102 설비공학논문집 제 24 권 제 2 호(2012)/pp. 102-110
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.2.102

지중 및 보조루프의 2차 유체 유량 분배비를 통한 하이브리드 지열히트펌프의 성능 최적화 연구

이 주 성, 박 홍 희, 김 원 욱, 김 용 찬*†
고려대학교 대학원, *고려대학교 기계공학과

Performance Optimization of a Hybrid Ground Source Heat Pump According to Secondary Flow Distribution Ratio between the Ground and the Supplemental Loop

Jooseong Lee, Honghee Park, Wonuk Kim, Yongchan Kim*†
Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea University, Seoul 136-713, Korea
**Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea*

(Received August 19, 2011; revision received November 24, 2011)

ABSTRACT: The objective of this study is to improve the performance of a hybrid ground source heat pump (HGSHP) by optimizing the flow distribution ratio of secondary fluid flow rate between a ground loop and a supplemental loop. Initially, a conventional ground source heat pump (GSHP) was tested to determine an optimum flow rate of the secondary fluid. Based on the selected optimum value, the HGSHP was also tested by varying the flow distribution ratio of the secondary fluid flow rate between the ground loop and the supplemental loop, such as 9 : 1, 7 : 3, 5 : 5, and 3 : 7. The results showed that the optimum flow distribution ratio of the secondary fluid flow rate was 7 : 3. The COP of the HGSHP was improved by 19% over the GSHP at a flow distribution ratio of 7 : 3 and an entering water temperature of 40℃.

Key words: COP(성능계수), Distribution ratio(분배비), Hybrid ground source heat pump(하이브리드 지열히트펌프), Supplemental equipment(보조기기)

기 호 설 명

COP : 성능계수
EEV : 전자팽창밸브
EWT : 히트펌프 유체유입온도 [℃]
GHEX : 지중열교환기
GPHEX : 지중측 판형열교환기
GSHP : 지열히트펌프
HGSHP : 하이브리드 지열히트펌프
LWT : 히트펌프 유체유출온도 [℃]
SPHEX : 보조측 판형열교환기

하첨자

cooling : 냉방
comp : 압축기
in : 입구
out : 출구

† Corresponding author
Tel.: +82-2-3290-3366; fax: +82-2-921-5439
E-mail address: yongckim@korea.ac.kr

pump : 펌프
ref : 냉매
sec : 2차측

1. 서 론

지열히트펌프(Ground source heat pump)는 상업적으로 이용이 가능한 100~300 m 깊이의 지중열원을 이용하여 여름에는 실내의 열을 흡수하여 지중으로 방출하는 냉방운전을 하고, 겨울에는 지중의 열을 흡수하여 실내로 방출하는 난방운전을 하는 기기이다. 지열히트펌프는 기존의 냉난방기기 대비 최대 50%까지 에너지 절약이 가능하다.[1] 지열히트펌프에 사용되는 지중열교환기의 방식에는 수직밀폐형, 지중수평형, 에너지파일형, 스탠딩컬럼웰형 등이 있으며, 이 중 수직밀폐형이 다수를 차지하고 있다. 수직밀폐형 지중열교환기를 지중에 설치 시 문제점은, 난방부하에 비해 냉방부하가 큰 경우 부하의 불균형으로 인하여 국부적인 지중온도의 상승을 초래하여 지열히트펌프의 냉방성능이 크게 감소한다. 반대의 경우 지중온도의 감소로 인해서 지열히트펌프의 난방성능이 저하된다. 이런 국부적인 지중온도의 변화는 지중의 열확산계수가 작아서 지중열교환기에서 지중으로 열확산이 원활하게 이루어지지 않기 때문이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 지중열교환기의 길이를 증가시키거나 보어홀의 간격을 증가시켜야 하지만, 이 경우 초기투자비가 증가하여 지열히트펌프의 단기적인 경제성을 악화시킨다.

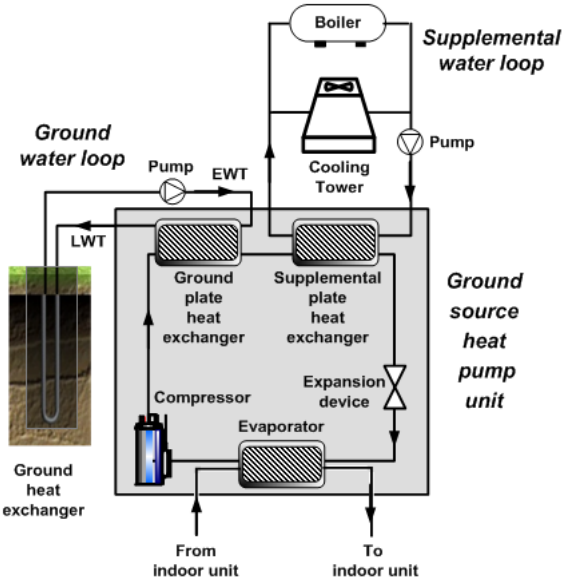

Fig. 1 Schematic of the hybrid ground source heat pump system.

수직밀폐형에서 지중열환경 악화로 인한 지열히트펌프 성능저하에 관한 최근 연구로써, Man et al.[2]과 Man et al.[3]은 주냉방 지역에서 장기운전에 따른 지중열환경 악화에 의한 보어홀 벽의 온도상승과 지중열교환기 유체의 지열히트펌프 유입온도의 상승, 그리고 이로 인한 지열히트펌프의 효율저하에 관해서 해석적 연구를 수행하고, 이 시스템에 하이브리드를 적용 시 성능향상에 관한 연구결과를 제시하였다. 국내에서는 Park et al.[4]이 경기도에 위치한 주난방의 요양원 건물에 설치된 지열시스템에서 3개월간의 난방운전 시 지중온도 저하로 인한 지열히트펌프의 성능이 감소하는 현장 데이터를 제시하였다.

하이브리드 지열히트펌프(Hybrid ground source heat pump)는 지중열교환기 외에 냉각탑과 보일러와 같은 별도의 보조기기기를 추가함으로써, 부족한 지중열원을 보충할 뿐만 아니라 지중열교환기의 크기를 줄여 초기투자비를 감소시킬 수 있다. 또한 장기운전에 따른 지중열환경 악화를 지연시켜서 히트펌프의 성능향상 효과를 기대할 수 있다. 보조기기는 지중열원을 보충할 수 있을 정도로 적절한 용량설계가 필요하다. 하지만, 기존 지열히트펌프에 비하여 보조기기의 추가로 인한 기기의 구성 및 제어가 복잡해지는 단점이 있다. Yavutzuk and Spitler[5]는 하이브리드 지열히트펌프에서 여러 가지 제어전략에 따른 비교연구를 수행하였다.

Fig. 1과 같은 병렬배열의 하이브리드 지열히트펌프 시스템에서는 지중루프 외에 별도의 보조루프가 추가되며, 2차 유체는 지중측 판형열교환기와 보조측 판형열교환기를 각각 흐르게 된다. 냉방운전 시 지중온도가 낮은 조건에서는 하이브리드 지열히트펌프는 지중열교환기만을 사용하는 지열히트펌프 운전모드로 운전한다. 지중온도가 상승하여 부하가 증가한 경우 지중열교환기와 보조기기를 동시에 사용한 하이브리드 운전을 통하여 성능을 향상시킬 수 있다.

하이브리드 지열히트펌프에 관한 연구는 보조기기의 용량선정, 경제성 평가 및 운전알고리즘에 관한 것들이 대부분이다. ASHRAE[6]는 하이브리드 지열히트펌프 보조기기의 용량을 월평균 냉난방부하 차이로 결정해야 한다고 주장하였고, Kavanaugh and Rafferty[7]는 보조기기의 용량은 일일 냉난방 최대부하의 차이에 따라 설계하여야 한다고 보고하였다. Yavuzturk and Spitler[8]는 하이브리드 지열히트펌프

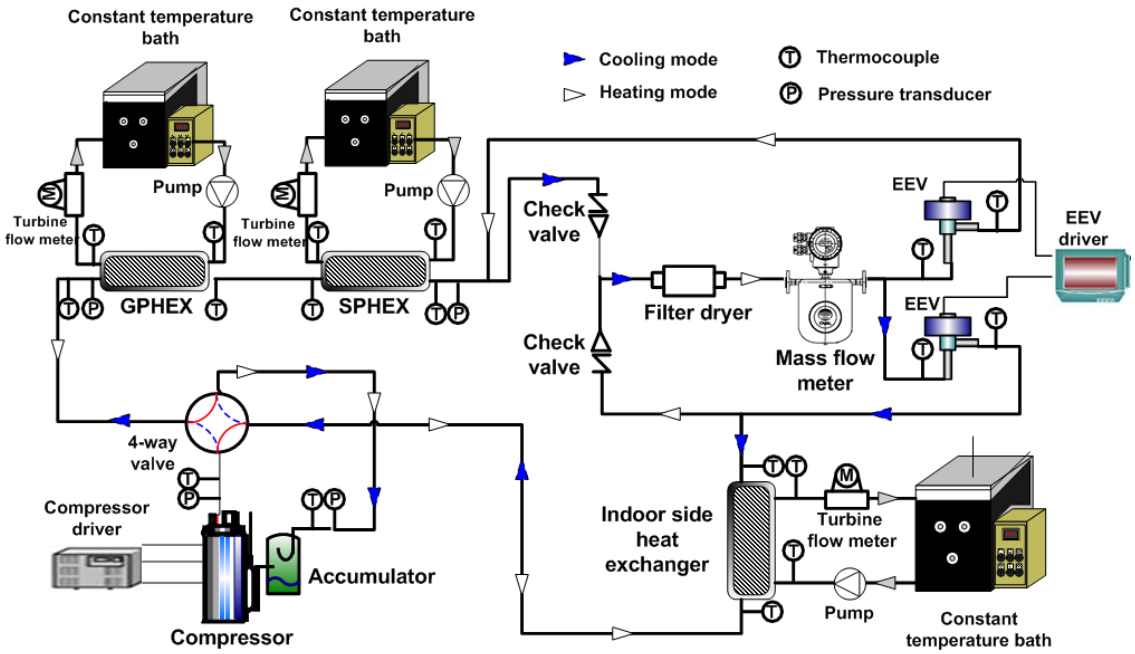

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup.

의 작동을 위한 다양한 제어전략의 장점과 단점을 비교하였다. Nam et al.[9]은 지중열원과 공기열원을 적용한 하이브리드 지열히트펌프의 연간 성능계수를 통하여 성능 특성을 고찰하였으며, 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프와 비교하여 성능이 크게 개선되었음을 보고하였다. Man et al.[3]은 수열원 지열히트펌프에 냉각탑을 보조열원으로 적용하고 지중루프와 보조루프를 직렬로 배열하여 성능해석을 수행하여, 하이브리드 시스템은 지중의 열축적에 대한 문제를 해결하고, 지열히트펌프와 비교하여 초기비용을 줄일 수 있고, 공기열원 히트펌프와 비교해서는 운전비용을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. Jeon et al.[10]은 스크류 칠러와 지열히트펌프로 구성된 하이브리드 냉방시스템의 성능에 관해 고찰하였다. Lee et al.[11]은 지열히트펌프의 지중측 2차 유체의 유량 변화에 따른 성능 특성에 관한 연구를 수행하였다. 지중측 2차 유체의 유량이 증가함에 따라 히트펌프 성능계수(COP)는 증가하지만, 전체 시스템 성능계수는 최적유량 이후에는 감소하여 시스템의 2차 유체의 최적유량을 통한 적절한 설계가 이루어져야 한다고 보고하였다.

하이브리드 지열히트펌프는 연중 최대부하에서 지중측 온도조건이 악화되었을 경우 지열히트펌프 운전모드와 동일한 2차 유체 유량을 적용하게 되면 지중 열환경 악화를 지연시킬 수 없으므로 지중측 루프와 보조측 루프의 2차 유체 유량을 적절한 비율로 분배하여 사이클 최적화를 구현할 수 있다. 하지만 기존 연구에서는 이에 대한 체계적인 연구가 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 하이브리드 지열히트펌프에서 2차 유체의 유량을 지중측과 보조측 판형열교환기에 최적으로 배분할 수 있는 유량 분배비에 대한 연구를 수행하였다. 2 RT급 하이브리드 지열히트펌프의 메인모드인 지열히트펌프 운전모드에서 최적의 2차 유체 유량을 결정하고, 하이브리드 운전모드에서는 앞서 결정된 2차 유체 유량을 기준으로 지중측 루프와 보조측 루프로 유입되는 유량의 분배비율을 변화시키면서 시스템의 성능을 고찰하였다. 이를 통하여 최대부하 조건에서 지중열환경 악화를 지연시키면서 하이브리드 지열히트펌프의 성능을 향상시키고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 2는 본 연구를 위해 제작한 실험장치의 개략도를 나타낸다. 2 RT급 하이브리드 지열히트 펌프 시스템의 주요 구성요소로는 BLDC 로터리 압축기, 실외측에 설치된 지중측 및 보조측 판형 열교환기, EEV 팽창장치, 실내측 판형 열교환기, 그리고 4방밸브이다. 지중열원과 보조열원인 냉각탑 그리고 실내측 부하는 일정한 온도를 유지할 수 있는 칠러를 개별 적용하여 모사하였다. Table 1과 Table 2는 히트펌프 시스템의 주요사양과 계측시스템을 각

Table 1 Specifications of the heat pump unit

Item	Specification		Unit
Compressor	Type	Rotary	
	Working fluid	R410 a	
	Frequency	30~110	Hz
	Motor input	1818	W
	Capacity	5861	W
Heat exchanger	Type	Plate	
	Heating load	12	kW
	Size	95×85×325	mm
	Volume (ref/sec)	0.64/0.67	L
Expansion valve	Type	EEV	
	Capacity	7	kW
	Range	0~500	Pulse

Table 2 Specifications of measuring equipment

Item	Specification	
Data acquisition	Type	Hybrid recorder
	Model	MV2000
	Manufacture	Yokogawa
	PC interfaces	Lan
Power meter	Model	WT210
	Manufacture	Yokogawa
	Range	0 to 300 V/ 0 to 10 A
	Accuracy	±0.01%
Mass flow mater	Model	CN006C-SS-200 K
	Manufacture	OVAL
	Maximum Flow Range	0 to 360 kg/h
	Maximum pressure	14 MPa
	Transmitter model	CT9401~K7MM33
	Accuracy	±0.1% full scale
Pressure transducer	Model	TJE
	Manufacture	SENSOTEC
	Pressure range	0 to 30 MPa
	Output	4 to 20 mA
	Accuracy	±0.1% full scale
Thermocouple	Model	T-type
	Manufacture	Omega
	Range	-200℃~200℃
	Accuracy	±0.2℃

각 정리한 것이다. 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 성능계수를 구하기 위해서, 소비동력은 압축기와 펌프의 소비동력을 측정하여 합산하였고, 냉방능력은 실내기용 판형열교환기의 2차 유체측 데이터를 이용하여 계산하였다. 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 성능계수는 식(1)과 같이 계산하였다.

$$COP = \frac{Q_{cooling}}{W_{comp} + W_{pump}} \quad (1)$$

Table 3에 나타낸 바와 같이, 하이브리드 지열히트펌프의 메인 운전모드인 지열히트펌프 운전모드에서 성능계수가 최대가 되는 최적의 2차 유체 유량을 선정하기 위하여 14 LPM에서 30 LPM까지 2 LPM 단위로 지중루프의 유량을 변화시키고 과열도 5℃를 유지하도록 EEV 개도를조절하면서 실험을 실시하였다. 이 때 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도와 실내측판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도조건은 지열히트펌프 성능평가 시험조건인 ISO 13256-2를 적용하였다.[12] 또한 하이브리드 운전과 비교를 위한 기준을 설정하기 위하여 Table 4에 나타낸 바와 같이 지열히트펌프 운전모드에서 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도를 10℃에서 40℃까지 5℃ 간격으로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

지열히트펌프 운전모드 실험을 통해서 선정된 최적유량을 하이브리드 운전모드에서 요구되는 총 유량으로 가정하였다. 이는 펌프의 용량가변을 통해서 상기의 총 유량보다 더 큰 유량 조합 을 적용할 수 있으나, 유량 증가에 따른 펌프 소비동력은 비선형적으로 증가하기 때문에 성능은 오히려 저하되며, 지중 열환경의 악화를 지연시킬 수 없을 것으로 예상되기 때문이다. 하이브리드 운전모드에서는 Table 5에 나타낸 바와 같이, 선정된 총 유량을 지중측 판형열교환기와 보조측 판형열교환기에 9 : 1, 7 : 3, 5 : 5, 그리고 3 : 7의 분배비로 나누어서

Table 3 Test conditions to determine optimal secondary fluid flow rate

Parameters	Value
Compressor frequency(Hz)	70
EEV opening	Controlled for each superheat 5℃
Secondary fluid temperature entering condenser(℃)	25
Secondary fluid temperature entering evaporator(℃)	12
Secondary fluid flow rate for outdoor unit(LPM)	14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30
Secondary fluid flow rate for indoor unit(LPM)	25.4

Table 4 Test conditions for the ground source heat pump

Parameters	Value
Compressor frequency (Hz)	70
EEV opening	Controlled for each superheat 5℃
Secondary fluid temperature entering condenser(℃)	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
Secondary fluid temperature entering evaporator(℃)	12
Secondary fluid flow rate for outdoor unit(LPM)	20(Optimal secondary fluid flow rate)
Secondary fluid flow rate for indoor unit(LPM)	19.5

Table 5 Test conditions for the hybrid ground source heat pump

Parameters	Value
Secondary fluid temperature entering GPHEX(℃)	25, 30, 35, 40
Secondary fluid temperature entering SPHEX(℃)	28, 30, 32
Flow distribution ratio of the secondary fluid between GPHEX and SPHEX	9 : 1, 7 : 3, 5 : 5, 3 : 7

흐르도록 조절하면서 실험을 실시하였다. 온도조건은 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도를 25℃에서 40℃까지 5℃ 간격으로, 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도는 냉각탑의 특성을 고려하여 28℃에서 32℃까지 2℃ 간격으로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 지열히트펌프 운전모드에서 지중측 판형 열교환기로 유입되는 2차 유체의 유량 변화에 따른 성능계수를 나타내고 있다. 지중측 판형 열교환기로 유입되는 2차 유체의 유량이 20 LPM 일 때 성능계수는 최대로 나타났다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 2차 유체의 유량이 18 LPM 이상 증가하는 경우 냉방능력은 일정하게 유지되었다. 반면 소비동력은 2차 유체 유량이 증가함에 따라 점차 감소하다가 20 LPM에서 최소를 나타낸 이후 급격히 증가하였다. 이는 압축기의 소비동력은 감소하지만, 펌프의

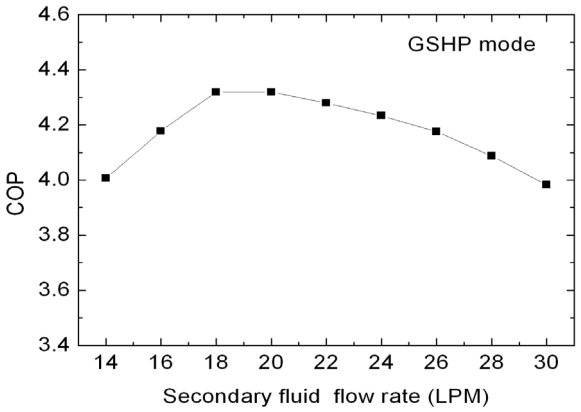

Fig. 3 Variation of the COP with secondary-fluid flow rate.

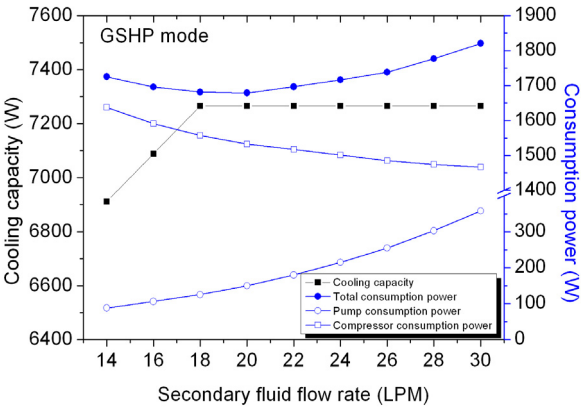

Fig. 4 Variation of the cooling capacity and total power with secondary-fluid flow rate.

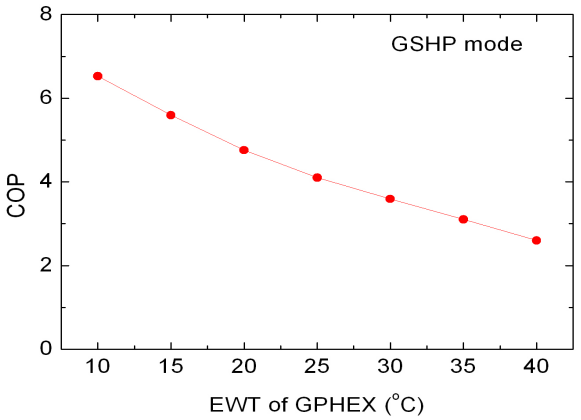

Fig. 5 Variation of COP with EWT of GPHEX.

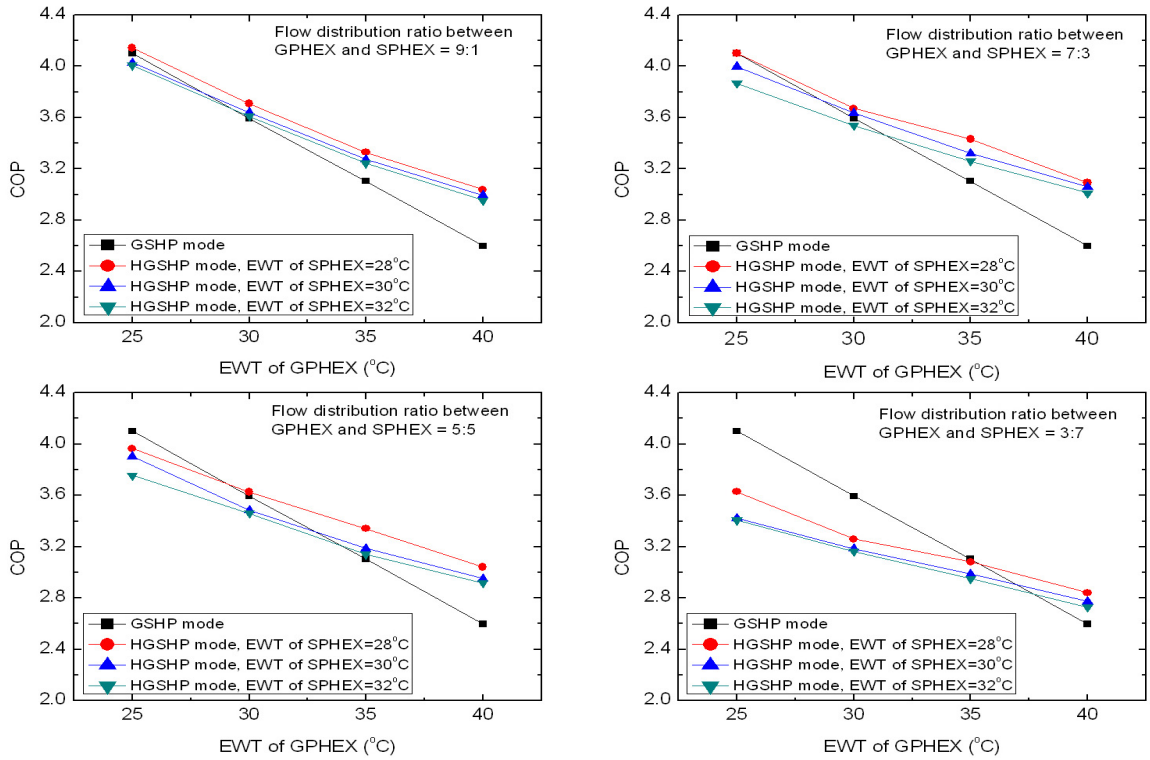

Fig. 6 Variation of COP with EWT of GPHEX for four flow distribution ratios of secondary-fluid flow rate.

소비동력이 비선형적으로 증가하기 때문이다. 따라서 지열히트펌프 운전모드에서 최적 2차 유체 유량은 20 LPM으로 선정하였다. Fig. 5는 Fig. 3에서 결정한 최적유량을 적용하여 지열히트펌프 운전모드에서 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도에 따른 성능계수 변화를 나타내고 있다. 지중측 온도가 20℃에서 40℃로 증가함에 따라 응축압력의 상승으로 인하여 압축기의 소비동력이 증가하고, 냉방능력은 감소하여 성능계수는 45% 감소하였다. 따라서 지중온도 조건이 악화되는 경우 지중열원과 보조기기의 하이브리드 운전을 통하여 성능향상이 필요하다.

Fig. 6은 하이브리드 운전모드에서 지중측과 보조측 판형열교환기로의 유량 분배비에 따른 성능계수의 변화를 지열히트펌프 운전모드의 성능과 비교하여 나타내고 있다. 하이브리드 운전모드의 경우 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도를 28℃, 30℃, 그리고 32℃로 변화시키면서 실험을 실시하였다. 지중측과 보조측 판형열교환기의 유량 분배비 9 : 1, 7 : 3, 그리고 5 : 5에서는 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도가 35℃ 이상이 되면 하이브리드 운전모드의 성능이 지열히트펌프 운전모드에 비하여 높게 나타났다. 이는 지중측 온도조건이 보조측에 비해 상대적으로 높은 온도조건일수록 보조측 판형열교환기 내에서 더 많은 열을 방출할 수 있기 때문이다. 반면, 유량 분배비 3 : 7의 경우에는 지중측 2차 유체의 유량이 작아 지중측 판형열교환기 내에서 충분히 열을 방출하지 못하여 응축압력의 상승으로 전체적으로 하이브리드 운전효과가 낮은 것으로 나타났다. 유량 분배비 7 : 3, 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체 온도 40℃에서 하이브리드 운전모드의 성능계수는 지열히트펌프 운전모드 대비 19% 상승하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 하이브리드 운전모드에서 지중측판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도가 각각 35℃와 40℃ 일 때, 지중측과 보조측 판형열교환기의 2차 유체의 유량 분배비에 따른 성능계수의 변화를 나타낸다. 두 온도조건에서 동일하게 지중측과 보조측의 최적 유량 분배비는 7 : 3으로 나타났다. 지중측 판형열교환기의 2차 유체 유량이 감소함에 따라 응축압력이 상승하고, 상대적으로 보조측 2차 유체의 유량이 증가함에 따라 과냉도가 증가한다. 따라서 지증측 판형열교환기를 통해 일차적으로 냉매의 열을 충분히 방출하고, 보조측 판형

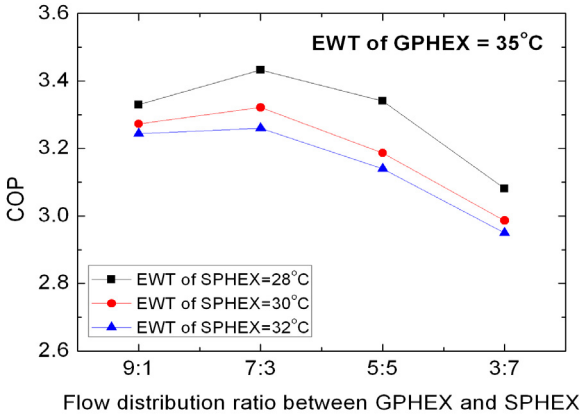

Fig. 7 Variation of COP with flow distribution ratio between GPHEX and SPHEX.

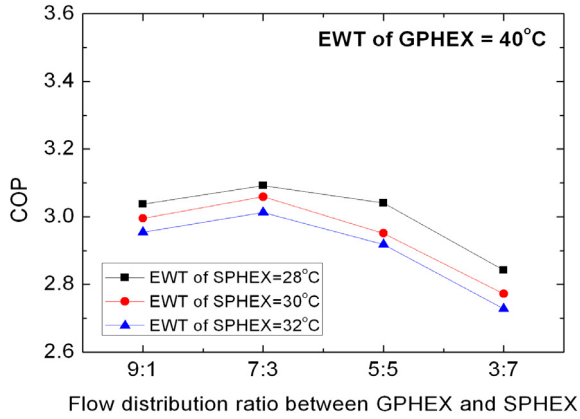

Fig. 8 Variation of COP with flow distribution ratio between GPHEX and SPHEX.

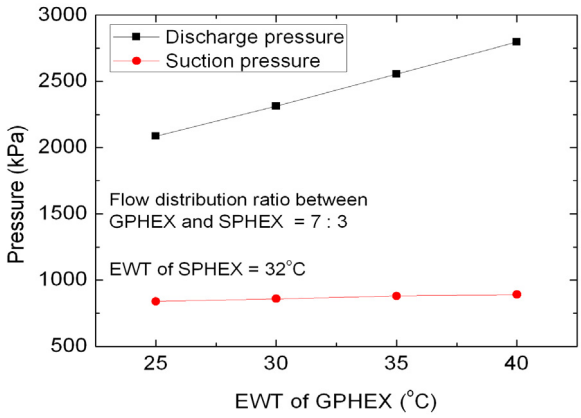

Fig. 9 Variation of high and low pressure with EWT of GPHEX.

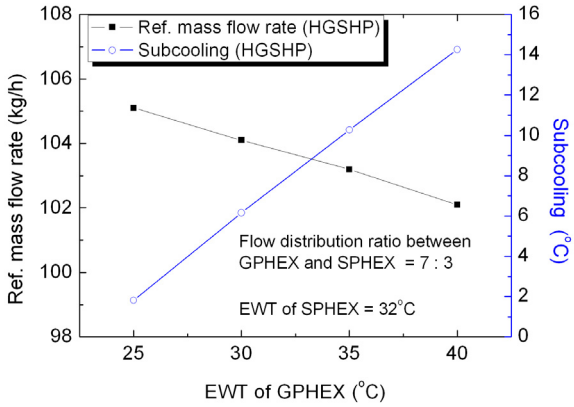

Fig. 10 Variation of ref. mass flow rate and subcooling with EWT of GPHEX.

열교환기에서 적절한 과냉도를 확보하여 가장 높은 성능을 갖도록 하는 최적 2차 유체 유량 분배비가 존재하는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 지중측과 보조측의 2차 유체의 유량 분배비 7 : 3, 보조측 온도조건 32℃에서 지중으로부터 유입되는 2차 유체의 온도에 대한 응축압력과 증발압력의 변화를 나타낸다. 실내측 부하조건은 일정하기 때문에 증발압력의 변화는 미세한 반면, 지중측 온도가 상승함에 따라 응축압력은 선형적으로 증가하여 압축비가 상승한다. 압축비의 상승은 시스템 소비동력의 증가를 유발하므로 지중측 판형열교환기에서 충분히 열을 방출하여 시스템의 성능을 향상시키고 지중측 온도의 상승을 지연시키는 것이 매우 중요하다.

Fig. 10은 유량 분배비 7 : 3, 보조측 온도조건 32℃에서 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도 변화에 대한 냉매유량과 과냉도의 변화를 나타낸다. 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도가 상승함에 따라 냉매유량은 감소하고, 과냉도는 증가하는 것으로 나타났다. 지중측 온도가 상승함에 따라 응축압력 및 응축온도가 상승하여 보조측 판형열교환기에서 더 많은 열을 흡수하여 냉매의 과냉도를 증가시킨다. 과냉도가 증가하는 경우 압축기 입구에서 일정 과열도를 유지하기 위해서는 냉매유량은 약간 감소하게 된다. 따라서 지중측 온도조건이 35℃ 이상 증가하는 경우, 하이브리드 운전모드로 전환을 통하여 냉매유량은 약간 감소하지만 과냉도가 증가하기 때문에 상대적으로 증발기 입구의 엔탈피차가 크게 증가하여 냉방능력이 증가되기 때문에 하이브리드 운전모드의 성능이 지열히트펌프 운전모드에 비하여 향상된다.

Fig. 11은 하이브리드 운전모드에서 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도 35℃, 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도 32℃ 조

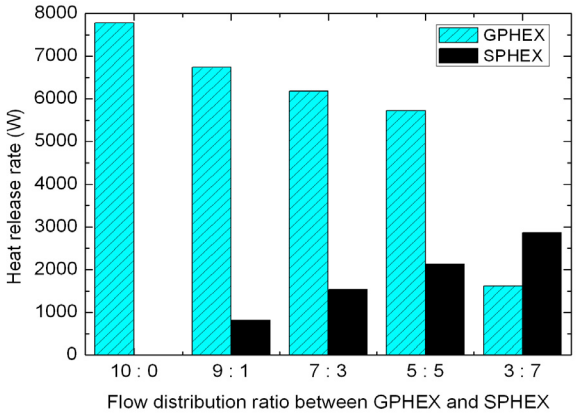

Fig. 11 Comparison of heat release rate with flow distribution ratio between GPHEX and SPHEX for each heat exchanger.

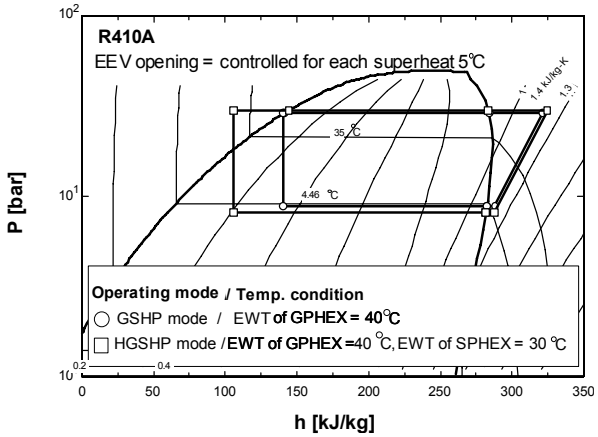

Fig. 12 P-h diagram for each operating mode.

건에서 지중측 판형열교환기와 보조측 판형열교환기의 2차 유체의 유량 분배비에 따른 열교환기에서 방출되는 열량의 변화를 나타낸다. 지중으로 방출되는 열량은 지중측 2차 유체 유량과 비례하므로 지중측 2차 유체의 유량이 감소함에 따라 지중으로 방출되는 열량이 감소하였다. Fig. 7과 Fig. 8에서와 같이 하이브리드 운전에서 가장 높은 성능을 나타내는 유량분배비 7 : 3에서 지열히트펌프 운전모드인 10 : 0에 비하여 지중측 부하를 약 21% 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 12는 지중측 및 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 유량 분배비 7 : 3에서 지중측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도가 40℃로 동일한 경우 하이브리드 운전모드와 지열히트펌프 운전모드에 대한 압력-엔탈피 선도를 나타낸다. 하이브리드 운전모드에서 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도는 32℃이다. 지열히트펌프 운전모드에 비해 하이브리드 운전모드 일 때 과냉도가 상대적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 보조측 판형열교환기에서 추가적인 열교환에 의한 것으로 판단된다. 따라서 하이브리드 운전모드에서 보조장치를 통해 적절한 과냉도를 확보해야 하이브리드 운전 효과를 극대화 할 수 있다.

4. 결 론

하이브리드 지열히트펌프는 최대부하 시 적절한 용량의 냉각탑을 적용하여 부족한 지중열원을 보충하여 성능감소를 최소화 하고, 지중측 루프와 보조측 루프의 적절한 유량분배를 통해 지중측 열환경 악화를 지연시키기 위하여 주 운전모드인 지열히트펌프 운전모드에서 유량별 실험을 통해 얻어진 최적유량을 기준으로 하이브리드 운전모드에서 지중측 및 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 유량분배비를 변화시키면서 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 실험에서는 지열히트펌프 운전모드에서 성능계수를 최대로 하는 2차 유체의 최적유량은 20 LPM으로 나타났다. 즉, 2차 유체의 유량을 무조건 증가시킨다고 시스템의 성능계수가 향상되는 것이 아니라, 시스템의 성능계수를 최대로 하는 최적유량이 존재하는 것을 확인하였다.

(2) 지중측 온도조건이 보조측 온도조건보다 상대적으로 높을 경우에 지열히트펌프 운전에서 하이브리드 운전모드로 전환하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 하이브리드 운전모드에서 지중측 판형열교환기 유입 온도 40℃, 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 온도 28℃에서 유량 분배비를 7 : 3을 적용하는 경우 지열히트펌프 운전모드 대비 최대 19% 성능계수 향상을 확인하였다.

(3) 지열히트펌프 운전모드에서 선정된 최적유량을 기준으로 하이브리드 운전모드에서 지중측 및 보조측 판형열교환기로 유입되는 2차 유체의 유량을 각각 9 : 1, 7 : 3, 5 : 5, 그리고 3 : 7의 분배비율로 실험한 결과 7 : 3의 유량 분배비에서 가장 높은 성능계수를 나타내었다.

(4) 지중온도 조건 35℃에서 하이브리드 운전모드로 전환할 경우 최적의 유량 분배비 7 : 3에서 지열히트펌프 운전모드 대비 지중열교환기 부하를 최대 약 21% 정도 감소하여 지중온도조건의 상승을 지연시킬 수 있을 것으로 분석되었고, 성능은 지열

히트펌프 운전모드 대비 8% 향상되는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(ST090845)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hackel, S. and Nellis, G., 2008, Optimization of hybrid geothermal heat pump systems, 9 International IEA Heat Pump Conference, Zurich, Conf-ID 4.14, pp. 1-12.
2. Man, Y., Yang, H., and Fang, J., 2008, Study on hybrid ground-coupled heat pump systems, Energy and Buildings, Vol. 40, pp. 2826-2833.
3. Man, Y., Yang, H., and Wang, J., 2010, Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like Hong Kong, Applied Energy, Vol. 87, pp. 2826-2833.
4. Park, H., Kim, W., Jeon, J., and Kim, Y., 2010, Optimization of a hybrid ground source heat pump using the response surface method, Proceedings of the SAREK 2010 Summer Annual Conference, pp. 611-616.
5. Yavuzturk, C. and Spitler, J. D., 2000, Comparative study of operating and control strategies for hybrid ground-source heat pump systems using a short time step simulation model, ASHRAE Trans., Vol. 106, No. 2, pp. 192-209.
6. ASHRAE, 1995, Commercial/institutional ground-source heat pump engineering manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning, Inc.
7. Kavanaugh, S. P. and Rafferty, K., 1997, Ground-source heat pumps : design of geothermal system for commercial and institutional buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning, inc.
8. Yavuzturk, C. and Spitler, J. D., 2000, Comparative study of operating and control strategies for hybrid ground-source heat pump systems using a short time step simulation model, ASHRAE Trans, Vol. 106, No. 2, pp. 192-209.
9. Nam, Y., Ooka, R., and Shiba, Y., 2010, Development of dual-source hybrid heat pump system using ground water and air, Applied Energy, Vol. 40, pp. 909-916.
10. Jeon, J., Lee, S., Hong, D., and Kim, Y., 2010, Performance evaluation and modeling of a hybrid cooling system combining a screw water chiller with a ground source heat pump in a building, Energy, Vol. 35, pp. 2006-2012.
11. Lee, J. Y., Chung, J. T., Woo, J., and Choi, J. M., 2010, Influence of secondary fluid flow rate on the performance of a GSHP system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, pp. 649-656.
12. ISO, 1998, Water-source heat pump testing and rating for performance; Part 2 : Water-to-water and brine-to-water heat pumps, ISO 13256-2.