

# 냉각탑을 이용한 축열식 히트펌프시스템의 성능측정에 관한 연구

이 상 훈<sup>†</sup>, 박 호 식<sup>\*</sup>, 한 우 용<sup>\*</sup>, 김 욱 중<sup>\*\*</sup>

(주)제이앤지 기술개발부, <sup>\*</sup>전주비전대학 신재생에너지과, <sup>\*\*</sup>한국기계연구원 에너지기계연구부

## A study on performance test of water heat storage type heat-pump system using cooling tower heat source

Sang-Hoon Lee<sup>†</sup>, Hyo-Sik Park, Woo-Yong Han, Uk-Jung Kim

**ABSTRACT:** Recent year, mean energy consumptions of a people are higher than other country. And international oil price became over 120 dollar. This energy environment as well as energy war. Maybe, the Meteorological Administration is going to enforce scorching heatwave special report system from that come summer. Besides, 2008 summer, maximum demand power is expected by 64,240,000kW. The electric power equipment reserve rate appeared in to keep 12.5% level. Chilled water storage system witch is one of electric load administration system. Heat pump system used cooling tower heat recovery is advantage that use is possible to summer in small a public bath building. In this paper, we suggest that heat pump system by heat recovery using cooling tower when it is heating operation of ambient air temperature. To apply cooling tower heat recovery heat pump to chilled water heat storage type and achieved performance evaluation about operation. As a result, performance of heat pump system that about 121% in cooling mode, 138% in heating mode higher than KEPCO standard. And heating operation possible to ambient air temperature about 23°C, which of appear cooling tower outlet temperature about 13°C.

**Key words:** Heatpump(열펌프), Cooling tower(냉각탑), Chilled water storage(수축열), Performance test(성능측정), Waste heat water(폐열수)

### 기 호 설 명

RLG : ratio of water to air flow  
 CRT : 냉각탑 상당 RT  
 Q : 열부하 [kcal/h]  
 q : 순환수량 [kg/h]

$C_h$  : 비열(=1.0 at water) [kcal/kg·°C]  
 $Rang$  : 입출구수온차 [°C]

### 1. 서 론

급격한 국제유류가격의 상승과 각국의 에너지 확보경쟁은 마치 에너지전쟁을 연상케 할 만큼 전 국민에게 에너지의 중요성을 직접 체감하게 만들고 있다. 올해 우리나라 국민 1인당 평균 에너지 소비량은 가히 선진국 수준을 능가하고 있

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-63-271-3202; fax: +82-63-271-3203  
 E-mail address: samoilsa@hanmail.net

다. 이와 같은 에너지소비 증가경향은 생활의 질적 향상과 더불어 전력소비량으로도 쉽게 판단할 수 있다.

2008년도 1/4분기 최대전력수요가 6,070만kW로서 전년 동일기간보다 4% 정도 증가된 수치<sup>(1)</sup>이다. 이러한 결과는 2008년도 예상 최대전력수요인 6,424만kW에 많이 근접해 있고, 수요관리후의 전력수요인 6,138만kW와 별 차이가 없는 수치이다.

전력설비 예비율을 12.5% 수준으로 목표하고 있는 가운데 120달러를 넘은 국제 유류가격은 생활경제를 무너트리려 하고 있다. 그래서 정부에서는 에너지절약시설의 축냉설비 적용 건물의 범위를 확대하여 발표하였다. 주로 에너지소비가 많은 중대형 건물의 설비형 축냉시스템의 보급에 중점을 맞추려는 의도로 보인다.

이 중 열에너지 소비가 많은 목욕장 및 숙박시설은 생활배수열이 많이 발생하기 때문에 지열원 열펌프(ground source heat pump)나 공기열원 열펌프(air source heat pump ; EHP)를 이용하는 수축열시스템(chilled water storage system)은 과도한 투자비가 필요하므로 적합하지 않다.

따라서 배수열을 이용하기 위해서 주로 폐열원 열펌프시스템을 설치하여 활용하는 것을 추천하고 있다. 폐열을 이용하는 설비는 이미 에너지이용합리화법에 의한 에너지절약시설로 분류되어 설치비용에 대해서 일부를 융자지원 받는 혜택이 주어지고 있다.

폐열을 이용하는 열펌프시스템은 운전 특성상 겨울철에는 온수생산을 목적으로 하기 때문에 건

물에서 발생하는 배수열이 많기 때문에 운전이 자유롭지만 여름철에는 온수생산과 냉수생산을 동시에 만족해야 하는데 특히, 여름철 목욕장에서는 온수생산에 필요한 열원을 확보할 수 없다는 특징이 있다.<sup>(2)</sup>

최근, 아열대지역(subtropical regions)에서 냉각탑을 가동하여 공기로부터 열을 취득한 후 열펌프시스템을 통해서 온수를 공급하는 설비에 대해 연구되었다.<sup>(3-4)</sup>

한편, 국내에서는 이러한 단점을 해결하기 위해서 Choi et al.<sup>(2)</sup>이 생활배수열을 이용한 축열식 히트펌프시스템의 실증연구를 통해서 대형 축열조를 이용하여 여름철 냉수생산을 만족하면서 동시에 온수생산이 가능한 히트펌프시스템 설계기법을 제시하였다. 또한 Cho et al.<sup>(5)</sup>은 숙박시설 및 의료시설에서는 축열식시스템이 에너지 밸런스 구현에 적합하고 경제성 확보에 탁월함을 연구하였고, Namgung et al.<sup>(6)</sup>은 변압기로부터 나오는 연속적인 배열을 이용하여 주거용 건물에 난방을 공급하는 폐열 히트펌프방식 축열시스템에 대해서 실증보급을 하였다.

그러나 대형 축열조를 구비할 수 없는 소형 목욕장 및 숙박시설에서는 여름철 냉온수 생산에 대한 열평형(heat balance)을 고려한 시스템 설계와 경제성 확보가 가능한 설비가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 열펌프로부터 냉수생산이 가능하도록 냉각탑을 선정하는 동시에 해당 냉각탑이 온수생산에 필요한 열원으로서 적합한지 검토하여 냉각탑을 열원으로 하는 축열식 히트펌프시스템을 구현하고, 이에 대한 운전성능을 측정하고

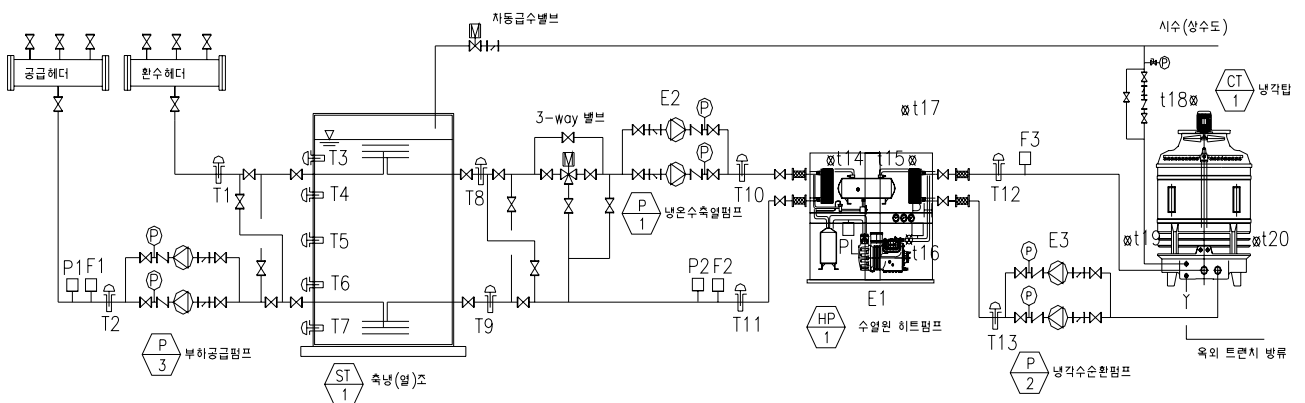


Fig. 1 Water heat storage system schematic diagram & measurement sensor establishment position.

Table 1 Measurement sensor contents.

\* Heat pump      \*\* Water storage tank      \*\*\* Discharge gas temperature

NO.	Sensor type	Position	NO.	Sensor type	Position	NO.	Sensor type	Position
T1	4wire RTD	Load→S/T(●)	T11	4wire RTD	H/P(●)→S/T	F1	Flow meter	S/T↔Load
T2	4wire RTD	S/T(●)→Load	T12	4wire RTD	H/P(●)→C/T	F2	Flow meter	H/P↔S/T
T3	4wire RTD	S/T Upper	T13	4wire RTD	C/T→H/P(●)	F3	Flow meter	H/P↔C/T
T4	4wire RTD	S/T Am Upper	t14	T/C	Condenser Saturation Temp.	P1	Preasure gauge	S/T↔Load
T5	4wire RTD	S/T Middle	t15	T/C	Evaporator Saturation Temp.	P2	Preasure gauge	H/P↔S/T
T6	4wire RTD	S/T Am Lower	t16	T/C	D/T***	PH	Preasure gauge	H/P Hight Pressure
T7	4wire RTD	S/T Lower	t17	T/C	Indoor Temp.	PL	Preasure gauge	H/P Lower Preasure
T8	4wire RTD	S/T(●)→H/P	t18	T/C	Blow out air Temp.	E1	Electric energy	H/P power Consumption
T9	4wire RTD	H/P→S/T(●)	t19	T/C	Inlet air Temp.(1)	E2	Electric energy	Circulation Pump power Consumption
T10	4wire RTD	S/T→H/P(●)	t20	T/C	Inlet air Temp.(2)	E3	Electric energy	Cooling water Pump power Consumption

평가하였다.

들어 저장되도록 상용프로그램인 Labview 프로그램으로 제작하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 냉각탑을 이용하는 수축열식 히트펌프시스템을 Fig. 1과 같이 구성하였으며, 한국전력공사에서 정한 축냉식 심야전력기기 기술규격에 따른 성능시험을 수행하기 위하여 Table 1의 측정센서들을 설치하였다.

배관내의 물 온도는 4선식 백금저항온도계를 사용하여 측정하였으며, 측정범위는 -300~500℃ 이고, 표준온도계와 항온조를 이용하여 4~60℃ 범위에서 최대오차 ±0.1℃ 정도로 교정하였다. 열펌프 냉매배관의 표면에는 3개의 열전대를 병렬(average method)로 설치하여 평균값을 측정하였으며, 사용한 열전쌍(thermocouple)은 Omega사에서 제작한 T-type 열전쌍으로서 ±0.1℃ 오차범위로 보정하였다. 압력은 Strain-gage type 압력변환계를 사용하였으며, 유량은 유량교정 전문업체에서 교정한 초음파식 유량계를 이용하여 측정하였다. 측정은 온도센서, 압력계 및 유량계로부터 나오는 저항, 전류, 전압신호를 데이터 기록기(data logger)로 입력받아 컴퓨터에 저장함으로써 이루어졌다. Table 1에 나타난 측정값들을 1분당 6회 저장하고, 매 24시간마다 새로운 파일을 만

### 2.2 열펌프 설계

본 연구의 성능측정 대상 시스템인 냉각탑열원 열펌프는 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 반폐 왕복동 압축기(semi-hermetic reciprocating compressor)와 냉매분배 장치가 장착된 브레이징 관형열교환기(brazed plate heat exchanger)를 메인부속(device)으로 사용하고, 냉각과 가열을 위한 냉매회로를 분리하기 위해 2개의 액관 제어용 솔

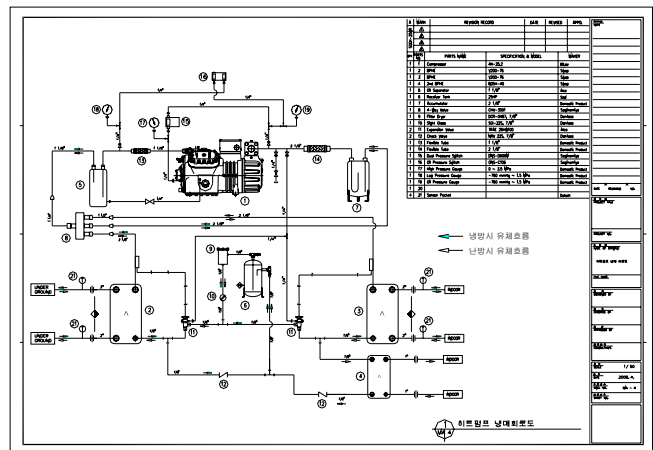


Fig. 2 Refrigerant flow diagram of cooling tower water source heat pump.

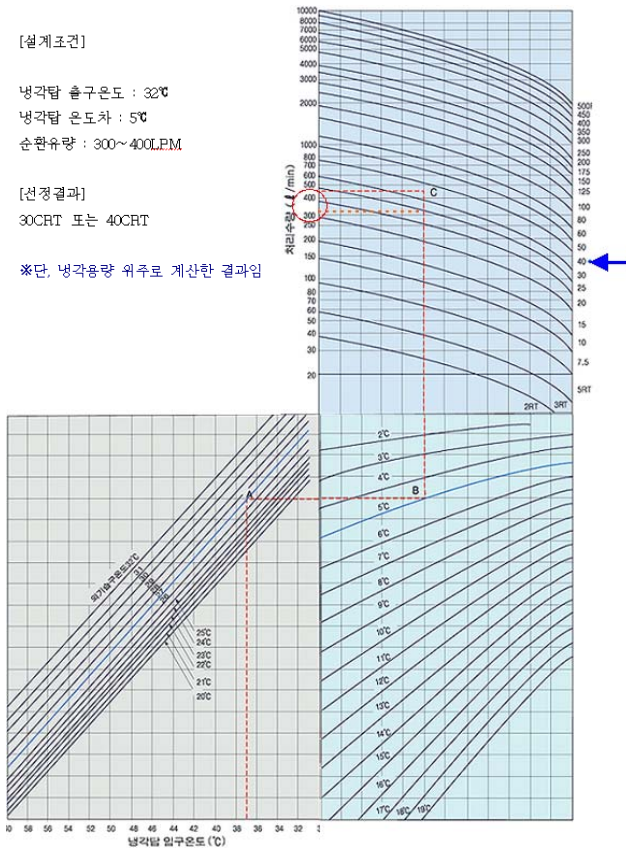


Fig. 3 Cooling tower selection.

레노이드밸브와 냉온수생산용 감온식 팽창밸브 (thermostatic expansion valve) 및 4방 밸브 (reversible valve) 등으로 회로를 구성하였다.

또한, 온수생산 시에 안정적인 과냉도(sub-cooling) 조정을 위해 응축기(condenser)와 수액기(receiver) 사이에 보조열교환기를 설치하였으며, 냉각탑 주변에 외기온도센서를 설치하여 냉

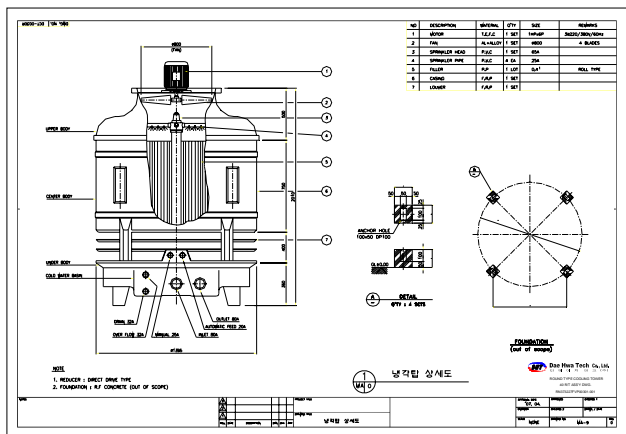


Fig. 4 Cooling tower drawing-model 40CRT.

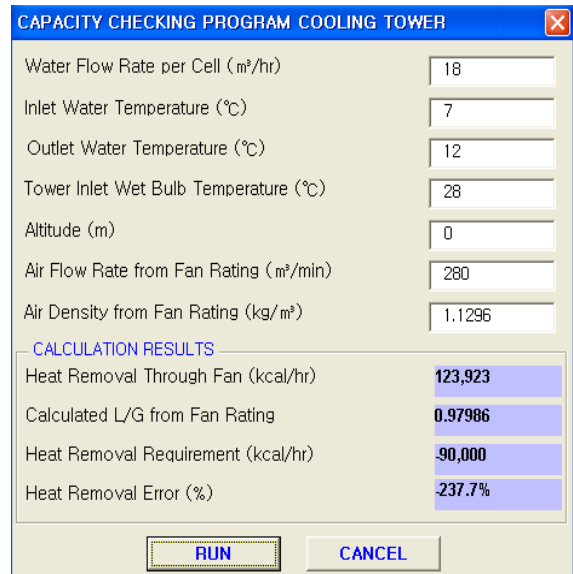


Fig. 5 Cooling tower checking program.

각탑을 통해서 공기로부터 열을 취득할 수 있는 시점을 판단하는데 이용하였다.

### 2.3 냉각탑 선정

본 연구 대상시스템인 냉각탑 이용 수축열식 히트펌프시스템의 냉각탑은 통상적인 냉동기시스템에서의 응축기용 설계방법과 동일하게 하였고, 냉각탑의 용량은 열부하의 크기에 따라 다음 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$Q = C_p \times q \times Rang \quad (1)$$

Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 응축열량 25 UsRT, 어프로치 5°C, 냉각탑 출구온도 32°C 기준, 외기습구온도를 27~28°C로 할 경우, 냉각수 유량이 18~24m³/h로 설계하여 냉각탑 용량을 30~40CRT로 결정된다.

이때, 냉각탑은 열취득(heat extraction)을 동시에 만족해야 하는데, 한국전력공사 기술규격에 의한 냉각탑열원 시 열펌프 입구온도는 12°C를 만족하기 위해서 Tan et al.<sup>(7-8)</sup>이 제시한 바를 인용하여 설계하였다. 수치계산에 따르면 RLG를 0.76이상, 외기건구온도 21.7°C 이상을 만족할 때 실제온도와 3% 오차 이내에서 가능하다고 하였고, Fig 5.에서 보는 것과 같이 40CRT 냉각탑은 RLG=0.97에서 열부하 90,000kcal/h를 얻을 수 있

음을 확인하였다.

## 2.4 실험방법

물을 열원으로 하는 열펌프의 성능측정은 KS C 9306 (ISO 13256-1,2)의 표준규격을 따른다. 그러나, 본 연구의 실험 대상은 한국전력공사의 축냉식 심야전력기기 기술규격에 나타난 냉각탑 이용 수축열식 히트펌프시스템의 인정시험 조건에 따른 성능시험 방법을 적용하였다. 축냉(열)조의 크기는 담수용적 50톤이며, 10시간 이내의 축열운전과 8시간 이내의 방열운전을 기준으로 한다. 냉방시험조건은 냉각탑방식의 냉동기 시험조건과 같이 응축기 입구온도 32℃를 만족해야 하며, 난방시험조건은 증발기 입구온도를 12℃로 유지해야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 본 연구에서는 냉각탑 주위에 외부공기와 내부공기를 혼합하고, 온도조절을 위한 가온시설을 구비한 챔버(chamber)를 설치하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 운전 안정성

Fig. 6.은 본 연구에서 설계한 냉각탑열원 열펌프시스템의 난방 축열운전 시 냉각탑 입.출구온도, 주변외기온도 및 총소비동력 변화를 나타내었다. 외기온도가 21~23℃근처에서 냉각탑순환수유량 310LPM이고, 송풍량 280CMM 일 때, 냉각탑에서 열교환된 물의 온도가 11~13℃로 증가됨을 알 수 있다. 이때, 순환펌프 및 열펌프의 총소비동력 변화는 안정된 운전형태를 보여주고 있다.

본 연구에서 냉각탑을 통한 열량취득결과는 냉각탑 출구온도 값을 가지고 Tan et al.<sup>(7-8)</sup>이 제시한 결과와 비교하면, 순환수유량이 267LPM 일 때, 외기온도 23.5℃에서 18.39℃를 얻은 반면, 본 연구에서는 그보다 29.3% 낮은 13℃를 나타내었다. 이는 본 연구에서 사용한 직교류 대향형 개방형식의 원형냉각탑 열교환계절인 폴리프로필렌 필름의 총열전달계수 값이 현저히 떨어지기 때문으로 여겨진다.

### 3.2 총괄에너지이용효율 측정

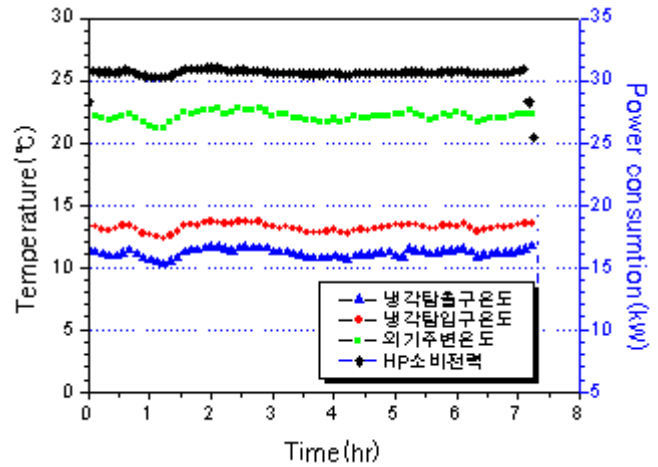


Fig. 6 Heating operation with cooling tower heat extraction.

Fig. 7은 냉각탑을 이용하여 열펌프의 응축열을 버리거나 증발열을 취득하여 냉방운전 및 난방운전을 시간당 생산열량(Charge rate)과 누적 생산열량(Accumulated)을 나타낸 것이다. 온수 축열운전은 약 8시간 정도 소요되었고, 방열운전은 순간최대부하 방열운전 약 1시간 30분을 포함하여 전체 7시간 정도가 소요되었다. 약간의 열량 변화는 있었으나, 운전 초반부터 후반까지 균일한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 자료는 설정조건하에서 연속 5회에 걸쳐 측정된 자료 중 대표적인 것을 나타낸 것이다. 전체 실험결과를 Table 2에 나타내었다. 성능측정결과, 총괄에너지이용효율은 한국전력공사의 1,580을 기준으로 할 때, 냉방운전은 1,964이었고, 난방운전은 2,197을 나타내었다.

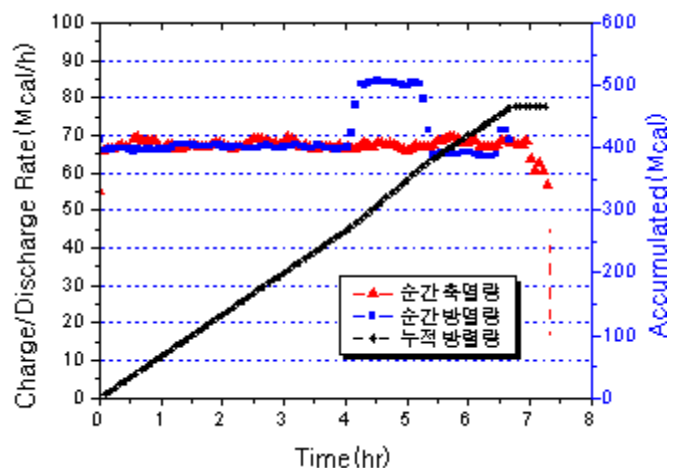


Fig. 7 Charge/discharge rate and accumulation on heating mode.

Table 2 Performance test result.

구분	내용	설계치	시험결과(평균)	비고	
냉방운전	전력량	총소비전력(kWh)	-	257.5	응축기입구 냉각수온도 32℃
	축냉량	RTH	156.0	167.3	
	방냉량	RTH	148.2	164.9	
	총괄에너지이용효율	기준치(kcal/kWh)	1,580	1,964	
난방운전	전력량	총소비전력(kWh)	-	235.6	증발기입구 냉각수온도 12℃
	축냉량	RTH	156.0	171.1	
	방냉량	RTH	149.2	162.4	
	총괄에너지이용효율	기준치(kcal/kWh)	1,580	2,197	

#### 4. 결론

(주)제이엔지에서 한국전력공사의 축냉식 심야 전력기기 기술규격에 따라 냉각탑 이용 수축열식 열펌프시스템을 냉방 및 난방성능을 측정 한 결과, 냉각탑을 열원으로 하는 열펌프시스템은 냉각탑 주변 외기온도가 23℃ 근처에서 개방형 냉각탑을 사용할 때 가능하였으며, 총괄에너지이용효율이 기준 값에 대하여 냉방운전 시 121%, 난방운전 시 138% 높게 나타났다.

향후, 장기적인 실증시험을 통해 냉각탑을 열원으로 사용할 경우에 냉.난방용 열펌프시스템의 안정성 여부를 평가해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- Energy demand forecasting, ISSN 1599-9009, No. 9, 2007.
- Choi, B. Y., Lee, K. H. and Joo, Y. J., 1998, Cooling and water heating system for energy saving by using daily waste water heat, Spring Conference Proce. of the KOSEE, pp. 111-116.
- Kunxiong, T., Shiming, D. and Chaoyang, L., 1999, An Introduction of a New Heat Pump System Used in Subtropics: Using a Cooling Tower to Extract Heat from Ambient Air as Heat Sources, International Energy Agency Heat Pump Conference 6TH, pp. 64-69.
- Tan, K. X. and Deng, S. M., Desuperheater Heat Recovery Hot Water Heating Systems in Subtropics: Using Water Cooling Towers to Extract Heat from Ambient Air as Heat Source, 2001, ASHRAE Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Vol. 7, No. 2, pp. 608-612.
- Choi, Y. D., Han, S. H., Cho, S. H., Kim, J. S. and Um, C. J., 2006, Study on the simulation of heat pump heating and cooling system to resident building, Conference Proce. of the SAREK, No.6, pp. 915-920.
- Namgung, D., Ahn, J. S., Kim, J. G. and Han, S. O., 2005, Application of substitute cooling system on a residential multi transformer substation, The electrical works, Vol.22, No. 9, pp. 34-38.
- Tan, K. and Deng, S., 2002, A method for evaluating the heat and mass transfer characteristics in a reversibly used water cooling tower(RUWCT) for heat recovery, International Journal of Refrigeration, Vol. 25, No. 5, pp. 552-561.
- Tan, K. and Deng, S., 2002, A simulation study on a water chiller complete with a desuperheater and a reversibly used water cooling tower(RUWCT) for service hot water generation., Building and Environment, Vol. 37, No. 7, pp. 741-751.