

지열히트펌프를 이용한 습식·건식 바닥난방 성능평가 연구

*이 병두¹⁾, 이 세진²⁾, **이 대우³⁾, 오 성해⁴⁾, 남 우동⁵⁾

Comparative Study on Performance of Wet-type and Dry-type Floor Heating Systems Using Geothermal Heat Pump

*Byoung-doo Lee, Se-jin Lee, **Dae-woo Lee, Sung-hae Oh, Woo-dong Nam

Key words : Wet Floor Heating System (습식 바닥난방), Dry Floor Heating System (건식 바닥난방)
Geothermal Heat Pump (지열원 히트펌프)

Abstract : The present study was conducted for a comparative evaluation of wet and dry floor heating systems using geothermal heat pump. We circulated hot water from geothermal heat pump which is 10~15°C lower than that from boiler. In order to access indoor temperature (25°C) it took 74 minutes for dry type and 247 minutes for wet type. Average floor temperature was 23.9°C for wet type and 32.7°C for dry type. Energy saving rate gradually increased by 66% after 138 minutes. As a result, in case of floor heating system using low temperature circulation water, dry type was more practicable for stable floor heating than wet type in terms of floor temperature and access time to indoor set temperature.

1. 서론

우리나라는 에너지에 대한 해외의존도가 다른 어느 나라 보다 높아 97%에 달하고 있다⁽¹⁾. 이에 에너지자원을 확보하는 것이 미래의 성장 동력을 확보한다는 판단아래 신·재생에너지자원 개발에 박차를 가하고 있다. 조사에 따르면 우리나라의 총 에너지 사용량의 약 30%정도가 건물부문에서의 소비량이며 이 중 대부분이 냉·난방에 사용되고 있다⁽²⁾. 일본의 보고서(Comprehensive Energy statistics for FY 2003)⁽³⁾에 따르면 우리나라와 비슷한 일본의 경우 주거시설과 상업시설의 에너지소비가 전체 일본 에너지소비중 약 31.2%를 차지하고 있는 실정이다. 이중 주거시설의 에너지소비 패턴을 볼 경우 냉·난방과 급탕 부분이 57%를 차지하는 것을 알 수 있다. 이렇게 큰 비중을 차지하는 주거시설의 냉·난방 및 급탕에 사용되는 에너지소비를 줄이기 위해 지열을 이용한 냉난방시스템이 최근 몇 년사이 부각되어 왔다. 이런 지열원 냉난방시스템의 보급현황을 보면 선진국의 경우 주거시설에 대한 보급이 가장 높게 나타나는 반면 국내의 경우에는 교육시설, 사회복지시설의 비중이 50%이상을 차지하나 주택용 건축물에 대한 적용사례는 거의 없는 실정이다⁽⁴⁾. 국내 주택용 건축물에 보급이 어려운 이유는 시공비, 천공면적 등 여러 가지가 있을 수 있지만 그중에서 국내의 난방방식을 예로 들 수

있다. 국내는 일반적으로 습식 바닥난방시스템을 취해 왔기 때문에 순환수의 온도는 50°C~60°C가 적정하다⁽⁵⁾. 그러나 현재 출시되는 지열원 히트펌프의 순환수온도는 약 45°C~50°C이기 때문에 습식 바닥난방시스템을 접목하기에는 어려움이 있다. 따라서 겨울철의 경우에는 급탕용이나 Radiator를 이용한 보조 대류난방을 적용하며 주난방은 보일러를 이용한 복사난방을 이용하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 지열원 히트펌프를 이용한 바닥난방시스템의 적용가능성에 대해 비교 평가하려고 한다.

- 1) 현대건설(주) 기술/품질 개발원
E-mail : bdlee@hdec.co.kr
Tel : (031)280-7247 Fax : (031)280-7070
- 2) 현대건설(주) 기술/품질 개발원
E-mail : sejinlee@hdec.co.kr
Tel : (031)280-7254 Fax : (031)280-7070
- 3) 현대건설(주) 기술/품질 개발원
E-mail : dwlee@hdec.co.kr
Tel : (031)280-7351 Fax : (031)280-7070
- 4) (주)ADD웰빙테크
E-mail : shoh@addwellbeing.co.kr
Tel : (02)790-6708 Fax : (02)795-6703
- 5) (주)ADD웰빙테크
E-mail : wdnam@addwellbeing.co.kr
Tel : (02)790-8802 Fax : (02)795-6703

2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 동일한 공간 및 조건에 지열원 히트펌프(3RT)를 연결하여 온돌구조라 할 수 있는 습식 바닥난방시스템과 최근 아파트 옥실 및 오피스텔 등의 바닥난방으로 시공되는 건식 바닥난방시스템을 비교·분석 하였다. 히트펌프는 축열조를 통해 각 실험체에 온수가 공급되는 시스템이다. 축열조의 온도가 약 45℃에 도달한 후 순환펌프를 가동하여 각 실험체에 난방순환수를 공급하였으며, 실내온도, 바닥온도, 에너지소비량, 순환수온도를 측정·평가 하였으며 전기보일러(3 kW)를 이용한 습식과 건식의 사전실험 결과와도 비교하였다.

2.1 습식·건식 바닥난방시스템

국내공동주택에 건식공법 바닥난방시스템을 적용하기 위해 다각도로 연구, 검토하여 왔으나 경제성 저하 및 동관에서의 누수 등의 이유로 활성화되지 못하였다. 하지만 최근 건식 바닥난방시스템에 대한 연구를 통해 경제성과 제품성을 지닌 새로운 제품들이 나오면서 건물의 건식화 추세에 발맞추어서 많은 제품들이 출시되고 있으며 몇 제품은 실제 건설사의 건축물 현장에 적용·보급되고 있다. 최근 건축물 초고층화의 수요증가로 습식공법을 대체할 난방방법에 대한 관심이 많아지면서 바닥난방시스템의 흐름이 점차 습식공법에서 건식공법으로 바뀌고 있다. 건식공법의 구체적인 개발 사례로는 온수관과 단열재가 방열체 속에 들어있는 패널이용 난방시스템과 액세스 플로어 시스템을 온수관과 매설할 수 있는 바닥판으로 이용한 이중바닥 온수온돌패널 이용 난방시스템, 또한 바닥을 이중구조로 만들어 아래판에 단열재를 부착하는 온수온돌 난방시스템 등을 들 수 있다.

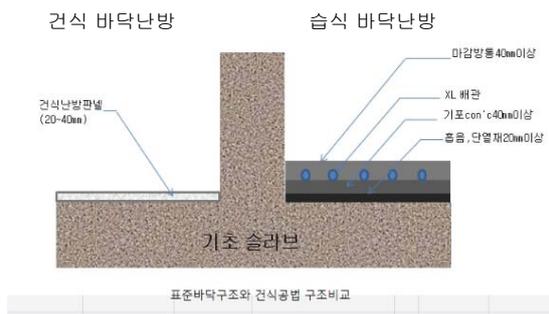


Fig. 1 Comparison of wet and dry floor heating systems

2.2 온돌 실험체

본 실험은 ADD웰빙테크 연구소내 3.6m(L) × 3.4m(D) × 2.2m(H)규모의 실내공간에 습식·건식 바닥난방시스템을 각각 설치하여 실험하였다. 건식 바닥난방시스템은 Fig. 2와 같이 제작하여 8개의 판넬을 시공하였다. 습식의 경우 Fig. 3과 같이 XL-Pipe 지름 15 mm, 길이 52 m와 마감모르타르 50 mm의 바닥마감재를 설치하였다. 각 바닥난방시스템에는 지열원 히트펌프(3RT)가 축열조(1 Ton)를 통해 실험체에 온수를 공급하며 온수의 공급은 실내온도 설정값에 따라 냉·온수 순환펌프가 자동 On/Off하도록 설치되었다. 외부의 영향에 따른 실험결과 값의 편차를 줄이기 위해 각 실험체의 모든 면은 외부와 면하지 않도록 설계 및 시공되었다. 건식 실험체의 경우 8개의 판넬에 병렬로 온수가 공급되는 시스템이 아닌 4개의 판넬로 조닝을 하여 직렬로 공급되도록 설치되었다 (Fig. 6 참조). 실험에 사용된 재료의 특성과 실험실의 구조 및 시스템 계통도는 각각 Table 1, Fig. 4 및 5와 같다.

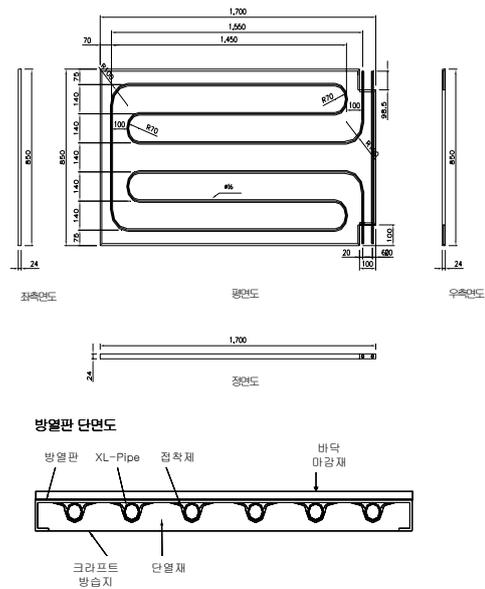


Fig. 2 Schematic diagram of a dry floor heating system's module

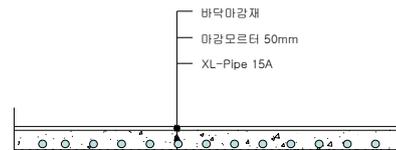


Fig. 3 Schematic diagram of a wet floor heating system

Table 1 Material properties for comparative study

NAME	SIZE(모델)	MTL	특성
방열판	1,700mm x 850mm x 0.6mm 두께 : 0.6mm	P6L8448 갈바륨 강판	인장강도 : 344N/mm ²
XL 파이프	Φ12	PE-Xa	내경 : 12 mm 두께 : 1.9 mm 이상
접착제	접착제	GS-GW	비중 : 1.09±0.03 점도 : 650±100 반응시간 : 10초 이내
단열재	23.4mm	발포 폴리스티렌 (PS) 단열재	열전도도 : 0.027 W/m·K 이하 밀도 : 25 kg/m ³ 이상 평량 : 100 g/m ² 이상 인장강도 가로 : 86 N/15mm 인장강도 세로 : 42N/15mm 밀도 : 400 kg/m ³
크라프트 방습지	가로 850	크라프트지	열용량 : 1,300 J/kg·K 열전도도 : 0.12 W/m·K 밀도 : 2,000 kg/m ³
바닥 마감재	3,600mm x 3,400mm	Wood Light-Weight	열전도도 : 1.3 W/m·K
마감 모르터	0.61m ³	Mortar	내경 : 15 mm 두께 : 1.9 mm 이상
XL 파이프	Φ15	PE-Xa	

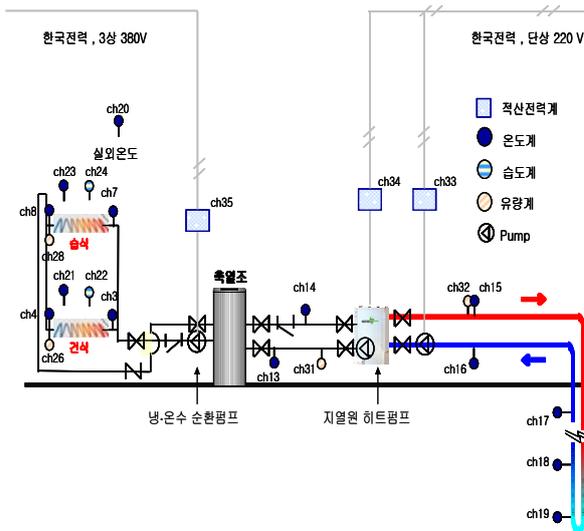


Fig. 4 Schematic diagram of a test bed



Fig. 5 Detailed schematic diagram of test rooms

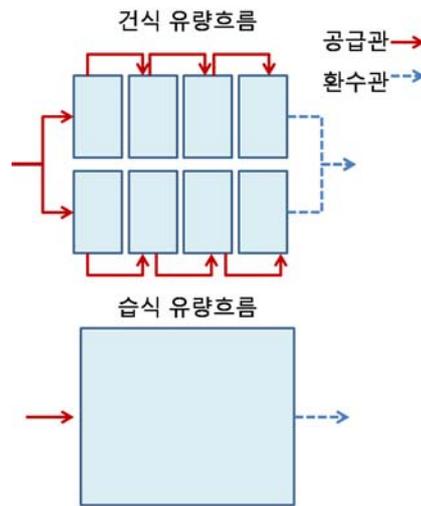


Fig. 6 Schematic diagram of hot water stream in wet and dry-type

2.2 데이터 측정장치

각 실험체의 데이터 측정항목은 온수유량, 공급온도, 환수온도, 전기소모량 및 실내온도이며, 실내온도는 바닥온도 다섯 측정점과 실내 대포켓으로 사용될 한 측정점(지상 1.2m 높이)에서 60초 측정 간격으로 데이터로거(GL-800)를 이용하여 측정하였다. 사용된 온도센서는 T-type의 열전대를 사용하였다. 또한 히트펌프의 전력소모량을 CT 및 단상 Signal Converter를 이용하여 측정하였으며, Pulse Signal Transmitter를 통해 유량을 측정하였다.

Table 2 Data acquisition parts

	습식 바닥난방	건식 바닥난방	비고
실내온도 (°C)	ch23	ch21	GL-800
바닥온도 (°C)	Temp. 1,2,3,4,5	Temp. 1,2,3,4,5	EKO
전기소모량 (kW)	지열원 히트펌프		전력량계
바닥난방 (°C) Water Supply Temp.	ch7	ch3	GL-800
바닥난방 (°C) Water Return Temp.	ch8	ch4	GL-800
유량 (LPM)	ch28	ch26	GL-800

2.3 실험 조건

본 실험을 위한 초기조건은 Table 3과 같으며 실내 냉·온수 순환펌프 운전은 축열조 온도가 45°C가 되었을 때 가동시켰으며 5시간을 연속 운전하였다. 실내의 환기조건 및 창문, 도어의 개폐 등은 고려하지 않았다. 지열원 히트펌프는 축열조 온도가 45°C일 경우 자동적으로 Off되며 43°C이하로 축열조 온도가 내려갈 경우 운전되어 축열조의 온도를 높이도록 설정하였다. 실내 설정온도는 외기온도에 영향을 받지 않도록 30°C로 설정하였으며 유량은 습식 및 건식 실험체의 배관길이에 따른 압력손실 발생으로 유량의 편차가 생길 수 있으나 이는 (주)ADD웰빙테크와 현대건설(주)이 개발한 건식판넬의 성능을 비교하는 실험이기 때문에 건식판넬 형태 및 시공방법에 따른 습식과의 차이는 각 실험체의 특성으로 간주하여 실험하였다.



Fig. 7 Images of a test bed

Table 3 Initial conditions for experiments

	실험 Case
실내온도	20°C
바닥온도	18°C
실내 설정온도	30°C
냉·온수 순환펌프 운전시간	5 Hour
외기온도	별도 설정 없음
지열 축열조 Setting-온도	45°C
지열원 히트펌프On/Off 운전	축열조 온도 45°C ↑ → Off 축열조 온도 43°C ↓ → On
실험일	'09년 10월 28일

3. 실험결과

3.1 실내온도

Fig. 8에서 보는 바와 같이 순환펌프 운전직후 실내온도가 25°C에 이르는 시간은 건식의 경우 74분이 걸렸으며, 습식의 경우 247분이 걸렸다. 습식의 경우 건식대비 설정온도에 도달하는데 약 3.3배가 걸리는 것을 알 수 있었다. 각 실험실 실내온도는 습식의 경우 최대 25.65°C, 건식의 경우 최대 28.57°C를 나타냈다.

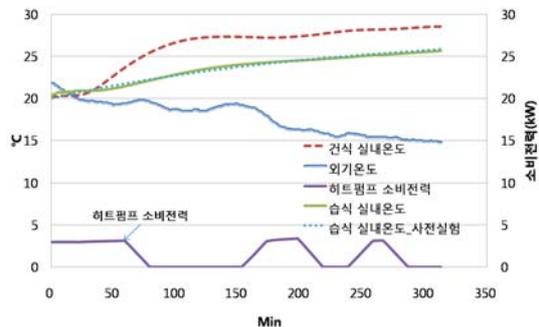


Fig. 8 Indoor temperatures during a period of test and preliminary test

일반 전기보일러를 이용하고, 실내 설정온도를 25°C로 설정한 것을 제외한 나머지 조건은 동일하게 설정하여 건식·습식 바닥난방시스템을 비교·평가한 사전 시험에서 실내온도 25°C까지 도달하는데 습식 바닥난방시스템은 약 235분이 소요되었다 (Fig. 8 사전실험 참조).

이와 비교해보면 지열원 히트펌프를 사용한 건식 바닥난방시스템이 실내온도 25°C까지 도달하는데 걸리는 시간(74분)이 161분 더 빠르다는 것을 알 수 있으며, 이는 보일러를 이용한 난방 방식과 비교하여 뒤떨어지지 않는다는 것을 알 수 있겠다.

3.2 공급·환수온도 및 유량

지열원 히트펌프를 통해 공급되는 난방 순환수의 온도는 약 43°C~49°C를 나타냈으며 이는 일반적인 보일러의 순환수 온도대비 약 10°C~1

5℃의 차이가 나는 것을 의미한다. 각 온돌실험체 순환수의 공급·환수온도 차이는 습식의 경우 최대 12.6℃의 ΔT를 나타냈으며 평균 3.93℃였다. 건식의 경우에는 최대 10.9℃의 ΔT를 나타냈으며 평균 1.48℃였다. 습식의 ΔT가 큰 것은 건식대비 축열을 해야하는 구조이고 이에 따른 투입열량이 상대적으로 크기 때문이다. 순환수의 공급온도가 일정하지 않은 것은 히트펌프의 On/Off에 따른 것이다. 유량의 경우 실험시간 동안 습식평균 10.6 LPM, 건식평균 9.6 LPM으로 약 1 LPM의 차이가 발생하였으며 이는 습식과 건식 시스템의 배관 압력손실의 차이에 기인한다고 할 수 있겠다.

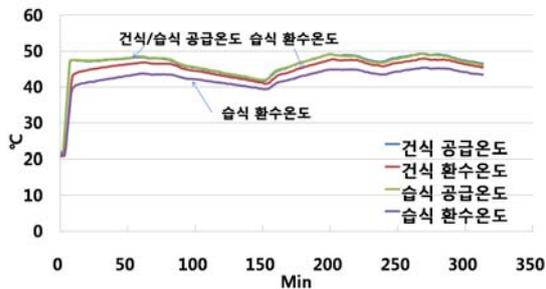


Fig. 9 Supply and return water temperatures in a test bed

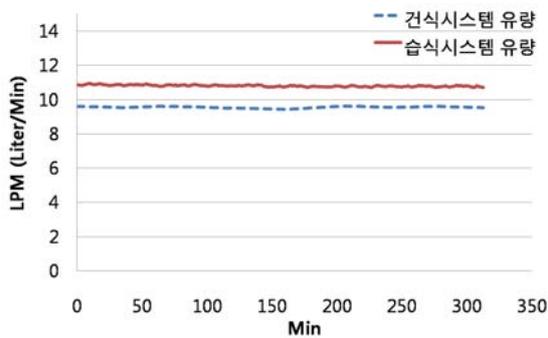


Fig. 10 Supply and return water flow in a test bed

3.3 실내 바닥온도

바닥온도는 습식의 경우 최고 31.6℃까지 올라가며 건식의 경우 35.6℃까지 올라가는 것을 알 수 있다. 순환펌프 가동 후 다섯 온도 측정점에서의 평균은 습식의 경우 23.9℃로 낮은 온도를 보이고 있으나, 건식의 경우에는 평균 약 32.7℃로 습식대비 바닥온도가 8.8℃높게 나타남을 알 수 있다. 또한 시간별 바닥온도 다섯 측정점별 표준편차를 보면 습식의 경우 약 2.7℃~3.2℃를 나타내나 건식은 약 0.5℃의 표준편차를 나타낸다. 이는 습식의 경우에는 하나의 파이프 배관에 온수가 유입되고 유출되는 시스템이나, 건식의 경우 4개의 바닥판넬이 하나의 조닝으로 되어있어서 전체적으로 2개의 조닝된 판넬이 설치되었으며 조닝된 판넬은 직렬로 온수가 공급되

며 조닝별로는 병렬로 공급됨에 따라서 바닥표면 온도의 일반적인 쾌적온도인 31℃⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 유지 및 균일한 바닥온도유지는 건식 바닥난방시스템이 유리한 것으로 나타났다.

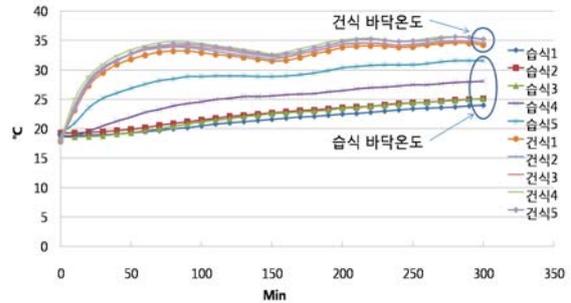


Fig. 11 Temperatures on wet and dry floor heating systems

3.4 에너지 절감량

실험체에 투입된 열량을 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$Q = (T_{IN} - T_{OUT}) \times F \times \rho \times C_P \quad (1)$$

- Q : 투입된 열량 (kcal/h)
- T_{IN} : 바닥코일 공급온도 (℃)
- T_{OUT} : 바닥코일 환수온도 (℃)
- F : 바닥코일 순환유량 (m³/h)
- C_P : 물의 비열 (kcal/kg·℃)
- ρ : 물의 비중 (kg/m³)

상기식으로 실험체에 투입된 열량을 누적 계산하여 Fig. 12와 같이 표현하였다. 보는 바와 같이 습식의 경우에는 열용량이 커서 초기 투입되는 열량이 급격히 증가하지만 건식의 경우 기울기가 완만하게 증가한다. 5시간의 실험 후 총 투입열량은 습식 15.23 kWh(13,098 kcal), 건식 5.16 kWh(4,438 kcal)이다. 시간의 경과에 따른 습식대비 건식 에너지절감율을 Fig. 13에서 나타냈다.

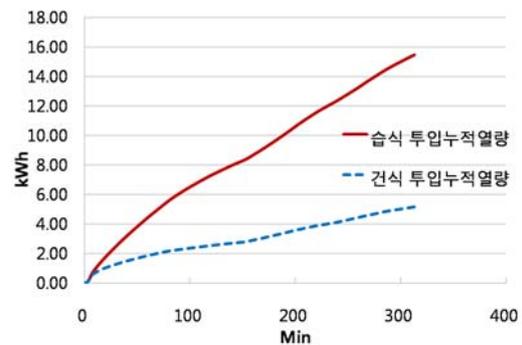


Fig. 12 The energy consumption of wet and dry

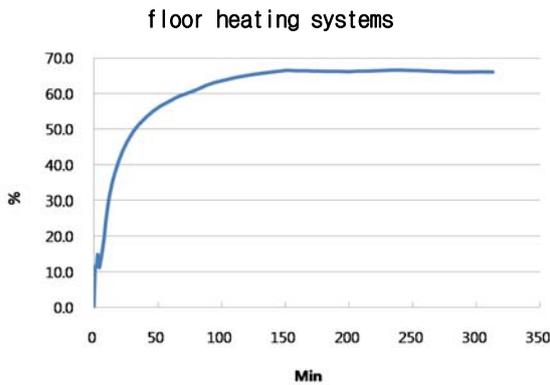


Fig. 13 Dry floor heating system energy saving as comparing to wet floor heating system

시간에 따라서 절감율은 점차 증가하여 138분 후 부터는 약 66%의 절감율을 나타낸다. 이와같이 절감율이 높게 나타나는 이유는 짧은 실험기간으로 습식 바닥난방시스템의 축열성능이 발현되지 않은 것으로 볼 수 있으며 장기적인 실험을 통한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결론

지열원 히트펌프를 이용한 습식·건식 바닥난방시스템을 비교 평가하였다. 실험결과 실내온도 25℃까지 도달하는데 걸리는 시간은 습식은 247분, 건식은 74분을, 바닥 평균온도는 습식은 23.9℃, 건식은 32.7℃를 나타내었다. 이것으로 미루어보아 바닥온도가 쾌적온도인 31℃에 가깝고, 빠른시간에 실내온도 25℃에 도달하는 건식 바닥난방시스템이 지열원 히트펌프를 이용한 바닥난방에 유리한 것으로 판단된다. 또한 5시간 가동을 전제로 한 습식대비 건식의 에너지 절감율이 약 66%를 나타내어 에너지 효율면에서도 유리한 것으로 분석되었다.

그러나 이러한 실험결과는 건식 바닥난방시스템에 유리한 단기간(5시간) 연속운전에 대한 결과이므로 습식 바닥난방시스템의 장점인 축열 성능이 구현되는 장기간 연속운전에 대한 성능평가에서는 상이한 결과가 나올 것으로 예상되어 향후 이를 보완한 추가 실험이 필요할 것으로 판단되며 이를 통해 습식·건식 바닥난방시스템의 난방성능에 대한 종합적인 평가가 가능할 것이라 판단된다.

후기

본 연구는 현대건설(주), (주)ADD웰빙테크의 공동지원 및 기술협력에 의해 수행되었으며, 연구에 도움을 주신 모든 관계자분들께 감사드립니다.

References

[1] 인수위, 2008, 기후변화 위기를 경제성장의 기

회로, 기후변화 에너지 대책 보고자료.
 [2] Chang-Joo Park, 2004, A Study on Cooling Load Saving in School Building Using Geothermal Energy, Dong Eui University, Busan, Korea
 [3] Energy Balance in Japan, Annual Report on National Accounts of Japan
 [4] Mi-Young Choi, 2009, "Investigation and Analysis on the present state of Geothermal Source Heat Pump System Applied in Koera", J. of SAREK, Vol. 5, No. 21, pp. 267~272
 [5] Dong-Eun Kim, 2005, Study on the Convection and Radiation Heating Efficiency of Air-Conditioning System using Solar Collector, Pukyong National University, Busan, Korea
 [6] Korea National Housing Corporation, 1996, Ondol System Development Research.
 [7] Young-Jae Oh, 2007, Issue Consideration of Floor Heating System Using Heat Pipe, Pukyong National University, Busan, Korea