후, 벽, 천정 부분을 단열재인 발포 폴리스티렌 폼 50mm로 밀폐시키고, 구조체간은 20cm 이상 이격시켜 복사온도 및 상호간 온도 간섭효과를 최소화 하였다. 또한 결합부 등은 우레탄 폼으로 코킹하여 상대적으로 동등한 단열상자내의 조건하에서 실험이 진행되도록 하였다.



그림 1. 단열상자 외부 및 단열상자 내부

<그림 2>는 실험 장치 개요 및 배관도를 도시한 것으로 실험이 진행된 실의 크기가 협소하여 4개의 구조를 한꺼번에 설치 할 수 없어 먼저 일반구조를 제외한 3개 구조를 대상으로 1차 실험을 진행하고, 2차는 히트 파이프 구조 대신 일반 구조가 포함된 3개 구조로 실험을 진행하였다. 타설 시의 XL파이프 간격은 모두 200mm 간격으로 배관하였으며, 타설 이후 7일간의 실내 양생 기간을 거쳐 구조체 표면에 Thermocouple를 부착하여 Data logger에 연결하는 순서로 진행하였다.

한편 실험내용 및 실험 기간을 간략히 정리하면 <표 2>, <표 3>과 같다.

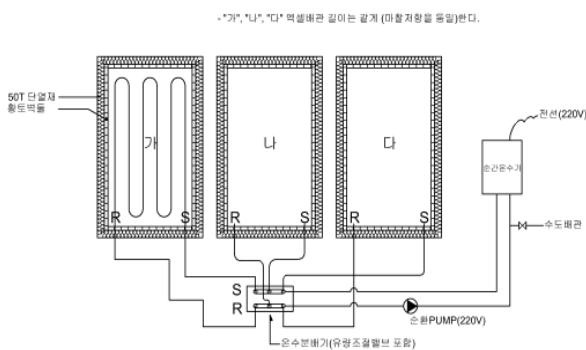


그림 2. 실험장치 개요 및 배관도



항토바닥재 및 굴곡 스티렌폼 바닥재 타설



XL 파이프 배관 및 마감
그림 3. 바닥 시편 제작 과정

각 바닥 구조체의 열적 특성 변화는 경우에 따라 3일 동안 관찰하는 사례도⁴⁾ 있지만 본 연구에서는 바닥표면 온도에 대한 변화를 통해 구조체의 상대적인 성능 순위를 가늠하는 것을 목표로 하기 때문에, 24시간 동안의 충분한 난방에 의한 최고온도 및 그 최고온도 도달 시점의 변화, 또한 가열된 구조체를 원래의 상태로 되돌리는데 24시간 동안의 충분한 냉각시간을 통한 구조체의 온도 저하 변화 특성도 파악에 주안점을 두었다.

또한 국내 온수 온도에 관한 조건인 지역난방의 경우 공급온도 60℃(공급-환수 온도차 15℃)와 개별난방 운전 인 경우의 55~60℃(공급-환수 온도차 10℃)를 제안하고 있어 최고 온도 인 60℃를 설정 한 후 공급-환수 온도 차인 10℃를 고려하여 공급 온수 조건은 각각 50℃, 40℃로 하였다.

표 2. 실험내용 및 측정 방법 개요

실험명	실험내용	측정방법
가열시 축열성능	온수 60℃, 50℃, 40℃ 24시간 공급시 가열 시간에 따른 구조체 바닥 표면온도 변화 및 최고 온도 도달 시간 측정 및 비교 분석	바닥 6개 지점, K-type Thermocouple로 표면온도 측정
냉각시 구조체 온도 변화	상기 온수 공급 중단 후 24시간 자연 냉각시 각 구조체의 표면온도 측정으로 냉각 특성 비교 분석	상동
바닥 방열량	온수 60℃ 24시간 공급시 특정 바닥 표면 온도 55℃, 50℃, 45℃, 40℃, 35℃, 30℃ 에서의 바닥의 방열량 측정 및 비교 분석	바닥 6개, 천정 3개, 벽체 10개지점 K-type Thermocouple로 표면온도 측정

4)정해권의, 전게서

표 3. 실험기간 및 내용

실험명	실험기간 및 내용	대상구조
예비실험	2013.02.01. ~ 2013. 02.04. 실험장치 및 온수 순환 상태 점검	굴곡스틸렌폼 황토바닥재 히트파이프
1차 축열 냉각	60℃ : 02.05. ~ 02.07. 50℃ : 02.07. ~ 02.09. 40℃ : 02.13. ~ 02.15.	상동
1차 방열	황토바닥재 : 02.22. ~ 02.24. 굴곡스틸렌폼 : 02.26. ~ 02.28. 히트파이프 : 03.04. ~ 03.06.	상동
2차 축열 냉각	60℃ : 03.21. ~ 03.23. 50℃ : 03.24. ~ 03.26.	현행구조 굴곡스틸렌폼 황토바닥재
2차 방열	03.27. ~ 03.29.	현행구조

2.3 실험 장치 및 측정기기

온돌 파이프의 온수는 <그림 2>와 같이 벽걸이형 단상 난방전용의 가정용 소형 전기보일러(국내K사 제조 KES-200, 난방면적 9.9~13.3m²) 내부의 전열히터로부터 가열되어 온수분배기 및 유량조절 밸브를 이용하여 온수가 균등하게 분배되도록 하였고, 공급된 온수는 구조체를 가열한 다음 다시 환수되어 보일러에서 다시 순환되도록 하였다. 또한 온수 온도는 보일러의 온돌 조절 밸브 제어로 항상 일정한 온수(±0.5℃ 이내)로 제어하였으며, 히트 파이프는 적산 적력계를 통해 전원이 공급되도록 하고, 온도는 온도 조절센서로 조절하였다.

환편 유량의 측정은 보일러 환수관 입구쪽에 설치된 유량계로 체크하였다.(≈3.0ℓ/m)

표 4. 측정 기기 내용

항목	측정기기	비 고
온도	Data logger TDS-630 Tokyo Sokki Kenkyujo	30 채널
	K-type C-C 열전대	지름 0.3mm
유량	온수유량계 단감건식	m ³ (Qmax : 3m ³ /h)

<표 4>는 측정 기기에 관한 내용을 나타내고 있으며, 바닥 표면온도의 측정은 50μm 두께의 은박 테이프를 바닥 표면에 부착하고 Thermocouple을 장착 시킨 후 다시 은박 테이프를 그 위쪽에 부착하였다. 측정 지점은 배관 직상부가 아닌 온수 파이프 피치 중앙에 균등하게 분포하는 6개 지점을 측정하였으며, 단열상자 내의 기온을 측정하기 위해 중앙에 위치한 Tri-pod를 이용하여 0.9m 높이의 온도를 한 군데 측정하였다.

측정된 데이터는 Data logger에 5분 간격으로 수록되어 이 수록된 데이터는 엑셀 프로그램으로 분석하였다.

2.4 방열량

습식 온돌에 대한 방열량 산정은 유럽의 EN 1264과 미국 냉동공조학회의 ASHRAE Hand book(2008)에서 제시하고

있는 방법으로 구분할 수 있는데, 국내에서는 주로 온수난방을 이용하고 있고, 실내의 작용온도 보다는 실온에 의한 설계와 제어를 하고 있어 본 연구에서는 ASHRAE Hand book에서 제시한 방법에 의해 방열량을 산정하였다⁵⁾.

ASHRAE Hand book의 패널 방열량은 복사에 의한 열전달과 자연대류에 의한 열 방열로 나누어 계산하고 있으며, 복사에 의한 열전달량은 다음식과 같이 단순화하여 계산한다.

$$q_r = 5 \times 10^{-8} [(t_p+273.15)^4 - (AUST+273.15)^4] \quad (1)$$

여기서, t_p = 유효 패널온도, ℃

AUST = Area-weighted average unheated temperature, 실내표면의 벽, 천장, 바닥, 창, 문 등(active 패널 표면 제외)의 면적 가중온도, ℃

또한 바닥 복사 난방에 의한 자연대류에 의한 경우는 다음식과 같다.

$$q_c = 2.13(t_p - t_a) 0.25 (t_p - t_a) \quad (2)$$

여기서, t_a = 실내공간의 건구온도, ℃

이러한 방열량 산정을 위해 각 시험체는 바닥 표면 6개 지점 뿐만 아니라 천정 3개 지점, 벽체 10개 지점에 대해 상기의 Thermocouple 부착 방법을 준용하고 Tri-pod를 이용하여 0.9m 높이에서 온도도 측정하였다.

3. 측정결과 및 분석

3.1 온수 공급 온도에 따른 축열 및 냉각 특성

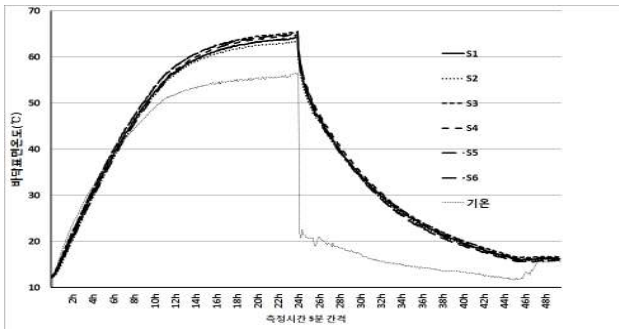
3.1.1 온수 온도 60℃ 공급

<그림 4>는 황토바닥재, 굴곡 스틸렌폼에 온수 온도를 각각 60℃로 24시간 공급하고 이후에는 온수공급을 차단하면서 시간대에 따른 표면온도 변화 특성을 나타낸 그림이다(히트 파이프는 진공파이프체에 전기를 가하여 발열하는 특성상 공급 온수 온도에 준하는 최고 온도 설정을 온수 온도 조건과 같이 60℃로 setting).

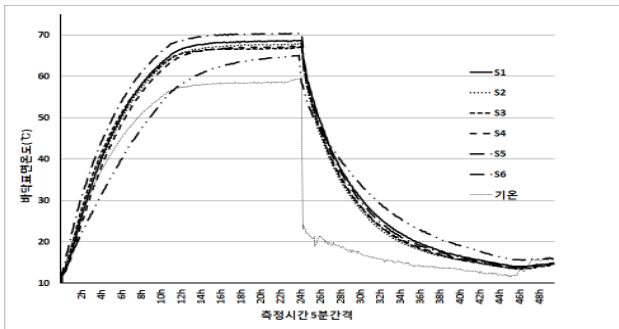
황토 바닥재는 시간에 따라 바닥 표면의 온도가 가장 완만하게 상승하고 있으며, 온수 중단시 최고온도 약 68℃에까지 달해 이후 온수 공급이 계속 된다면 더 높은 온도를 나타낼 것으로 예측된다. 그러나 온수공급을 중단한 24시간 이후에는 온수 공급시의 온도 상승 할 때는 빠르게 냉각되지만 다른 온돌 구조에 비하여 황토를 사용한 경우가 가장 느리게 냉각되고 있음을 알 수 있다.

또한 바닥표면 온도의 표준편차가 0.2℃~0.8℃로 가장 낮게 나타나 세 구조중에서 가장 균일한 온도 분포를 나타내고 있는데, 이는 황토바닥재의 제작특성인 황토의 압축과 두께 70mm의 중량성 및 황토 고유의 재료적 특성 등으로 인한 축열 성능 효과라 판단된다.

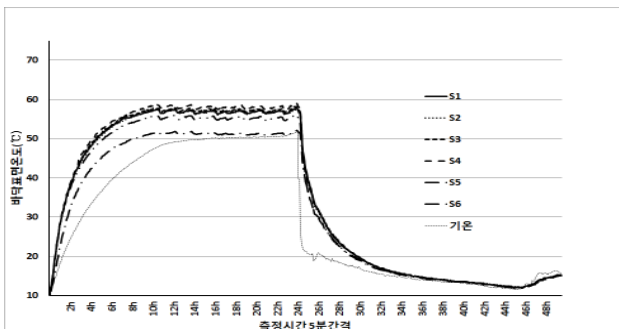
5) ASHRAE, ASHRAE Hand book-HVAC System and Equipment, 2008



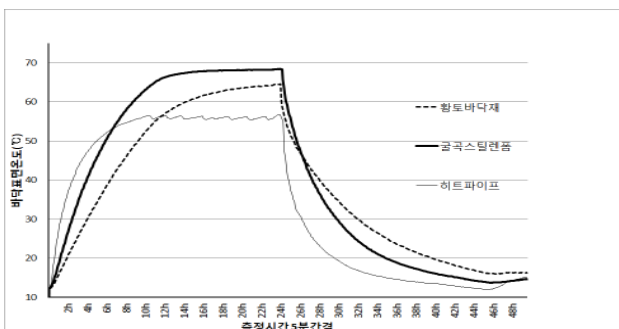
(a) 황토바닥재



(b) 굴곡스틸렌폼



(c) 히트파이프



(d) 세가지 구조의 비교

그림 4. 온수온도 60℃ 난방시 및 냉각시 바닥표면온도 변화

한편 열원을 같은 온수로 이용하는 굴곡 스틸렌폼 구조의 경우에는 황토바닥재 보다 더 빠른 13시간부터 최고 온도에 달하고, 이후 온수공급 중단 24시간 까지 바닥 표면의 온도는 온수 공급온도 보다 10℃ 이상 높은 70℃에 이르는 부분도 있으나 전반적으로 큰 변화 없이 거의 안정화 되고 있음을 알 수 있다.

또한 굴곡 스틸렌 폼의 바닥표면 온도 표준 편차는 황토 바닥재 보다 상대적으로 약간 높은 0.2℃ ~ 1.9℃의 범위로

나타나고 있으며, 황토 바닥재와 유사하게 온수 공급시의 온도변화 보다는 온수공급을 중단한 24시간 이후에 더 빠르게 변화되면서 저하되고 있음을 알 수 있다.

황토 바닥재에 비해 표면온도 편차가 크게 나타난 원인은 황토 마감재 대신 시멘트 모르타르 마감으로 인해 열 전도성이 크고, 온수 배관층 바로 밑의 굴곡스틸렌폼의 형상과 스틸렌폼의 단열성능으로 인해 황토 바닥재와는 달리 표면에 열 전달이 고르게 분포하지 못한 것으로 사료된다.

히트 파이프 경우는 위의 황토바닥재와 굴곡 스틸렌폼의 온도 변화 특성과는 다른 변화 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다.

최고 온도는 측정점 마다 조금씩 차이를 보이면서 약 50℃ ~ 59℃까지 달하고 있으며, 이 최고온도 도달시간도 9시간 전후로 나타나 세 가지 구조 중에서 가장 짧은 시간에 도달함을 알 수 있다. 최고 온도 도달 이후에 표면온도는 안정화 되는 추세를 보이고 있지만, 다소의 온도 변화가 나타나고 있다. 이는 제품의 특성상 내장되어 있는 제어부에 어떤 특정 온도를 중심으로 on-off 되는 열전대 허용범위로 인한 것이라 할 수 있다.

히트 파이프의 표면온도 분포에 대한 편차는 0.5 ~ 2.3의 범위로 세 구조 중에서 가장 큰 폭의 변화를 보이고 있다. 이는 목조 Frame안에 내장된 히트 파이프가 길이 방향으로 평행하게 배치되지 않고 두한측열의 조건을 충족하기 위해 경사를 지니고 배치되어 있는 구조적 특성에 기인한 것으로 생각되며, 세가지 구조에 대한 표면온도 편차에 관한 내용은 본 연구의 재료적 특성 결과를 바탕으로 추후 각 온돌 구성층들의 온도변화를 파악할 수 있는 연구를 통해 심도 깊게 분석되어야 할 것으로 판단된다.

<그림 4>의 (d)그래프는 세가지 구조에 대한 시간에 따른 표면온도 변화를 파악하면서 그 특성을 상호 비교하기 위해 각 구조별 바닥 표면온도를 평균화하여 비교한 결과이다.

세가지 구조는 개별적인 분석결과가 반영되면서 서로 구조별 특성에 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 설정 최고온도의 도달 순서는 히트 파이프, 굴곡 스틸렌폼, 황토 바닥재 순으로 나타나고 있으며, 온도 안정화 이후 또는 최고점 이후 온수공급 중단 또는 전원차단 시부터의 온도 저하 순서도 히트 파이프, 굴곡 스틸렌폼, 황토바닥재 순으로 나타나고 있다. 특히 온도 상승 및 온도 하강은 히트 파이프가 가장 급격히 변화되고 있는데 반해 황토바닥재가 가장 완만히 상승하고 있어, 한옥의 온돌 바닥구조의 적용시 적용될 구조의 실내 온도 유지 뿐만 성능 뿐만 아니라 온도 상승과 온도 하강에 대한 내용도 고려해야할 것으로 생각된다.

이에 세가지 구조를 대상으로 바닥난방 쾌적 평가를 위해 고려할 수 있는 바닥 난방의 쾌적 하한 온도인 25℃에서 최고 쾌적 온도인 31℃ 까지 도달시간과 냉각시 최고 쾌적 온도인 31℃에서 쾌적 하한 온도인 25℃의 도달 시간⁶⁾을 분석한 결과는 <표 5>와 같다.

6) 대한주택공사, “온돌시스템 개발연구” 대한주택공사 연구보고서, 1996

표 5. 각 구조별 쾌적 최적온도 31℃ 및 하한온도 25℃ 도달시간

구조	가열시 쾌적온도 하한-최적 도달시간	냉각시 쾌적온도 최적-하한 도달시간
황토바닥재	110 min	210 min
굴곡스틸렌폼	60 min	135 min
히트 파이프	30 min	65 min

표에서도 알 수 있듯이 히트파이프의 쾌적 최적온도 도달 시간과 냉각시의 하한 도달시간이 가장 빠르고, 황토바닥재의 경우가 가장 늦게 나타나 난방의 빠른 효과 측면에서는 히트 파이프가 난방의 지속시간 측면에서는 황토 바닥재가 유리한 것으로 판단된다.

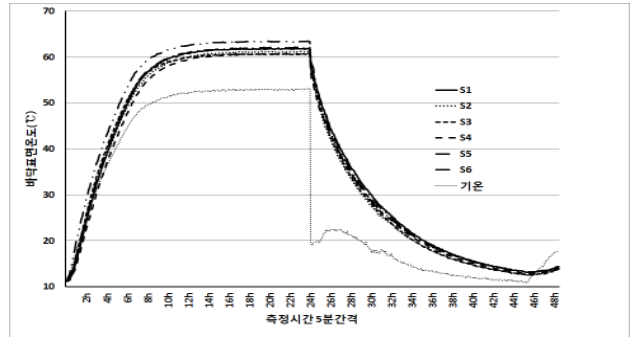
3.1.2 온수 온도 50℃, 40℃ 공급

최고온도 설정을 각각 50℃, 40℃로 하여 난방할 때의 시간 경과에 따른 세가지 구조의 바닥표면온도 변화 특성은 <그림 5>, <그림 6>과 같다.

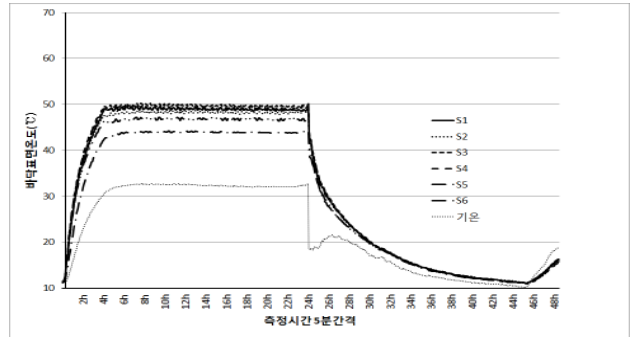
각 구조체는 3.1.1의 결과처럼 시간에 따른 온도 상승, 최고 온도 도달 후의 표면온도의 안정화, 온수 공급 중단 또는 전원 차단 이후의 온도 저하 양상이 앞 절 3.1.1의 결과와 유사한 형태로 변화하고 있으며, 단지 최고 온도만 약 10℃씩의 차이를 보이고 있어, 세가지 구조체는 서로 상이한 바닥 구조체임을 나타낸다고 할 수 있다.

각 구조체의 표면온도에 대한 편차와 각 구조별 쾌적 최고온도 및 하한온도 도달시간을 분석한 결과는 <표 6>과 같다.

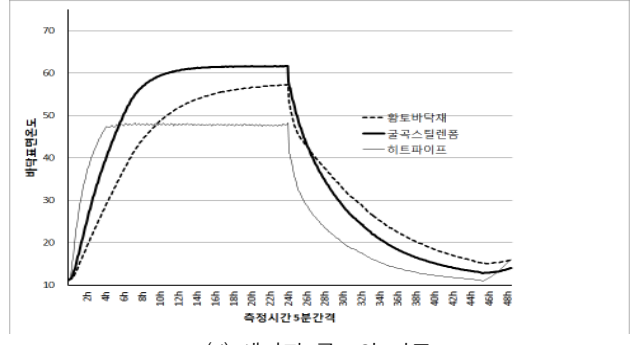
바닥온도 분포의 균일성이라 할 수 있는 표준편차의 범위도 온수 온도에 무관하게 가장 좁은 범위를 나타내고 있는데 반해 히트 파이프가 가장 넓게 나타나고 있으며, 가열시 쾌적 하한온도에서 최적 온도에 이르는 시간도 히트파이프 구조가 가장 짧은 시간인 30분을, 온수 중단후의 쾌적 최적온도에서 최저온도 도달시간도 황토바닥재가 가장 길게 나타나고 있어 난방효과의 유지 측면에서 황토 바닥재가 더 유리함을 다시 한번 확인 할 수 있다.



(b) 굴곡스틸렌폼

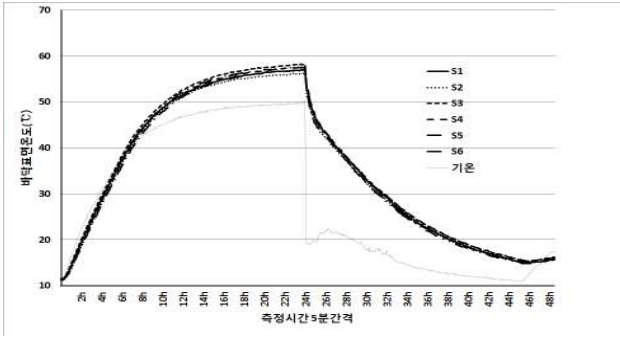


(c) 히트 파이프

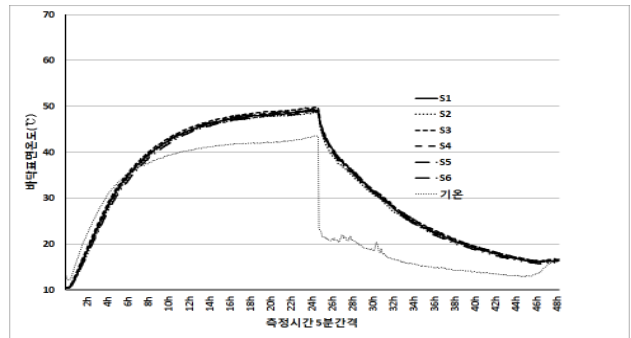


(d) 세가지 구조의 비교

그림 5. 온수온도 50℃ 난방시 및 냉각시 바닥표면온도 변화



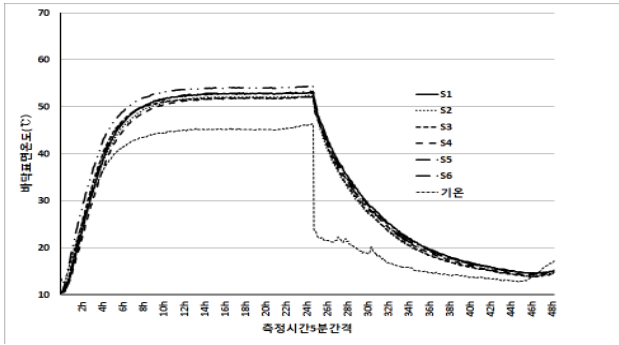
(a) 황토바닥재



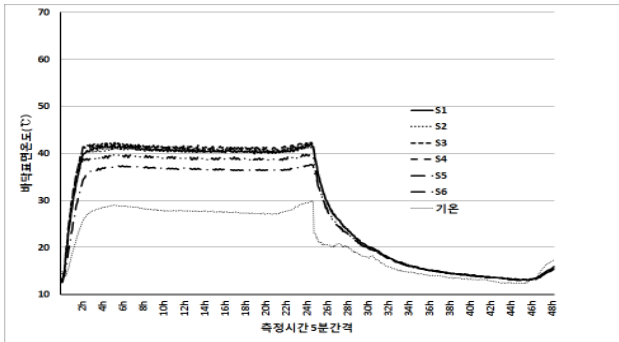
(a) 황토바닥재

표 6. 각 구조별 표면온도분포 표준편차와 쾌적 최적온도 및 하한온도 도달 소요시간

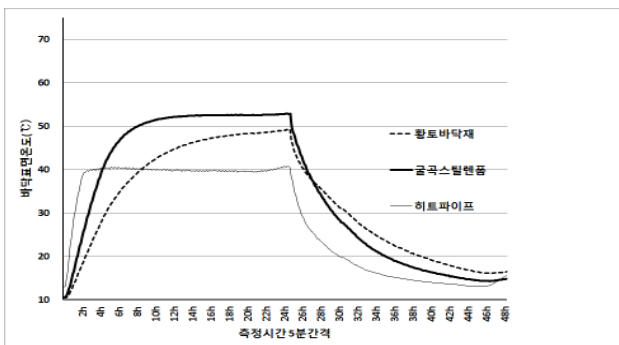
구조	온수 온도 50℃			온수 온도 40℃		
	표준 편차 최저-최고	가열시 쾌적온도 하한-최적 소요시간	냉각시 쾌적온도 최적-하한 소요시간	표준 편차 최저-최고	가열시 쾌적온도 하한-최적 소요시간	냉각시 쾌적온도 최적-하한 소요시간
황토바닥재	0.1 ~ 0.8	75 min	195 min	0.1 ~ 0.7	90 min	225 min
굴곡스틸렌폼	0.1 ~ 2.2	40 min	155 min	0.1 ~ 2.1	45 min	160 min
히트 파이프	0.1 ~ 2.6	30 min	110 min	0.2 ~ 2.6	30 min	95 min



(b) 굴곡스틸렌폼



(c) 히트 파이프



(d) 세가지 구조의 비교

그림 6. 온수온도 40°C 난방 및 냉각시 바닥표면온도 변화

3.2 현행구조와의 특성 비교

본 절에서는 신 한옥 뿐만 아니라 국내 공동주택에서 가장 많이 채택하고 있는 바닥구조(이하 현행 구조) 축열층을 설치하고 동일하게 온수 배관한 현행구조와 황토바닥 구조, 굴곡 스틸렌폼 구조와 같은 습식구조들의 축열 특성을 비교하여 신 한옥 적용 가능성을 가늠해 보고자 한다.(냉각시의 최적 하한 도달 시간에 관한 내용은 실험실의 실온 상승으로 앞선 실험조건 차이 때문에 생략)

앞장의 실험과 동일한 조건하에서 실험을 진행하고, 단지 온수 온도 조건을 60°C, 50°C로 하여 시간에 따른 바닥온도 분포 특성을 분석한 결과는 <그림 7>, <그림 8>과 같다.

현행구조는 가열시 가장 높은 온도를 유지하고 있고, 굴곡 스틸렌 폼 구조의 표면 온도 변화와 거의 유사하게 변화하고 있으며, 설정 온수 공급온도인 이상의 온도에도 도달됨을 알 수 있다. 또한 최고 온도 도달까지 굴곡 스틸렌폼 구조와는 온수 온도 60°C인 경우는 평균 2.7°C, 50°C는 평균 1.4°C 정

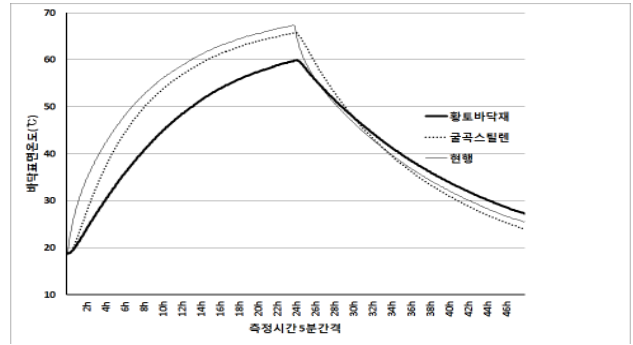


그림 7. 습식구조 60°C 난방 및 냉각시 바닥표면온도 변화

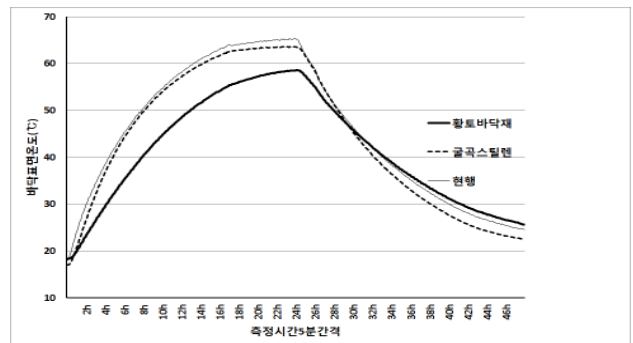


그림 8. 습식구조 50°C 난방 및 냉각시 바닥표면온도 변화

도, 황토 바닥재 보다는 각각 9.7°C, 4.0°C 높게 나타나고 있다. 온수 공급 중단 이후의 온도도 세 구조는 온도 상승시에 비해 현저한 온도 차이는 보이지 않고 모두 비슷 저하되고 있으며, 그중에서도 황토 바닥재가 가장 완만하게 저하되고 있음을 알 수 있다.

한편 바닥 표면온도의 표준편차의 최저-최고치 및 쾌적 온도 도달에 관한 소요시간을 분석한 결과는 <표 7>과 같다.

표 7. 습식구조 표면온도분포 표준편차와 쾌적 최저온도 도달 소요시간

구조	온수 60°C		온수 50°C	
	표준 편차 최저-최고	표준 편차 최저-최고	표준 편차 최저-최고	가열시 쾌적온도 하한-최적 소요시간
황토바닥재	0.1 ~ 0.5	0.1 ~ 0.4	0.1 ~ 0.4	115 min
굴곡스틸렌폼	0.3 ~ 1.6	0.2 ~ 1.5	0.2 ~ 1.5	60 min
현행구조	0.8 ~ 3.1	0.9 ~ 2.0	0.9 ~ 2.0	45 min

주) 실내 기온 상승으로 쾌적온도 도달에 관한 내용은 온수 온도 50°C 결과로만 분석하였음

표에서 알 수 있듯이 표면온도의 표준편차는 황토 바닥재가 가장 낮게, 현행 구조가 가장 높게 나타나 세 구조 중에서 바닥온도 분포의 균일성은 황토바닥재, 굴곡스틸렌폼, 현행구조 순으로 평가할 수 있다. 또한 가열시 쾌적 온도 도달 시간은 일반구조 45분, 굴곡 스틸렌폼 60분, 황토바닥재 115분의 순서이로 나타나 실온상승 효과는 일반구조가 가장 유리하나 굴곡 스틸렌폼에 비해 현저한 차이가 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

3.3 방열량의 비교 분석

온돌 난방방식은 바닥 구조체의 복사열에 의해 난방되기 때문에 난방시 바닥 표면으로부터의 방열량도 난방의 효율성을 파악하는데 주된 요인이라 할 수 있다. 본 절에서는 바닥 표면으로부터의 방열량을 비교 분석하여 4개 구조에 대해 바닥표면 온도에 따른 방열량(W/m^2)을 상대적으로 가능해 보기 위해 그 결과를 산출하여 <그림 9>에 표기하였다.

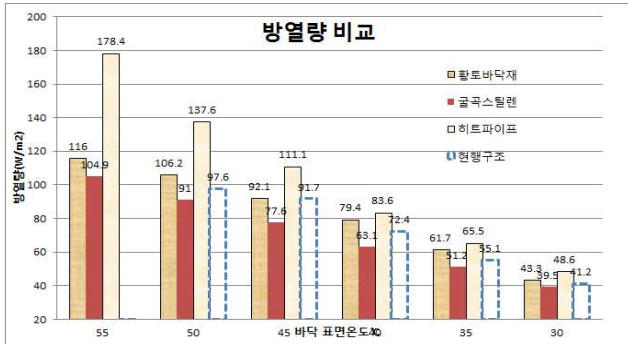


그림 9. 각 구조체의 방열량 비교

방열량 산출은 2.4절에서 논한 ASHRAE Hand book에서 제시한 식에 의해 복사열 및 대류열 합산하여 산정하였으며, 이 복사열 및 대류열 산정에도 바닥 표면 6개 point, 단열상자의 천정 3개 point, 단열상자 실내 벽 10개 point, 실내 기온 1개 point 등 균등히 설치된 열전대를 통해 측정된 값들을 엑셀 프로그램을 이용하여 산출되도록 하였다. 각 구조체의 방열량은 바닥표면 온도가 단열상자 표면보다 전체적으로 높은 구간인 30°C ~ 55°C 대해서만 산출하였는데, 이는 예열이 필요한 초기 난방시와 일정 온도 이상 가열되어 단열상자 표면의 온도가 높은 경우 단열상자로 부터의 방열량이 높아지기 때문에 이 온도범위를 고려한 것이다.

각 온도별 방열량은 히트 파이프, 황토바닥재, 현행구조, 발포 스티렌폼의 순으로 나타나고 있으며, 히트 파이프는 온도가 높아질수록 방열량이 현저하게 증가됨을 알 수 있다. 그러나 바닥표면의 쾌적 최적조건과 실제 바닥온도 가열조건을 고려할 수 있는 30°C에서는 히트 파이프를 제외하고는 습식구조 세가지 구조는 큰 차이가 나타나지 않고 있어, 이하의 온도에서 난방을 하는 경우에도 습식구조는 방열량에 크게 차이가 나지 않을 것으로 판단된다.

따라서 신한옥의 난방구조로는 친환경적이며 간헐적 난방에 의한 난방효과 유지는 황토 바닥구조가 적합한 것으로 판단된다.

4 결론

신한옥에 적합한 온돌 시스템의 적용을 목적으로 4가지 바닥 구조체에 대해 열적 특성을 조사하기 위해 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 바닥온도 분포의 균일성은 황토 바닥재, 굴곡스틸렌 폼, 히트 파이프 순으로 나타났으며, 쾌적 하한온도-상한온

도 도달시간 분석결과, 빠른 실온 상승에는 히트 파이프 구조가 냉각 후 난방효과와 유지 측면에서는 황토 바닥재가 더 유리한 것으로 나타났다.

- 2) 습식구조 3가지 중에서 바닥온도 분포의 균일성은 황토바닥재, 굴곡스틸렌폼, 현행구조 순으로 평가할 수 있으며, 쾌적 하한온도-상한온도의 도달 시간 분석 결과, 빠른 실온 상승의 효과는 현행구조가 굴곡 스티렌폼구조에 비해 약간 더 유리한 것으로 나타났다.
- 3) 4개 구조에 대한 바닥표면의 방열량 분석결과, 각 온도별 방열량의 순위는 히트 파이프, 황토바닥재, 현행구조, 발포 스티렌폼의 순으로 나타났으나, 바닥표면의 쾌적 최적조건과 실제 바닥온도 가열조건을 고려할 수 있는 30°C에서 습식구조 세가지 구조는 큰 차이가 나타나지 않았다.
- 4) 신한옥의 난방구조로는 친환경적이며 간헐적 난방에 의한 난방효과 유지는 황토 바닥구조가 적합한 것으로 판단되었다.

이상의 결과는 실험실 실험을 통한 구조체의 상대적인 비교 결과로, 시험체 단일 챔버사이의 복사 열전달 등의 간섭 현상 검토 등은 추후 연구가 필요할 것으로 판단되며 본 연구 결과를 토대로 현장 실험을 통한 측정결과와 검증 및 경제성 분석, 친환경성에 대한 검토 등을 통해 국내 실정에 적합한 신한옥의 바닥 구조체의 적용 방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

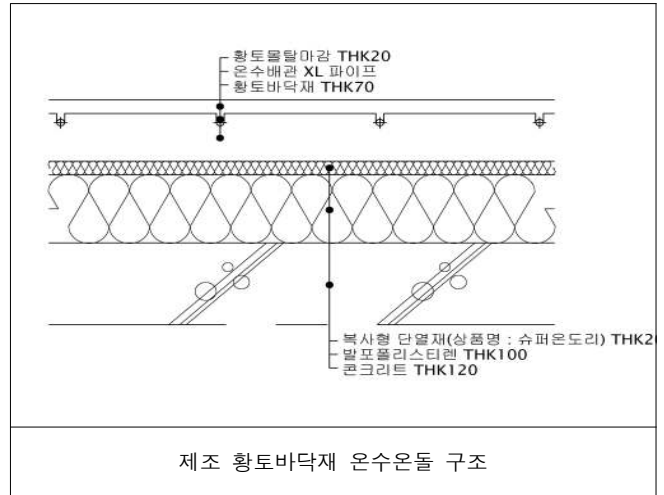
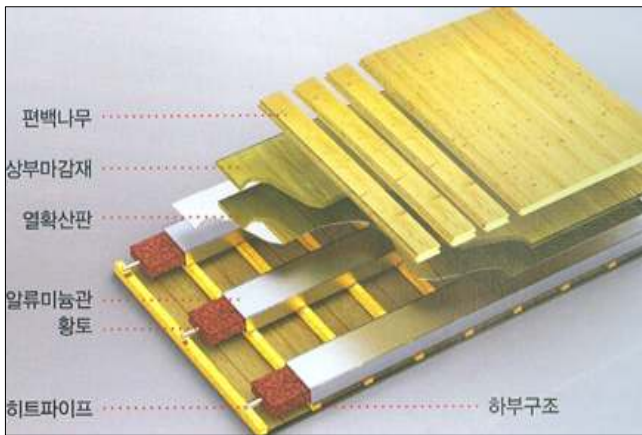
후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구지원비(10 첨단도시 B01)에 의해 수행되었음.

참고문헌

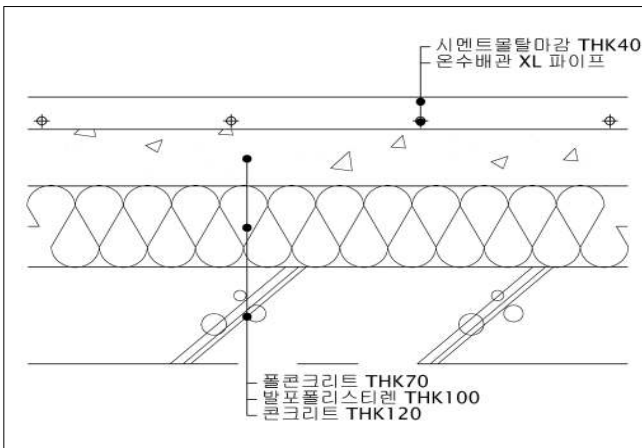
1. 이운정 외, 공동주택의 난방부하 특성을 고려한 바닥 복사난방 패널의 설계, 대한건축학회 논문집, 27권9호, pp.349 ~ 357, 2011. 05.
2. 정해권 외, 건식온돌과 습식온돌의 열전달 특성 비교 연구, 대한건축학회논문집 25권11호, pp.315 ~ 322, 2009. 11.
3. 안병천 외, 바닥복사 난방시스템의 열유동 특성해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 24권 8호, pp.293 ~ 300, 2008. 08.
4. 여한승 외, 이중바닥온돌 시스템 개발을 위하여 열적특성의 비교에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 20권 10호, pp.271 ~ 278, 2004.10
5. 송민정 외, 신한옥 주거만족도 실태조사 연구, 한국생태환경건축학회, 2013. 계획예정
6. 대한주택공사 외, 공동주택 바닥난방시스템 개발 및 실용화 연구, 1997
7. 대한주택공사, 온돌시스템 개발연구, 1996
8. ASHRAE, ASHRAE Hand book-HVAC System and Equipment, 2008
9. 박윤성, "건축계획원론", 문운당, p118, 1991.

<부록 1> 전열선 히트 파이프 온돌구조 시공도

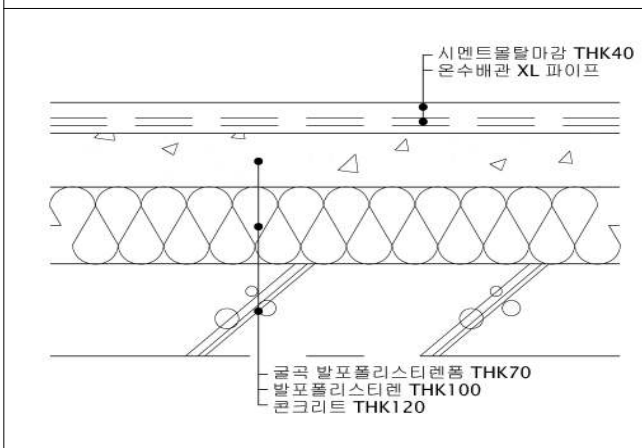


제조 황토바닥재 온수온돌 구조

<부록 2> 시험체의 바닥구조 단면



현행기포 콘크리트 온수온돌 구조



굵은 스틸렌폼 온수온돌 구조

투고(접수)일자: 2013년 4월 18일
 수정일자: (1차) 2013년 6월 10일
 (2차) 2013년 6월 21일
 (3차) 2013년 6월 24일
 게재 확정일자: 2013년 6월 24일