

히트파이프를 이용한 축열식 냉·난방 시스템에 관한 연구

김 성 실, 함 성 철, 이 양 호, 최 병 윤†

HP 시스템 테크(주)

A Study of Storage Type Cooling and Heating System by Heat Pipe

Seong-Sil Kim, Seong-Chol Harm, Yang-Ho Lee, Byoung-Youn Choi†

ABSTRACT: The heat pump system is attractive alternatives to conventional heating and cooling systems owing to their higher energy utilization efficiency. The thermal loads of commercial and institutional buildings are generally cooling-dominated.

In this study have been developed ice storage type heat pump system for cooling and heating by heat pipe. This system was practiced performance test on evaluation criteria for heat storage systems. Accomplished the actual proof examination and looked into the performance of the system. In this study, measurement and analysis of ice storage type heat pump system for cooling and heating by heat pipe. The heat pump unit COP appears 3.05 for cooling and 4.20 for heating. As a result, the method to energy saving and to using a substitute energy actively that is heat pump cooling & heating system is expected by heat pipe. Thermal storage capacity appears 19.5RTH/m³ for cooling.

Key words: Heat pipe(열관), Measurement(측정), Heat pump(열펌프), Heat storage system(축열 시스템), Heating and cooling system(냉·난방시스템)

1. 서론

전력은 현대사회의 산업생산에서부터 소비에 이르는 경제활동은 물론 사회·문화생활에 있어서 필수적인 존재이다. 특히 최근 지구온난화 등에 따른 외기 평균 온도의 상승, 컴퓨터 등 사무용 가전기기의 사용 증가, 생활수준 향상과 쾌적성 추구로 인한 하절기 주간의 냉방용 전력수요가 최고의 첨두부하를 구성하는 주된 요인으로 나타나고 있다. 따라서 급증하는 전력수요를 만족시키기 위하여 발전소 건설을 통한 전력공급 능력

을 키워 왔으나, 이 역시 전원입지 확보난 가중과 막대한 발전소 건설 투자비 그리고 환경규제 강화 등으로 인하여 공급설비의 적기확보가 갈수록 어려워지고 있는 실정이다.

이에 따라 한국전력공사에서는 사실상 저장이 어려운 전기에너지를 효과적으로 활용하기 위하여 주간 피크부하를 심야로 전이하는 전력수요평준화를 통하여 전원설비 투자규모를 축소하고, 전력설비를 효율적으로 운용하기 위한 수요관리 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 수요관리를 위한 정책 가운데 가장 이상적인 기법으로 심야전력을 사용하는 축열기기의 확대 보급을 들 수 있다. 즉, 주간의 첨두부하를 심야 시간대로 전이하여 부하평준화를 이룰 수 있는 시스템을 개발하여 활용하는

†Corresponding author

Tel.: +82-2-579-1665 ; Fax: +82-2-579-1663

E-mail address: bychoi@hpsystemtech.co.kr

것이다.

축열시스템 가운데 히트펌프를 이용하는 것은 피크전력 감소 등 전력운용측면 외에도 에너지 절감효과를 동시에 기대할 수 있다. 축열시스템의 열제조기로 히트펌프를 이용하면 하나의 기기로 냉방과 난방을 동시에 할 수 있으며, 히트펌프의 열원으로 지열이나 폐열 등을 이용할 수 있으므로 기기의 효율의 향상 뿐만 아니라 전기에너지의 소비를 크게 절감할 수 있는 효과를 볼 수 있다. 또한 상대적으로 가격이 저렴한 심야전력을 이용하기 위해서 축열식을 선택할 경우, 축열조는 냉방시 열을 저장하기 위한 빙축열조로 설계하고, 난방시에는 온열을 저장하여 난방에 사용할 수 있도록 하는 히트파이프를 이용한 빙축열식 방식을 사용할 경우 냉난방시스템의 효율의 향상을 꾀할 수 있다.

본 연구에서는 심야전력을 이용하여 히트펌프를 가동하여 축열조에 열을 저장할 수 있도록 하여 건물의 냉난방 수요에 적극적으로 대응할 수 있으며, 축열조에 히트파이프를 이용하여 축열성능을 향상시킬 수 있는 시스템을 개발하고 그 효과를 분석하고자 한다. 본 연구에서 개발한 시스템은 열전달성능이 우수한 히트파이프를 통해서 얻는 유익-부하대응성을 확보할 수 있다는 장점이 있으며, 직팽식 제빙방식에서는 어려운 난방 온수축열이 가능하게 할 수 있다. 한편, 이러한 히트파이프 응용기술은 이미 선진국에서 활발히 연구되고 있는 분야 중에 하나이기 때문에 히트펌프 응용기술에 히트파이프 응용기술을 접목시키면 외국과의 기술 경쟁력 및 시장 경쟁력 확보가 쉬워질 것으로 판단되며, 건물의 냉난방 설비 공급사업에서 그 시장성이 높을 것으로 예상된다.

2. 히트파이프이용 빙축열 히트펌프 시스템의 개요

히트파이프(heat pipe)는 대한기계학회편 기계용어집에 기록하기 전에는 ‘열파이프’ 또는 ‘열관(熱管)’이라고도 불리었다.

히트파이프는 내부의 밀폐공간에서 순환하는 작동유체가 연속적으로 액체-증기간의 상변화를 수행할 때 동반하는 잠열(潛熱)을 이용하여 열을 이동시킴으로써 단일 상(phase)의 작동유체를 이용하는 통상적인 열전달 기기에 비해 매우 큰 열전

달 성능을 발휘한다. 히트파이프는 외벽의 재료 및 작동유체의 종류, 모세관 구조물의 종류, 액체의 귀환(return)방법, 내부의 기하학적 형태, 작동온도 등에 따라 다양하게 분류될 수 있다.

일반적으로 히트파이프의 내부 구조는 모세관 구조물을 내벽에 설치하여 응축부의 액체상태의 작동유체를 증발부로 펌핑(pumping)하도록 하고 있으나, 전력반도체와 같이 대량의 열을 이송하는 경우는 모세관 구조물을 제거하고 중력에 의하여 증발부로 귀환하도록 하는 워(wick)이 없는 히트파이프를 사용하는 예도 있다. 본 연구에서는 파이프 내부에 워이 없는 히트파이프를 이용하였다.

본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 빙축열 시스템에서 열원기기로 일반적으로 사용하고 있는 냉동기 대신에 히트펌프를 사용하고 냉매 절환을 보조해 주는 장치를 추가하여, 냉방시에는 열을 열려서 사용하고 난방시에는 온수를 덮혀서 사용함으로써 하나의 축열조로써 냉방과 난방을 동시에 할 수 있는 시스템이다. 또한 축열조의 축열 성능을 향상시키기 위하여 축열조 내에 히트파이프를 설치하여 히트파이프를 통한 제빙 및 축열 성능을 향상시킬 수 있도록 개발하였다.

시스템은 저온의 기체를 압축시키는 압축기, 고온부 열교환기인 응축기, 응축기에서 나온 냉매의 압력을 낮추어주는 팽창밸브, 그리고 저온부 열교환기인 증발기로 이루어진 히트펌프 유니트와 공기 열교환기 및 냉.온열을 저장할 수 있는 축열조, 냉온수 순환펌프 등으로 이루어져 있다. Fig.1은 본 연구의 시스템 개념도를 나타내었다.

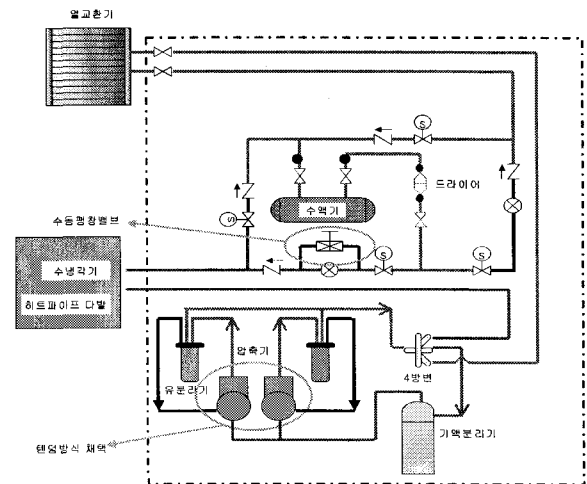


Fig. 1 히트펌프 유니트의 구성

Table. 1 히트파이프 이용 빙축열식 히트펌프시스템의 특징

구분 항목	기존 시스템(관외작빙형)	히트파이프 제빙형
장점	<ul style="list-style-type: none"> 빙축열시스템으로 냉방 전용 동관, PE파이프 등 선택적으로 사용 장치의 구성이 비교적 간단하고, 유지관리가 용이 압축기의 부하변동이 적다(단일모드 냉동기 사용) 방빙 시 열교환기 불필요(냉수직접순환방식인 경우만 해당) 	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방(빙축열/수축열)이 가능 하계에 급탕공급이 가능 구성은 기존방식과 유사 축열조 내부가 간단하고, 고장요인이 적음 히트파이프(구리, STS제질)에 의한 제빙으로 얼음 형성이 균일 해빙 후 제빙이 빠르므로 부하대응이 빠름 제빙/가열 대상이 물로 한정되므로, 추가적인 열교환장치 불필요
단점	<ul style="list-style-type: none"> 생성되는 얼음의 단열현상으로 열전달 효율이 저하 입출구의 온도차로 인하여 얼음 형성이 불균일 과냉된 얼음형성으로 열 효율이 낮음 불완전한 해빙 후 제빙할 경우 열전달 효율 저하 해빙 시 에어펌프 필요 축열조 내부가 복잡하고 축열조 용량이 커짐 	<ul style="list-style-type: none"> 생성되는 얼음의 단열현상으로 열전달 효율이 저하 제빙/가열을 위한 히트펌프가 필요 히트파이프와 냉매관의 사이의 브레이징 접합이 필요 해빙 시 에어펌프 사용이 선택적으로 가능 시스템이 복잡하고, 제어장치가 많이 소요

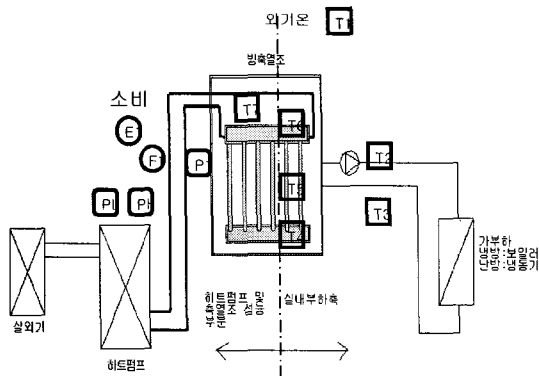


Fig. 2 Location of thermo sensor and pressure gage

Table 2. 센서 설치 위치에 따른 측정값

구분	위 치	구분	위 치
T1	외기온도	P1	축열조-히트펌프압력
T2	히트펌프(축열조)입구온도	PL	히트펌프 고압
T3	히트펌프(축열조)출구온도	PH	히트펌프 저압
T4	축열조 하부 온도	F1	축열조-히트펌프 유량
T5	축열조 중앙부 온도	E1	압축기 소비 전력
T6	축열조 상부 온도		
T7	축열조 상부 공기온도		

본 연구에서는 직접 설계 및 제작한 유니트를 적용하였으며, 축열조와 유니트를 2단으로 분리할 수 있도록 하기 위해서 유니트 내부에 냉온수 열교환기를 장착하였다.

성능실험을 위해서는 실내측의 가상부하용으로 보일러와 냉동기를 장착하였다. 냉방실험을 위해서는 보일러를, 난방실험을 위해서는 냉각탑을 가상부하로 사용하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 히트파이프 이용 빙축열식 히트펌프시스템은 기존의 빙축열시스템과 비교하여 다음 Table 1과 같은 특징을 가지고 있다.

3. 시스템의 구성 및 성능 측정 방법

본 연구에서 개발한 시스템의 성능은 한국전력 공사의 축냉식 냉방 심야전력 기기 인정기준을 참고로 하여 이에 준하여 측정하였다.

실험은 실제 건물을 대상으로 하는 것이 바람직한 것이지만, 기기의 성능의 분석을 위한 시험이므로 건물측의 부하는 가상부하를 이용하여 시험하였다. 가상부하는 냉방부하의 경우 보일러를, 난방부하의 경우 냉각탑을 이용하였다.

각 구성부품의 입 출구에 온도 센서를 부착하여 온도변화를 측정하였다. 또한 축열조의 하부, 상부, 중부 그리고 최상부 공기층에 온도 센서를 부착하여 온도의 변화를 측정하였는데, 이는 시간에 따라 축열조 내 온도 성층화 현상을 파악하기 위함이다. 시스템의 성능 측정은 제빙과 방열모드, 온수 축열과 방열 모드로 나누어서 수행하였다. 성능시험은 각각의 모드에서 3회씩 연속으로 수행하였다.

제빙모드는 심야전력을 이용하여 히트펌프를 가동하며 축열조에 얼음을 얼리는 과정으로 제빙 시간은 심야전력 이용시간인 밤 10시부터 다음날 오전 8시를 기준으로 제빙하였다. 제빙 후 주간 시간을 이용하여 가부하인 보일러를 이용하여 부하측에 냉열을 방열하는 실험을 수행하였다.

온수축열모드는 제빙모드와 마찬가지로 심야전력을 이용하여 히트펌프를 가동하여 축열조에 온수를 만들어서 축열하는 과정이다. 온수를 만드는 시간은 심야전력 이용시간인 밤 10시 이후로 하였다. 온수를 축열한 이후에는 가부하인 냉각탑을 이용하여 부하측에 온열을 방열하는 실험을 수행하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 한국전력공사의 축냉성비 실험 시험 기준에 준하여 성능시험을 수행하였으며 성능시험의 결과를 다음 Table 3과 Table 4에 정리하여 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 제빙 시 COP의 평균은 3.05로 나타났으며, 온수 축열 시 COP의 평균은 4.20으로 나타났다.

본 성능실험은 4월 15일부터 4월 29까지 수행되었는데, 이 기간동안의 외기온도가 15℃ ~ 22℃로 히트펌프의 성능 시험시 표준 외기 조건에 비하여 상당히 높게 나타났다. 따라서 히트펌프의 성능을 표준 상태일 때를 가정하여 보정할 필요가 있다. Table 5와 Table 6은 이와 같은 점을 고려하여 히트펌프의 냉방과 난방 실험을 위한 표준상태를 가정하여 보정하여 나타난 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 제빙시 COP 평균은 2.63으로, 온수축열시 COP평균은 3.62로 나타났다.

본 시스템의 축열밀도(RTH/m³) 시험에 따라 각각 18.4, 18.1, 22.0으로 평균값은 19.6으로 나타났다. 이와 같은 결과는 한국전력공사가 제안하는 빙축열식 시스템의 기준치인 13.0(RTH/m³) 이상을 초과하는 것으로 본 연구에서 개발한 시스템의 우수함을 확인할 수 있었다. 본 연구는 RTH를 150을 목표로 수행하였는 바, 제빙성능을 기준으로 194.7를 나타내어 본 연구의 목표치를 달성하였다. 이와 같은 결과로 축열시스템내에 히트파이프를 이용한 시스템의 실용화 가능성을 확인할 수 있었다.

4.1 제빙운전 결과

제빙운전은 2006년 4월 20일부터 4월 22일까지 3일간에 걸쳐서 수행하였다. Fig. 3은 제빙운전기간 3일중 하루 동안의 제빙운전과 방열운전 시 축열조 내의 평균온도의 변화와 히트펌프의 소비 전력의 변화를 나타내었다.

Fig. 3에서와 같이, 축열운전이 진행되어 히트펌프가 운전되면서 축열조 내부의 물의 평균온도가 점차 낮아지고, 방열운전이 진행되면서 평균온도가 다시 상승하는 것을 알 수 있었다. 방열운전은 제빙운전이 종료된 후 개시하여 부하측으로 공급되는 냉수의 온도가 15℃에 도달할 때까지 가부하측의 보일러를 지속적으로 운전하였다.

Table 3 시스템 성능 시험결과 - 제빙실험

	제빙실험		
	4월20일	4월21일	4월22일
COP	2.83	2.64	3.67
사용전력[kW]	159.72	168.47	147.36
방열량[kcal]	389,348.21	382,553.93	464,823.74
축열밀도(RTH/m ³)	18.4	18.1	22.0
RTH	183.9	180.7	219.5
빙층진율[%]	68.5	67.3	82.1
축열이용율(%)	-	-	-
총괄에너지이용효율	2,437.7	2,270.7	3,154.3

Table 4 시스템 성능 시험 결과 - 온수축열실험

	온수축열실험		
	4월25일	4월26일	4월27일
COP	4.61	3.46	4.52
사용전력[kW]	43.61	54.86	49.03
방열량[kcal]	172,848.62	163,204.76	190,749.81
축열밀도(RTH/m ³)	4.6	4.2	6.3
RTH	54.8	50.5	75.7
빙층진율[%]	-	-	-
축열이용율(%)	138.2	127.3	190.7
총괄에너지이용효율	3,963.4	2,974.9	3,890.6

Table 5 표준상태의 시스템 성능 - 제빙실험

표준상태로 보정한 값	제빙실험		
	4월20일	4월21일	4월22일
COP	2.44	2.28	3.16
사용전력[kW]	185.28	195.43	170.94
방열량[kcal]	389,348.21	382,553.93	464,823.74
축열밀도(RTH/m ³)	18.39	18.07	21.96
RTH	183.9	180.7	219.5
빙층진율[%]	68.53	67.32	82.06
축열이용율(%)	-	-	-
총괄에너지이용효율	2,437.66	2,270.72	3,154.32

Table 6 표준상태의 시스템 성능 - 온수축열실험

표준상태로 보정한 값	온수축열실험		
	4월25일	4월26일	4월27일
COP	3.97	2.98	3.90
사용전력[kW]	50.59	63.64	56.87
방열량[kcal]	172,848.62	163,204.76	190,749.81
축열밀도(RTH/m ³)	4.57	4.21	6.31
RTH	54.83	50.50	75.69
빙층진율[%]	-	-	-
축열이용율(%)	138.16	127.27	190.75
총괄에너지이용효율	3,963.41	2,974.87	3,890.65

Fig. 4는 축열조 내의 하부, 중부, 하부의 온도 변화를 나타내었다. 축열조 내의 3부분 즉, 하부, 중부, 상부에 온도센서를 두고 온도를 측정한 것은 시스템의 운전중에 축열조 내의 온도 성층화 현상을 파악하기 위함이었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 축열조 내에서는 히트펌프의 운전에 따라 온도성층화가 나타나고 있는 것을 알 수 있었다. 축열조 내의 온도 성층화 현상은 축열조 내의 열을 사용함에 있어서 중요한 요소이다. 온도 성층화가 분명히 나타나는 것은 건물의 부하에 따라 축열조 내의 열의 사용을 효과적으로 할 수 있음을 나타낸다.

Fig. 5는 제빙기간동안 사용된 전력량과 시간별 누적치를 나타내었다. 이는 시스템의 주요 기기인 히트펌프의 성능계수를 파악하기 위한 것이다.

4.2 온수축열운전 결과

온수축열운전은 2006년 4월 27일부터 4월 29일까지 3일간에 걸쳐서 수행하였다. 온수축열운전에 대한 성능시험도 각각 연속적으로 3회씩 수행하였다.

Fig. 6은 온수축열운전과 방열운전시 축열조 내의 평균온도변화와 히트펌프 소비전력의 변화를 나타내었다. 온수축열모드에서 방열운전의 종료는 축열조 하단부에서 부하측으로 공급되는 온수의 온도가 40℃에 도달할 때까지로 하였다. 이 온도의 온수는 바다난방의 열원으로써는 낮은 값이나, 공기난방을 하는 경우는 난방이 가능한 온도이다. 축열조 내 온도 성층화가 어느 정도 이루어지는지를 확인하기 위하여, 축열조 내 중 방향 세 위치에서의 물의 온도변화를 측정하였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 각 위치에서의 물 온도가 축열 및 방열 과정을 거치면서 성층화가 일어나는 것을 알 수 있었다. 온수축열 실험 결과, 축열조내에 온도 성층화가 나타남으로 축열조의 유효한 이용이 가능할 것으로 생각한다.

Fig. 8은 온수축열시간동안 사용된 전력량과 시간별 누적치를 나타내었다. 이는 시스템의 주요 기기인 히트펌프의 성능계수의 계산과 전체 시스템의 축열이용율을 파악하기 위한 것이다.

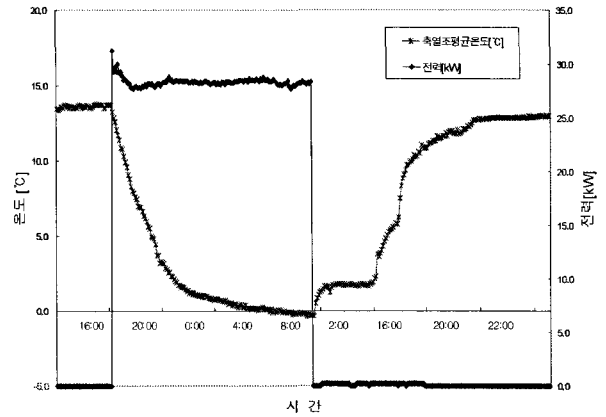


Fig. 3 제빙운전과 방열운전시 축열조 내의 평균온도와 히트펌프의 소비전력의 변화

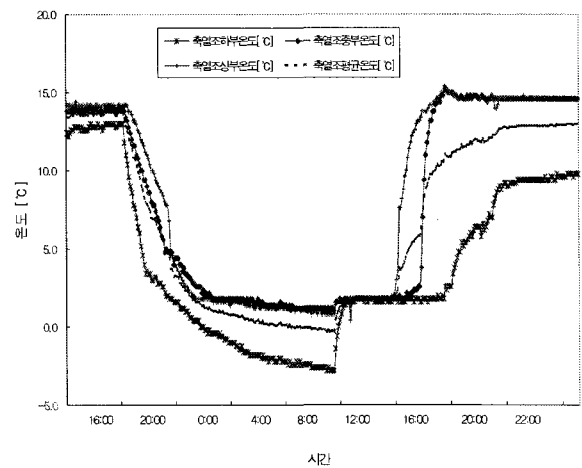


Fig. 4 제빙운전과 방열운전시 축열조 내의 온도 변화

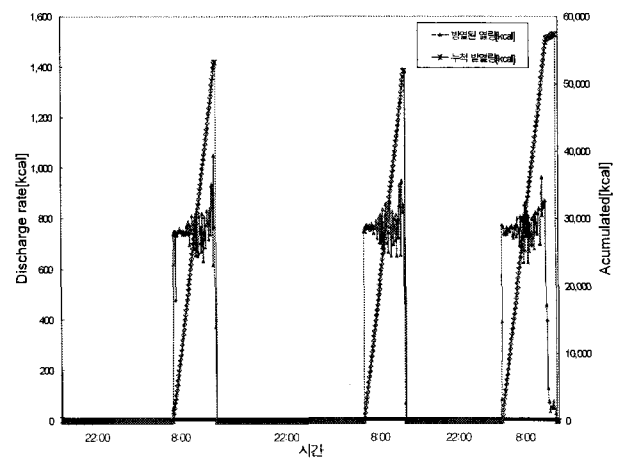


Fig. 5 제빙운전과 방열운전시 3일간 순간전력과 전력의 적산치의 변화

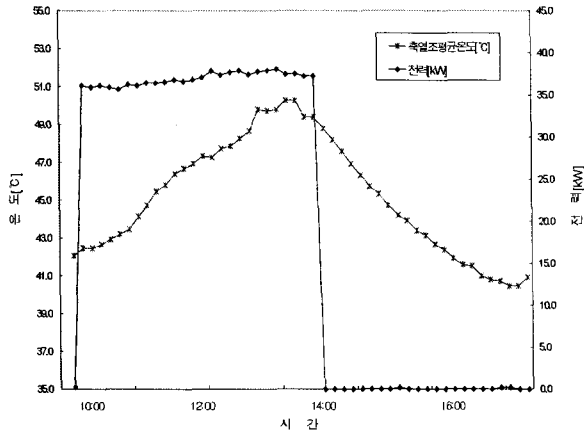


Fig. 6 온수축열운전과 방열운전시 축열조 내의 평균온도와 히트펌프의 소비전력의 변화

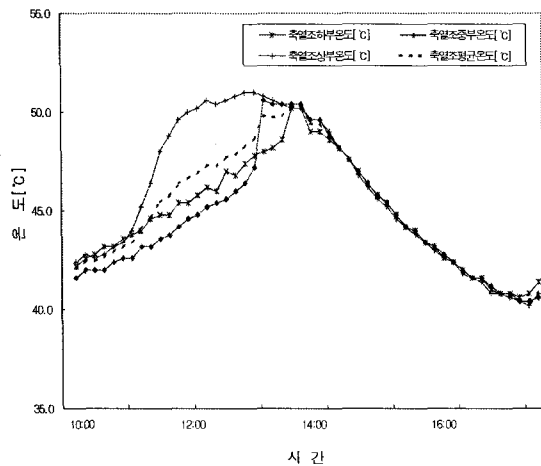


Fig. 7 온수축열운전과 방열운전시 축열조 내의 온도 변화

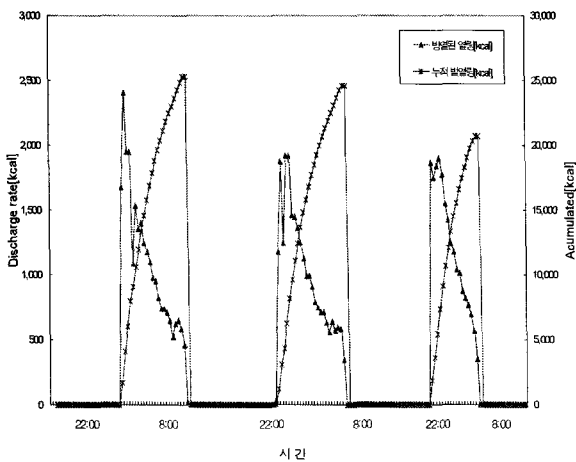


Fig. 8 제빙운전과 방열운전시 3일간 순간전력과 전력의 적산치의 변화

5. 결론

본 연구는 히트파이프 응용기술을 히트펌프 기술에 접목시킨 빙축열식 냉난방시스템을 개발하고자 수행되었다.

본 연구에서는 한국전력공사의 축냉설비 실증시험 기준에 준하여 성능시험을 수행하였으며 성능시험의 결과, 제빙시 COP의 평균은 3.05로 나타났다. 온수 축열시 COP의 평균은 4.20으로 나타났다. 본 성능실험을 수행한 기간 동안의 외기 조건이 표준 조건과는 상이한 바, 본 실험 결과를 표준상태를 가정하여 보정하여 나타낸 결과, 제빙시 COP 평균은 2.63으로, 온수축열시 COP평균은 3.62로 나타났다.

본 시스템의 축열밀도(RTH/m³) 시험에 따라 각각 18.4, 18.1, 22.0으로 평균값은 19.6으로 나타났다. 이와 같은 결과는 한국전력공사가 제안하는 빙축열식 시스템의 기준치인 13.0(RTH/m³) 이상을 초과하는 것으로 본 연구에서 개발한 시스템의 우수함을 확인할 수 있었다. 본 연구는 RTH를 150을 목표로 수행하였는 바, 제빙성능을 기준으로 194.7를 나타내어 본 연구의 목표치를 달성하여 본 시스템의 향후 실용화의 가능성을 알 수 있었다.

본 연구에서는 국내에서는 처음으로 히트파이프를 이용한 축열시스템의 향상효과에 대한 분석을 수행하였다는 점에서 그 의의가 있다고 할 수 있다. 그러나 히트파이프는 그 제작에서 다소 어려움이 있으며, 대량생산에의 한계가 있으므로, 향후 이에 대한 보완이 이루어진다면 축열성능을 향상시킬 수 있다는 점에서 활용가치가 있는 시스템으로 생각한다.

참고문헌

1. 한국전력공사, 냉난방을 위한 축열기술자료, 한전 영업처, 수요개발기술자료 No.1, 1989.
2. 안용선, 김용식, "에너지절약을 위한 빙축열시스템의 적정축열을 산정에 관한 연구", 대한건축학회학술대회논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 429-432, 1994.
3. 주정동, 배경수, 이윤용, 황영규, 정규하, 이재승, 오상경, "탠덤형 히트펌프 시스템의 난방성능에 관한 연구", 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, pp. 62-67, 2003.