



열교환기의 흐름개선을 통한 고효율 지열 히트펌프 시스템에 관한 연구

안성환 · 최재상* · 김상범** · †안형환***

명지대학교 화학공학과, *가진기업(주), **(주)선우컨트롤, ***한국교통대학교 안전공학과
(2017년 7월 7일 접수, 2017년 8월 23일 수정, 2017년 8월 24일 채택)

A Study on High Efficiency Geothermal Heat Pump System by Improving Flow of Heat Exchanger

Sung-Hwan Ahn · Jae-Sang Choi* · Sang-Bum Kim** · †Hyung-Hwan Ahn***

Dept. of Chemical Eng., Myongji Univ., Yongin 120-728, Korea

*Kajin Co. Ltd., Seoul 153-783, Korea

**Sunwoo Control Co. Ltd. Chuncheon 200-911, Korea

***Dept. of Safety Eng., Univ., Yongin 120-728, Korea

(Received July 7, 2017; Revised August 23, 2017; Accepted August 24, 2017)

요약

화석연료의 무분별한 사용으로 인한 이산화탄소의 대기 중 방출은 지구의 연평균 기온을 상승시키는 원인으로 작용하고 있다. 이를 해결하기 위한 대체에너지로써 지열은 연중 일정한 온도를 갖는 무한자원이다. 지열 에너지를 널리 보급하기 위해서는 히트펌프의 성능과 지중열교환기의 열교환 효율이 매우 중요하다. 이에 본 연구는 히트펌프의 성능을 증가시키기 위해 팽창변을 이중으로 구성하고 지중열교환기의 열교환 효율을 높이기 위해 입출관과 유입관 사이에 간격유지부재를 사용하여 실험하였다. 실험한 결과 팽창변을 이중으로 구성하였을 때 냉난방 능력이 최대 11.4%가 증가됨을 얻을 수 있었고, 간격유지부재를 사용 시 열교환 효율이 17.5% 향상되었다. 이러한 결과를 토대로 지열시스템의 설치 시 히트펌프의 성능과 지중열교환기의 열교환 효율의 상승으로 인해 설치비용이 많이 절감될 것으로 판단된다.

Abstract - As CO₂ emission with imprudent using fossil fuel, annual mean temperature of earth is increased in every year. Geothermal energy is inexhaustible energy resource to solve this problem. Heat pump performance and heat exchange efficiency of ground loop are important to distribute widely.

Thus, this study are performed to increase heat pump performance and heat exchange efficiency of ground loop with dual expansion valves and spacer. As a results, COP of cooling & heating is obtained improvement up to 11.4% using dual expansion valves, and heat exchange efficiency is increased up to 17.5% using spacer. It will be reduced initial installation cost due to increasing heat pump performance and heat exchange efficiency of ground loop.

Key words : heat pump, ground loop, spacer, expansion valve, geothermal energy

1. 서론

오늘날 유한한 화석연료의 고갈 가능성을 40년

정도로 추정 할 때 화석연료의 의존도에서 시급히 탈피할 필요가 있으며, 화석연료 사용증가로 인한 지구의 평균기온 및 해수면이 상승하였고, 그중 세계 평균기온은 100년간 0.74℃ 상승하였다. 현재와 같이 화석연료를 계속 사용할 경우 금세기말 평균 기온은 6.4℃, 해수면은 59cm 상승할 것으로 예측된

†Corresponding author:hhahn@ut.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

다. 기후 변화의 영향으로 기온이 2℃ 상승할 경우 15~40%의 동식물종이 멸종하고, 3~4℃ 상승 시 약 2억명 이상의 이주자가 발생 할 것으로 예측된다. 뿐만 아니라 화석연료의 고갈은 에너지 수급에 있어서 세계적인 에너지수급 불균형과 대체에너지 개발이라는 당면 과제로 부각되고 있다[1].

이러한 문제를 해결하기 위해서 각 국가는 온실 가스를 감축 하려하고 녹색성장이라는 새로운 패러다임으로 정책을 유도하고 있다. 이에 따라 우리 정부도 2020년이면 3,000조원에 달할 녹색기술 시장에서 선도국 역할을 하고자 녹색기술 연구개발 투자를 지금보다 2배 이상 확대와 그린홈 100만 가구를 공급하는 정책을 펴고 있으며, 재생 가능한 대체 에너지 개발을 목표로 다양한 에너지정책과 금융지원을 하고 있다.

신재생에너지로는 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열 등이 있고, 이중 지열이용 열펌프 시스템은 미국 환경보호청(Environment Protection Agency : EPA)이 발표하기를 현존하는 냉·난방 기술 중에서 가장 에너지 효율이 높고 환경 친화적이며, 비용효과가 우수한 시스템이라고 밝혔다.

정부는 저탄소 녹색성장을 국가의 전략산업으로 수립·시행하고 있으며 에너지이용 효율도 높이도록 권장하고 지식경제부처는 100대 전략 후반기술에 “건물 및 집단 에너지 최적 운영시스템”분야를 선정해 놓고 있다.

녹색성장정책의 주요내용은 환경정책과 에너지 정책으로 구분될 수 있으며 환경정책은 에너지 고효율의 재생 가능한 소재의 개발 같은 산업적인 측면과 녹지화 사업 등과 같은 사회적 측면으로 나뉜다. 또한 에너지정책은 에너지 사용의 효율화를 증대시키는 일과 신 대체 에너지를 개발하는 것이 중심이 되고 있다. 에너지정책에 있어 대부분의 주요국들이 경제성이 확인되고 단기간에 성과가 가능한 에너지 사용의 고효율화 정책을 우선적으로 추진하고 있으며, 또한 이를 위하여 단순한 그린IT 수준이 아닌 사회 전반에 걸친 에너지 사용의 고효율화 역시 함께 추진되어야 할 것이다. 따라서 우리나라의 강점인 IT부문을 적극 활용하여 국가정보화전략을 바탕으로 한 녹색성장정책을 수립하여 새로운 경제 성장을 위한 신 성장 동력으로 추진되어야 할 것이다[2].

또한 생활수준의 향상은 이제 겨울철에도 신선한 채소를 마음껏 즐기며 장미꽃을 선물할 수 있는 시대가 됐다. 이렇게 시설원예에서 생산되는 겨울 작물들은 난방에 많은 에너지 비용이 들어간다. 난방비가 전체 생산비 원가의 20~40%를 차지하고

있으며 이것도 정부의 농업용 면세유 공급으로 가능한 일이다. 하지만 정부는 면세유의 불법유통과 농업용 난방기의 가동시간 계측기장착 등의 고민과 함께 면세유 일몰시한이 2015년으로 다가옴으로 유류소비의 자발적인 감소를 유도하고 있다. 면세유의 사용을 축소하기 위해 기존 화석에너지 이외의 다른 대체 연료를 이용한 효율적인 난방 방법을 찾고 있다. 이에 시설원에 대체 난방시스템으로 지열 히트펌프시스템을 들을 수 있으며 이 시스템은 청정·신재생에너지를 적극적으로 활용하는 가장 적합한 방법이다[3]. 따라서 본 연구는 효율을 향상시킬 수 있는 지열시스템을 개발하고자 한다.

II. 실험

지열을 열원으로 이용한 냉·난방 및 급탕을 공급하는 고효율 지열히트펌프 시스템을 개발하기 위해서는 히트펌프와 지중열교환기를 주된 장치로 사용한다. 지열히트펌프 시스템은 지하 약 150 M 깊이의 사계절 변화 없이 얻을 수 있는 지중열원을 이용하여 실험하였다. 또한 기존의 지열히트펌프 시스템에서는 팽창밸브 하나로 냉·난방 기능을 수행하나, 본 연구에 사용되는 고효율 지열히트펌프 시스템에서는 냉매로 친환경적인 R-410A(ODP : 0, GWP : 2088)를 사용하였고, 히트펌프 내의 응축기 및 증발기로 내구성이 뛰어난 이중관형을 사용하였으며, 냉방과 난방에 각각의 팽창밸브를 작동시키기 위해 팽창밸브를 이중으로 구성하였고, 열저항이 생기는 것을 줄이기 위해 지중 열교환기의 공급 및 환수 배관이 서로 밀착되어 설치되었던 것을 배관 사이에 유선형 간격유지부재를 사용하여 유입관과 유출관을 이격시켜 열교환기의 열교환 능력을 평가하였다[4,5]. 마지막으로 재난재해에 대비한 안전성 확

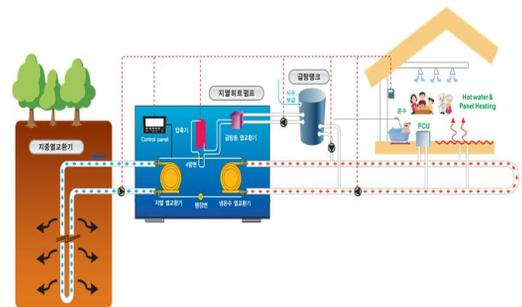


Fig. 1. Heat pump system treatment system diagram using geothermal underground heat exchanger.

Table 1. The conditions of standard system

	냉·온수유입 온도(°C)	지열유입온도(°C)	신재생에너지 설비심사기준 성능계수
냉방효율	12	25	4.1
난방효율	45	5	3.45
경보기능	히트펌프 이상상태 감지시 부저 작동		

보를 위해 화재, 수해, 지진을 감지하여 경보 및 장비의 가동중지 기능을 평가하였다. 이와 같이 장착된 제품의 개략도를 Fig. 1.에 나타내었다.

제작된 제품의 성능은 table 1에 나타내었듯이 냉·난방 효율 및 경보발생 기능으로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 팽창밸브를 이용한 효율향상

Table 4. Specification of inner tube in coaxial heat exchanger

Tensile strength	200 Mpa
Thickness of coil	1 mm
Diameter of tube	20 mm
Length of tube	51,200 mm

기존의 지열히트펌프 시스템에서 하나의 팽창밸브를 사용한 것을 냉방과 난방 각각의 팽창밸브를 작동시키기 위해 팽창밸브를 이중으로 구성하여 실험해본 결과를 table 2에 나타내었다. table 2, Fig 2, Fig 3에서 보여 지듯이 냉매가 팽창밸브에 대해 흐름방향변화에 따른 효율 및 냉·난방 능력변화는 순방향으로 흐를 때 역방향에 의해 효율 및 냉·난방 능력이 최대 11.4% 향상됨을 알 수 있었다. 이는 Fig 4에서 볼 수 있듯이 팽창밸브를 1개 사용할 때 순방향으로 냉매가 흐를 시 오리피스를 통과하며 냉매의 팽창이 원활하게 이루어지지만 역방향으로 흐를 때 오리피스의 직경 감소로 인해 냉매의 원활한 팽창이 이루어지지 못함을 알 수 있다. 이에 비하여 2개의 팽창밸브를 사용할 때 냉·난방 시 향

Table 2. Efficiency and cooling/heating ability change according to refrigerant flow direction

항목	단위	냉매흐름		비고
		순방향흐름	역방향흐름	
냉방효율	W/W	4.82	4.44	
냉방능력	W	69,674	62,560	11.4% 향상
난방효율	W/W	3.56	3.45	
난방능력	W	68,893	65,242	5.6% 향상

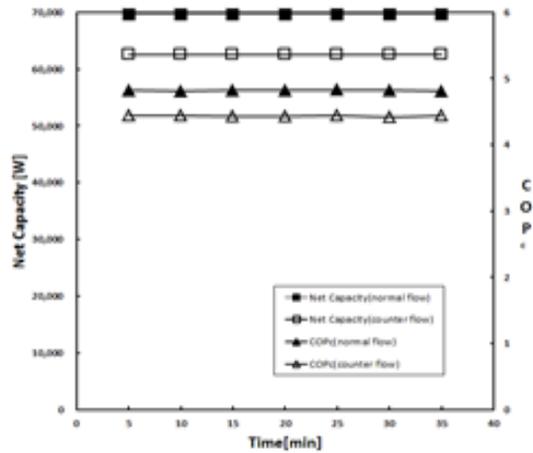


Fig. 2. Net capacity & COP_c with flow direction of expansion valve in cooling mode.

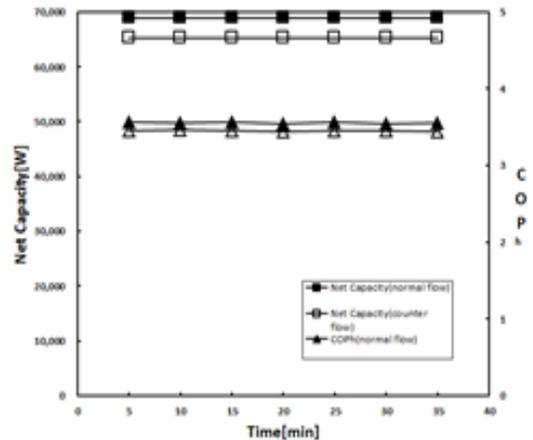


Fig. 3. Net capacity & COP_h with flow direction of expansion valve in heating mode.

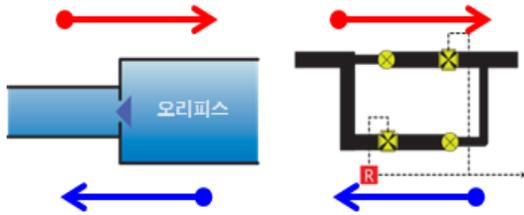


Fig. 4. Diagram of expansion valve with using one expansion valve and two ones.

Table 3. Underground heat exchanger perforation number change according to use of streamlined spacing member

설계인자	지중열교환기 천공수	비고
유선형간격유지부재 사용	150m × 33홀	7공 감소
유선형간격유지부재 미사용	150m × 40홀	

상 냉매의 흐름이 순방향이 되도록 하여 냉매의 원활한 팽창이 이루어져 효율 및 냉·난방 능력이 향상되는 것으로 판단된다.

2. 유선형 간격유지 부재를 이용한 효율향상

지중열교환기의 공급 및 환수 배관이 서로 밀착되어 설치되던 것을 배관사이에 유선형 간격유지부재를 사용하여 유입 관과 유출 관을 이격시키는 조건으로 한국에너지공단 신재생에너지센터에서 인정한 지중루프 설계프로그램인 GLD(Ground loop design)로 시뮬레이션 해본 결과 table 3과 같은 결과를 얻었다. table 3에서 보여 지듯이 유입 관과 유출 관을 이격시켜 실시해 본 결과 전열면적 향상과 열 저항이 감소되어 지중열교환기 천공수가 간격유지부재를 사용하지 않았을 때에 비해 7공이 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. 이로써 간격유지부재를 사용하여 천공수를 감소시킴으로써 지열시스템 설치비용을 절감할 수 있을 것으로 판단되었다.

3. 이중관형 열교환기를 이용한 안정성 향상

히트펌프 내의 응축기 및 증발기로 국내의 대부분은 관형 열교환기를 사용하는 관계로 미세한 유로가 미세물질에 의해 막혀 유량부족에 의해 히트펌프의 가동 중지나 겨울철 열교환기가 파손되는 동파사고가 자주 발생하고 있다. 이는 소비자의 신

Table 5. Specification of inner tube in coaxial heat exchanger

Tensile strength	350 Mpa
Thickness of coil	2 mm
Diameter of tube	42 mm
Length of tube	51,100 mm

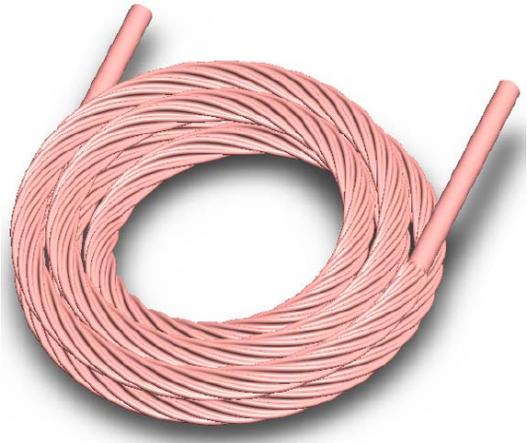


Fig. 5. Shape of twisted inner tube in coaxial heat exchanger.

뢰도 하락과 잦은 유지보수에 따른 비용 증가의 원인이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 Table 4의 특성을 갖고 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 주름관 형상의 inner tube를 삽입 후 Table 5의 특성을 갖고 Fig. 6의 형상을 갖는 outer tube와의 접촉부를 용접하여 결합한 이중관형 열교환기를 사용하여 관형 열교환기가 가지고 있는 문제점 즉, 배관 내부의 이물질에 의한 관로 폐쇄와 유량부족 등에 의한 동파의 문제점을 근본적으로 차단하여 히트펌프의 안정적인 운영에 의해 소비자 신뢰도 향상과 유지보수 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 재해감지센서를 이용한 안전성강화

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 지진, 수해, 화재에 대한 센서가 내장된 컨트롤러를 히트펌프에 설치하여 통상 운전압력이 30 kg/cm² 이상의 고압 대형설비를 운전해 본 결과 Table 6의 조건으로 모의 재해발생 시 시스템 비상정지 기능 및 방재시스템이 작동하여 2차 피해 예방 및 히트펌프의 안정적 운전이 유지됨을 알 수 있었다.



Fig. 6. Shape of outer tube in coaxial heat exchanger.

Table 6. Test conditions and results of disaster sensors

Test items	Conditions	Results
Smoke detect	Alarm check when smoke is generated at a distance of 15 cm from the sensor.	normalcy
Earthquake detect	Alarm check when tilted more than 20°	normalcy
Water leake detect	Alarm check when sensor is immersed in water	normalcy

V. 결론

실제 지열을 열원으로 이용한 냉·난방을 공급하는 고효율 지열히트펌프 시스템을 제작하여 실험하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 개별팽창밸브를 사용하였을 때 순방향으로 흐를 때 역방향 흐름보다 냉·난방효율이 최대 11.4% 향상됨을 보였다.

(2) 유선형 간격유지부재를 사용한 결과 열저항율이 감소하여 지중열교환기의 열교환능력을 17.5% 이상 향상시킴을 보였다.

REFERENCES

- [1] Kavanaugh, S.P. and Rafferty, K., *round-source heat pumps : design of geothermal systems for com mercial and institutional buildings*, ASHRAE, Atlanta, 1-3, (1997)
- [2] Shin, H. J., Ahn, C. H. and Cho, C. S., Overview for the effective use of geothermal energy, *Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **24**(4), 409-419, (1995)
- [3] An, H. J., Introduction on the geothermal heat pump system, *TUNNEL & UNDERGROUND*, *J. Korean Society for Rock Mech*, **12**(4), 229-236, (2003)
- [4] Plate Heat Exchanger Performance calculation pro gram : *Swep SSP CBE 1.4.3*
- [5] Remund, C. P., *Borehole thermal resistance : laboratory and field sutdies*, ASHRAE Transactions, 105, 439-445, (1999)