

지열히트펌프를 이용한 습식·건식 바닥난방 성능평가 연구

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

A Study on Comparison of Capacity between Wet-Dry Floor Heating Systems Using Geothermal Heat Pump

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

Abstract : The present study conducted comparative evaluation of wet dry floor heating systems using geothermal heat pump. Circulation hot water from geothermal heat pump which is 10~15°C lower than that from boiler was used. 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 23.89°C for wet type and 32.66°C for dry type. Energy saving rate gradually increased by 66% after 138 minutes. In the results, for floor heating system using low temperature circulation water, wet type was not enough to meet stable and comfortable radiant floor heating due to low floor temperature and access time to indoor set temperature. While dry type was practicable for stable floor heating due to fast rise of indoor set temperature and comfortable floor temperature.

Key words : Wet Floor Heating System (습식 바닥난방), Dry Floor Heating System (건식 바닥난방)

1. 서론

우리나라는 에너지에 대한 해외의존도가 다른 어느 나라 보다 높아 97%⁽¹⁾에 달하고 있다. 이에 에너지자원을 확보하는 것이 미래의 성장 동력을 확보한다는 판단아래 신·재생에너지자원 개발에 박차를 가하고 있다. 조사에 따르면 우리나라의 총 에너지 사용량의 약 30%⁽²⁾정도가 건물부분에서의 소비량이며 이 중 대부분이 냉·난방에 사용되고 있다. 따라서 건물의 냉·난방에 사용되는 에너지소비를 줄이기 위해 지열을 이용한 냉·난방시스템이 부각되고 있다. 이런 지열원 냉·난방시스템의 보급현황을 보면 선진국의 경우 주거 시설에 대한 보급이 가장 높게 나타나는 반면 국내의 경우에는 교육시설, 사회복지시설의 비중이 50%이상을 차지하는 반면 주택용 건축물에 대한 적용사례는 거의 없는 실정이다.⁽³⁾ 국내 주택용 건축물에 보급이 어려운 이유는 시공비, 천공면적, 누진세등 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.⁽⁴⁾ 그러나 현재 출시되는 지열원 히트펌프의 순환수 온도는 약 45°C~50°C이기 때문에 습식 바닥난방시스템을 접목하기에는 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 지열원 히트펌프를 이용한 바닥난방시스템의 적용가능성에 대해 비교 평가하려고 한다.

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 오피스텔등 바닥난방으로 시공되는 건식 바닥난방시스템을 비교 분석하였다.

- 1) 현대건설 기술/품질 개발원
E-mail : bdlee@hdec.co.kr
Tel : (031)280-7247 Fax : (031)280-7070
- 2) 현대건설 기술/품질 개발원
E-mail : sejinlee@hdec.co.kr
Tel : (031)280-7254 Fax : (031)280-7070
- 3) 현대건설 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

히트펌프는 축열조를 통해 각 실험체에 온수가 공급되는 시스템이다. 축열조의 온도가 약 45°C에 도달한 후 순환펌프를 가동하여 각 실험체에 난방순환수를 공급하였으며, 실내의 열적특성인 실내온도, 바닥온도, 에너지소비량, 순환수온도를 측정 평가 하였다.

2.1 습식·건식 바닥난방시스템

본 실험은 ADD웰빙테크 연구소내에 실내공간 3.6m(L) × 3.4m(D) × 2.2m(H)에 습식·건식 바닥난방시스템을 각각 설치하여 실험이 이루어졌

다. 습식 바닥난방시스템은 Fig. 3과 같이 XL-Pipe $\Phi 15A$, 길이 52m에 마감모르타르 50mm, 바닥마감재를 설치하였다. 건식의 경우 Fig. 4와 같이 제작하여 8개의 모듈을 시공하였다. 각 바닥난방시스템에는 지열원 히트펌프(3RT)가 축열조(1 ton)를 통해 실험체에 온수를 공급하며 온수의 공급은 실내온도 설정값에 따라 냉·온수 순환펌프가 자동 On/Off 하도록 설치되었다. 외부의 영향에 따른 실험결과 값의 편차를 줄이기 위해 각 실험체의 모든면은 외부와 면하지 않도록 설계 및 시공되었다.

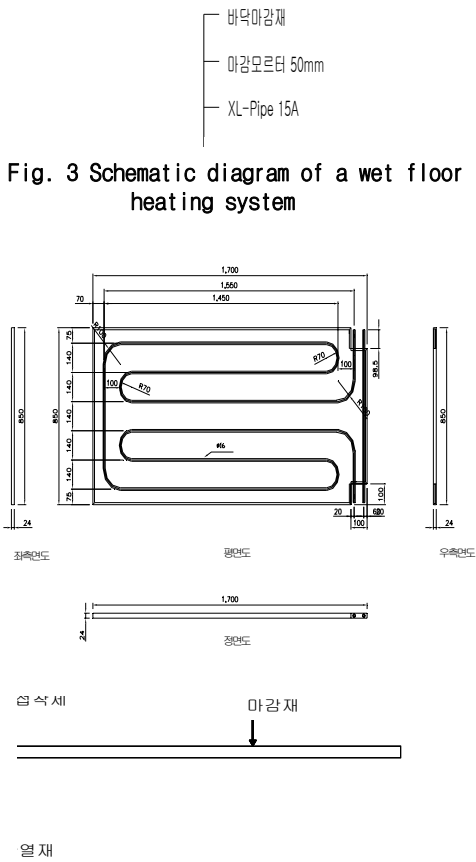


Fig. 3 Schematic diagram of a wet floor heating system

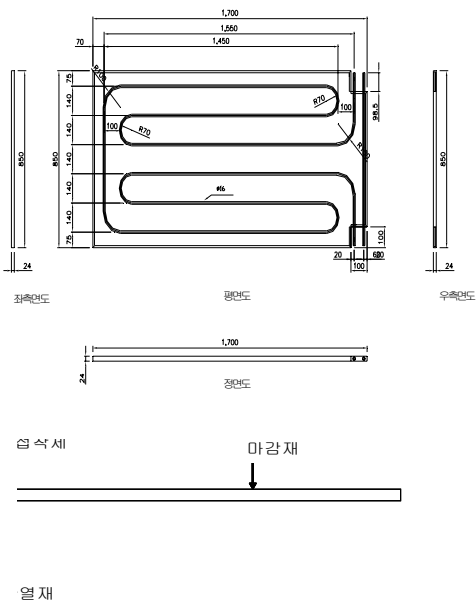


Fig. 4 Schematic diagram of a dry floor heating system's module

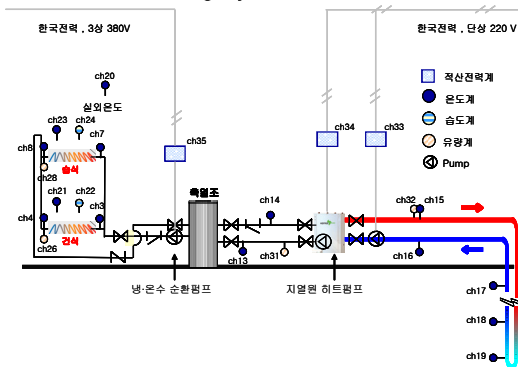


Fig. 5 Schematic diagram of a test bed

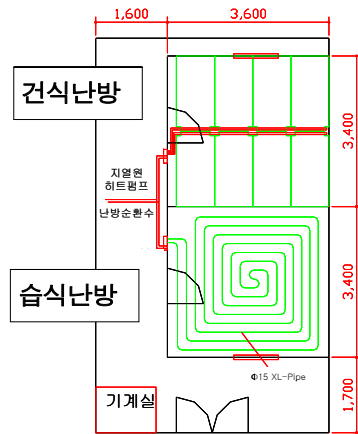


Fig. 6 Detailed schematic diagram of test rooms

2.2 데이터 측정장치

각 실험체의 데이터 측정항목은 온수유량, 공급온도, 환수온도, 전기소모량 및 실내온도이며, 실내온도는 바닥온도 다섯 포인트와 실내 대풍값으로 사용될 한 포인트(지상 1.2m 높이)를 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 1 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 2와 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.



Fig. 7 Images of a test bed

Table 2 Initial conditions for experiments

	실험 Case
실내온도	20℃
바닥온도	18℃
실내 Setting온도	30℃
냉·온수 순환펌프 운전시간	5 Hour
외기온도	별도 설정 無
지열 축열조 Setting온도	45℃
지열원 히트펌프 On/Off 운전	축열조 온도 45℃ ↑ → Off 축열조 온도 43℃ ↓ → On
실험일	'09년 10월 28일

3. 실험결과

3.1 실내온도

Fig. 8에서 보는바와 같이 순환펌프 운전직후 실내온도가 25℃에 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℃, 건식의 경우 최대 28.57℃를 나타냈다.

일반 전기보일러를 이용하고, 실험조건은 본 연구와 동일하게 건식 습식 바닥난방시스템을 비교 평가한 이전 연구에서 실내온도 25℃까지 도달하는데 습식 바닥난방시스템은 약 127분이 소요되었다.

이와 비교해보면 지열원 히트펌프를 사용한 건식 바닥난방시스템이 실내온도 25℃까지 도달하는데 걸리는 시간(74분)이 53분 더 빠르다는 것을 알 수 있으며, 이는 보일러를 이용한 난방 방식과 비교하여 손색이 없다고 할 수 있겠다.

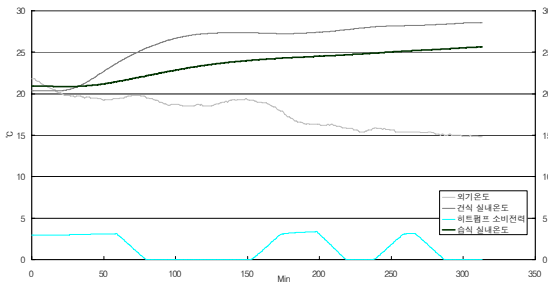


Fig. 8 Indoor temperatures during a period of test

3.2 공급 환수 온도

지열원 히트펌프를 통해 공급되는 난방 순환수의 온도는 약 43℃~49℃를 나타냈으며 이는 일반적인 보일러의 순환수 온도대비 약 10℃~15℃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 10.9℃의 ΔT를 나타냈으며 평균 1.48℃였다. 습식의 ΔT가 큰 것은 건식대비 축열을 해야하는 구조이고 이에 따른 투입열량이 상대적으로 크기 때문이다. 순환수의 공급 온도가 일정하지 않은 것은 히트펌프의 On/Off에 따른 것이다.

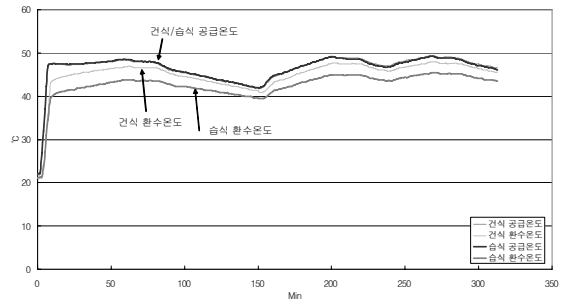


Fig. 9 Supply and return water temperatures in a test bed

3.3 실내 바닥온도

바닥온도는 습식의 경우 최고 31.6℃까지 올라가며 건식의 경우 35.6℃까지 올라가는 것을 알 수 있다. 각 바닥온도 포인트별 편차는 습식의 경우 최대 8℃까지 발생하며, 건식의 온도편차는 1.3℃로 습식대비 균등한 바닥온도의 분포를 알 수 있었다. 순환펌프 가동 후 온도측정점 다섯 포인트의 평균은 습식의 경우 23.89℃로 낮은 온도를 보이고 있으나, 건식의 경우에는 평균 약 32.66℃로 습식대비 8.77℃의 바닥온도 편차가 발생한다. 따라서 바닥표면온도의 일반적인 쾌적온도인 31℃⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 유지는 건식 바닥난방시스템이 유리한 것으로 나타났다.

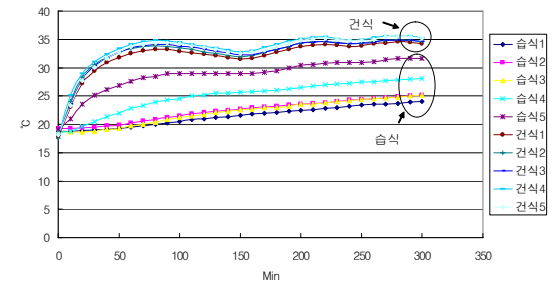


Fig. 10 Temperatures on wet dry floor heating systems

3.4 에너지 절감량

실험체에 투입된 열량을 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$Q = (T_{in} - T_{out}) \times F \times C \quad (1)$$

Q : 투입된 열량 (kcal/min)
 T_{in} : 바닥코일 공급온도 (℃)
 T_{out} : 바닥코일 환수온도 (℃)
 F : 바닥코일 순환유량 (lpm)
 C : 물의 비열 (kcal/kg·℃)

상기식으로 실험체에 투입된 열량을 누적 계산하여 Fig. 11과 같이 표현하였다. 보는바와 같이 습식의 경우에는 열용량이 커서 초기 투입되

는 열량이 급격히 증가하지만 건식의 경우 기울기가 완만하게 증가한다. 5시간의 실험후 총 투입열량은 습식 15.23kWh(13,098kcal), 건식 5.16kWh (4,438kcal)이다. 시간의 경과에 따른 습식대비 건식 에너지절감율을 Fig. 12에서 나타냈다. 시간에 따라서 절감율은 점차 증가하여 138분후 부터는 약 66%의 절감율을 나타낸다.

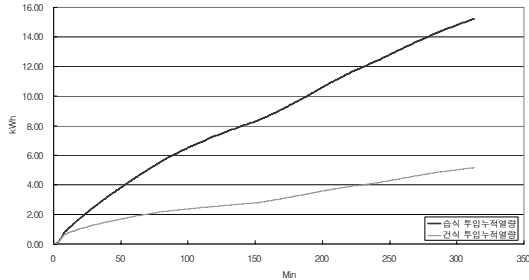


Fig. 11 The energy consumption of wet dry floor heating systems

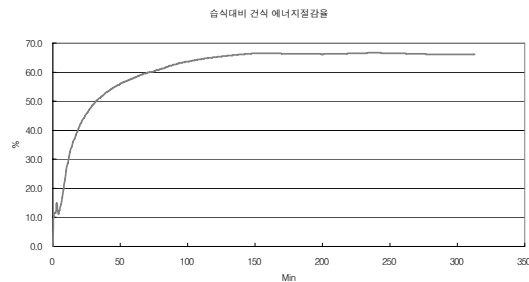


Fig. 12 Dry floor heating system energy saving as compared with wet floor heating system

4. 결론

지열원 히트펌프를 이용한 습식·건식 바닥난방시스템을 비교 평가하였다. 습식의 경우 축열에 대한 구조적인 시스템으로 인해 실내온도 25℃까지 도달하는데 걸리는 시간과 23.89℃의 낮은 평균 바닥온도로 인해 안정적인 복사난방을 하기에는 어려움이 있다고 판단된다. 건식의 경우 약 74분후에 실내온도가 25℃에 이르며 바닥온도 또한 쾌적온도인 31℃⁽⁵⁾⁽⁶⁾에 가까워 안정적이며 쾌적한 바닥난방이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한 습식대비 건식의 에너지절감율이 약 66%를 나타내었다. 그러나 이번 실험은 외기조건과 실험실의 초기 설정조건 등 일반적인 겨울철의 조건과 상이한 점이 많아 추가적인 실험을 통해 습식·건식 바닥난방시스템의 난방성능에 대한 평가가 필요할 것이라 사료된다.

후 기

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

References

- [1] 인수위, 2008, 기후변화 위기를 경제성장의 기회로, 기후변화 에너지 대책 보고자료.
- [2] Park, C. J., 2004, A Study on Cooling Load Saving in School Building Using Geothermal Energy, Dong Eui University, Busan, Korea
- [3] 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
- [4] Kim D. E., 2005, Study on the Convection and Radiation Heating Efficiency of Air-Conditioning System using Solar Collector, Pukyong National University, Busan, Korea
- [5] 1996, Ondol System Development Research, Report of Korea National Housing Corporation.
- [6] Oh Y. J., 2007, Issue Consideration of Floor Heating System Using Heat Pipe, Pukyong National University, Busan, Korea