

지열히트펌프 시스템의 EWT의 변화에 따른 냉방운전 특성에 관한 실험적 연구

안병천*[†], 김재완**

*경원대학교 건축설비공학과, **경원대학교 건축설비공학과 대학원

An Experimental Study on the Cooling Operation Characteristics for Different Entering Water Temperatures In Geothermal Heat Pump System

Byung-Chun Ahn*[†], Jae-Wan Kim**

*Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

**Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

Abstract

In this paper, an experimental study on the cooling operation characteristics for different entering water temperatures in geothermal heat pump system are carried out by using LabVIEW system program. Set-point temperature controls for cooling water and supply air temperatures is applied to analyze the energy consumption and control performances. As a result, the system responses show that different entering water temperatures(EWT) effect greatly on the energy consumption and system COP.

Key words : EWT(Entering Water Temperature, 인입온도), Set-point temperature (설정온도),
Supply air and chilled water temperature(급기 및 냉수온도), COP(성능지수)

기 호 설 명

c_{pw}	: 정압비열
\dot{m}_w	: 질량유량
Q	: 실내부하열량
W_{comp}	: 냉동기 에너지소모량
W_{fan}	: 급배기팬의 에너지소모량

W_{pump}	: 순환펌프 에너지소모량
W_{tot}	: 총 에너지소모량
ΔT	: 열교환기 입출구온도차
COP_{hp}	: 히트펌프의 성능지수
$COP_{cooling}$: 전체 냉방시스템 성능지수

1. 서 론

국가 산업 및 경제가 발달하고 선진국화되면서 에너지 수요는 과거에 비해 증가하는 추세이지만, 국내에서 소비되는 에너지의 대부분의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 한정된 화석연료의 가격은 급등하고 수급의 불안정성은

[†] Corresponding author

Tel: +82-31-750-5309; fax: +82-31-750-5314

E-mail : bcahn@kyungwon.ac.kr

접수일 : 2010년 4월 1일

심사일 : 2010년 4월 23일

채택일 : 2010년 5월 11일

심화되고 있다. 또한 전 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 증가하면서 환경부하를 저감시키기 위한 각종 규제가 강화되고 있는 상황이다. 이와 같은 환경문제를 해결하기 위한 방안으로 안정적이면서 환경 친화적인 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다.

최근 정부는 11종의 신재생에너지를 지정하여 관련기술개발 및 보급 활성화를 위해 노력하고 있다. 또한 실제적인 신재생에너지 이용시스템의 보급을 위해 2004년 3월 이후 신축되는 연면적 3000m² 이상의 공공건축물의 경우 총 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지시스템을 적용하는데 사용토록 의무화하는 제도를 시행하고 있다.

특히, 신재생에너지 중 지열에너지는 재생에너지로 고갈이 없는 친환경적 에너지로 각광 받고 있으며, 미국 환경보호청(EPA)의 보고서에 따르면 기계기술과 건설기술이 종합적으로 복합된 지열원 냉난방 시스템은 가장 에너지 효율적이고 친환경적이며 비용효율적인 공조시스템이라고 보고되고 있다.

건물에너지 시스템에 있어 에너지 소비량에 영향을 주는 주요 제어변수들로는 냉수 및 냉각수 유량, 보일러의 순환펌프의 유량, 냉각탑 팬 및 공조기 팬의 공기유량, 급기온도, 냉수온도, 냉각수 온도(혹은 냉각탑 공기유량), 공조기 팬의 정압 등이 있다. 그중 지열히트펌프의 성능을 좌우하는 것은 히트펌프의 용량, 작동유체의 특성 및 유량, 지중열교환기의 크기 및 매설 깊이 토양조건 등이 있으며, 지열히트펌프시스템이 최적의 성능으로 운전되기 위해서는 위와 같은 조건들에 대한 검토가 선행되어야 한다. 이와 같은 검토조건 중 지중열교환기의 출구온도(EWT: Entering Water Temperature)는 히트펌프의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 변수중의 하나이다. 만약 냉방운전 시 지나치게 높은 EWT를 갖도록 지중열교환기가 적절히 설계되지 않을 경우 지열히트펌프 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 항온조시스템을 이용하여 지중열교환기의 인입온도(EWT)의 변화가 히트펌프의 소비전력 및 성능지수(COP, Coefficient of Performance)에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

2. 지열히트펌프시스템의 성능지수

지열원 히트펌프의 성능은 일반적으로 성능지수 또는 에너지 효율비 (EER, Energy Efficiency Ratio)로 나타낸다. 지열시스템의 냉방 및 난방용량은 다음의 식 (1)과 같이 계산 할 수 있다.

$$Q = \dot{m}_w \times c_{pw} \times \Delta T \quad (1)$$

여기서 \dot{m}_w 는 히트펌프의 부하측을 순환하는 물의 질량유량을 나타내며, c_{pw} 는 물의 정압비열, ΔT 는 열교환기의 입출구 온도차이다.

시스템의 총에너지 소모량은 냉동기 압축기의 전력량과 순환펌프의 전력량, 항온조시스템에서 지열시스템으로 공급하는 순환펌프의 전력량, 공조기 급배기팬의 전력량을 모두 더하면 식 (2)와 같이 냉방 시 필요한 총 에너지가 된다.

$$W_{tot} = W_{comp} + W_{pump1} + W_{pump2} + W_{fan} \quad (2)$$

여기서, W_{tot} , W_{comp} , W_{pump1} , W_{pump2} , W_{fan} 은 중앙공조시스템의 총 에너지소모량, 냉동기의 에너지소모량, 냉수 순환펌프의 에너지소모량 및 급배기 팬의 에너지소모량을 각각 의미한다.

지열원 히트펌프시스템의 성능은 일반적으로 성능지수는 식 (3)과 같이 계산 할 수 있다.

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_c} \quad (3)$$

여기서 \dot{Q} 는 실내기의 실내부하 열량이며, \dot{W}_c 는 히트펌프의 압축기에서 소요되는 전력이다.

전체 시스템의 성능계수는 다음의 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$COP_{cooling} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_{tot}} \quad (4)$$

여기서 \dot{W}_{tot} 는 총 에너지소모량으로 냉동기의 에너지소모량, 냉수 순환펌프의 에너지소모량, 항

온조 순환펌프의 에너지소모량, 및 급배기 팬의 에너지소모량을 의미한다.

Table 1은 본 연구에서 수행된 냉방운전 조건이다.

Table 1 Operating conditions.

변 수	운전조건		
	case 1	case 2	case 3
EWT(°C)	15	12	18
실내설정온도(°C)	23	23	23
냉수설정온도(°C)	8	8	8
급기설정온도(°C)	16	16	16

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 제어장치

실제 중앙 공조시스템과 항온조를 이용한 지열히트펌프 냉난방시스템을 구성한 후 실험을 통해 구성기기들의 동작특성 및 에너지 변화특성을 관찰하기 위하여 실험장치를 다음과 같이 구성하였다.

Fig. 1은 본 실험을 위해 구성한 중앙공조시스템의 제어 및 모니터링을 하기 위하여 구성한 모형실험장치의 모습을 나타낸 사진이다. 그림에서 보여지는 PC를 통하여 냉방시스템의 각 구성기기들의 제어와 각 부의 온도 및 전력량 등을 실시간으로 살펴볼 수 있도록 구성되어 있으며, 이때 사용한 PC는 Intel Pentium 4.이고 2.80Hz이다.

기계실 내에 위치한 설비들에 대한 사양으로 최대풍량 20CMM과 냉방능력 1000kcal/h의 AHU (air handling unit)이고, 표준풍량 20CMM, 최대정압 15mmAq의 송풍기 이며, 이송풍기는 급기와 배기 두 대가 설치되어 제어신호를 인버터를 통해 비례적으로 회전수를 제어하는 방식으로 사용되고 있다. 실내로 공급되는 공기온도 조절을 위하여 냉수코일로 공급되는 공기온도 조절을 위하여 냉수코일로 공급되는 냉수량을 조절해주는 3-Way 밸브이다. 3-Way 밸브를 통하여 바이패스(By-pass)된 냉수는 공조기로 들어가지 않고 다시 냉동기로 들어가게 된다.

Fig. 2는 기계실 외부에 설치되어 있는 지열히

트펌프의 냉동기와 항온조시스템(thermostat system)의 모습을 나타낸 사진이다. 히트펌프 용량은 냉방 7500kcal/h, 난방 9750kcal/h의 용량을 가지고 있으며, 압축기, 응축기, 증발기로 3HP로 구성하였고 팽창변은 3Ton, 1.5HP 순환펌프를 내장하고 있다. 항온조의 경우 지중열교환기의 출구 온도(EWT)를 변화를 줄 수 있는 장치로써 5HP의 용량을 가지고 있으며, 순환수의 냉각은 압축기를 통해서 이루어지고, 가열은 히터봉을 통해 전기적으로 온도를 올려주도록 되어 있으며, 히터봉은 15kW의 크기를 가지고 있다.

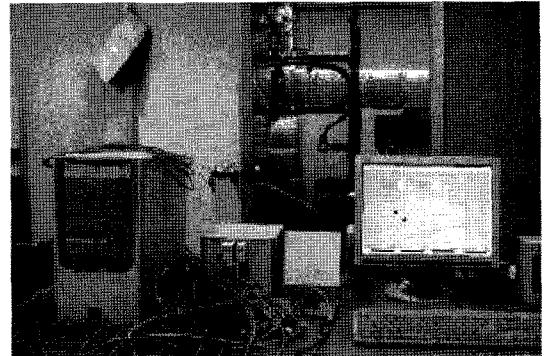


Fig. 1 Control and monitoring system of central HVAC system.

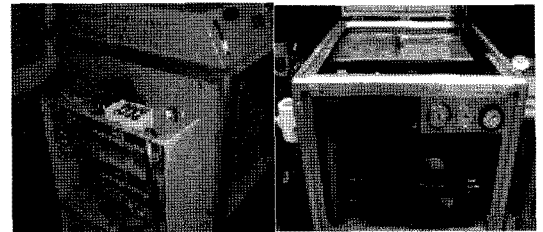


Fig. 2 Photo of Ground source heat pump system and thermostat system.

3.2 실험용 제어프로그램

본 연구에서는 앞서 설명한 모형실험장치를 통하여 냉방시스템의 적용실험을 위해 National Instrument사의 LabView v7.2를 사용하여 프로그램을 구성하였으며 PC에 장착되어진 보드를 통하여 아날로그 입출력 및 디지털 신호를 처리하여 프로그램을 통한 제어가 이루어지도록 하였다.

LabView는 아이콘을 이용하여 프로그램을 작성하는 프로그래밍 언어로서 요즘 많이 사용되고 있는 Visual C++, Visual Basic Boland C, Delphi 같은 언어들과 비교하여 User Interface뿐만 아니라 Source 코드 또한 그래픽한 환경으로 이루어져 있어 다루기 쉽고 PC를 이용하여 자동제어와 계측시스템을 구축할 때 빠른 프로그래밍이 가능한 최적의 언어이다.

이러한 LabView프로그램을 사용하여 실시간으로 실내공기온도, 외기온도, 급기온도, 냉수온도 등의 각 지점들의 데이터와 냉방시스템 각 구성기기들에서 출력되는 전력량 값, 급배기 팬 및 냉동기 압축기 들을 제어하기 위한 신호값 들을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

Fig. 3는 본 연구를 위하여 각 데이터의 모니터링 및 PID게인 튜닝 등의 입력값을 입력할 수 있도록 모델링한 프론트 패널의 모습을 나타낸 그림이며, Fig. 4은 실시간 제어의 구현 및 데이터 수집과 신호값들을 내보내기 위하여 LabView를 이용하여 프로그래밍한 블록다이어그램 모습을 나타낸 그림이다.

3.3 실험방법

본 연구에서는 총 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 실시간제어가 적용된 지열냉난방 시스템의 모형실험 장치를 구성 하였다. 또한 지중열원을 대신 할 항온조시스템을 이용하여 온도의 변화를 주어 EWT의 변화에 따른 에너지변화와 COP의 관계에 대해 실험을 통하여 살펴보았다.

실험방법을 간단히 설명하면 냉방시스템의 각 구성요소 들에서 측정되어지는 온도 및 전력량을 통하여 제어를 적용하고 이를 통해 계산되어진 최적냉수설정온도 및 급기온도를 제어하기 위하여 제어기에서 압축기 및 냉수순환펌프, 급배기 팬에 제어신호를 보내어 대상온도가 최적설정온도를 유지하도록 제어하게 된다.

최적급기온도의 경우 냉수코일 전에 설치된 3-Way 밸브의 개도를 PI제어하여 냉수순환량을 조절함으로써 급기온도가 최적 설정값에 유지될 수 있도록 하였으며, 최적냉수온도는 냉수설정온

도에 따라 압축기를 0.2℃의 차동값을 두어 On/Off제어하여 냉수입구온도가 일정하게 유지 되도록 하였다. 여기서 압축기의 차동값을 0.2℃ 설정한 것은 압축기가 Off 됐을 시 관내에 남아 있는 냉매로 인하여 냉수온도가 차이를 나타냄을 확인하였으며, 0.2℃이상으로 차동값을 주었을 경우 상하온도차가 커져 제어에 어려움이 따르기 때문이다.

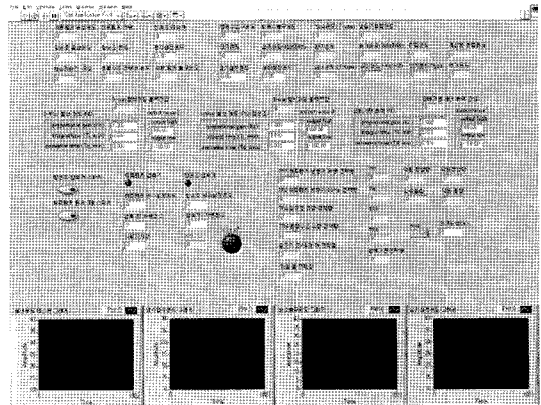


Fig. 3 Monitoring screen of LabView S/W.

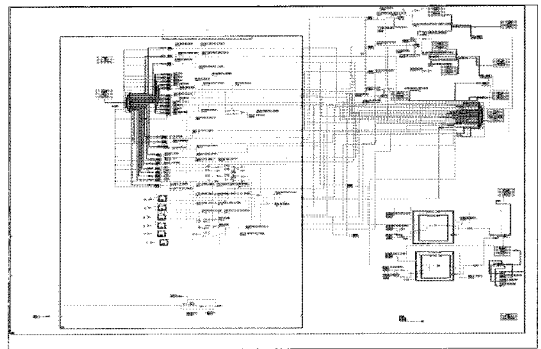


Fig. 4 LabView based program.

또한, 실내공기온도를 일정하게 유지하기 위하여 급배기 팬을 PI제어를 통하여 인버터로 풍량을 조절하였다.

이러한 시스템을 통하여 외기부하 변화에 따라 급기온도와 냉동기의 공급냉수온도의 설정값들의 변화에 대해 급기온도, 냉수온도 및 실내공기온도의 응답특성과 항온조시스템을 이용하여 EWT의 온도변화 따른 에너지 소비량의 변화특성을 비교 고찰 하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5은 실시간 제어에 따른 온도 변화를 나타낸 그림이다. 외기의 경우 최고온도는 32℃를 최저온도는 24℃를 나타내고 있다. 냉수설정온도는 평균 8.1℃운전하고 있음을 확인 할 수 있었다. 급기설정온도의 경우 외기의 영향으로 인하여 부분적으로 증가부분이 있으나 전반적으로 16℃를 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 증발기의 입·출구 온도를 나타낸 그래프이다. 그래프의 경우 운전시작 1시간 동안의 데이터를 표시한 내용이다. ΔT 의 경우 2 ~ 3℃변화를 나타내고 있음을 알 수 있다. 24시간의 ΔT 를 수집하여 온도변화에 따른 Q값을 선정하여 냉방부하를 계산하였다. Fig. 6은 증발기의 입·출구 온도는 나타낸 그래프이다. 그래프의 경우 운전시작 1시간 동안의 데이터를 표시한 내용이다. ΔT 의 경우 2 ~ 3℃변화를 나타내고 있음을 알 수 있다. 24시간의 ΔT 를 수집하여 온도변화에 따른 Q값을 선정하여 냉방부하를 계산하였다.

Fig. 7는 급·배기팬과 유량펌프 에너지, 급·배기팬의 제어출력신호를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 제어출력의 신호와 에너지량의 변화가 비례적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 또한 외기부하에 따라 부분적으로 증가하는 부분이 있으나 전반적으로 출력신호의 양호하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 순환유량펌프의 경우 정유량 펌프로서 에너지의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

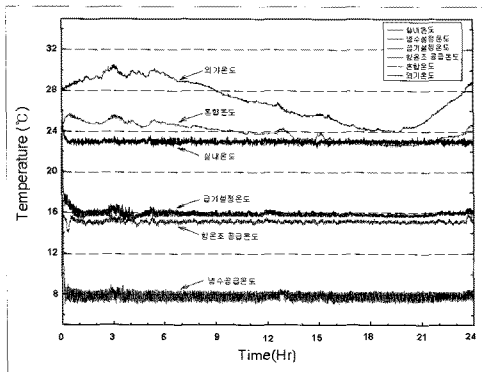


Fig. 5 The temperature control responses by real time control.

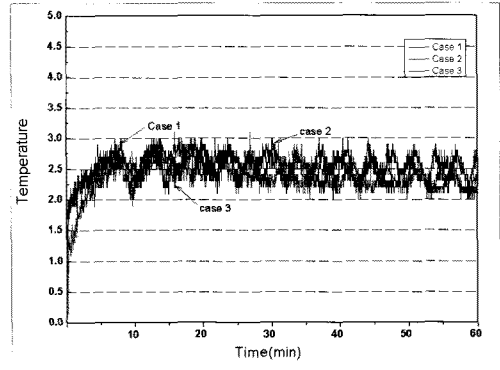


Fig. 6 In-out temperature differences of Evaporator.

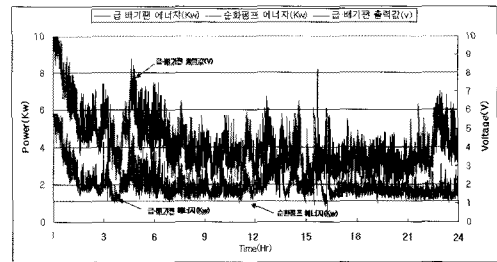


Fig. 7 Fan and pump energy variation with fan control signals.

Fig. 8, 9 그리고 Fig. 10은 각각 case별 압축기 On/Off 특성을 나타낸 그래프이다. 각 case별 운전 냉수설정온도 8℃를 만족시키기 위하여 다른 구간에 비해 운전초기 에너지의 소비가 많은 것을 확인 할 수 있었다. 또한 24시간 운전 중 압축기의 운전시간은 case 1의 경우는 7.1시간, case 2는 5.8시간, case의 경우 7.5시간을 운전 하고 있음을 확인할 수 있었다. 각 case의 인입온도 (EWT)의 변화에 따라 운전시간에 변화가 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 11는 case 1, case 2, 그리고 case 3의 24시간동안의 구성요소별 에너지와 총에너지 소모량을 나타낸 그래프이다. 그림에서 살펴보면 각 case별 EWT의 온도변화에 따른 운전특성으로 case 2의 압축기의 에너지소모량이 가장 적게 표시함을 알 수 있었다. 또한 정유량으로 제어되는 순환펌프를 제외하고는 에너지소모량은 급·배기팬의 전력량이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 각 case별 급·배기팬의 에너지의 외기 온도는 평균 27℃를 나타내었다. 그러나 부분적인 외기온도의 상승으로 인한 급·배기팬의 제어출력

변화로 인하여 팬 에너지의 증가를 보였고, 압축기의 경우 열교환기로 들어가는 인입온도인 EWT의 영향에 따라 에너지 변화량이 변화한다는 것을 알 수 있었다. case 1을 기준으로 운전한 압축기의 전력량은 case 2 경우 약 7.2%의 에너지 절감효과를 나타내고 있고, case 3의 경우 약 3%의 에너지 증가를 확인할 수 있었다. 급·배기팬의 경우 인입온도인 EWT의 영향보다는 외기 온도에 영향을 더 받는 것을 알 수 있었다. 급·배기팬 전력량의 경우 인버터 PI제어에 의하여 case 2 경우 약 10%감소를 보였고, case 3의 경우 7%의 증가를 확인할 수 있었다. 이는 인입온도인 EWT영향보다는 외기부하의 영향으로 인하여 나타난 결과라고 판단된다.

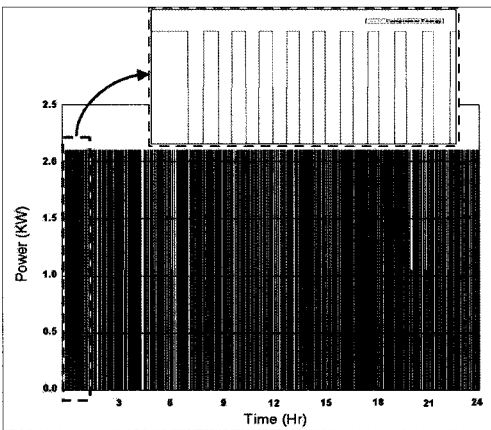


Fig. 8 Consumed power variation of compressor On/Off control for case 1.

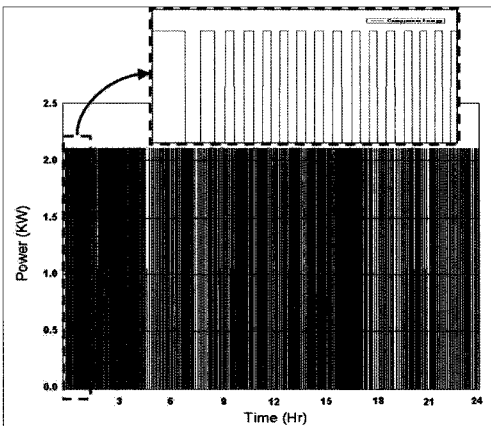


Fig.9 Consumed power variation of compressor On/Off control for case 2.

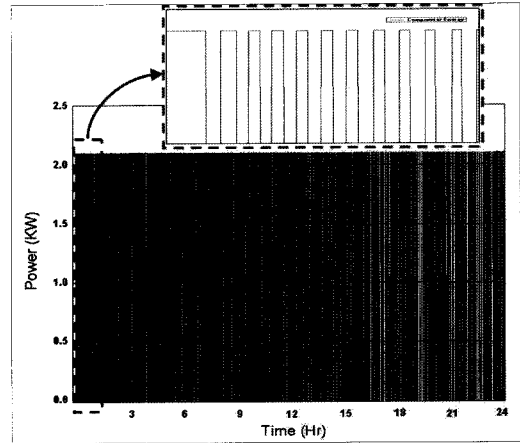


Fig. 10 Consumed power variation of compressor on/off control for case 3.

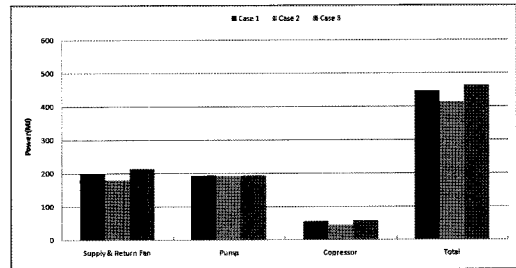


Fig. 11 Energy consumptions for each equipment with different EWTs

Fig. 12은 case 1, case 2, 그리고 case 3의 총 COP를 나타낸 그래프이다. case 1의 COP 3.0을 기준으로 case 2의 경우 3.2로 6.3%의 증가를 보이고, case 3의 경우 COP 2.8로 약 4.7%의 감소를 보인다. 외기부하와 EWT의 영향으로 각각의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

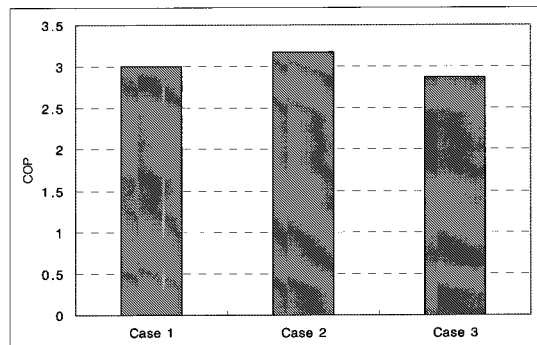


Fig. 12 Total COP of each case.

5. 결론

본 연구에서는 물-물 방식의 히트펌프시스템의 모형실험장치를 구성하고 이를 통하여 지열히트펌프의 인입온도(EWT)에 변화와 부하변동에 따른 지열히트펌프시스템의 냉방운전특성과 압축기, 급배기팬, 유량펌프 등에 대한 에너지변화특성을 고찰하였으며 실시간 제어알고리즘을 구현하여 실험 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 인입온도(EWT)에 변화를 주어 시스템을 운전한 결과 각각의 실험에서 압축기의 전력량은 인입온도(EWT)가 낮을수록 전력이 낮게 운전되고 있음을 알 수 있었다. 압축기의 경우 열교환기로 들어가는 인입온도인 EWT의 영향에 따라 에너지 변화량이 변화한다는 것을 알 수 있었다. case 1을 기준으로 운전한 압축기의 전력량은 case 2 경우 약 7.2%의 에너지 절감효과를 나타내고 있고, case 3의 경우 약 3%의 에너지 증가를 확인할 수 있었다.
- 2) 지열히트펌프시스템의 급·배기팬의 PI제어를 통하여 변풍량방식으로 운전한 결과 EWP의 온도변화에 따른 제어 출력값의 변화에 따라 급배기팬의 전력량의 경우 case 2 경우는 case 1의 경우에 비해 약 10%감소를 보였고, case 3의 경우 7%의 증가를 확인할 수 있었다. 이는 인입온도인 EWT영향보다는 외기부

하의 영향으로 인하여 나타난 결과라고 판단된다.

- 3) 성능지수에 있어서는 case 1의 경우인 COP 3.0을 기준으로 case 2의 경우 3.2로 6.3%의 증가를 보이고, case 3의 경우 COP 2.8로 약 4.7%의 감소를 보였으며, 외기부하와 EWT값의 크기가 성능지수에 커다란 영향 보이고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 안병천, 송재엽 “중앙냉방시스템의 실시간 준 최적제어 적용에 따른 실험적 연구”, 대한설비공학논문집, 20권, 5호, pp470-477, 2008.
2. 안병천, 송재엽 “중앙난방시스템의 실시간 준 최적제어기법 구현에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, pp.235-242, 2008.
3. Baek. S. J, Song. J. Y, Ahn. B. C, Ju. Y. D, Kim. J, “An Implementation for Near-Optimal Set Point Control for Central Cooling Systems”, Proceedings of the SAREK , Winter Annual Conference, pp.46-51, 2007.
4. 이병두, “사무시설에 수직형 냉·난방시스템의 경제성 고려한 인입온도(EWT)에 관한 연구”, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, pp.579-585, 2009.