

쇼케이스 운전상태를 고려한 축냉시스템 적용타당성 연구

이 은 지 , 이 동 원[†]

한국에너지기술연구원

A study on the Cold-heat Storage System for Operation Status Monitoring of Showcase

Eun-Ji Lee , Dong-Won Lee[†]

Division of Renewable Energy Research, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

ABSTRACT: Experimental study was performed to understand the operations of a showcase working in a discount store. Temperatures of evaporation, condenser were measured and also electric power consumption of compressor were measured. The purpose of this study is to application use of cold-heat storage systems operated the showcase. At the condition 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 stored cold-heat after being discharged from the air cooling condenser during the day time. The cooling performance was increased owing to the sub-cooling of refrigerant during day time, hence the running time of the compressor was effectively decreased. In other words, this study showed that power consumption during daytime can be transferred to the midnight for making use of the refrigerant sub-cooling. So the operating characteristics of the showcase system under various working conditions were analyzed and discussed.

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

기 호 설 명

- D : 주간시간 (day-time)
- N : 야간시간 (night-time)
- E : 압축기 소비전력 [kW]
- L : 부하 [kW or kcal/hr]
- W-cool : working cooler

1. 서 론

국내 전력소비는 경제발전과 생활수준 등의 향상으로 계속 증가하고 있는 실정이며, 한국전력과 정부에서는 최대 전력부하를 억제하고 발전설비의 가동률 향상을 위한 전력부하 평준화 노력을 하고 있다. 여름철 주간시간대 나타나는 최대 전력부하를 억제하기 위하여 한국전력에서는 심야전력 지원제도를 도입하여 축냉 시스템의 보급을 지원하고 있는데 축냉 시스템이 건물의 냉방용이어야 한다는 제한조건이 있다. 또한 저장된

[†] Corresponding author
Tel.: +82-42-860-3533; fax: +82-42-860-3538
E-mail address: dwlee@kier.re.kr

냉열은 주간 냉방부하의 40% 이상이 되어야 하고, 냉방을 위하여 축열조에 저장된 냉열을 직접 이용해야 하는 조건도 충족되어야 한다. 따라서 여름철 주간 전력소비가 큰 산업용 냉각/냉장 부하에 대하여 한국전력의 지원을 받는 축냉 시스템 이용은 제한적이며, 일본에서 널리 보급되고 있는 Eco유닛과 같이 축냉 시스템을 간접 이용하는 방식도 지원 대상에서 제외되고 있다. 이와 같이 축냉 시스템 이용에 여러 가지 불합리한 제약조건이 있는 이유는, 1990년대 초반 축냉 시스템이 처음 보급되었을 때 제정된 규정에 대하여, 관련 기술개발의 진전에 따른 적절한 보완이 이루어지지 않았기 때문이다.⁽²⁾

본 연구에서는 이러한 제한조건을 완화시키기 위한 사전 기초연구로써, 축냉 시스템을 냉각에 간접이용하는 쇼케이스의 타당성에 대해 살펴보고자 한다. 쇼케이스는 식품유통의 마지막 단계로, 식품이 소비자의 손으로 넘어가는 중요한 단계의 냉장·냉동설비기이다. 소비문화의 수준 향상으로 인하여 식생활이 점점 다양화되고 가공식품 및 냉동냉장식품의 소비량이 증대함에 따라 쇼케이스의 사용도 증가하였고, 식품 슈퍼마켓에서는 일반적으로 연간 전력소비량의 약 60%가 냉동/냉장 쇼케이스 관련설비에 기인하고 있다. 그러므로 점포의 유지비와 관련해서도 에너지를 효율적으로 이용하는 쇼케이스 시스템이 관심의 대상이 되고 있다.

축냉 시스템의 간접 이용 방법이란 저장된 냉열을 냉각 시스템에 바로 적용하지 않고, 냉각 시스템의 응축기 냉각용으로 이용하는 방식이다. 냉동기의 응축기 고압 측 냉매를 과냉시키면 냉동기의 COP와 냉동능력이 상승하므로, 축냉 시스템을 냉매 과냉용으로 이용하여 냉동기의 주간 전력소비를 감소시킬 수 있도록 하는 것이다. 따라서 축냉 시스템에 요구되는 주간 전력부하 저감과 부하평준화에 기여하면서도, 축냉 시스템의 이용분야를 크게 확대시키는 효과를 기대할 수 있는 것이다.

쇼케이스는 연중 냉각부하를 갖는 특징이 있는데, 주간에는 개방된 형태로 냉각부하가 크지만 심야시간대에는 커튼 등을 이용하여 이러한 부하를 최소화 시키고 있다. 따라서 심야시간에 쇼케이스 냉각부하가 없을 때는 축열조에 냉열을 저장하고, 주간 쇼케이스 냉각부하 대응을 위하여

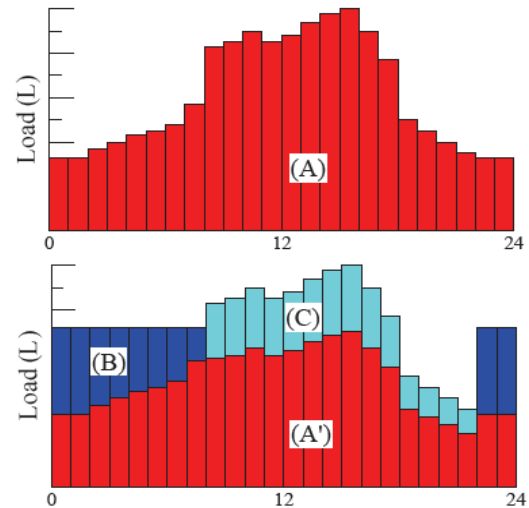


Fig. 1 Effect of the sub-cooling

실외기를 가동시킬 때는 축열조에 저장된 냉열을 이용하여 응축기 출구 냉매를 과냉하면, Fig. 1과 같은 개념에 의해 전력부하 이전이 가능하다. 즉, 심야시간대에는 실외기를 계속 운전하면서 쇼케이스를 냉각하고 남는 에너지(B)를 냉열의 형태로 축열조에 저장하며, 주간시간대에는 이 저장된 냉열을 이용하여 실외기의 운전효율을 (C) 만큼 향상시킴으로써, 주간 전력소비를 (A)에서 (A') 만큼 감소시킬 수 있는 것이다.⁽¹⁾

본 연구에서는 쇼케이스의 실제 운용현황에 대한 현장 모니터링을 통해 냉매 과냉각 쇼케이스 시스템 적용에 대한 실질적 운용데이터를 예상할 수 있도록 기반을 마련하고자 한다. 냉매 과냉각 시스템을 쇼케이스에 적용하였을 때 생기는 부하평준화 효과를 검증함으로써, 향후 다양한 분야에 축냉 시스템을 활용하는데 기여하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

냉매 과냉각 쇼케이스는 Fig. 2와 같이 기존 쇼케이스 냉각 시스템에 증발기인 제빙용 열교환기와 과냉각용 열교환기를 각각 배치한 축열조를 추가로 설치한 것이다. 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 제빙

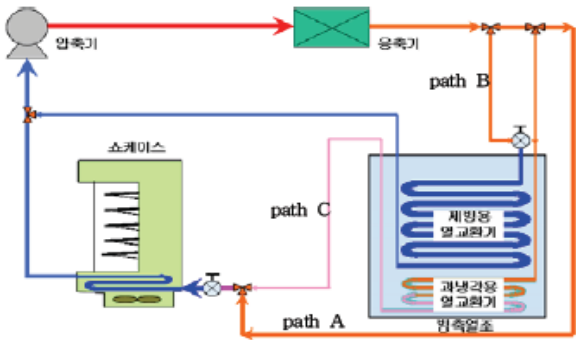


Fig. 2 Schematic diagram of the apparatus

용 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.⁽¹⁾ 이러한 냉매 과냉각 쇼케이스를 현재 사용하고 있는 쇼케이스에 적용할 수 있는지의 여부를 알아보기 위한 현장모니터링이 대전에 위치한 편의점과 대형마트에서 각각 연속적으로 11일, 20일 동안 진행되었다.

편의점에서는 워킹쿨러(working-cooler)와 쇼케이스(showcase), 각각의 전력을 측정하고 응축기와 압축기의 입·출구 온도를 열전대를 설치하여 측정하였다. 대형마트에서도 마찬가지로 냉동/냉장 쇼케이스 총 7대의 전력과 온도를 측정하였다. 이 때 편의점에서의 측정데이터 획득은 5초마다 이루어져 1분에 12개의 데이터를 얻었고, 대형마트에서의 데이터 획득은 10초 간격으로, 1분에 6개의 데이터를 얻었다. 23시부터 오전 9시까지, 10시간 동안은 심야시간대로 간주하였고 나머지 14시간은 주간시간대로 간주하여 정리하였다.⁽³⁾

3. 실험결과 및 고찰

쇼케이스 운전에서의 on/off 횟수와 on/off시간 등의 데이터를 단계적으로 분석하고 이를 이용하여, 심야시간 동안에 저장시켜 놓을 수 있는 전력량(심야시간 미사용 전력량)을 산정하였다. 또한 변수가 없다는 가정 하에 최대로 축냉 가능한

전력량이 최대 가능 부하이전율과 같다고 간주하여 그 양을 산정해보았다.

3.1 편의점에서의 결과

편의점에 있는 냉장·냉동 설비기기인 워킹쿨러와 쇼케이스의 데이터를 각각 측정, 분석하였다. 하나의 쇼케이스에 두 개의 냉동기가 운전되고 있기 때문에 쇼케이스를 showcase(A)와 showcase(B)로 나누어 나타내었다. 여기서 showcase(A)는 계속적으로 운전하는 주냉동기이며 showcase(B)는 on/off가 빈번히 발생하는 부냉동기이다.

주간시간대와 심야시간대에 각 기기들의 on/off 반복 횟수를 Fig. 3에 나타내었다. 주간시간대와 심야시간대의 측정시간이 각각 14시간, 10시간으로 차이가 나기 때문에 정확한 비교를 위하여 on/off 반복 횟수를 시간당 값으로 표현하였다. 워킹쿨러와 쇼케이스 모두 주간시간대보다 야간시간대에 on/off 반복 횟수가 잦았다. 심야시간대에 운전을 하지 않고 꺼져있는 시간은 워킹쿨러가 약 23%정도로 주간에 비해 더 길었고, 쇼케이스의 (A)와 (B) 역시 주간보다 심야시간대에 더 많은 시간 꺼져있었다.

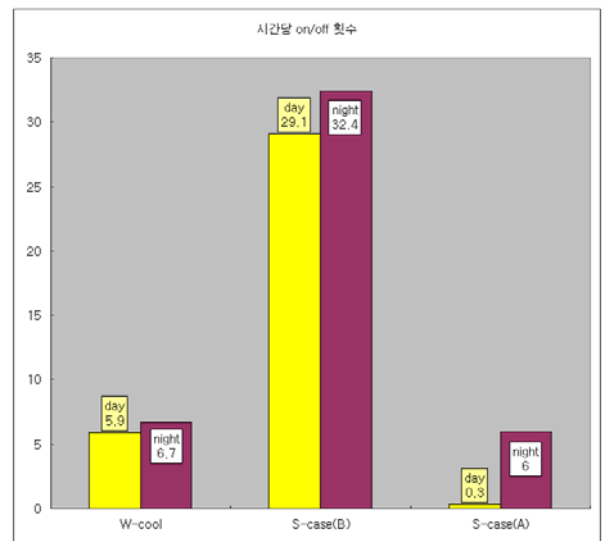
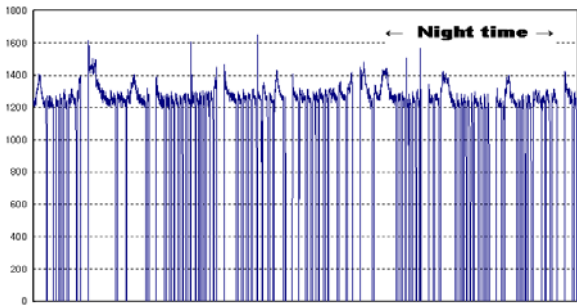
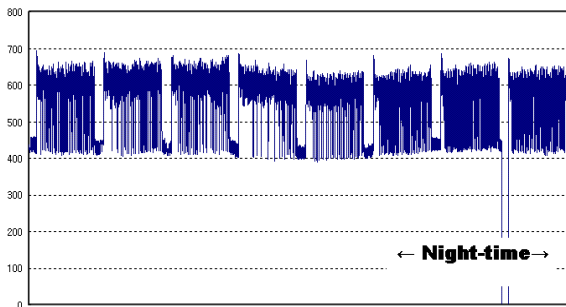


Fig. 3 Operation of W-cool and S-case (on/off counts)



(a) Working-cooler



(b) Showcase

Fig. 4 E for operation of showcase systems

하루 총 24시간 동안 각 시간에 따른 전력변화를 Fig. 4에 나타내었다. 총 11일 동안 측정된 값 중에서 평균값과 가장 유사한 대표 날을 선정, 오전 9시부터 다음 날 오전 9시까지 워킹쿨러와 쇼케이스의 운전 상태를 나타내었는데 여기에 나타난 전력값은 정확한 값이 아닌 측정편의를 위한 상대적인 값이다. 워킹쿨러(a)의 경우 주간과 야간의 운전형태가 크게 차이가 나지는 않지만 심야시간대에 더 적은 전력으로 운전되고 있다. 쇼케이스(b)의 운전 역시 심야시간대에 더 적은 전력으로 잦은 on/off 반복이 일어났다. 좀 더 정확한 데이터 값을 확인해 보면 평균적으로 워킹쿨러와 쇼케이스 모두 소비전력량이 심야시간대가 주간시간대에 비해 약 35% 감소하였다.

이 값들을 이용하여 축냉 시스템을 적용하였을 때, 심야시간동안 축냉시킬 수 있는, 즉 쇼케이스의 냉각 운전이 필요하지 않을 때 사용할 수 있는 심야 미사용 전력량을 구해보았다. 또 이를 이용하여 큰 변수가 없다는 가정 하에, 축냉 가능한 전력을 주간 최대 가능 부하이전율이라고 Table. 1에 나타냈다.

기존에 사용되고 있는 워킹쿨러와 쇼케이스에

축냉 시스템을 적용하면 각각 최대 31.1%, 19.9% 정도의 부하이전을 기대할 수 있다. 이 값은 전술한바와 같이 모든 변수를 무시하고 심야 미사용 전력량을 모두 주간에 부하이전 시킬 수 있다는 가정 하에 나온 값으로 실제 적용 시에는 다소 적은 값이 나오리라 생각된다. 하지만 워킹쿨러와 쇼케이스 모두 심야시간대에 사용할 수 있는 전력이 충분하고 심야시간대에 주간시간대에 비해 냉동기 운전이 감소하므로, 축냉 시스템을 도입한다면 주간 전력 소비를 줄일 수 있기 때문에 부하평준화 효과를 얻을 수 있다고 판단된다. 또 에너지의 효율적 이용차원이나 경제적인 측면을 고려할 때, 축냉 시스템을 이용하는 것이 현재의 일반적인 시스템보다 더 효과적일 것이다.

Table 1 Practicable electric power of CSS at night time and maximum of load transfer percentage from night-time to day-time at a convenience store

일차	working cooler		show case	
	축냉 가능 전력량	최대 부하 이전율 (%)	축냉 가능 전력량	최대 부하 이전율 (%)
1일차	3731.0	29.8	1485.5	24.4
2일차	4387.0	36.3	1585.9	21.3
3일차	3581.9	33.0	1480.8	20.2
4일차	4314.3	34.4	1736.0	23.0
5일차	3912.1	29.3	1432.6	19.7
6일차	4770.2	36.9	1548.3	20.5
7일차	3862.1	29.1	1500.3	19.3
8일차	3357.5	19.7	1374.7	17.7
9일차	3026.1	20.5	1198.9	15.3
10일차	4455.9	41.7	1329.4	17.3
평균	3939.8	31.1	1467.2	19.9

3.2 대형마트에서의 결과

앞서 설명한 편의점보다 규모가 큰 대형마트에서의 축냉 시스템 효과를 예측해 보기 위하여, 전과 동일한 방법으로 쇼케이스 운전을 측정, 분석하였다. 대형마트에서의 데이터는 총 20일 동안 연속적으로 측정하였으며, 총 7대의 쇼케이스를 각각 측정하여 냉장/냉동으로 구분 정리하였다.

Fig. 5는 24시간 동안 측정된 총 7개의 전력값 변화를 나타낸 것으로, 주·야간에 소비된 전력 차이와 냉장/냉동기기의 전력차를 동시에 볼 수 있다. 주·야간의 전력값을 비교해보면 심야시간대의 평균전력이 주간시간대의 평균전력보다 눈에 띄게 감소한 것을 알 수 있다. 또 냉장/냉동 쇼케이스를 비교해보면 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.)

식품의 신선도와 관련하여 냉동식품은 변질될 우려가 많아 냉동기는 주간과 야간의 온도차에 상관없이 계속적으로 냉장보다 낮은 일정한 온도로 운전되어야 한다. 반면 냉장 쇼케이스의 경우, 손님이 많은 주간시간대에는 쇼케이스 문의 개폐가 빈번했을 것이고, 고객 수에 따른 온도변화가 발생 하였을 것이다. 또 심야시간대에 비해 주간시간대에 외부온도가 높기 때문에 주간시간대에는 일정한 냉장 온도를 유지하기 위한 많은 전력이 필요했을 것이다.

on/off의 반복 횟수는 Fig. 6에 나타나있다. 이 값 역시 주간시간대와 심야시간대의 시간차를 고려하여 시간당 on/off 반복횟수를 나타낸 것으로, 주간시간대보다는 심야시간대에 그리고 냉동 쇼케이스보다는 냉장 쇼케이스에서 on/off 반복이 빈번하게 일어난 것을 알 수 있다. 평균적으로 주간에는 냉장, 냉동모두 시간당 8, 9번 정도로 비슷하였으나 심야시간대에는 냉장이 26번, 냉동이 15번으로 10번이상의 차이를 보이며 냉장 쇼케이스에서 더 많은 on/off가 발생하였다. 데이터를 살펴보면 냉장 쇼케이스는 총 1440분(24시간) 중 1046.9분 운전하였고, 393.1분 꺼져있었다. 반면 냉동 쇼케이스는 총 1440분 중 922.2분 작동하였고, 517.3분 꺼져있었다.

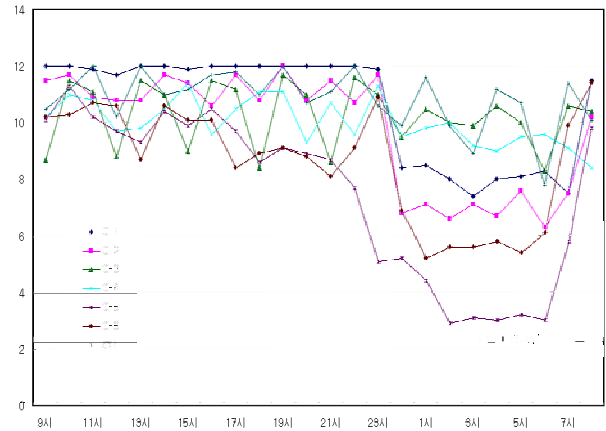


Fig. 5 E for operation of showcase systems for a day.

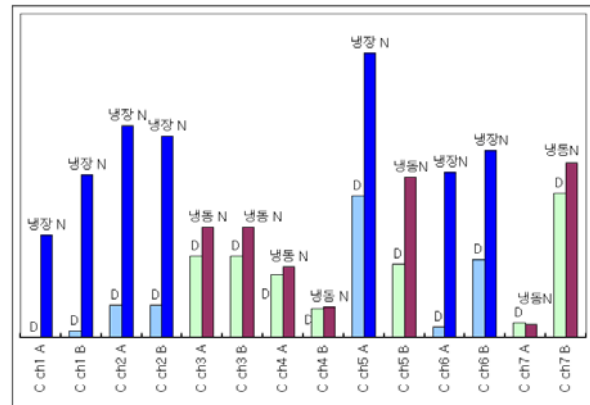


Fig. 6 On/off counts of showcases in the discount store

이러한 운전 시간을 비교해 보면 냉장 쇼케이스보다 냉동 쇼케이스가 작동하지 않은 시간이 더 길었음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 on/off의 반복 횟수는 냉동 쇼케이스가 냉장 쇼케이스보다 더 적었다. 이와 같은 결과로 냉동 쇼케이스의 경우에는 냉각 운전이 멈추면 냉장 쇼케이스보다 더 오랜 시간 그 상태가 지속되고 있음을 알 수 있다. 이러한 자료를 가지고 편의점과 동일한 방법으로 축냉가능 전력량(심야 미사용 전력량)과 최대가능 부하전율을 산정하여 Table. 2에 나타냈다. 심야시간대에 쇼케이스 운전이 상대적으로 짧은 냉동 쇼케이스가 결과적으로 보다 많은 양이 전력을 축냉시킬 수 있다. 따라서 최대가능 부하전율 역시 냉장, 냉동이 각각 34.1%, 49%로, 냉동 쇼케이스에서 더 크게 나타났다.

Table 2 Practicable electric power of CSS at night time and maximum of load transfer percentage from night-time to day-time at a discount store

일차	냉장		냉동	
	(kwh)	(%)	(kwh)	(%)
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. 결론

전력부하 평준화에 기여하고 있는 축냉 시스템의 보급 확대를 위해서는, 기존 건물공조 외에 산업용 등으로 그 이용분야를 넓히는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실제 쇼케이스의 운용현황에 대한 현장 모니터링을 하고, 그 데이터들을 정리·분석하여 축냉 시스템을 이용한 냉매과냉각 쇼케이스 적용의 타당성 효과를 검증해보았다. 본 연구를 위해 편의점과 대형마트에서 쇼케이스의 운전 상태를 측정하였다.

(1) 기기마다 기능과 구조가 달라 결과값에 차이는 있었지만 결과적으로 모든 기기들이 주간시

간대보다 심야시간대에 쇼케이스 운전시간이 짧았고 전력 역시 적게 소비됨을 알 수 있었다.

(2) 편의점과 대형마트의 결과를 비교하였을 때, 편의점의 경우가 더 적은 최대 가능 부하이전율을 얻었다. 이것은 편의점의 경우는 24시간 운영되지만 마트의 경우는 오후 12시부터 다음날 오전 9시까지 폐장하는 두 곳의 운영방식 차이 때문이라고 보여진다.

(3) 값에 약간의 차이는 있지만 편의점과 마트 모두에서 심야시간대에 축냉을 할 수 있는 여건이 충분함을 확인하였다.

축냉 시스템을 이용한다면 부하평준화 효과를 볼 수 있다. 또 일반적인 시스템보다 에너지의 효율적 이용차원에서나 경제적인 측면에서 더 효율적이다. 이러한 축냉 시스템을 이용한 쇼케이스의 개발과 현장 적용이 이루어져야 할 것이다.

후기

이 연구는 한국전력의 중소기업협력 연구사업의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, D-W., Joo, M-C., Choi, B-J. and Kim, W., 2007, Sub-cooling effect using cold storage system, Proceedings of the SAREK 2007 Summer Annual Conference, pp. 1067-1071.
2. Park, S-S, and Kim, Y-R., 2001, Technology of the ice storage system, magazine of the SAREK, Vol. 30, No. 6, pp.6-15.
3. Shin, Y-H., Oh, Y-G. and Park, K-H., 2005, Measurement and Analysis of Showcase Field data, Proceedings of the SAREK 2005, Vol. 17, No .5, pp. 436-443.