

복합열원형 히트펌프 냉난방 시스템의 성능분석에 관한 연구

임 현 목[†], 박 회 문, 조 수^{*}, 성 욱 주^{**}, 박 진 훈^{***}, 박 태 진

(주)삼영, 한국에너지기술연구원^{*}, 한양대학교 대학원^{**}, 한국수자원 공사^{***}

A study for a Performance analysis of Hybrid heat pump Air conditioning system

Hyun-Mook Lim, Hee-Moon Park, Soo Cho^{*}, Uk-joo Sung^{**},
Jin-Hoon Park^{***}, Tae-Jin Park

SAMYOUNG CO., Ltd., Daejeon 306-818, Korea.

^{*}Building Energy Center Korea, Institute of Energy Research Center, Daejeon 305-343, Korea

^{**}Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

^{***}Korea Institute of Water and Environment, Daejeon 305-731, Korea

Abstract: This study is aiming comparison and analization between efficiency of hybride air conditioning system which uses low temperature water under dam and air and EHP(Electric Heat Pump). The experimental was carried out with air cooling tests for EHP system having 80HP and composition heat pump system. P-i diagram of both systems and COP was used to derive schemetic and calcuations. As results of the tests, hybride system has 1.4 time higher efficiency coefficient.

key words: Air conditioning system(공조시스템), Electric Heat Pump(EHP), Refrigerator cycle(냉동사이클), COP(성능계수)

기 호 설 명

COP: 성능계수

HY: 복합열원히트펌프 시스템

E:실내공급냉방열량

P:압축기 공급에너지

C:공기열원 응축방열량

H: HYBRID HX 응축방열량

하첨자

e : EHP 냉난방 시스템

h : 복합열원히트펌프 시스템

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-864-3031; Fax: +82-42-864-3032

E-mail address: lhbook@lycos.co.kr

1. 서론

지구 온난화와 더불어 화석에너지의 고갈 시점이 다가오면서 대체에너지에 대한 중요성이 대두되고 있다. 국내는 물론이고 해외에서도 자연환경에 오염시키지 않고 자연의 에너지를 그대로 활용하기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 태양광, 태양열, 풍력, 지열 등이 대표적이 신재생 에너지로 많은 국가들이 지리적 여건에 따라 다양한 대체에너지 개발과 보급을 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

최근에는 신재생/미활용 에너지 기술들이 개발되면서 다양한 기술들을 기존의 시스템들과 복합적으로 활용하여 시스템의 성능을 향상시키는 다양한 제품들이 개발되고 있다.

본 연구에서는 댐에 담수되어 있는 저온수와 공기를 복합열원으로 사용하는 하이브리드(HY) 냉난방 시스템으로 EHP시스템과 비교 분석하여 시스템의 성능을 분석하였다.

실내외 환경조건을 제어하지 않고 현장에서 실시 되는 실험은 여러 가지 측정 변수로 인하여 EHP 및 HY시스템의 상대적인 COP를 검토하기가 어려우며, 대표 값을 통한 성능표시가 무의미하다. 일반적으로, 압축식 냉방기기 시스템 성능의 대표 값을 산출하기 위해서는 실내외환경, 실내부하의 변화가 시간에 따라 일정한 정상 상태에서 측정을 실시한다. 또한, 실내외 환경제어가 어려운 현장 실험의 경우는 실내운전 조건은 동일한 조건에서 실외온도에 따른 COP 분포를 산출하는 것이 바람직하다. 사실상 현장실험에서는 최대한 실내외 환경제어를 실시하여도 외기온에 따른 뚜렷한 COP경향을 확인하기가 쉽지 않다.

실험에서 외기온에 따른 COP 분포를 확인하는 방법은 1시간 단위로 외기온 평균, 실내공급열량, 전력투입량을 산출하여 외기온에 따른 COP(실내공급열량/전력투입량)분포도를 작성하고 COP를 종속변수로 하고 외기온을 독립변수로 한 회귀분석을 실시해야 한다. 즉, 실험을 통한 상대적인 성능비교는 대표값이 아닌 전반적인 시스템 운전시 형성되는 성능곡선을 상대적인 비교로 가능하다.

일반적으로, Air to Air 압축식 전기 히트펌프의 성능곡선은 냉방운전의 경우 외기온의 향상에 따른 부적정상관을, 난방 운전의 경우 적정상관을

나타낸다.

실험에서 실시된 냉방능력 측정은 냉매 유량계 및 고압, 저압관의 온도, 압력계를 설치하여 냉방 엔탈피를 산출하였다. 고압관 및 저압관의 냉매엔탈피는 냉매의 압력과 온도에 따른 엔탈피를 산출하는데, 저압관은 완전 Gas상, 고압관은 완전 Liquid상으로 가정하여 산출한다. 하지만, 실제 냉동사이클 상에서 고압관 및 저압관의 냉매 상은 Gas와 Liquid가 동시에 존재하는 혼합냉매 상태이므로 이론적 방법에 의한 냉매 엔탈피와 실제 엔탈피는 차이가 발생한다.

비교적 정확한 냉방 공급열량을 산출하기 위해서는 사이클상의 추가적인 엔탈피 측정을 위한 냉매압력 및 온도 계측기가 필요하며, 위치는 압축기 토출부와 팽창변 후단에 엔탈피를 측정하여 정확한 냉방 공급열량을 산출해야 한다. 또한, 실내기의 입출구의 공기온도차를 이용한 공기엔탈피법을 이용하여 냉방 공급열량을 추가적으로 산출한 냉방 공급열량과 냉매엔탈피법에 의해 계산된 냉방 공급열량 산출값과 비교 한다.

2. 실험 및 성능분석 방법

2.1 실험방법

본 실험은 한국수자원공사 대청댐 관리사무소 건물에 10HP 용량의 실외기 4대씩 두 세트 80HP으로 구성하고 실내기는 지상 3층, 지하 1층으로 20개 사무실에 0.8HP부터 5HP의 4방향 천정 카세트형 실내기 26개를 조합하여 약 83HP을 설치하였다. 실험은 EHP방식과 하이브리드방식을 교차하여 실험하였다.

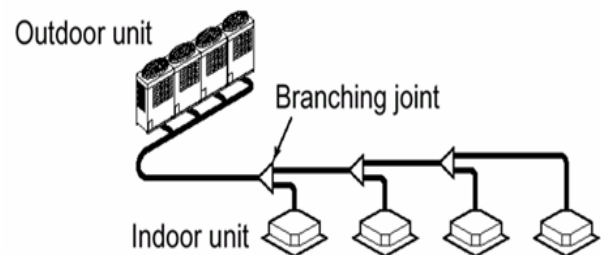


Fig. 1 EHP시스템 개통도

2.2 성능분석방법 검토

실내 설정온도를 EHP 및 HY시스템 실험에서 동일하게 설정하였으며, 이것은 냉방공급열량이 동일하게 공급한 것을 의미한다. 시스템은 설정온도에 맞는 공급열량제어를 하며, 압축기는 응축열교환 매체의 온도에 따라 투입에너지가 달라진다. 즉, 실내기의 공급열량은 설정온도가 같으면 동일하되 실외기의 열교환 매체의 온도에 따라 압축일이 증감한다는 것이다. 현석균(1)은 실내설정온도와 외기온에 따른 COP 곡선을 분석하였다.

실험결과에서는 냉매엔탈피를 이용한 냉방공급열량이 HY시스템이 상대적으로 적게 공급한 것으로 산출되었다. 사실상 정확한 냉방공급열량을 산출하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 압축기 토출 및 팽창변 후단의 냉매엔탈피를 추가적으로 측정하여 전반적인 운전 사이클상에서 에너지 평형을 확인하고 산출된 냉방공급열량을 검증해야 한다. 또한, 실내기의 입출구 공기온도를 이용한 공기 엔탈피법에 의한 공급열량을 확인해야 한다.

실험 검토결과에서는 동일한 외기온 분포에서의 시스템 운전시 EHP 및 HY시스템의 실내 설정온도가 동일하게 유지하는데 반해 냉방공급열량은 HY가 상대적으로 적게 산출되었다. 또한, 압축기의 투입전력은 EHP가 HY에 비해 많은 양이 공급되었다. 이 현상을 설명하자면, HY 실외기에 양질의 열교환 매체(브라인 수)에 의해 응축방열을 실시하여 상대적으로 EHP보다 압축기가 일을 덜 해도 팽창변 투입전 냉매는 압력이 낮고 저온 상태의 증발시 냉방 공급열량을 증폭시킬 수 있는 양질의 것임을 의미한다. 또한, Fig. 2에서 보는 바와 같이 실내 설정온도가 동일하기 때문에 실내 냉방공급열량은 동일 할 것으로 사료된다. 따라서 HY 시스템의 COP는 공급열량이 동일하고 투입전력이 적기 때문에 EHP에 비해 상대적으로 높게 나타나야 한다.

2.3 HY 시스템의 성능분석방법

두 시스템의 운전시 실외기온 분포가 유사한 기간의 측정데이터를 선정하였다. 측정데이터 선정기간동안의 외기온 분포 및 실내온도 분포가 유사하기 때문에 HY시스템과 EHP시스템의 냉방

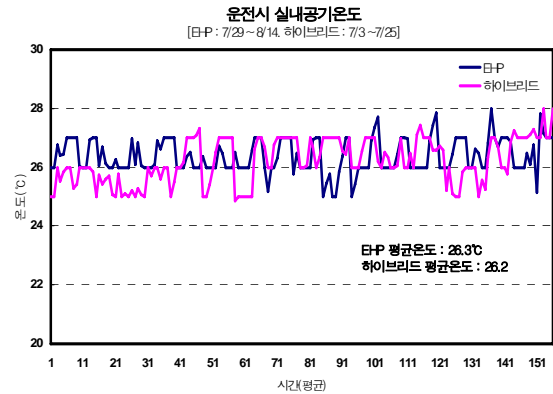


Fig. 2 운전중 EHP 및 HY 시스템의 실내온도 분포

공급열량은 동일(유사)하다는 조건이 성립된다. 이렇게 동일한 조건에서의 시스템 운전시 사이클 상에서 증발, 압축, 응축의 상관관계(에너지 평형)에 따라 두 시스템의 상대적인 COP 차이를 검증하려고 한다.

사실상 HY 및 EHP의 냉방공급열량은 동일하되, 실제 운전상 공급한 냉방열량은 확실치 않기 때문에 미지수로 설정한다. 또한, 운전시 고압 및 저압관의 압력, 온도 분포, 투입전력량 분포를 통하여 HY시스템과 EHP시스템의 사이클을 P-i 선도에 도식화 하고 두 시스템의 성능을 상대 비교할 수 있다. 여기서, COP는 냉방공급열량이 미지수이기 때문에 두 시스템의 상대적인 비교는 가능하되 정확한 수치로 표현하기는 무리가 있다. 본 보고서의 취지는 대청댐에 설치되어 운전중인 HY시스템의 운전특성과 성능을 파악하여 EHP시스템과의 비교를 통한 HY시스템의 성능을 분석하기 위한 것이다.

두 시스템의 정확한 냉방 COP를 산출하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 사이클상에서 추가적인 엔탈피 측정 및 공기엔탈피 측정을 통한 정확한 냉방공급열량이 산출되어야 할 것이다.

2.3 HY 시스템의 성능분석방법

이재근(2)은 지열히트펌프 시스템의 냉방운전성능 연구에서 일반 공기열원 EHP(ASHP)시스템과 지열원HP(GSHP)시스템의 냉방사이클을 P-i 선도에 작도하여 비교하였다. 지열히트펌프는 온도가 양호하며 연중일정한 지열원을 응축 방열교환 온도로 활용하는 수열원 시스템이다. 양질의 응축

열교환 매체를 사용하므로 압축기의 공급전력이 적어도 공기열원 EHP와 동일한 공급열량을 발생하므로 COP 또한 공기열원 EHP보다 향상된다.

HY시스템은 지열원히트펌프 시스템에서 응축기의 열교환을 공기열원과 수열원이 동시에 분담하는 복합시스템으로 응축기의 방열을 전체 수열원으로 교환하는 지열원시스템보다 응축방열량이 적을 수 있다.

실험 데이터와 공기열원 히트펌프와 지열 히트펌프의 냉매 사이클의 P-i 선도를 근거로 동일한 외기온 및 실내설정온도에서 EHP시스템과 HY시스템의 냉동 사이클을 P-i선도에 도식하였다.

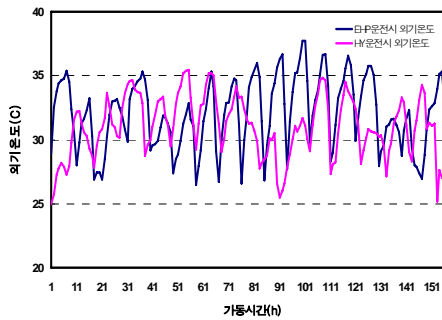


Fig. 3 시스템 운전시 외기온도분포

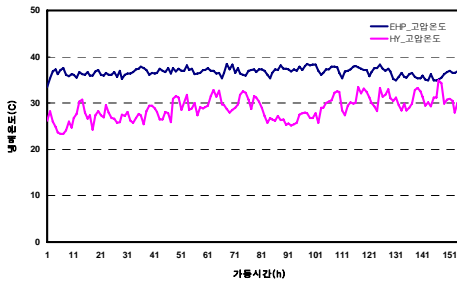


Fig. 4 시스템 운전시 고압관 냉매 온도분포

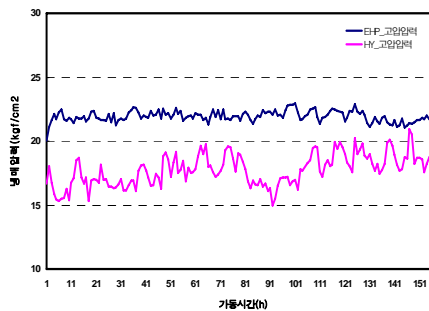


Fig. 5 시스템 운전시 고압관 냉매 압력분포

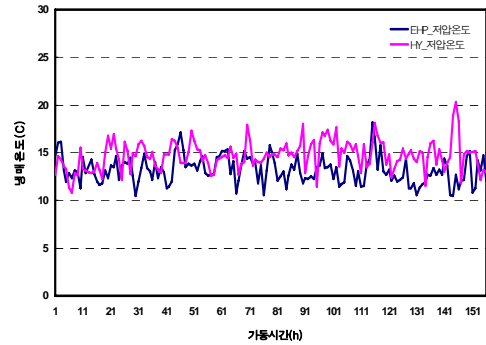


Fig. 6 시스템 운전시 저압관 냉매 온도분포

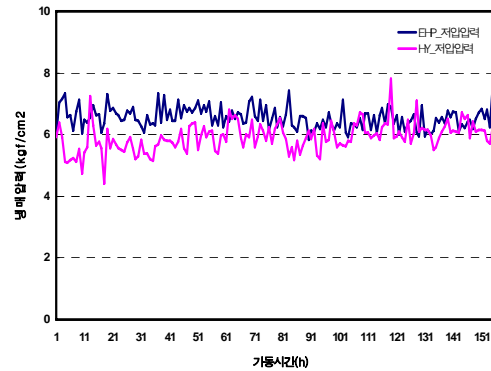


Fig. 7 시스템 운전시 저압관 냉매 압력분포

Fig. 3는 시스템 운전시 외기온도분포를 나타내고 있으며, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 운전시 시스템 냉매 온도/압력분포를 나타내고 있다.

Table 1 시스템 운전시 저/고압 냉매상태 평균 값

구분	저압관		고압관	
	온도(°C)	압력(kgf/cm ²)	온도(°C)	압력(kgf/cm ²)
EHP	13.2	6.5	36.7	21.9
HYBRID	14.7	5.9	28.9	17.8

Table. 1의 냉매 평균 온도/압력 측정결과를 기 인하여 EHP 및 HY시스템의 예상 냉방사이클을 P-i 선도에 작도하면 Fig. 9와 같다.

HY 시스템의 응축기 열교환은 저온의 수열원 을 통한 HYBRID 열교환을 분담하여 실시하기

때문에 응축기를 통과한 냉매는 EHP의 경우보다 저압/저온상태의 증발을 위한 최적의 냉매상태가

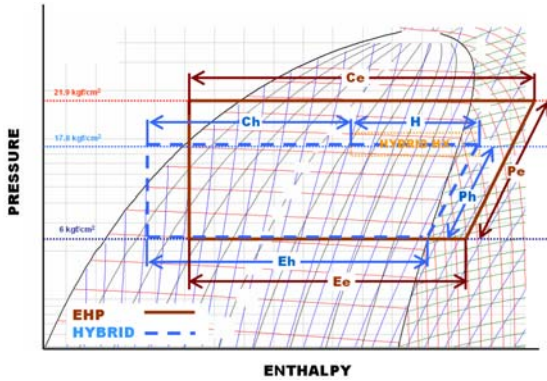


Fig. 9 EHP/HY시스템의 냉방 사이클 구간별 에너지

되며 보다 적은 전력을 공급하더라도 실내에서 요구하는 냉방공급열량을 충족할 수 있게 된다. HY시스템과 지열히트펌프 시스템과의 냉방사이클을 비교해보면 EHP 대비 유사한 패턴을 나타내지만 실제 응축기의 전 구간에 걸쳐 수열원 시스템을 적용하는 지열 시스템 대비 응축방열량이 적고 COP도 다소 하강 할 것으로 사료된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시스템 성능분석

시스템성능 현장실험 데이터를 바탕으로 EHP와 HYBRID 성능평가를 실시했다. 선정된 현장 실험 데이터는 앞서 진행한 P-i 선도상의 각 시스템별 냉방사이클을 작도한 데이터와 동일하다.

Fig. 10은 EHP 및 HY시스템의 냉방 사이클의 구간별 에너지로 구분하여 표시한 것으로 사이클 상에서 에너지 평형을 만족하기 위한 구간별 상관관계는 다음과 같다.

○ 응축방열량 =

증발열량(실내공급냉방열량)+압축기열량(시스템 통합 전력공급량)

냉방 사이클 상에서 에너지 평형을 만족하기 위한 구간별 상관관계 조건에 의해 각 시스템별 관계식을 작성하면 다음과 같다.

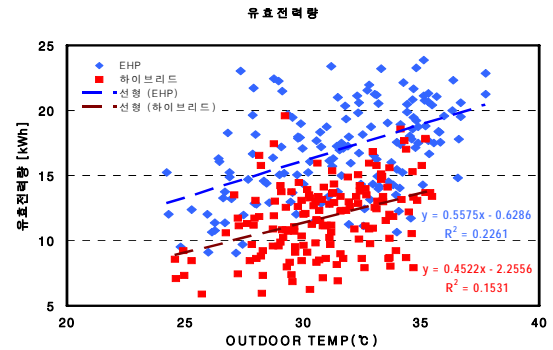


Fig. 10 운전중 각 시스템의 공급전력량 분포

○ EHP 시스템

$$E_e + P_e = C_e \Rightarrow E_e = C_e - P_e \quad (1)$$

○ HYBRID 시스템

$$E_h + P_h = H + C_h \Rightarrow E_h = H + C_h - P_h \quad (2)$$

여기서, 각 시스템 운전시 동일한(유사한) 외기 분포와 설정온도를 나타냈으므로 EHP와 HY시스템의 냉방 공급열량이 동일하다고 가정하면 (수식 3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_h = E_e \quad (3)$$

$$H + C_h - P_h = C_e - P_e \quad (4)$$

$$H + C_h = C_e - (P_e - P_h) \quad (5)$$

또한, 각 시스템의 COP는 다음과 같이 산출이 가능하다.

○ EHP 시스템

$$COP_e = \frac{C_e - P_e}{P_e} \quad (6)$$

○ HYBRID 시스템

$$COP_h = \frac{H + C_h - P_h}{P_h} \quad (7)$$

여기서, (5)를 (7)에 대입하여 HY시스템의 COP를 나타내면 (8)이 성립된다.

$$COP_h = \frac{C_e - P_e + P_h - P_h}{P_h} = \frac{E_e}{P_h} \quad (8)$$

HY 시스템의 전력공급량이 Fig. 10과 같이 운전중 'P_h < P_e'가 되므로 HY시스템의 COP는

EHP시스템 보다 높은 분포를 나타낸다.

$$\frac{E_e}{P_h} = COP_h \geq COP_e = \frac{E_e}{P_e} \quad (9)$$

운전중 HY시스템이 EHP 보다 약 29%의 절감 분포를 나타내고있으며 'COP_h는 = 1.41×COP_e'가 되는 것을 확인 할수 있다.

$$COP_h = \frac{E_e}{P_e \times (1-0.29)} = \frac{1}{0.71} COP_e = 1.41 COP_e$$

V. 결 론

1) EHP 및 HY시스템의 상대적인 COP 차이를 검증위하여 각 시스템 운전시 실외기온 분포가 유사한 기간의 측정데이터를 선정하였다. 측정데이터 선정기간동안의 외기온 분포 및 실내온도 분포가 동일(유사)하기 때문에 HY시스템과 EHP 시스템의 냉방공급열량은 동일(유사)하다는 조건이 성립되므로 운전시 싸이클 상에서의 증발, 압축, 응축의 상관관계(에너지 평형)식에 의하여 두 시스템의 상대적인 COP관계식을 산출 하였다. 산출결과 'COP_h는 = 1.41×COP_e'의 관계식이 성립하였다.

2) 실험 결과(냉매의 평균 온도/압력)에 기인하여 EHP 및 HY시스템의 예상 냉방싸이클을 P-i 선도에 작도한 결과, HY 시스템의 응축기 열교환은 저온의 수열원을 통한 HYBRID 열교환을 분담하여 실시하기 때문에 응축기를 통과한 냉매는 EHP의 경우보다 저압/저온상태의 증발을 위한 최적의 냉매상태가 되며 보다 적은 전력을 공급 하더라도 실내에서 요구하는 냉방공급열량을 충족할 수 있게 된다. HY시스템과 지열히트펌프 시스템과의 냉방싸이클을 비교해보면 EHP 대비 유사한 패턴을 나타내지만 실제 응축기의 전 구간에 걸쳐 수열원 시스템을 적용하는 지열 시스템 대비 응축방열량이 적고 COP도 다소 하강 할 것으로 사료된다.

3) 정확한 결론에 도달하기 위해서는 향후 "HY 시스템의 성능향상 실험"을 통하여 직접법(냉매유량계법)과 간접법(공기엔탈피법)을 동시에 측정하

고 현장실험 측정결과에서 부족한 데이터를 얻을 수 있도록 이론적 산출결과에 영향을 주는 물질적 인자를 찾는 실험과 최적의 시스템을 구현해야 하며 공기열원을 포함한 제어 시스템 등을 연구를 통하여 HY시스템을 최적화 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Hyun s. k, 2003, Dynamic Performance Simulation of Building Energy for Heating and Cooling, Kyung hee univ., Korea
2. Lee j. k., Jeong y. m., Koo k. m., Hwang s. y., Jang s. y., Kim I. k.,Jin s. w., Lee d. h., 2007, Cooling Performance of a Ground Source Heat Pump System, Proceedings of the SAREK, 07-W-069 pp. 441~446.
3. Jeon j. u., Jung h. w., Lee t. w., Kim y. k., Hong d. h., Kim y. c., Study on the Operational Cost and Characteristics of a Hybrid Cooling Plant with a Ground Source Heat Pump, Proceedings of the SAREK, 07-W-069 pp. 441~446.
4. Kang. y. k., 2007, Heating Performance of Horizontal Geothermal Heat Pump System for Protected Horticulture, J. of Biosystem Eng., Vol. 32, No. 1, pp. 30~36