

축열조 간접이용 냉매 과냉각형 시스템에서 과냉도가 시스템 성능에 미치는 영향

이 수 양, 박 승 상[†], 백 중 현, 정 동 열, 박 일 환*

한국생산기술연구원 에너지설비기술지원센터, 한국기술교육대학교*

Effects of Refrigerant Subcooling on the Performance of indirectly Ice Thermal Storage Cooling System

Soo-Yang Lee, Shung-Sang Park[†], Jong-Hyeon Peck, Dong-Yeol Chung, Il-Hwan Park*

Korea Institute of Industrial Technology, ChonAn 330-825, Korea

*Korea University of Technology and Education, ChonAn 330-708, Korea

ABSTRACT: This study has been conducted the possibility of the subcooling type ice storage cooling system that the stored ice used to subcool the condensed refrigerant. The experimental study was done to fine the characteristics of the cooling capacity according to the variation of the subcooling degree and the analysis for the peak shift effect of the full storage, partial storage and subcooling type ice storage system compared to the normal air conditioning system was also done. The result of the analysis was shown that the peak shift effect of this subcooling type ice storage system could be 61%.

Key words: Subcooling(과냉각), Ice thermal storage(빙축열), Load leveling(부하평준화), Load transfer rate(부하이전율)

기 호 설 명

COP : 냉동기 성능계수 [-]
 IPF : 얼음체적분율(ice packing factor) [%]
 T : 온도 [°C]

하첨자

eva : 증발기(evaporator)
 sc : 과냉각도(subcooling degree)

1. 서론

하절기 주간에는 냉방기기 등의 집중적인 가동으로 인해 최대전력부하가 발생하여 주·야간 전력수급의 불균형을 야기할 뿐만 아니라, 산업용 전력공급에까지 영향을 미치는 등 여러 가지 문제점이 발생하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 한국전력공사 및 정부에서는 심야전력 지원제도를 도입하여 축냉시스템의 확대 보급을 지원하고 있으나, 축냉시스템의 적용대상이 건물의 냉방용이어야 하며, 축열조에 저장된 냉열을 주간 냉방부하의 40% 이상에 직접 이용해야 하며, 전기설비용량이 20kW 미만 설비인 경우 전축열방식에만 제한하는 조건이 있다. 그러나 축냉시스템의 보급 확대

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8335; fax: +82-41-589-8330

E-mail address: sspark@kitech.re.kr

를 위해서는 제한적인 정책을 완화하고 다양한 축냉시스템의 보급이 필요하다.

Eco-ice mini는 일본에서 보급되고 있는 소형 빙축열시스템으로 축열조에 저장된 열량을 주간 냉동기 운전시 과냉각 열원으로 간접 이용하여 주간 냉동기의 성능을 약 25%정도 향상시켰으며, 난방운전 시에는 제상열원으로 간접 이용하고 있다.

국의 연구로 Huang 등⁽²⁾은 건물공조용 시스템에서 써모싸이폰(작동유체:R-22)이 적용된 축열조를 과냉각기로 간접 이용한 연구를 수행하였으며, 일부하패턴으로 운전하였을 때, 냉방용량이 28%, COP가 8% 향상되었다고 보고하였다.

국내에서는 Roh 등⁽³⁾은 R-22를 사용한 빙축열조를 이용한 냉매 과냉각 히트펌프 시스템의 성능 및 사이클 특성을 파악하고, 기존 시스템과 성능 및 운전비에 대해 비교한 연구를 수행하였다. 또한 Lee 등⁽¹⁾은 쇼케이스에 축열조를 간접 이용한 냉매 과냉각 시스템에 대한 연구를 통해 평균 28%의 부하이전 효과가 있는 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 심야전력을 이용한 축냉시스템 중 빙축열조의 열원을 간접 이용한 냉매 과냉각형 냉방시스템에 대한 실험적 연구를 통하여 냉매 과냉각 효과에 대한 운전특성을 분석하였다. 또한 실험결과를 이용하여 일 냉방부하 변동에 따른 냉방능력 및 COP를 일반 상용기들과 비교하여 본 시스템의 적용 가능성에 대해 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

축열조 간접 이용 방식에서는 주로 축열조에 저장된 냉열을 냉동기의 응축기 또는 과냉각기의

열원으로 사용한다. 이를 위해 축열조 내부에 제빙용 또는 과냉각용 열교환기를 이용하거나, 축열조 외부에 별도의 열교환기를 설치하여 활용한다. 본 연구에서는 냉매 과냉각 효과에 따른 운전특성을 파악하기 위해 과냉각용 열교환기가 별도 설치된 실험장치를 구성하여 실험을 수행하였으며, 기존 시스템(전축열 소형빙축열방식 및 일반 냉방기)과의 운전특성을 비교하였다.

Fig. 1에 이를 위한 실험장치의 개략도를 나타

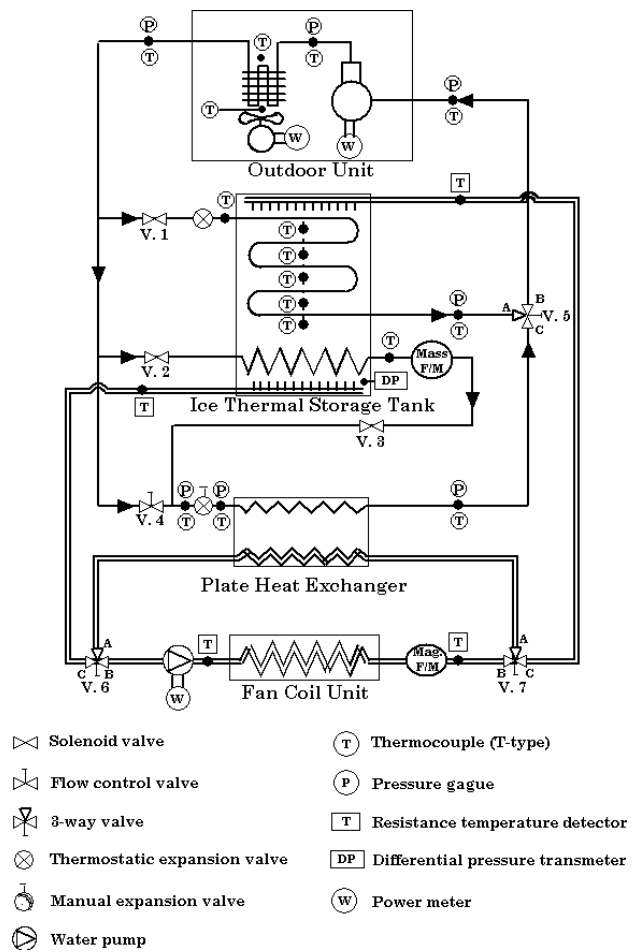


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Device control for each operating mode

Mode	O.U.	Pump	F.C.U.	Valve							
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	
Charging	ON	OFF	OFF	Open	Close	Close	Close	B-A	-	-	
Cooling	Only TES	OFF	ON	ON	Close	Close	Close	Close	-	B-C	B-C
	Subcooling	ON	ON	ON	Close	Open	Open	Close	B-C	B-A	B-A
	Normal	ON	ON	ON	Close	Close	Close	Open	B-C	B-A	B-A

내었고 Table 1에 그 동작방법을 나타내었다. 본 시스템의 주요 구성은 소형 빙축열유닛(실외기 및 축열조), 증발기(관형열교환기), 니들밸브(냉매 유량제어용) 및 팬코일 유닛(히터) 등이다. 소형 빙축열 유닛의 축열조는 제빙용 및 과냉각용 열교환기가 소용돌이 모양으로 설치되어 있으며, 용량은 IPF 60%일 때 32 kWh이다.

일반적인 냉방운전에서는 실외기와 관형열교환기로 냉방이 이루어지며, 전축열운전의 경우 축열조에 축냉된 냉열원을 이용하여 냉방하게 된다. 한편, 냉매 과냉각 운전모드에서는 응축된 냉매가 축열조의 과냉각용 열교환기를 거쳐 과냉되어 관형열교환기에서 증발하여 냉수를 생산하게 되며, 이를 냉방에 이용하게 된다. 이때 사용되는 과냉각용 열교환기는 설계치가 4.6 m로 산출되었으나, 과냉각 효과에 대한 운전특성 실험을 위하여 충분한 열교환이 가능하도록 19 m로 하였다.

2.2 실험 방법

일반적인 냉방운전의 경우와 달리, 전축열운전 및 냉매 과냉각 운전모드는 냉방을 위하여 빙축열조의 냉열을 직·간접적으로 이용하므로, 축냉운전이 우선 수행되어야 한다. 축냉운전은 축냉량, 즉 IPF가 60%이거나 운전시간 10시간을 만족하면 종료하였다. 축냉운전 완료이후, 외기온도, 증발온도 및 냉수온도가 동일한 조건에서 과냉각도를 약 40°C까지 변화시키면서 각 운전에 대한 실험을 수행하였다. 이 때, 냉매 과냉각 운전모드에서 과냉각도를 조절하기 위해 응축기에서 응축된 냉매 중 일부를 유량제어밸브로 제어하여 과냉각 열교환기에서 과냉각된 냉매와 혼합하였다.

이상의 운전모드별 실험에 대한 데이터 수집을 위해 냉매의 온도 및 질량유량, 축열조의 온도 및 차압계(수위변화 측정)와 냉수온도 및 유량을 측정하였으며, 이는 데이터로거(agilent 34970a)를 이용하여 PC에 저장하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 냉매 과냉각 효과

빙축열조의 냉열을 간접 이용한 냉매 과냉각형

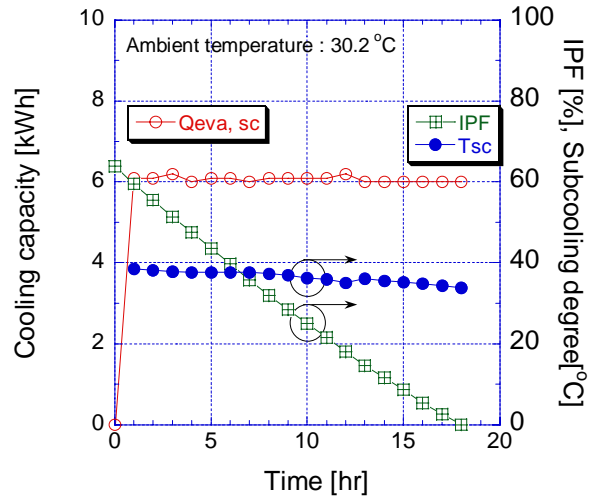


Fig. 2 Variation of the subcooling degree, IPF and cooling capacity.

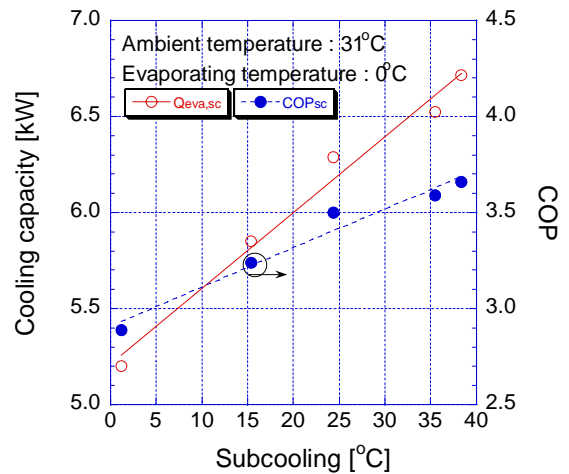


Fig. 3 Variation cooling capacity and COP for various subcooling degree.

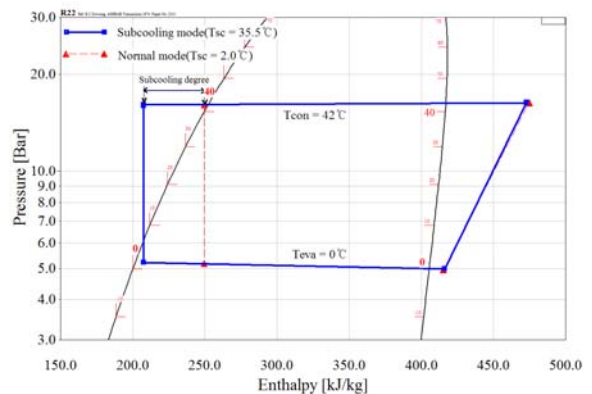


Fig. 4 Comparison between P-h diagram of the refrigerant subcooling system and normal system.

Table 2. Peak-shift and peak-cut effect of each month

Classification		Power in a day [kWh]	Daytime Power [kWh]	Ratio of peak-shift [%]	Peak-time Power [kWh],	Ratio of peak-cut [%]
N O T	JUN	8.743	8.073	-	4.0	-
	JUL	13.870	12.708	-	6.3	-
	AUG	13.603	12.495	-	6.2	-
	SEP	7.574	7.001	-	3.5	-
F S O T	JUN	18.447	2.880	64	1.3	68
	JUL	25.165	2.880	77	1.3	80
	AUG	24.293	2.880	77	1.3	79
	SEP	16.804	2.880	59	1.3	64
P S O T	JUN	18.449	2.880	64	1.3	68
	JUL	25.676	8.256	35	1.3	80
	AUG	24.677	7.258	42	1.3	79
	SEP	16.809	2.880	59	1.3	64
S C O T	JUN	18.449	2.880	64	1.3	68
	JUL	21.560	5.127	60	1.3	80
	AUG	21.113	4.730	62	1.3	79
	SEP	16.804	2.880	59	1.3	64

냉방 시스템의 운전특성을 파악하기 위하여 빙축열조에 냉열을 축열하고 과냉각 냉방운전을 수행하였다.

Fig. 2은 주변온도 30℃를 운전조건으로 설정하여 빙축열조의 냉열 소진 시 까지 과냉각 냉방운전을 지속하여 IPF, 냉각열량 및 과냉각에 소요된 시간별 에너지의 변화를 나타내었다. 냉각열량은 증발기에서 냉수의 온도차 및 순환유량으로 측정하여 약 6.1kW로 일정환경항임을 확인하였으며 조 내 온도 상승에 따라서 냉매 과냉각도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이론적으로는 과냉각도가 감소하면 냉각열량도 감소하지만 실험에서는 냉각열량은 확인 가능한 변화가 나타나지 않았다. 그 원인을 Fig. 3의 과냉각도 변화실험을 통해 추정해 볼 수 있었다. 냉각열량 및 COP의 실험결과에 대하여 접선을 구하여 계산한 결과 과냉각도가 10℃ 증가하면 냉각열량은 약 7.6% 증가하였고 COP는 7%가량 증가하였다.

따라서 Fig. 2의 과냉각도 변화 (약 4℃)에 따른 냉각열량 변화량은 약 0.2 kW로 냉각열량 6.1 kW에 비하여 미약하였기 때문인 것으로 사료되

었다.

Fig. 4는 냉매 과냉각 냉방운전과 일반적인 냉방운전을 P-h 선도로 표현한 것이다. 응축온도 40℃ 증발온도 0℃의 경우 빙축열조 간접이용 과냉각형 냉방시스템의 과냉각도의 한계는 40℃이며 이때 냉각열량은 위의 실험결과로부터 과냉각도가 0℃의 냉각열량에 대하여 30%이상 증가됨을 확인 할 수 있었다.

빙축열조를 이용한 냉매 과냉각형 냉방시스템의 빙축열조에는 일반적으로 제빙코일과는 별도로 하부에 과냉각 코일을 설치하는데, 과냉각 코일을 하부에 설치하는 이유는 응축냉매와 열 교환하고 데워진 물이 밀도차로 상부로 대류하면서 제빙코일의 얼음을 해빙하도록 하는 것이다. 이러한 방식으로 코일들을 배치하면 축열조 내 수직방향의 온도구배가 크게 발생하여 효율적인 냉열이용을 위하여 교반을 해야 하는 필요성이 높아지기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 점을 설계에 고려하여 조 내부의 과냉각 열교환기를 하부로부터 상부로 일정간격을 두고 배치하고 연결하여 완성하였다.

그 결과 축열조의 유효온도 10℃까지 과냉각 냉방운전을 수행하였을 때, 얼음이 남아있지 않았으며 온도구배 또한 4℃가량으로 만족할만한 결과라고 판단하였다.

3.2 부하이전 효과

과냉각형 냉방시스템(SCOT : Subcooling Operating Type))에 대한 적용 타당성 검토를 위하여 축냉시스템 중에서 전축열방식(FSOT : Full Storage Operating Type)과 부분축열방식(PSOT : Partial Storage Operating Type)의 빙축열시스템을 선정하고 일반적인 냉방시스템(NOT : Normal Operating Type)과의 주간 전력부하 이전효과를 비교함으로써 적용 타당성을 검토하고자 하였다.

주간 전력부하 이전효과를 구체화 하는 방안으로 냉방부하율 변동에 따른 운전방법을 도출하고 운전방법에 의한 각각의 냉방시스템 소요전력을 냉방기간(6/15~9/15)에 대하여 산출하였다.

냉방부하율 변동에 따른 운전방법 도출에 있어서는 월별 시간대별 냉방 부하지수⁴⁾에 부합하도록 각각의 냉방시스템이 냉방운전을 수행한다고 가정하고 그때 시간별 소비전력을 특성실험결과와 조건별 냉동기 냉각능력 및 소비전력을 참조하여 환산하였다.

전술한 과정을 통하여 각각의 냉방시스템별 월별 1일간의 소요전력을 환산하고 Table 2에 나타내었다. 냉방기간 중에서 7월에서 8월의 소요전력을 각각의 냉방시스템별로 합산하고 일반적인 냉방시스템과 비교한 결과 주간시간대(09시~18시)소요전력의 이전율은 전축열방식 77%, 부분축열방식 38% 과냉각형 냉방시스템은 61%로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 심야전력을 이용한 축냉 시스템 중 축열조의 열원을 간접 이용한 냉매 과냉각형 시스템에 대한 실험적 연구를 통하여 냉매 과냉각 효과에 대한 운전특성을 고찰하고 다음과 같

은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 과냉각도 변화 실험 결과 과냉각도가 10℃ 증가하면 냉각열량과 COP는 각각 7.6% 7% 증가하는 것으로 나타났으며, 따라서 증가된 냉각열량만큼 냉동기의 용량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

(2) 냉매 과냉각 냉방운전모드에서 축열조 내 수직방향 온도변화를 고찰한 결과, 별도의 교반 없이도 방냉완료 시점의 축열조 온도구배가 ±2℃ 이하로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 부하변동에 대응하는 운전방안을 도출하여 주간시간대 소비전력 이전율을 분석한 결과 유사 축냉시스템인 부분축열시스템의 38%보다 높은 61%로 나타났으며, 따라서 전력부하 평균화를 위한 심야전력 축냉 시스템으로써 보다 적합할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 생산기술연구사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, D.-W, Joo, M.-C., Choi, B.-J. and Kim, W., Sub-cooling effect using cold storage system, Proceeding of the SAREK 2007 Summer Annual Conference, pp. 1067-1071.
2. Huang, M.-C., Chen, B.-R, Hasiao, M.-J. and Chen, S.-L, 2007, Application of thermal battery in the ice storage air-conditioning system as a subcooler, International Journal of Refrigeration, Vol. 30, pp. 245-253.
3. Roh, G.-S. and Son, C., 2007, The performance characteristics of heat pump using the refrigerant subcooling, Trans. of the Korea Hydrogen and New Energy Society, Vol. 18, No. 4, pp. 413-421.
4. KEPCO, 2000, 축냉식 냉방 심야전력 기기 인정기준.