

쇼케이스의 실제 운전상태를 고려한 축냉시스템 적용 가능성 평가 기초 연구

이동원*, 김정배**

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

A Feasibility Study for the Application of the Cold-heat Storage System Considering the Real Operation Status of the Showcase

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

Experimental study was performed to understand the real operation conditions of a showcase working usually in a convenient store and discount store. The purpose of this study was to show the possibility for practical use of cold-heat storage systems being operated for the showcase. To do that, evaporator and condenser temperatures were measured and the compressor electric power consumption were measured simultaneously. To use the ice storage system, the ice making process was typically operated during midnight being not needed the cooling of the showcase through the continuous running of the condenser unit. And then, the refrigerant was subcooled using the stored cold-heat after being discharged from the condenser during daytime. So, the cooling performance was increased with the sub-cooling of refrigerant during daytime, hence the actual running time of the compressor could be effectively decreased. Through the experiments, this study showed that the compressor electric power consumption during daytime could be transferred to nighttime for applying the refrigerant sub-cooling. So, for the convenient store, the maximum load transfer rates for each working cooler and showcase were estimated about 31.1% and 19.9% respectively. And for the discount store, the maximum load transfer rates for each refrigeration and freezing showcase were estimated about 34.1% and 49.0% respectively.

Keywords : Cold-heat storage system(축냉시스템, CSS), Showcase(쇼케이스), Sub-cooling(과냉각), Load leveling(부하평준화), Load transfer rate(부하이전율)

기 호 설 명

- D : 주간시간 (daytime)
- E : 압축기 소비전력 (kW)
- L : 열부하 (kW or kcal/hr)
- N : 야간시간 (nighttime)

1. 서 론

여름철 주간시간대 최대 전력부하를 억제하기 위해 한전에서는 심야전력 지원제도를 도입하여 축냉 시스템의 보급을 지원하고 있는데, 이러한 축냉 시스템은 건물의 냉방용으로만 한정하고 있다. 또한, 저장된 냉열은 주간 냉방부하의 40% 이상이 되어야 하고, 냉방을 위해 축열조에 저장된 냉열을 직접 이용해야 하는 조건도 충족되어야 한다.

따라서, 여름철 주간 전력소비가 큰 산업용 냉각/냉장 부하에 대하여 한전의 지원을 받는 축냉 시스템 이용은 극히 제한적일 수밖에 없으며, 마찬가지로 일본에서 널리 보급되고 있는 Eco유니트와 같이 축냉 시스템을 간접 이용하는 방식도 지원 대상에서 제외되고 있다. 이와 같이 축냉 시스템 적용에 대한 몇가지 불합리한 제약조건이 있는 이유는, 1990년대 초반 축냉 시스템이 최초 보급시점에 제정된 규정이 이후 관련 기술개발이 발달하였음에도 적절하게 보완되어지지 않았기 때문이다.¹⁾

소비 문화의 변화에 따라 쇼케이스의 사용이 증가하고 있으며, 슈퍼마켓의 연간 전력소비량의 약 60%가 냉동·냉장용 쇼케이스 설비의 전력량인 것으로 알려져 있다. 따라서, 점포의 유지비를 포함하여 에너지를 효율적으로 이용하는 쇼케이스 시스템에 대한 관심의 높아지고 있다.

앞서 소개한 축냉 시스템의 간접 이용 방법은 저장된 냉열을 냉각 시스템에 바로 적용하지 않고, 냉각 시스템의 응축기 냉각용으로 이용하는 방식이다. 냉동기 응축기의 고압 냉매를 과냉시키면 냉동기의 성능계수인 COP와

증발기의 냉동능력이 증가하므로, 축냉 시스템을 냉매 과냉용으로 이용하여 냉동기의 주간 전력소비를 감소시킬 수 있도록 하는 것이다.

따라서, 축냉 시스템에 요구되는 주간 전력부하 저감과 부하평준화에 기여하여 축냉 시스템의 이용분야를 확대시키는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

특성상 연중 냉각부하를 가지는 쇼케이스는 주간에는 개방된 형태로 냉각부하가 크지만 심야시간대에는 커튼 등을 이용하여 부하를 최소화하여 사용하고 있다. 심야시간에 쇼케이스 냉각부하가 없을 때는 축열조에 냉열을 저장하고, 주간 쇼케이스 냉각부하 대응을 위하여 실외기를 가동시킬 때는 축열조에 저장된 냉열을 이용하여 응축기 출구 냉매를 과냉시키면 Fig. 1과 같은 개념에 의해 전력부하 이전이 가능하다.

즉, 심야시간대에는 실외기를 계속 운전하여 쇼케이스를 냉각하고 남는 에너지(B)를 냉열의 형태로 축열조에 저장하며, 주간시간대에는 이 저장된 냉열을 이용하여 실외기의 운전효율을(C)만큼 향상시킴으로서, 주간 전력소비를(A)에서 (A') 만큼 감소시킬 수 있는 것이다.²⁾

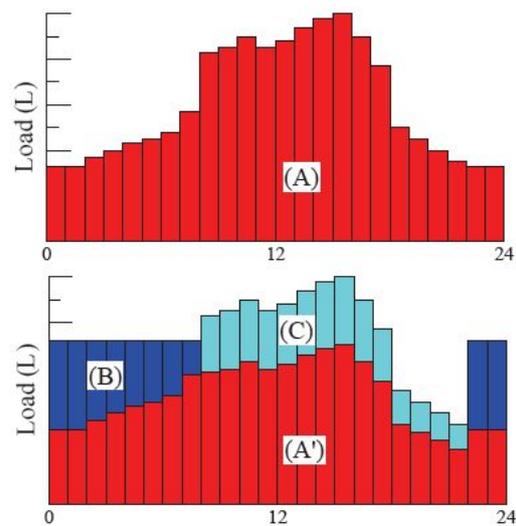


Fig. 1 Effect of the sub-cooling

본 연구에서는 쇼케이스의 실제 운전현황에 대한 현장 모니터링을 통해, 쇼케이스 시스템에 냉매 과냉각을 이용하는 방식의 적용에 가능성을 판단하기 위한 기초 결과를 제시하고자 한다. 냉매 과냉각 시스템을 쇼케이스에 적용하였을 때 예상되는 부하평준화 효과를 검증하여, 향후 다양한 유사 분야에 축냉 시스템의 적용을 위한 근거자료로서 활용 가능할 것이다.

2. 실험장치 및 방법

냉매과냉각 쇼케이스는 Fig. 2와 같이 기존 쇼케이스 냉각 시스템에 증발기인 제빙용 열교환기와 과냉각용 열교환기를 각각 배치한 축열조를 추가로 설치하였다.

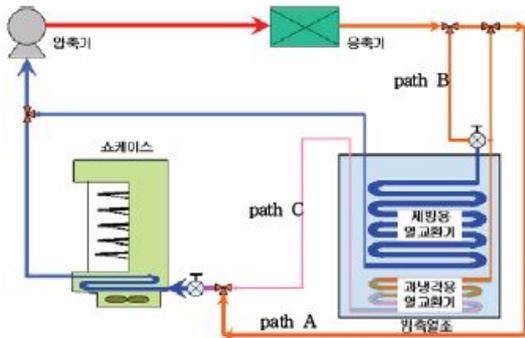


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

성능시험을 위한 소형 축냉식 쇼케이스는 냉매 R-22를 적용하고 약 1 RT의 냉각성을 갖고 있는 것으로써, 하나의 실외기와 쇼케이스로 구성되어 있다. 이용된 실외기 및 쇼케이스는 기존 상품화되어 있는 것이며, 실외기의 냉동능력은 아래의 Table 1과, 일반적인 사양은 Table 2와 같다. 또한, 쇼케이스의 사양은 아래의 Table 3과 같다.

심야시간 10시간 중 충분하게 생각하여 일단 6시간 동안 빙축열조에 냉열을 저장할 수 있다고 가정해서 빙축열조를 설계하였다. 혹

시 이보다 적은 시간동안에만 빙축열조에 냉열을 저장할 수 있다고 해도, 빙축열조의 이용에는 큰 문제가 없기 때문이다. 1 RT급 쇼케이스를 시험대상으로 하였기 때문에 6시간 동안 생산하는 냉열의 양은 6 RTh로써 약 18,000 kcal 정도이다. 자세한 빙축열조 내의 제빙용 열교환기의 사양은 Table 4와 같다.

마지막으로, 과냉각용 열교환기는 나관의 배관을 4.8m 설치하여 빙축열조의 가장 하부에 설치하였다.

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

응축 온도 [°C]	증발 온도 [°C]			
	10	5	0	-10
30	16,670	13,790	11,300	7,230
40	14,410	11,840	9,605	5,965
50	12,160	9,910	7,920	4,709

Table 2. Descriptions for outdoor machine

압축기	왕복동식
전동기 냉각방식	냉매 냉각방식
토출량 [m ³ /H]	14.4
응축기 형식	Fin & Tube 송풍식
정격출력 [kW]	2.2
응축기팬 정격출력 [kW]	0.2

Table 3. Descriptions for the showcase

형식	입형 멀티선반 형식
디스플레이 단열방식	에어커튼 단열방식
제품 Size [mm×mm]	1,920 × 2,187
증발기	Fin & Tube 송풍식
팽창기구	팽창밸브
냉동능력 [kW]	11,928

심야시간대 쇼케이스 내부에 냉각이 필요한 경우, 압축기와 공랭식 응축기를 통과한 냉매가 쇼케이스의 증발기로 유입되어(path

A) 냉각이 이루어지도록 한다. 쇼케이스 냉각이 필요하지 않은 경우에는 축열조 내부 제빙용 열교환기로 냉매가 유입되어(path B) 축열조 내 제빙이 이루어지도록 한다.

주간시간대에는 축열조 내 제빙운전 없이 쇼케이스 냉각만 이루어지게 하고, 응축기를 통과한 냉매의 일부가 축열조 내 하부에 위치한 과냉각용 열교환기로 유입되어 과냉된 후(path C), 과냉되지 않은 냉매(path A)와 혼합하여 쇼케이스 내 증발기로 유입되도록 냉매 배관을 구성한 쇼케이스 냉각시스템이다.²⁾

위와 같은 냉매 과냉각 쇼케이스를 현재 사용하고 있는 쇼케이스에 적용할 수 있는지의 가능성을 평가하기 위한 현장 모니터링이 대전에 위치한 편의점과 대형마트에서 각각 연속적으로 2007년 7월과 8월에 걸쳐 편의점과 대형마트에서 각각 11일과 20일 동안 진행되었다.

편의점에서는 워킹쿨러(Working cooler, W-cool)와 쇼케이스 각각의 전력량을 측정하고, 응축기와 압축기의 입·출구 온도를 열전대를 설치하여 측정하였다. 대형마트에서도 마찬가지로 냉동·냉장 쇼케이스 총 7대의 전력량과 온도를 측정하였다.

Table 4. Descriptions of heat exchanger for ice making

구 분	값
동관 외경 [mm]	15.88
동관 길이 [mm]	32
얼음 두께 [mm]	36.5
얼음의 양 [kg]	176.5
잠열량 [RTh]	4.7
물의 양(유효량) [kg]	458.5
이용온도 [°C]	0~10
현열량 [RTh]	1.5
총 냉열량 [RTh]	6.2

편의점에서는 5초 간격으로, 대형마트에서는 10초 간격으로 각각 1분에 12개와 6개의

데이터를 측정하였다. 오후 23시부터 오전 9시까지의 10시간 동안을 심야시간대로 정의하였고, 나머지 14시간을 주간시간대로 정의하고 측정된 결과를 분석하고 평가하였다.³⁾

3. 실험결과 및 고찰

측정된 데이터 중에서 쇼케이스 운전시 on/off 횟수와 on/off 시간 등의 데이터를 단계적으로 분석하고, 이를 통해 심야시간 동안 저장 가능한 전력량(심야시간 미사용 전력량)을 계상하고 산정하였다. 또한, 실제 설치 조건에서 쇼케이스 운전 에 따른 결과를 그대로 이용하였고, 최대로 축냉 가능한 전력량이 최대 가능 부하이전율과 같다고 고려하고 그 양을 산정하였다.

심야시간대 미사용 전력량은 심야시간대에 측정된 시간당 평균 소비전력량에 off 시간을 곱하여 구한 것이며, 주간 최대 가능 부하이전율은 심야시간대 미사용 전력량을 주간 총 소비전력량으로 나눈 값이다.

3.1 편의점 운전 상태 결과

편의점의 냉장·냉동 기기인 워킹쿨러와 쇼케이스의 운전 에 따른 데이터를 측정하고 분석하였다. 하나의 쇼케이스에 두개의 냉동기가 연결되어 있어, 쇼케이스를 S-case(A)와 S-case(B)로 나누어 나타내었다. 여기서 S-case(A)는 거의 연속 운전 에 가까운 주냉동기이며, S-case(B)는 on/off가 빈번히 발생하는 부냉동기이다.

주간시간대와 심야시간대에 각 기기들의 on/off 반복 횟수를 Fig. 3에 나타내었다. 주간시간대와 심야시간대의 측정시간이 각각 14시간과 10시간이므로, 단위시간당 on/off 반복 횟수로서 결과를 나타내었다. 워킹쿨러와 쇼케이스 모두 주간시간대보다 야간시간대에 on/off 반복 횟수가 많았다. 심야시간대에 운전을 하지 않고 꺼져있는 시간은 워킹쿨러가 약 23% 정도로 주간에 비해 더 길었으

며, 쇼케이스(A)와 (B) 역시 주간보다 심야시간대에 더 많은 시간 꺼져 있었다.

하루 동안 시간에 따른 전력변화를 Fig. 4에 나타내었다. 총 11일 동안의 측정값 중에서 평균값과 가장 유사한 측정일을 기준일로 선정하고, 오전9시부터 익일 오전9시까지 워킹쿨러와 쇼케이스의 운전 상태를 나타내었다. 여기에 나타난 전력값은 비교만을 위한 상대적인 값이다.

워킹쿨러(a)는 주간과 야간의 운전형태가 크게 차이가 나지는 않지만, 심야시간대에 더 적은 전력으로 운전되고 있다. 쇼케이스(b)의 운전 역시 심야시간대에 더 적은 전력량으로 잦은 on/off 반복이 일어남을 알 수 있다. 평균적으로 워킹쿨러와 쇼케이스 모두 소비전력량이 심야시간대가 주간시간대에 비해 약 35% 감소함을 알 수 있었다.

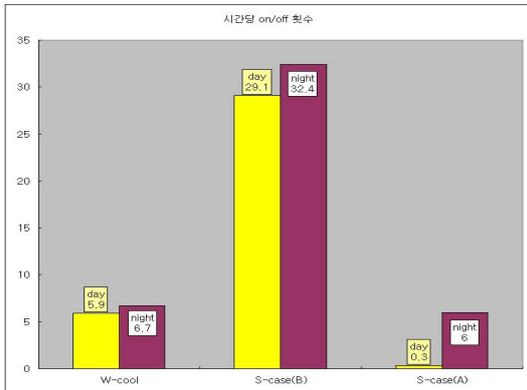
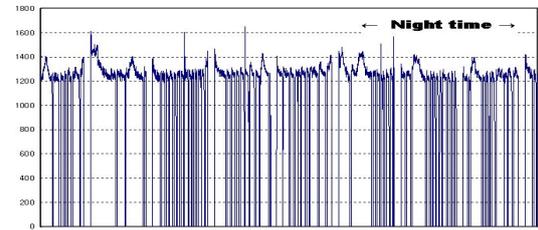
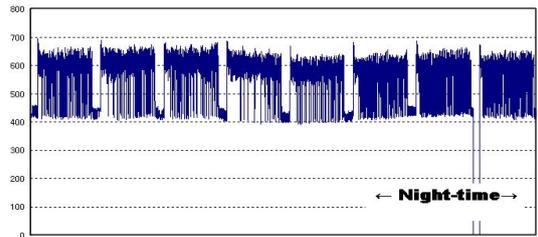


Fig. 3 Operation of W-cool and S-case (on/off counts)

이 값들을 이용하여 축냉 시스템을 적용하였을 때 심야시간 동안 축냉시킬 수 있는, 즉 쇼케이스의 냉각 운전이 필요하지 않을 때 사용할 수 있는 심야 미사용 전력량을 계상하였다. 이를 이용하여 축냉 가능한 전력을 주간 최대가능 부하이전율이라 하여 Table 5에 나타내었다. 워킹쿨러는 약 31.1% 정도의, 쇼케이스는 약 19.9%의 부하이전율을 나타낼 수 있음을 알 수 있다.



(a) Working cooler



(b) Showcase

Fig. 4 Compressor consumption power(W) for operation of showcase systems

Table 5. Practicable electric power of CSS at nighttime and maximum of load transfer percentage from nighttime to daytime at a convenience store

일차	Working cooler		Showcase	
	축냉 가능 전력량 [kWh]	최대 부하 이전율(%)	축냉 가능 전력량 [kWh]	최대 부하 이전율(%)
1일차	3.731	29.8	1.485	24.4
2일차	4.387	36.3	1.586	21.3
3일차	3.582	33.0	1.481	20.2
4일차	4.314	34.4	1.736	23.0
5일차	3.912	29.3	1.433	19.7
6일차	4.770	36.9	1.548	20.5
7일차	3.862	29.1	1.500	19.3
8일차	3.358	19.7	1.375	17.7
9일차	3.026	20.5	1.199	15.3
10일차	4.456	41.7	1.329	17.3
평균	3.940	31.1	1.467	19.9

3.2 대형마트 운전 상태 결과

편의점보다 규모가 큰 대형마트에서의 축냉 시스템 효과를 예측하기 위해, 편의점에서의 측정과 동일한 방법으로 쇼케이스 운전을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 대형마트에

서는 총 20일 동안 연속적으로 측정하였고, 총 7대의 쇼케이스를 측정하여 냉장과 냉동으로 구분 정리하였다.

Fig. 5는 24시간 동안 측정된 총 7개의 전력값 변화를 나타낸 것으로, 주·야간에 소비된 전력차이와 냉장/냉동기기의 전력차를 동시에 보여주고 있다. 우선, 심야시간대의 평균전력이 주간시간대의 평균전력보다 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 냉장과 냉동 쇼케이스를 비교하면 냉동보다는 냉장 쇼케이스가 주·야간에 더 큰 차이를 보인다. (여기서 1,2,5,6은 냉장 쇼케이스이며, 나머지는 냉동 쇼케이스이다. 하나의 쇼케이스는 각각 A와 B 두 대의 냉동기가 작동하고 있다.)

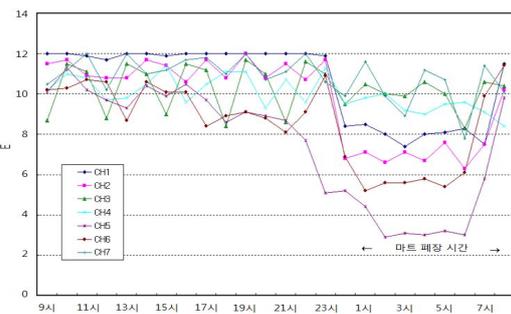


Fig. 5 Compressor consumption power(E) [kW] for operation of showcase systems for a day

식품의 신선도와 관련하여 냉동식품은 변질될 우려가 많아 주간과 야간의 외기 온도차에 상관없이, 계속적으로 냉장보다 낮은 일정한 온도로 냉동기가 운전되어야 한다. 반면, 냉장 쇼케이스는 손님이 많은 주간시간대에는 쇼케이스 문 개폐 횟수가 많고, 고객수에 따른 온도변화가 크게 발생하였을 것이다. 또한, 심야시간대에 비해 주간시간대에 외기 온도가 높기 때문에 주간시간대에는 냉장 온도를 일정하게 유지하기 위해 많은 전력이 필요하였을 것이다.

on/off의 반복 횟수는 Fig. 6에 나타내었다. 주간시간대와 심야시간대의 측정 시간차를 고려하여 단위시간당 on/off 반복횟수를 나타

낸 것으로, 주간시간대보다는 심야시간대에 그리고 냉동 쇼케이스보다는 냉장 쇼케이스에서 on/off 반복이 빈번하게 일어남을 알 수 있다. 평균적으로 주간에는 냉장, 냉동모두 시간당 8-9회 정도로 비슷하였으나, 심야시간대에는 냉장이 26회, 냉동이 15회로 10회 이상의 차이를 보였으며, 냉장 쇼케이스에서 더 많은 on/off 횟수가 나타났다. 또한, 냉장 쇼케이스는 총 1440분(24시간) 중 1046.9분 동안 운전하고, 393.1분간 정지하였다. 반면 냉동 쇼케이스는 총 1440분 중 922.2분 동안 작동하였고, 517.3분간 정지하였다.

이러한 운전 시간을 비교하면 냉장 쇼케이스보다 냉동 쇼케이스가 작동하지 않은 시간이 더 길었음을 알 수 있다. 앞서 언급한 on/off의 반복 횟수는 냉동 쇼케이스가 냉장 쇼케이스보다 더 적었다. 따라서, 냉동 쇼케이스에서 냉각 운전이 멈추면 냉장 쇼케이스보다 상대적으로 더 장시간 정지 상태가 지속되고 있었음을 알 수 있다.

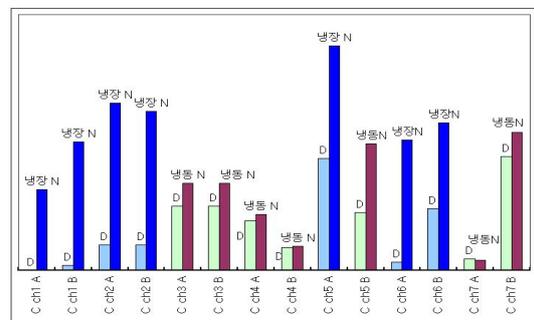


그림 6. On/off counts of Showcases in the discount store

이러한 자료로부터 편의점과 동일한 방법으로 축냉가능 전력량(심야 미사용 전력량)과 최대가능 부하이전율을 산정하여 Table 6에 나타내었다. 심야시간대에 쇼케이스 운전시간이 상대적으로 짧은 냉동 쇼케이스가 결과적으로 보다 많은 양의 전력을 축냉시킬 수 있다.

따라서, 최대가능 부하이전율 역시 냉장과 냉동 쇼케이스가 각각 34.1%과 49.0%로, 냉

동 쇼케이스에서 더 크게 나타났다.

Table 6. Practicable electric power of CSS at nighttime and maximum of load transfer percentage from nighttime to daytime at a discount store

일차	냉장 Showcase		냉동 Showcase	
	축냉 가능 전력량 [kWh]	최대 부하 이전율(%)	축냉 가능 전력량 [kWh]	최대 부하 이전율(%)
1일차	203.0	34.8	337.2	50.3
2일차	184.3	33.8	342.5	53.7
3일차	196.6	37.1	394.2	46.2
4일차	200.0	37.4	319.0	55.8
5일차	192.9	35.0	349.8	47.2
6일차	191.0	37.8	331.4	50.7
7일차	182.8	33.1	341.9	49.0
8일차	196.3	35.2	349.8	46.9
9일차	189.0	35.7	350.5	49.6
10일차	178.0	31.3	338.5	46.7
11일차	182.8	33.6	349.2	48.1
12일차	188.2	34.6	371.1	45.6
13일차	195.6	36.2	336.5	49.8
14일차	158.0	27.7	298.6	50.7
15일차	175.7	30.8	304.0	49.8
16일차	181.8	33.1	327.3	49.0
17일차	197.1	35.4	341.0	46.4
18일차	164.9	30.5	350.6	46.4
평균	186.6	34.1	340.7	49.0

4. 결 론

본 연구에서는 실제 쇼케이스의 운용현황에 대한 현장 모니터링을 실시하고, 그 측정 결과들을 정리·분석하여 축냉 시스템을 이용한 냉매 과냉각 쇼케이스 적용의 타당성 효과를 검증해 보았다. 그러한 측정은 편의점과 대형마트에서 쇼케이스의 운전 상태를 중심으로 측정하였다.

(1) 기기들마다 기능과 구조가 달라 결과의 차이를 나타내었지만, 거의 모든 기기들이 주간시간대보다 심야시간대에 쇼케이스 운전시간이 짧고 전력 역시 적게 소비

함을 알 수 있었다. 다만, 야간 시간대의 운전효율 감소로 인하여 총전력량은 약 2.02% 정도 증가하였다.

- (2) 편의점에서는 쇼케이스가 약 19.9%의 최대가능 부하이전율을 나타내었다. 대형마트에서는 최대가능 부하이전율이 냉장과 냉동 쇼케이스가 각각 34.1%과 49.0%로, 냉동 쇼케이스에서 더 크게 나타났다. 편의점과 대형마트에서의 쇼케이스의 최대가능 부하이전율의 차이는 편의점은 24시간 운영을, 대형마트는 오후 12시부터 다음 날 오전 9시까지 폐장되는 운영방식의 상이점에서 발생하는 것으로 판단된다.
- (3) 운영 조건에 따라 그 효과가 상이하게 나타나지만, 편의점과 마트 모두에서 심야 시간대에 축냉을 할 수 있고, 쇼케이스에 축냉시스템을 적용할 충분한 여건이 존재함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 한국전력의 중소기업협력 연구사업의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. 지원에 감사드립니다. (2008년 대한설비공학회 하계학술발표대회에 발표한 08-S-208 논문을 수정 보완한 것임)

References

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.