

과냉각 축냉시스템을 적용한 쇼케이스의 운전 특성에 대한 실험적 연구

이동원*, 김정배**

*한국에너지기술연구원(dwlee@kier.re.kr), **한국교통대학교 에너지시스템공학과(jeongbae_kim@ut.ac.kr)

Experimental Study on The Running Characteristics of Showcase Using Cold Storage System

Lee, Dong-Won* Kim, Jeongbae**

*Korea Institute of Energy Research(dwlee@kier.re.kr), **Dept. of Energy System Engineering, Korea
National University of Transportation(jeongbae_kim@ut.ac.kr)

Abstract

The purpose of this study was to show how to maintain high efficiency and to use reasonably when being applied the cold-heat storage systems to the showcase. An experimental study was performed to manufacture the showcase system in a laboratory. Comparing the result at general operation condition with that of the new condition using ice storage system, this study showed the effects of the refrigerant sub-cooling, and with using inverter. Using ice storage system, the ice making process was operated during midnight being not needed the cooling of the showcase through the continuous running of the condenser unit. And then, the refrigerant was sub-cooled using the stored cold-heat after being discharged from the air cooling condenser during the day time. Through the experiments, the load transfer rate for the showcase using inverter and ice storage was estimated about 30.0%. And showed that the total power consumption of the showcase with inverter could be reduced about 37% than that of the showcase without inverter.

Keywords : Cold-heat storage system(축냉시스템, CSS), Showcase(쇼케이스), Sub-cooling(과냉각)

기 호 설 명

CSS : 축냉시스템(Cold-heat Storage System)
E : 압축기 소비전력 (kW)
 $T_{in,eva}$: 증발기 입구온도 (°C)

1. 서 론

인류의 식생활이 점차 다양화되면서 가공
식품 및 냉동·냉장 식품의 소비량이 증가하
고, 이에 따라 신선하게 식품을 보관하기 위한

submit date : 2012. 07. 13, judgment date : 2012. 07. 29, publication decide date : 2012. 11. 30
communication author : Kim, Jeongbae(jeongbae_kim@ut.ac.kr)

쇼케이스의 사용이 증가하는 추세이다. 이로 인해, 중대형 슈퍼마켓의 경우에는 냉동·냉장설비의 전력사용량이 전체 전력사용량의 50%를 넘어서고 있어, 에너지 절약형 또는 에너지를 효율적으로 이용하는 쇼케이스 개발이 매우 중요하다.

이러한 사례의 하나로 축냉시스템을 이용하는 축냉식 쇼케이스는 에너지를 효율적으로 이용하는 기기로 많이 알려져 있다.¹⁾

축냉식 쇼케이스는 축열조에 저장된 냉열을 직접 부하에 적용하는 방식이나 저장된 냉열을 간접 이용하는 방식이 있다.

본 연구에서 실험을 수행한 간접이용 방식은 축열조의 냉열을 냉동기의 응축열원 혹은 응축기의 과냉열원으로 활용하여 주간시간대 냉동기의 성능 향상을 얻고자 하는 운전방식이다.

축냉식 쇼케이스와 비축냉식 쇼케이스를 비교하면 시스템 구성에서는 빙축열조가 추가되는 큰 차이가 있다. 운전측면에서는 축냉식의 경우에는 심야시간대에 냉동기가 연속 운전하고, 쇼케이스 냉각이 불필요한 시간에는 축열조에 냉열을 저장하게 된다.

심야시간대 저장된 냉열은 주간시간대 쇼케이스 냉동기에서 이용되도록 하여 쇼케이스의 성능향상을 통해 간접적으로 전력부하 이전의 효과를 나타낼 수 있다.

축냉식은 냉동기 운전시간이 증가하게 되지만, 주간시간대 소비전력 감소와 심야시간대 외기온 저하에 따른 냉동기 효율상승으로 인해, 실제 소비전력은 비축냉식과 동등 수준이거나 약간 증가하는 것으로 나타난다.

하지만 전력부하 평준화 측면이나 심야전력 요금의 혜택을 고려해 본다면 축냉식이 유용한 면이 많다고 할 수 있다.²⁾

본 연구는 축냉시스템 간접이용 방식 쇼케이스의 부하평준화 효과를 실험적으로 검증하여 실제 적용 가능한 실험적 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

기존에 일반적으로 사용되고 있는 Fig. 1과 같은 쇼케이스 냉각시스템에, 추가로 Fig. 2와 같은 소형 관외착빙형(The ice-on coil type) 축열조를 설치하여 냉매 과냉각 실험장치를 제작하였다.

Fig. 3에서와 같이 심야시간대 쇼케이스 내 냉각이 필요한 경우에는 압축기와 공랭식 응축기를 통과한 냉매가 쇼케이스의 증발기로 유입되어(path A) 냉각이 이루어지도록 하고, 쇼케이스 냉각이 필요하지 않은 경우에는 축열조 내 제빙용 열교환기로 냉매가 유입되어(path B) 축열조 내 제빙이 이루어지도록 냉매 배관을 연결하였다.



Fig. 1 Showcase & Cooling-heat storage tank



Fig. 2 The inner of cold-thermal storage tank

한편, 주간시간 대에는 축열조 내 제빙운전 없이 쇼케이스 냉각만 간헐적으로 이루어지

도록 한다. 이때 응축기를 통과한 냉매의 일부가 축열조 내 하부에 위치한 과냉각용 열교환기로 유입되어 과냉된 후(path C), 과냉되지 않은 냉매(path A)와 혼합되어 쇼케이스 내 증발기로 유입되도록 냉매 배관을 구성하였다.

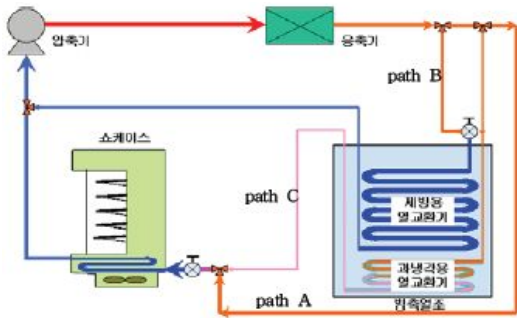


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

성능시험을 위한 소형 축냉식 쇼케이스는 냉매 R-22를 적용하고 약 5 RT의 냉각성을 갖고 있는 것으로서, 하나의 실외기와 쇼케이스로 구성되어 있다. 이용된 실외기 및 쇼케이스는 기존 상품화되어 있는 것이며, 실외기의 냉동능력은 아래의 Table 1과, 일반적인 사양은 Table 2와 같다.

Table 1. Refrigeration capacity as Watt for various condenser and evaporator temperatures

응축 온도 [°C]	증발온도 [°C]			
	10	5	0	-10
30	83,350	68,950	56,500	36,150
40	72,050	59,200	48,025	29,825
50	60,800	49,550	39,600	23,545

또한, 쇼케이스의 사양은 아래의 Table 3과 같다. 하나의 실외기에 7개의 쇼케이스가 분리되어 있는 구조를 가지고 있다.

심야시간 10시간 중 충분하게 생각하여 일 단 3시간 동안 빙축열조에 냉열을 저장할 수

있다고 가정해서 빙축열조를 설계하고, 시험을 통해 확인 하도록 하였다. 5RT급의 3시간 동안 생산하는 냉열의 양은 15RTh 정도이다.

Table 2. Descriptions for outdoor machine

압축기	왕복동식
전동기 냉각방식	냉매 냉각방식
토출량 [cm ³ /Rev.]	241.9
응축기 형식	Fin & Tube 송풍식
정격출력 [kW]	7.5
응축기팬 정격출력 [kW]	0.2 (2개)

Table 3. Descriptions for the showcase

형식	입형 멀티선반 형식
디스플레이 단열방식	에어컨텐 단열방식
제품 Size [mm×mm]	1,920 × 12,190
증발기	Fin & Tube 송풍식
팽창기구	팽창밸브
냉동능력 [kW]	66,486

약 15RTh의 냉열을 저장할 수 있는 빙축열조를 1RT급 빙축열조 시험 시료에서 일부 설계치를 수정하여 설계하였다. 냉매 배관으로는 1/2" 동관을 이용하는 것으로 하였으며, 얼음의 두께는 배관의 2.3배 정도까지 제빙하는 것으로 생각하였다. 이 얼음의 두께는 관외착빙형 빙축열 시스템 설계시 일반적으로 적용되는 값으로써, 가장 적절한 두께로 평가되고 있다. 한편 빙축열조 내 유효이용 온도는 1RT급 시스템의 시험 결과를 이용하여 20°C로 설정하였다.

쇼케이스의 운전 상태를 검토하기 위하여 주요지점에 온도 및 압력 센서 등을 설치하였다. 온도 측정을 위해 ±0.05°C의 정도를 가지는 4선 RTD 16개를 사용하여, 쇼케이스 주요 지점에서의 냉매온도, 축열조내 물의 온도, 쇼케이스 내부온도와 그리고 실내·실외온도 등을 측정하였다.

이때 냉매온도는 직접 측정이 용이하지 않아, 냉매 배관의 관외벽 온도를 측정하였다.

한편 주요지점에서 배관 내 냉매압력을 측정하였으며, 실외기의 소비전력량 역시 동시에 측정하였다. 이외에 차압계를 이용하여 제빙되었을 때와 그렇지 않았을 때의 수위변화로 축열조 내부에서의 물의 부피 변화를 측정하였다.

2.2 실험방법

인버터와 축냉시스템의 효과를 알아보기 위해 축냉과 비축냉 운전 시스템을 인버터를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때에 각각 적용하여 총 4가지 경우로 실험을 진행하고 그 결과를 비교분석하였다. 축냉시스템을 이용하는 경우는 심야 10시간 동안은 쇼케이스 냉각 이외에도 축열조 내 제빙운전을 수행하도록 하였다.

이 시간 동안 실외기는 운전을 계속하면서, 쇼케이스 냉각이 필요한 경우에는 응축된 냉매가 쇼케이스 내 증발기로 유입되고, 쇼케이스 냉각이 필요하지 않은 경우에는 냉매가 축열조 내 제빙용 열교환기로 유입되도록 하였다.

심야시간대 운전이 종료되면 실외기는 일반적인 쇼케이스와 같은 방법으로 운전하게 된다. 즉 쇼케이스 냉각이 필요한 경우에만 실외기가 작동하며 필요하지 않은 경우에는 쇼케이스 운전을 멈추게 된다. 기존의 쇼케이스와 축냉시스템을 적용한 쇼케이스의 다른 점은 공랭식 응축기를 통과한 냉매가 축냉조 내 과냉각용 열교환기를 거친 후 쇼케이스 내 증발기로 유입된다는 점이다.

상황에 맞게 과냉 운전시간을 조절하면서 축냉조 내 온도가 8°C 이상이 되면 과냉 운전을 멈추고 일반적인 쇼케이스 냉각 운전을 하도록 조절하였다.

측정은 참고문헌 3)의 조건과 유사하게 각 경우에 따라 3일씩 연속적으로 진행하였으며, 오후 10시에 시작하여 다음날 오후 10시까지 24시간 단위로 하였다. 데이터의 측정은 6초 간격으로 이루어지게 하여, 1분 동안 10

개의 데이터를 축적하였다.

3. 실험결과와 고찰

전체 실험과정에서 주요 지점의 냉매온도와 압력, 소비전력량을 측정하였으며, 데이터 값 중에서 대표적인 결과를 서로 비교하였다.

대표적인 것으로 선정한 각각의 데이터가 동일한 외기 조건하에서 측정된 것은 아니지만, 심야 평균 외기온도가 최소 13.4°C에서 최대 15.0°C로서 큰 차이가 없는 결과를 이용하여 비교하는데 큰 무리는 없다고 판단하였다.

3.1 증발기 입구온도

Fig. 4는 쇼케이스가 일반적인 비축냉식 운전을 할 때와 냉매 과냉각 방식으로 운전하는 경우에 있어서, 쇼케이스 내 증발기로 유입되는 응축냉매의 온도변화를 나타낸 것이다.

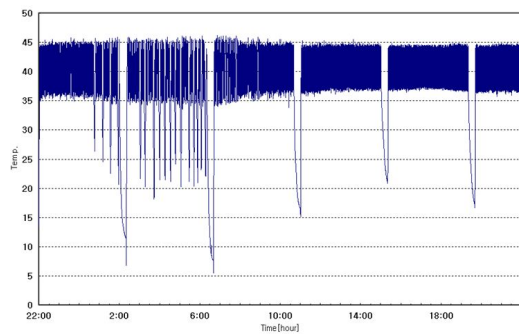
약 4시간 간격으로 냉매의 온도가 상대적으로 크게 변하는 것은 제상을 위하여 실외기 운전이 정지되었기 때문이다. 일반적인 비축냉식 운전방법인 경우(a), 부하가 증가하고 외기온이 상승한 주간시간대 증발기 입구(공랭식 응축기 출구) 냉매온도가 약간 증가하고, 심야시간대에는 냉각부하가 적었기 때문에 주간시간대에 비해 실외기 동작과 정지가 빈번하게 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

냉매 과냉각 운전방법인 경우(b), 실외기의 동작과 정지가 반복되면서 냉매의 온도도 심야시간대와 비교하였을 때, 상대적으로 약간 크게 변동하는 것을 알 수 있다.

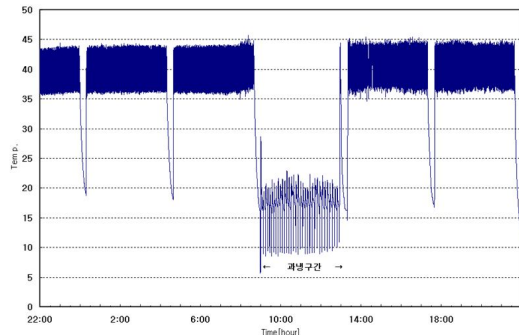
또한, 과냉운전 구간을 제외한 나머지 주간 시간대에는 부하가 증가하고 외기온이 상승하여 증발기 입구 냉매온도가 심야에 비해 약간 증가함을 보여준다. 하지만 냉매 과냉각을 이용한 구간에서는 공랭식 응축기를 통과한 냉매가 축열조에 유입되어 과냉되기 때문에 증발기로 유입되는 냉매의 온도가 약 10~20°C 정도로 크게 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

데이터를 확인한 결과 주간시간대 공랭식 응축기 출구온도가 약 38℃ 정도였으므로, 축열조를 이용함으로써 약 20~25℃ 정도 과냉됨을 알 수 있다.

하지만 냉매 과냉각 운전시간이 예상보다 짧았기 때문에 기대만큼 큰 효과가 나타나지는 않았다. 그러나, 냉매 과냉각 운전을 통해 증발기 입구 온도가 감소하고 그로 인해 냉동기 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.



(a) General working system



(b) Sub-cooling working system

Fig. 4 Comparisons of the $T_{in,eva}$

3.2 실외기 운전형태

축냉시스템을 적용한 쇼케이스와 일반적으로 운전하는 쇼케이스 데이터 값을 Fig. 5과 Table 4에 비교하여 함께 나타내었다.

축냉시스템의 적용은 심야 10시간 동안 쇼케이스의 냉동이 필요하지 않을 때 축열조에 있는 물을 제빙시키고 이를 저장시켜 오전 9

시부터 냉매 과냉각 운전을 하도록 하였다. 실험일마다 축열조에 저장된 냉열량을 감안하여 냉매 과냉각 운전시간을 조절하였다.

Fig. 5에 나타낸 그래프는 24시간 동안의 전력변화를 나타낸 것이다. 주간시간대인 14시간 중 4시간(오전9시~13시) 동안은 냉매 과냉각 운전하였을 때의 데이터 값을 가진 날로, 다른 2일은 각각 3시간, 4시간30분의 과냉운전을 하였다. 이때의 냉매 과냉각 운전시간은 인버터를 이용한 경우로 인버터를 사용하지 않았을 때보다 약 1~2 시간 정도 냉매 과냉각 운전을 더 할 수 있었다.

과냉을 이용한 운전시간이 길어지면 길어질수록 소비전력량은 작게 나타나고 에너지 절약차원에서 인버터 제어방식이 효과적이라는 것은 이미 위에서 언급한 바 있다.

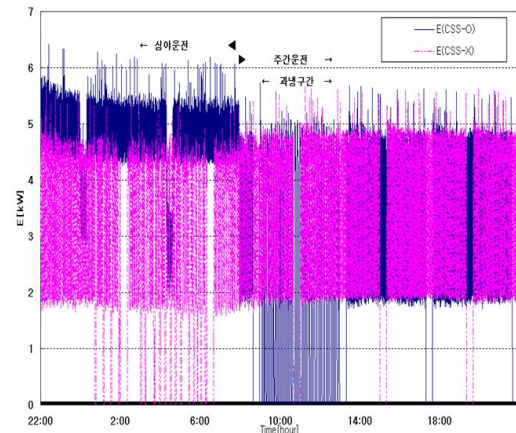


Fig. 5 Comparisons of compressor power consumption

Table 4에는 좀 더 정확한 데이터 값들이 나타나 있다. 인버터 제어방식이 아닌 현재 일반적으로 사용되고 있는 on/off 제어방식인 쇼케이스에 축냉시스템과 비축냉시스템을 각각 적용하여 얻은 실험값이다. 표에서와 같이 축냉시스템을 적용하였을 때 주간 소비전력량이 그렇지 않은 경우에 비해 16% 정도 감소하였다. 또한, 주간에 쇼케이스 냉각운전도 130분 적게 하였다.

Table 4. Comparisons of the using of CSS

항목	Total		심야시간		주간시간	
	O	X	O	X	O	X
CSS 사용여부						
소비 전력량 [kWh]	87.8	78.6	47.9	31.0	40.0	47.7
평균 소비전력 [kWh]	4.2	3.6	4.8	3.6	3.6	3.7
ON시간 [분]	1251	1295	600	515	651	781
시간당 소비전력 [kWh/h]	3.7	3.3	4.8	3.1	2.6	3.4

다만, 총 소비전력량을 비교하면 비축냉식 쇼케이스가 축냉시스템을 이용한 경우보다 약 12% 정도 적은 전력을 소비하였음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 냉매 과냉각운전을 함으로써 주간소비전력이 약 24% 감소된 것에 비해 심야시간대에 쇼케이스의 냉각운전과 축열조내 제빙을 10시간 동안 쉬지 않고 계속적으로 함으로써 소비된 심야소비전력이 35% 정도로 더 컸기 때문이다.

축냉시스템은 심야시간동안 냉동기가 쉬지 않고 운전함에 따라 운전시간이 비축냉시스템보다 증가한다. 하지만 심야 축냉 운전시 외기온의 저하에 따른 냉동기 효율상승 등의 영향으로, 실제 운전 소비전력은 비축냉식에 비하여 약간 증가하거나 대등하다.

인버터 적용에 의하여 약 37%의 소비전력 저감과 축냉시스템 적용에 의한 11.6%의 소비전력량 증가를 고려하고 축열시스템은 하절기 8개월과 동절기 4개월을 고려하여 연간 전기요금을 계상하였다. 심야전력과 일반전력 요금체계는 2008년 1월 1일 기준을 적용하였으며, 연간 전기요금 기준으로는 축냉 인버터 시스템은 약 40.5%의 절감이 가능한 것으로 평가되었다.

상기의 결과로부터, 심야전력요금의 혜택에 의하여 주간에 많은 전력이 소비되는 비축냉식보다 운전비용면에서 훨씬 유리하다고 할 수 있다. 또한, 주간시간대의 부하를 심야로 이전시켜 부하평준화를 효과를 얻을 수 있기 때문에 축냉시스템이 비축냉시스템에 비해 많은 이점이 있음을 알 수 있었다. 하지만, 축냉시스템의 효과를 좀 더 실질적이고 정확하게 나타내기 위해서는 총 소비전력량의 감소가 필요하다고 판단된다.

실험을 수행한 계절이 외기온이 낮은 초겨울이었기 때문에 실질적으로 더 많은 부하가 생기는 여름철의 효과를 분석하기 위한 추가 실험이 필요하며, 추후 실험에서는 이번 실험에서 나타난 문제점들을 보완하여 수행하면 종합적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 축냉시스템을 냉각 시스템의 냉매 과냉각용으로 이용하는 축냉 간접이용방법을 연중 냉각부하가 있고 실제 필드에서 많이 적용되고 있는 5RT급의 쇼케이스 냉각에 적용한 실험적 연구를 수행하였다.

일반적인 운전방법과 빙축열조를 이용하여 냉매 과냉각효과를 얻는 운전방법에 대한 실험을 수행하면서, 인버터의 사용유무에 따른 성능실험도 함께 진행하고 그 결과를 비교하였다.

축열조를 이용하는 실험에서는 심야시간대 쇼케이스 냉각이 불필요한 시간에도 실외기를 계속 가동시켜 축열조내 제빙을 하게 하였고, 주간시간대에는 저장된 냉열을 이용하여 공랭식 응축기를 통과한 냉매를 과냉시키도록 하였다.

(1) 인버터를 사용한 경우, 사용하지 않은 경우에 비해 쇼케이스가 111분 정도 덜 운전하였기 때문에 총소비전력량이 약 37% 감소하였고 시간당 소비전력은 약 36%

감소하는 효과를 얻었다.

- (2) 축냉시스템을 이용한 쇼케이스의 냉각 성능이 향상되었으며, 그 결과 주간시간대 압축기의 운전시간이 감소하였다. 즉, 축냉시스템을 이용한 냉매과냉각 방식의 도입에 의해 주간 시간대 소비전력이 심야시간대로 이전되는 부하 평준화 효과를 얻을 수 있었다.
- (3) 축냉식 쇼케이스 시스템에서 인버터 기능을 적용하지 않은 경우에는 주간 부하이전율은 약 30% 수준이었고, 인버터 적용시에는 약 34.4% 수준으로 인버터 적용시에 약 4.4% 정도의 이전율 증가를 나타내었다. 이는 운전의 미숙으로 인하여 효과가 크게 나타나지 못한 것이다.

이번 실험에서는 예상보다 냉매 과냉각운전을 할 수 있는 시간이 짧았지만, 축냉시스템을 이용하여 냉매과냉각 운전을 하는 것이 일반적인 비축냉식 쇼케이스보다 냉동기 성능에 효과가 있고 부하평준화 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 한국전력의 중소기업협력 연구사업의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. 지원에 감사드립니다. (2008년 대한설비공학회 하계학술발표대회에 발표한 08-S-183 논문을 수정 보완한 것임)

참 고 문 헌

1. Park, S-S, and Kim, Y-R., Technology of the ice storage system, Magazine of the SAREK, vol. 30, no. 6, pp. 6-15, 2001.
2. Lee, D-W., Joo, M-C., Choi, B-J. and Kim, W., Sub-cooling effect using cold

storage system, Proceedings of the SAREK, 2007, Summer Annual Conference, pp. 1067-1071, 2007.

3. Shin, Y-H., Oh, Y-G. and Park, K-H., Measurement and analysis of showcase field data, Proceedings of the SAREK, 2005, vol. 17, no .5, pp. 436-443, 2005.