

에너지 다소비형 건물 축냉 시스템의 경제성에 관한 연구

이 제 표[†]

국가핵융합연구소 정책실

The Study of Economical Efficiency for the Ice Storage System of more Energy Consumption Building

Je-Myo Lee[†]

National Fusion Research Institute, Daejeon 305-333, Korea

(Received August 30, 2011; revision received August 17, 2012)

ABSTRACT: It is important issue to reduce the electric energy to save the operating cost of HVAC system. Even if electrical energy is the clean energy, it is difficult and takes high cost for storage of electricity. These cause the high peak load of electric energy for HVAC in summer season. In Korea, government impose the electric charge with several grade for the purpose of cut-off the peak load of electricity. Government has a policy to support to design and install the heat/ice storage system using midnight electricity. In this study, analysis of cooling load and operating characteristics for ice storage system are performed. And, also economical efficiency is compared between ordinary charge system of electricity and midnight rate charge of electricity. The systematic and economical supports are needed for expansion of usage of energy saving equipments.

Key words: Peak load(첨두부하), Ice storage system(축냉시스템), Ice storage(축냉조), Zone(지역), COP(성적계수), Storage cooling load(축냉부하)

기 호 설 명

Q	: 부하 [kcal/h]
\dot{m}	: 유량 [kg/h]
C_p	: 정압비열 [kcal/kg °C]
T_2	: 출구온도 [°C]
T_1	: 입구온도 [°C]

1. 서 론

우리나라의 전력최대수요는 연평균 5% 이상의 높

은 증가 추세를 보이고 있다. 국내 전력공급 현황을 보면 설비기준으로 원자력(28%) LNG(26%) 석탄(28%) 석유(8%) 수력(7%) 등이다. 발전량 기준으로는 원자력(40%)과 석탄(37%)이 77%를 차지했다.⁽¹⁾ 냉방부하에 의한 전력소비는 주로 여름철 주간(14:00~16:00)에 집중적으로 발생함으로써 적정 전력공급 예비율 15%에 크게 부족하여 전력수급의 불안정을 초래하고 있다.⁽²⁾ 전기에너지는 청정에너지이지만 저장에 난이하고 저장에 비용이 많이 소요되며, 발생과 동시에 소비해야 되는 특성을 가지고 있어 주간과 야간의 소비량이 현격히 차이가 있으며, 전기에너지의 효율적인 소비가 매우 중요하다. 이러한 전력수급의 불균형을 완화하기 위하여, 각 나라마다 건축물의 냉방전력에 의한 하계 피크(peak) 부하를 저감시키고 저부하 시간대인 야간의 전력 사

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-879-5061; fax: +82-42-879-5389

E-mail address: jmlee@nfri.re.kr

용률을 증가시켜 전체적인 일일 부하율을 향상시키고자 심야전력 사용제도를 만들어 값싼 전력을 심야(23:00~익일 09:00)에 제공하고 있다. 따라서 건물에 사용되는 HVAC 장비의 운전비용을 절감하기 위해서는 장비의 운전효율뿐만 아니라 전력요금 체계에 최적화된 운전제어방법도 매우 중요하다. 심야전력을 최대로 사용하여 건물의 HVAC를 하면 전력의 주간 피크(peak)와 운전비용은 절감되지만, 축냉조 등의 초기설치비용이 증가하기 때문에 일반적인 건물에서는 축냉조 용량을 줄이고 주간 시간대에 냉동기를 위주로 가동하는 경우가 많다. 그러므로 소비자에게 불편함을 주지 않고 기술적으로 축냉조를 피크부하 시간대에 최대한 활용하는 제어기술의 개발이 필요하다. 전력생산의 관점에서 관찰해보면 하계 주간피크대의 부하율 1% 절감은 약 1%의 전력생산원가 절감으로 직결되기 때문에 축냉 시스템에서 피크시간대의 냉동기운전비용 저감기술은 경제적 공익이 매우 크다. 현재까지 냉방부하에 대한 에너지사용 비용을 고려한 제어장치는 업계 주도로 개발되어 왔으나 수요관리 측면의 공익성을 우선으로 하는 피크부하 관리기술이 포함된 제어기술을 개발하여야 한다. 국가적으로 전력산업기반기술을 확보하는 공익적 차원에서 이러한 기술을 개발하여 전 제조업계에 무상 기술이전을 통한 대량보급을 정책적으로 수행해나갈 필요가 있다. 본 연구에서는 에너지 다소비형의 건물(지하 3층, 지상 16층 건물로 1,053병상을 갖춘 종합병원)의 여름철 냉방부하에 따른 축냉 시스템의 운전효율 및 운전비용에 대한 연구를 수행하여 축냉 시스템의 경제적인 운전제어를 위한 자료로 삼고자 한다.

2. 연구동향

2.1 국내

1980년대 중반에 수축열을 이용한 축냉식 냉방설비가 처음 도입되기 시작하였으며 축열조 설치 등의 문제로 1990년대 들어서는 축냉 시스템이 도입되기 시작했다. 1991년 3월 한국전력의 “축냉 보급 촉진을 위한 지원제도”에 의한 축냉설비 설치지원제도 및 1992년 7월 통상산업부 고시 “건축물의 냉방설비에 대한 설치 및 설계기준”에 의하여 의무규정화하여 보급되고 있다. 국내의 연구 수준은 기초연구는 진행되었지만 이 연구를 수행하기 위하여 중대형 규모의 시험설비가 필요하고 개발된 제어장

치는 제조현장에 보급해야 하며 현장에서의 사후 오동작 유무의 검증까지 모든 기술지원이 체계적으로 이루어져야 하므로 아직 체계적인 연구가 진행되지 못하였다. 현재 최대 규모인 30USRT급의 시험설비를 보유하고 있는 전력연구원에서 이 분야 연구의 전신인 소비자 경제성을 우선으로 한 축냉 최적제어기 개발을 완료한 적이 있고 또한 축냉 분야에서 전력수요의 피크를 저감하고자 전력투입시간을 전일 잔열량에 따라 저부하 시간대로 이동하는 자동제어장치를 개발하여 널리 보급한 경험이 있다. 최근에는 우리나라의 축냉 시스템 업체의 해외 진출이 활발하게 이루어지고 있다.

2.2 국외

미국은 이 분야의 선두주자로 식품가공 산업분야에서 시작된 축냉 시스템을 공조 시스템에 적용하고 있으며 전력연구소의 주간 하에 축냉 관련 연구, 개발, 평가를 수행하고 있다. 전력공급회사가 민간회사인 관계로 국가차원의 지원제도는 없으며 전력회사에 따라 주야간 전력요금의 차이를 두고 있다. 일본의 전력회사는 심야전력 값, 을 등 우리와 같은 요금제도를 유지하고 있으나 일정규모 이상의 건물에 대한 축냉 설비 강제설치 규정은 없다. 국가적인 차원의 저리용자, 설치보조금 등의 지원제도가 있으며 축열센터를 중심으로 에너지 절약 및 환경보전의 목적에서 정부차원의 지원제도를 강화하고 있다. 축열 및 축냉 겸용의 패키지 에어컨이 새로이 개발되어 보급되고 있다. 중국에서는 산업화의 증대로 전력소비량이 증가하고 있어 대체에너지 등에 대하여 많은 투자를 시작하였다. 동남아시아 등에서도 많은 수요가 필요하다. 하지만 유럽에서는 기후적인 조건으로 공조부문에는 전력질주하지 않고 식품가공분야에 일부 적용하고 있다.

3. 시험장치 및 시험방법

본 시험에서는 종합병원에 설치된 780RT 축냉 터보냉동기 2대와 축냉조(10,500 USRT), 브라인펌프(7,231 l/min.) 3대, 냉각수 순환펌프(9,100 l/min.) 3대와 냉수 순환펌프(9,475 l/min) 3대로 구성된 설비를 사용하여 연구를 수행하였다. 냉방부하는 외기온도 31.2°C, 상대습도 85%RH를 기준으로 산정하였으며, 외주부는 FCU, 내주부는 AHU가 공기조화를 담당하는 수-공기 방식으로 설계·시공되었다.

- 3) 축냉운전은 축냉조에 축냉을 위한 냉동기 운전 부하로 한다.
- 4) 유량 흐름이 없는 경우 온도차가 나타나는데 이는 배관계의 자연 방냉에 의한 부하로 무부하로 처리한다.

각 장치에서 발생하는 부하는 유량의 흐름과 입·출구온도차를 알 수 있을 경우 식(1)과 같이 관련 식⁽⁸⁾으로 나타내었고 전력입력을 알고 있는 경우에는 식(2)~식(3)과 같이 전원입력을 열량으로 환산하였다.

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ W} \cdot \text{sec} \quad (2)$$

$$1 \text{ MWh} = 1,000 \times 3,600 / 4.1868 = 860,000 \text{ kcal} \quad (3)$$

축냉조의 활용도는 식(4)와 같이 산정하였다.

$$\text{활용도} = \frac{\text{월간축냉 부하}}{\text{축냉 능력} \times \text{축냉 일수}} \times 100 \quad (4)$$

절감된 사용요금은 식(5)와 같이 구하였다.

$$\text{절감요금} = \text{월간 축냉 부하} (USRT) \times 3024 \text{ kcal/h} / 10000 (\text{kcal/kWh}) \times (\text{고압 A 선택 1원단위} - \text{심야전력을 원단위}) \quad (5)$$

4.1 운전특성 고찰

6월 중순에서 8월 말까지의 축냉 냉동기의 운전 특성 및 부하분석의 결과를 Fig. 2~Fig. 5에 나타내었다. 본 시험이 수행된 6~8월은 여름철이라는 계절적인 이유로 주간의 냉방부하가 급격히 증가하였다. 냉방부하는 6월과 7월초에는 오후에 집중되어 있고 7월 말과 8월에는 냉방부하가 거의 하루 종일 발생하고 있다. 냉동기 운전 특성은 상대적으로 냉방부하가 적은 6월과 7월초에는 축냉조에 저장한 에너지만을 사용하여 주간에 발생하는 냉방부하의 감당이 가능하였다. 하지만 냉방부하가 커지는 7월 중순이후부터는 열대야현상 등에 의해 야간에도 냉방부하가 발생하므로 흡수식 냉온수 유닛과 축냉 시스템을 병행하여 운전하는 방식으로 냉방부하에 대응하였다. 주간 전력부하의 피크치를 적극적으로 절감하기 위해 축냉 시스템 운전 시 일기예보를 활용하여 축냉 및 방냉시간을 조절하였다. 축냉 시스템

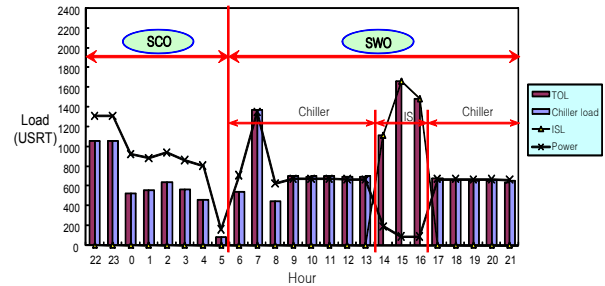


Fig. 2 The graph of operating status for the ice storage system at 15th June.

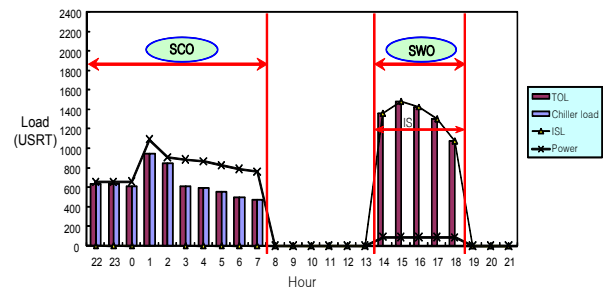


Fig. 3 The graph of operating status for the ice storage system at 6th July.

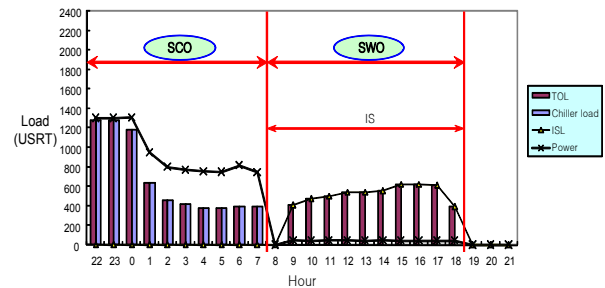


Fig. 4 The graph of operating status for the ice storage system at 20th July.

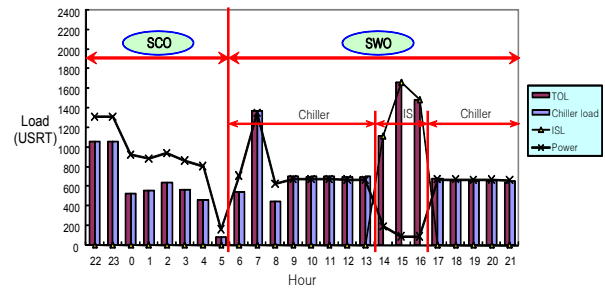


Fig. 5 The graph of operating status for the ice storage system at 12th August.

의 운전 시 주간의 최대전력 피크치를 제어하는 것도 중요하나 단시간에 방냉을 하면 최대 전력피크치를 상승시키는 경우도 있으므로 주의해야 한다.

일반적으로 축냉조는 3~4시간 내에 방냉하도록 설계를 하고 있으며 축냉 시스템이 설치된 종합병원의 축냉조 최대방냉량은 2,800 USRT이다. 축냉량이나 잔냉량을 측정하기 위해 레벨센서의 정확한 작동이 중요하나 오동작이 많이 발생하였다. 따라서 축냉조의 액위계가 정확한 액위를 측정할 수 있도록 세심한 주의를 기울여야 한다. 심야전력이 공급되기 시작하는 23시는 축냉운전이 시작되는 시점으로 적산전력계에는 전력부하가 계속되나 축냉조의 축냉부하는 계속되지 않는다. 전력사용량을 분석한 결과 축냉 시스템이 사용된 종합병원의 경우 일반적인 HVAC 시스템이 사용된 경우보다 주간에는 25~30% 심야에는 40~50% 전력소비를 줄일 수 있었다. 또한 3개월간 축냉량과 방냉량을 분석한 결과 축냉량이 방냉량보다 약 7% 정도 많은 것으로 나타났으며 이것은 배관 및 기기의 열손실로 사료된다. Fig 6에서는 7월 22일의 일간 냉동기 운전효율을 나타내고 있다. 건물의 냉방부하에 대응하기 위한 냉방운전은 09시에서 23시까지 이루어지고 있으며, 축냉조에 냉방용 열을 저장하기 위한 축냉운전은 23시에서 익일 09시까지 이루어진다. 주간에 냉방운전이 일어나는 동안에는 냉동기의 성적계수(COP)는 약 3~4에서 운전이 이루어지고 있으나, 축냉운전 중의 성적계수는 2이하로 운전되고 있다. 이러한 이유로는 심야의 축냉운전 시의 증발온도가 주간의 냉방운전시의 증발온도보다 낮기 때문에 터보냉동기의 효율이 떨어지며, 축냉운전이 진행 될수록 열음의 두께가 두꺼워져 열전달율이 낮아지기 때문이다. 심야의 축냉운전 시의 성적계수는 주간의 냉방운전시의 성적계수보다 낮게 운전되어 운전자체는 비효율적이지만, 심야전기를 이용하여 축냉운전을 수행하기 때문에 주간의 피크부하를 줄이고 운전비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 본 축냉운전에 의한 비용 절감에 대해서는 제 4.3절에서 상세하게 언급할 것이다.

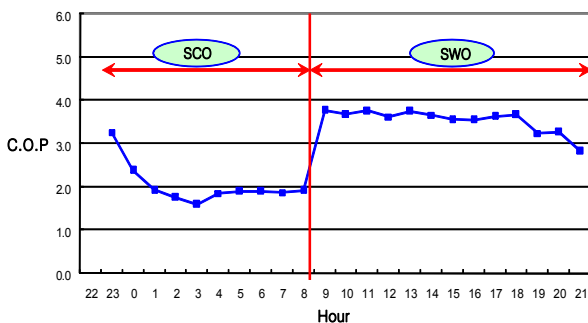


Fig. 6 The Daily COP variation of turbo chiller with ice storage system.

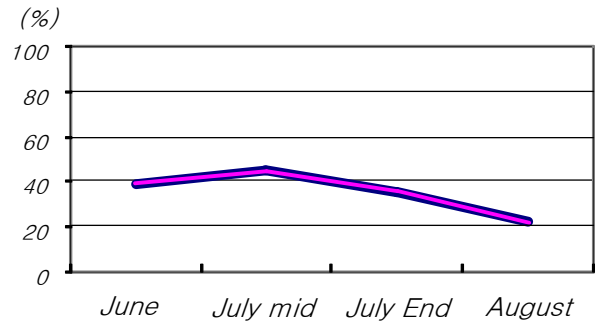


Fig. 7 The usage rate of ice storage tank.

4.2 축냉조의 활용도

축냉조의 활용도는 Fig 7과 같이 6월 39.5%, 7월 초·중순 45.1%, 7월 중순·말 35.8%, 8월 22.1%로 전체적으로 축냉조의 활용도가 낮고, 냉방부하가 커질수록 축냉조의 활용도는 더욱 저조한 결과를 보인다. 이러한 결과를 보인 주요한 이유는 관리자들의 운전 숙련도 및 부하예측 숙련도가 낮기 때문으로 판단된다. 건물의 관리자에게 적절한 운전 교육을 실시하고 일기예보를 통한 예측제어 기법과 원가관리 기법을 도입하면 축냉조의 활용도는 상승할 것으로 예측된다.

4.3 운전비용의 절감

국내의 전력요금 제도 중에서 심야전력 요금제도를 이용하면 심야에는 값싼 요금의 전력을 사용할 수 있으므로 이러한 제도를 적극적으로 활용하여 효율적인 에너지 사용과 전력요금의 절감이라는 두 가지 목적을 효과적으로 달성할 수 있다. 또한 여름철에는 냉방용 가스요금이 값싸게 공급되고 있으므로 시스템 설계 시 흡수식 냉온수기 및 가스엔진구동 열펌프(GHP) 등을 사용할 수 있도록 다각적인 검토를 통하여 제도적인 혜택을 도모해야 한다. 고압전력의 경우 기본요금 적용 시 지난해 7, 8, 9월 사용전력과 당월의 최대 수요전력 중 가장 높은 것을 기본요금으로 적용한다.

- ① 기본요금(고압) = 요금적용전력(kW)×단가
- ② 전기요금 = 기본요금+전력량요금

또한 수용가에서는 최대 수요전력관리를 위하여 최대 수요 전력계(Demand Controller)를 설치하여 관리한다. 최대 수요전력계는 수용가에 설치된 한전 전력량계로부터 15분 동안의 전력량을 계산하여 수요자

에게 경보를 주는 시스템이다. 축냉 시스템을 설치하여 절감된 운전비용을 분석하여 보면 전력피크 저감에 의한 기본료 절감 부문은 종합병원의 업무용전력과 HVAC 장비의 전력 시스템이 연계되어 있으므로 이 부문에 대한 분석은 제외하고 사용료 절감 부분만을 고려하여 계산하였다. 이러한 방법으로 운전비용의 절감액을 계산한 결과 6월 2,026만원, 7월 1,604만 원, 8월 1,414만 원 정도가 절감됨을 알 수 있었다. 본 시험이 수행된 종합병원의 경우 축냉조 활용도에 따라 절감비용이 달라지는 것을 알 수 있었다. 6월, 7월, 8월의 월별 운전비용 절감 현황결과는 Fig. 8에 나타나있다. 입찰결과에 따라 초기투자비는 차이가 있겠지만 일반적인 경우 1년(흡수식냉동기(60%)+터보냉동기(40%)) : 3.1년(흡수식냉동기(100%)) : 2.8년(빙축열(100%)) : 2.4년(빙축열(60%)+터보냉동기(40%))^{(9),(10)}의 손익분기점을 나타낸다.

5. 결 론

축냉 시스템을 종합병원에 설치하여 3개월(6, 7, 8월)동안 운전하여 냉동기의 운전 특성 및 경제성에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 축냉 시스템이 사용된 종합병원의 경우 일반적인 HVAC 시스템이 사용된 경우보다 주간에는 25~30% 심야에는 40~50% 전력소비를 줄일 수 있었다.
- 2) 축냉조의 활용도는 6월 39.5%, 7월 초·중순 45.1%, 7월 중순·말 35.8%, 8월 22.1%로 전체적인 축냉조의 활용도는 낮게 나타났으며, 냉방부하가 커질수록 축냉조의 활용도는 더욱 저조한 결과를 보였으나 건물 관리자에 대한 적절한 교육을 수행하면 축냉조의 활용도는 향상될 것이다.
- 3) 심야의 축냉운전 시의 성적계수(COP)는 2 이하로서 주간의 냉방운전시의 성적계수인 3~4보다 낮게 운전되므로 운전자체는 비효율적이지만, 심야전기를 이용하여 축냉운전을 수행하기 때문에 주간의

피크부하를 줄이고 운전비용을 절감할 수 있다.

4) 상기의 종합병원에서는 터보냉동기와 축냉 시스템, 그리고 흡수식 냉온수기를 복합적으로 사용하여 6월 2,026만 원, 7월 1,604만 원, 8월 1,414만 원 정도의 운전비용을 절감하였다.

5) 설비관리자들이 축냉조를 더욱 적극적으로 활용하면 운전비용이 감소할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kim, Y., Kim, T., Park, H., Choi, D and Chung, C., 2003, The KEEI estimation of the demand for energy, Vol. 6, pp. 6-8.
2. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2005, The Annual Report of Ministry of Commerce, Industry and Energy, p. 73.
3. Lee, S. R., Lee, K. H. and Choi, B. Y., 2000, Laboratory test of optimal control algorithm for ice storage system, proceedings of the SAREK Winter Conference, pp. 446-450.
4. Moon, K. S. and Kang, H. K., 2004, An application case ice-thermal storage system of community energy supply system, Proceedings of the SAREK Summer Conference, pp. 455-460.
5. Ahn, Y. H., Kang, B. H., Kim, S. H and Lee, D. Y., 2005, Study on operation characteristics and cost analysis of an ice storage system, Journal of the SAREK, Vol. 17, No. 2, pp. 156-164.
6. Son, H. S., Kim, J. C., Shim, C. H. and Kim, K. H., 2002, Study and survey of operating efficiency with cooling storage system, Energy Eng. Journal, Vol. 11, No. 1, pp. 1-9.
7. Spethmann., D. H., 1993, Application consideration in optimal control of cool storage, ASHRAE trans., pp. 1009-1015.
8. McQuiston, F. C., Parker, J. D., and Spitler, J. D., 2002, Heating, Ventilating and Air conditioning Analysis and Design, John Wiley and Sons., pp. 85-88.
9. Yoo, S. Y. and Lee, J. M., The study of Economical Efficiency for the Ice storage system of General Hospital, Proceedings of the SAREK summer conference, pp, 1131-1136.
10. Cho, S. C., A study on the economic analysis of ice Thermal storage system in commercial building, SAREK, Vol. 28. No. 2. pp. 108-122.

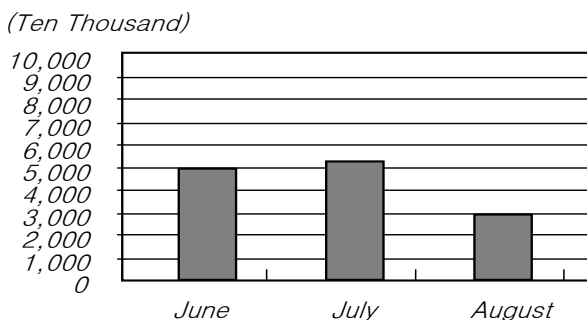


Fig. 8 Cut down amount of operation cost.