

온도, 습도 및 냉방부하 예측에 관한 연구

유성연*, 한승호**, 이제묘†, 한규현*, 노관종*

*충남대학교 기계설계공학과, **한전 전력연구원 전력계통연구실, †한국기초과학지원연구원 핵융합연구센터

A Study on the Estimation of Temperature, Humidity and Cooling Load

Seong-Yeon Yoo*, Seung-Ho Han**, Je-Myo Lee†, Kyou-Hyun Han*, Kwan-Jong Noh*

**Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

***Korea Electric Power Research Institute, Power System Research Team, Daejeon, 305-380, Korea*

†Korea Basic Science Institute, Nuclear Fusion Research Center, Daejeon, 305-333, Korea

ABSTRACT : The peak demand of electricity in summer season mainly comes from the day time cooling loads. Ice thermal Storage System (ITSS) uses off-peak electricity at night time to make ice for the day time cooling. In order to maximize the use of cold storage in ITSS, the estimation of day time cooling load for the building is necessary. In this study, we present a method of cooling load estimation using 5 years of normalized outdoor temperature, relative humidity, and the building construction data. We applied the hourly-based estimation to a general hospital building with relatively less sudden heat exchange and the results are compared with the measured cooling load of the building. The results show that the cooling loads estimation depends on the indoor cooling design temperature of the building.

Key words : Temperature(온도), Humidity(습도), Cooling load(냉방부하), Cooling load estimation(냉방부하예측), Correlation(상관관계), Ice thermal storage system(빙축열시스템)

1. 서론

에너지 생산용 부존자원이 부족하고 에너지 원 수입 의존도가 높은 우리나라에서는 전력 생산 및 활용에 많은 연구가 필요하다. 일정규모 이상의 에너지 다소비형 건물을 건축 할 때는 인허가 시 에너지 절약 계획서를 제출하게 되어 있으며 문화수준이 올라가면서 삶의 질에 대한 욕구가 상승하게 되어 우리가 생활하는 공간에 대한 쾌적한 공기조화를 요구하게 되었다.⁽¹⁾ 공기조화를 위해 소비되는 전력 소비량이 전체 전력소비량의 20% 정도에 이르고 있다.⁽²⁾ 또한, 우리나라의 전력최대수요는 급속한 경제성장에 따른 소득증가와 IT산업의 발전에 따른 컴퓨터, 전자기기

등의 보급 확대와 지구 온난화에 의한 기상 이변에 따라 냉방기기의 수요증가로 소비성 전력수요가 연평균 11% 이상의 높은 증가 추세를 보이고 있다. 현재 국내 전력설비 용량은 약 6173만kW정도로 최대치 대비 전력예비율이 10% 초반으로 적정 전력공급 예비율 15%에 미달하고 있다. 지난해 말 기준으로 국내 전력공급 현황을 보면 설비 기준으로 원자력(28%), LNG(26%), 석탄(28%), 석유(8%), 수력(7%) 등이다. 발전량 기준으로는 원자력(40%)과 석탄(37%)이 77%를 차지했다.⁽²⁾ 소비성 전력수요의 냉방부하는 주로 여름철 주간(14:00~16:00)에 집중적으로 발생함으로써 전력수급의 불안을 초래하고 냉방용 전력수요에 신속한 대응이 어렵다.⁽²⁾ 전력수급 현황을 보면 최저치와 최고치가 30% 정도의 차이가 난다.⁽²⁾ 여름철 피크부하를 충족시키기 위하여 발전소 추가건립 등의 문제점이 발생하는데 발전소 건설에는 막대한

†Corresponding author

Tel.:+82-42-870-1950 fax:+82-42-870-1959

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

투자비와 오랜 공사기간이 소요된다. 더구나 원자력발전소의 추가건설 등은 지역주민들의 Nimby 현상으로 인해 더 어려워질 것이라고 한다. 이번 연구에서는 생산된 전력을 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 연구하여 전력사용의 평준화를 기하고자 한다. 연구방법으로는 기상청에서 예보하는 5년간의 최고온도와 최저온도를 이용하여 익일의 시간대별 온도를 예측하고 예측온도와 실제온도의 차이를 분석한다. 최고온도, 최고온도와 최저온도의 산술평균온도, 일일 평균온도, 유효온도 등을 이용하여 이론적인 관계에서의 온도와 냉방부하의 상관관계, 실제에서의 상관관계를 분석한다. 또한, 상대습도와 비습도가 냉방부하에 미치는 영향을 분석한다. 온도와 냉방부하의 트렌드를 분석하고 상관관계가 있음을 확인한다. 익일 온도 예측곡선을 이용하여 익일 온도를 예측하고 해당 건물의 ΣUA 와 $\Sigma \dot{m}$ 값을 대입하여 냉방부하곡선의 트렌드를 확정한다. 추후 냉방운전 시 부하예측 통한 추종운전에 의한 에너지 절약적인 운전할 수 있도록 제어프로그램을 고안하여 운전 가이드로 활용 할 수 있도록 한다. 또한, 빙축열 시스템의 활용도를 높여 전력부하의 평준화에 기여 할 수 있도록 한다.

2. 온도와 습도 예측

2.1 익일 시간대별 온도 예측

빙축열시스템의 최적화된 운전을 위하여 온도 예측이 필요하며 예측된 온도를 이용하여 축냉과 방냉 비율을 결정하여 축냉조 운전을 하고, 추종운전에 의하여 전력 피크치를 저감 할 수 있다. 또한 축냉조의 완전 방냉을 통하여 축냉조의 활용도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 5년간 6월부터 9월까지의 시간대별 기상데이터를 분석하여 normalize하였다. Fig. 1은 하루 동안의 외기온도의 변화를 최고온도를 1로 최저온도를 -1로 무차원화 하여 나타낸 것이다. 예측온도 함수는 6차 다항식의 형식이며 식 (1)과 같다.

$$T^* = -0.94 + 0.46X - 0.25X^2 + 0.04X^3 - 0.003X^4 + 1.07E-4X^5 - 1.29E-6X^6 \quad (1)$$

여기서, T^* ; Normalized Temperature
 X ; Time 이다.

앞서 설명한 온도의 normalize 방법은 식(2)와 같다.

$$T_{nor} = \frac{T_x - T_{ave}}{T_{max} - T_{ave}} \quad (2)$$

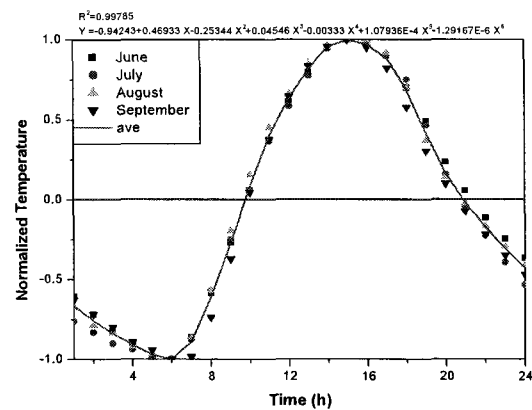
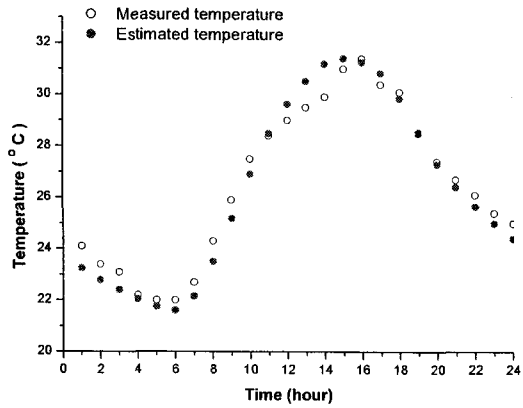
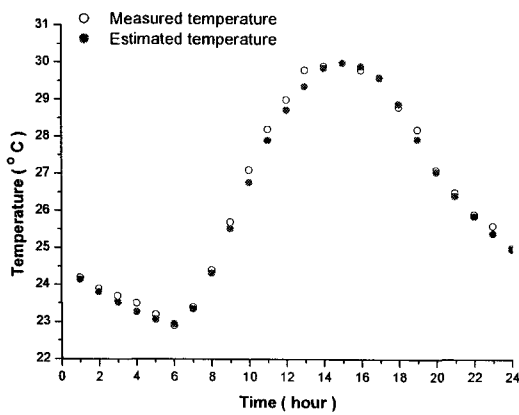


Fig. 1 Variation of normalized temperature during a day

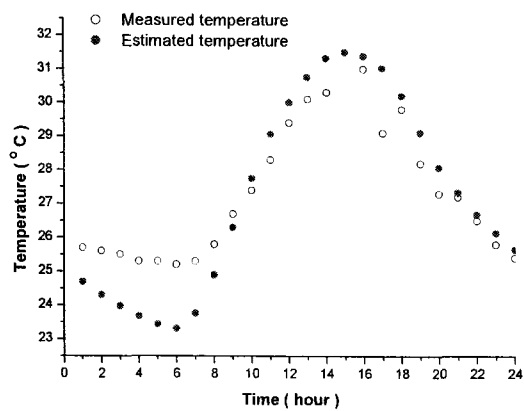
Fig. 1은 6, 7, 8, 9월의 시간대별 외기온도를 예측온도함수 식(1)에 의해 예측한 그래프이다. 식(2)와 같은 방법으로 normalize한다. 식(1)에서의 온도에 대한 상관관계는 99.8%로 나타나므로 외기온도 예측곡선은 실제온도와 같은 트렌드를 가짐을 알 수 있다. 벤치마킹한 ○○병원에서 7, 8월의 시간대별 실제온도를 normalize된 식(1)에 의한 시간대별 예측온도와 그래프에서 비교하여 보았더니 Fig. 2와 같은 분포를 보였다. 예측온도와 실측온도의 트렌드가 일정하게 형성됨을 알 수 있다. Fig. 2의 (c)는 비가 많이 내렸으며 높은 습도로 많은 잠열부하 발생되었기 때문에 예측온도와 실제온도의 차이가 발생하였다. 하지만 맑은 날의 경우 예측온도와 실측온도가 거의 일치함을 보인다. 기상 특보에 의한 변수적인 경우는 고려하지 않기로 한다. normalize된 식(1)을 예측온도 함수로 사용하여도 신뢰성이 있음을 Fig. 2를 통하여 확인 할 수 있다.



(a) 2005. 07. 15.



(b) 2005. 07. 30.

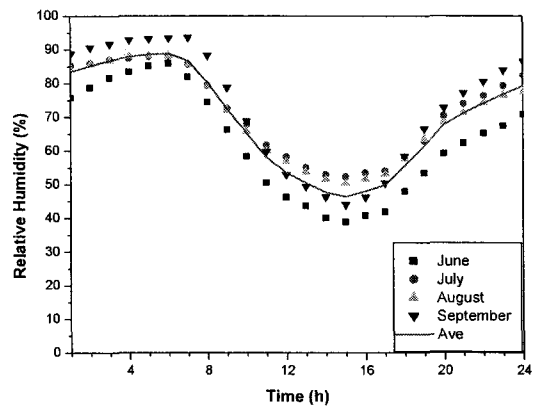


(c) 2005. 08. 15.

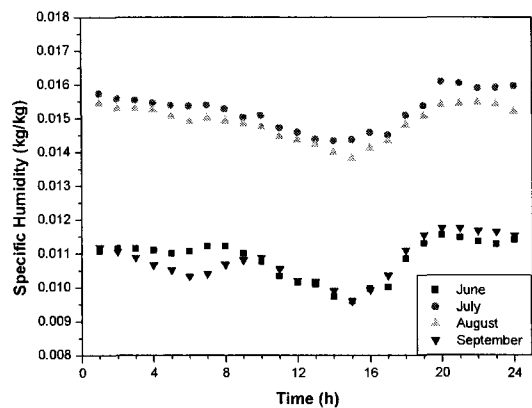
Fig. 2 Comparison of estimated temperature with measured temperature

2.2 익일 시간대별 습도예측

Fig. 3은 6, 7, 8, 9월의 상대습도와 비습도를 하루 동안의 변화를 시간대별로 그래프화 한 것이다. Fig. 3의 (a)경우 상대습도의 변화는 외기 온도가 높을 때는 상대습도가 낮고, 반대로 외기 온도가 낮을 때는 상대습도가 높은 것을 알 수 있었다. 온도와 마찬가지로 비가 오지 않는 날은 규칙적인 변화를 보이지만 비가 오는 날의 변화는 매우 불규칙적이다. 6월이 다른 달에 비해 낮은 값을 보이고 있고, 7월과 8월은 거의 일치하며



(a) relative humidity



(b) specific humidity

Fig. 3 Variation of relative humidity and specific humidity during a day

일교차가 다른 달에 비해 비교적 큰 9월이 다른 달의 평균에서 조금 벗어나는 것을 알 수 있다. 모든 달의 평균값의 커브는 7월과 8월의 평균값과 거의 일치하며, 6월과 9월이 조금 벗어남을 알 수 있다. Fig. 3의 (b)의 경우 비습도의 변화는 비가 오는 날과 오지 않는 날 모두 규칙적인 패턴을 찾을 수는 없지만, 하루 중 비습도의 변화는 매우 작은 것을 알 수 있다. 비가 오는 날은 하루 중 비습도가 일정하지만, 비가 오지 않는 날은 하루 중 온도가 가장 높은 14시 경에 최소가 되고 밤 20시 경에 최대가 되는 것을 알 수 있다. 6, 9월이 같은 경향을 보이고 7, 8월이 같은 경향을 보임을 알 수 있다. 식 (3)은 상대습도를 무차원화 한 것으로, 가장 잘 일치하는 6차의 오더를 취했다. 여기서 상대습도는 평균을 사용하였다.

$$Rh^* = 89.89 - 10.40X + 5.47X^2 - 0.98X^3 + 0.007X^4 - 0.002X^5 + 2.8E - 5X^6 \quad (3)$$

여기서, Rh^* : Average Relative humidity
 X : Time 이다.

3. 냉방부하 예측

3.1 1일 냉방부하 계산 방법

빙축열 시스템의 축냉과 방냉을 제어하기 위해서는 냉방부하의 예측이 중요하다. 본 연구에서는 부하계산 시 사용되는 식 (4), (5)의 ΣUA 와 $\Sigma \dot{m}$ 값을 활용하여 부하를 예측하고자 한다.

$$\dot{Q}_s = \Sigma UA(T_o - T_i) \quad (4)$$

여기서 U 는 총합열전달계수, A 는 전열면적, T_o 는 외기온도, T_i 는 실내온도를 나타낸다. 유사한 개념으로 모든 잠열부하를 도입외기의 형태에 포함시켜 나타내면 다음과 같다.

$$\dot{Q}_l = \Sigma \dot{m}(h_o - h_i) \quad (5)$$

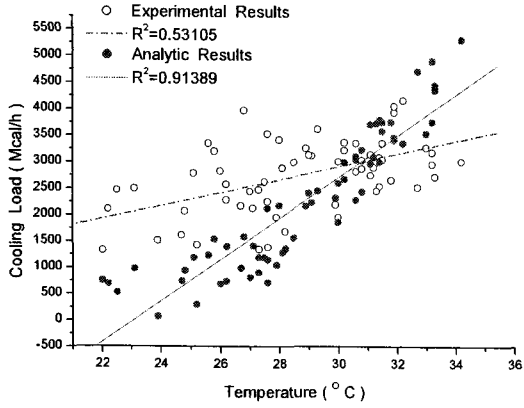
여기서, \dot{m} 은 도입 외기량, h_o 는 외기조건에서 공기의 엔탈피, h_i 는 외기온도와 실내 비습도가 만나는 점에서 공기의 엔탈피를 나타낸다. 벤치마

킹한 건물에서 예측온도 함수에 ΣUA 와 $\Sigma \dot{m}$ 값을 대입하면 전열부하(현열부하+잠열부하)에 의한 예측 냉방부하 곡선이 된다.

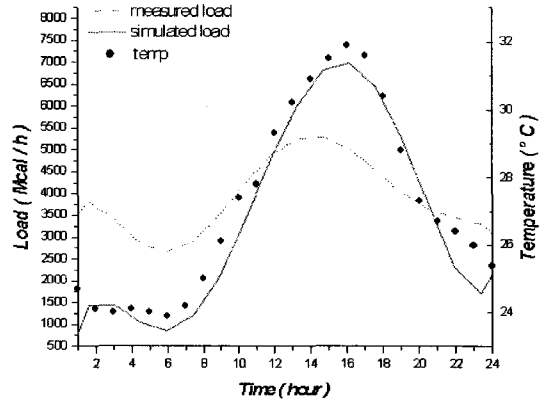
3.2 E 병원 냉방부하 분석

최고온도, (최고온도+최저온도)/2에 의한 산술 평균온도, 1일 평균온도, 유효온도와 냉방부하 관계를 24시간 냉방을 하는 E병원 건물에서 분석하였으며 결과는 Fig. 4와 같다. E병원의 냉방부하를 분석하면 Fig. 4의(a)는 기상청에서 예보된 최고온도와 이론적인 냉방부하의 상관관계로 91.3%, 실험적인 냉방부하의 상관관계는 53.1%이다. Fig. 4의(b)는 1일 평균온도와 이론적인 냉방부하의 상관관계로 95.7%, 실험적인 냉방부하의 상관관계는 62.7%이다. Fig. 4의(c)는 $(T_{max} + T_{min})/2$ 와 이론적인 냉방부하의 상관관계로 94.6%, 실험적인 냉방부하의 상관관계는 63.7%이다. 유효온도와 이론적인 냉방부하의 상관관계는 83.4%, 실험적인 냉방부하의 상관관계는 66.4%이다. 유효온도와 냉방부하는 실험적인 상관관계에서는 다른 방법보다는 양호하다. 이는 설계에 적용하는 설계기준온도가 유효온도가 아님을 알 수 있다. 또한 이론적인 데이터와 실질적인 데이터의 차이는 사무실의 냉방이 이론적인 권장치와 다소 차이가 있게 운전이 되는 것을 알 수 있다. 통계적으로 분석한 결과 온도와 냉방부하는 같은 성향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 결과에 의하면 상관관계가 양호한 것은 일일 평균온도와 냉방부하의 관계이다. Fig. 4에서 실험치와 이론치가 교차하는 점은 설계기준외기온도로 건물설계 냉방부하 산정의 기준온도이다. 이 기준점을 상회하는 외기온도는 냉방부하 계산 시 일반적으로 고려하지 않는다. 이를 Technical Advisory Committee(위험율)이라고 한다. 일반적으로 정부에서 권장하는 냉방온도는 26~28℃인데 실제로 사무실 냉방유지온도는 24℃ 근처로 이론치보다 과냉방을 하고 있으며 위험율이 적용되는 이후의 온도에서는 쾌적한 냉방을 할 수 없음을 알 수 있다. 이번 연구에서는 상관관계를 고려하여 1일평균온도와 냉방부하특성을 적용하고자 한다.

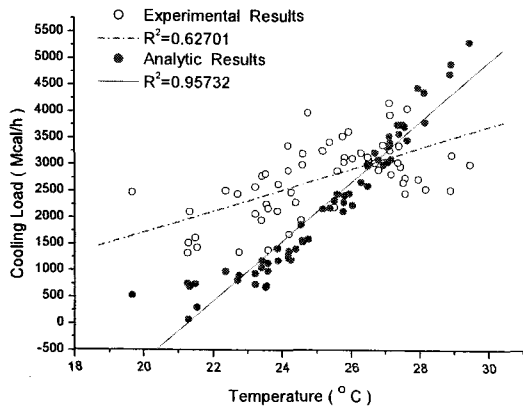
3.3 1일 냉방부하곡선



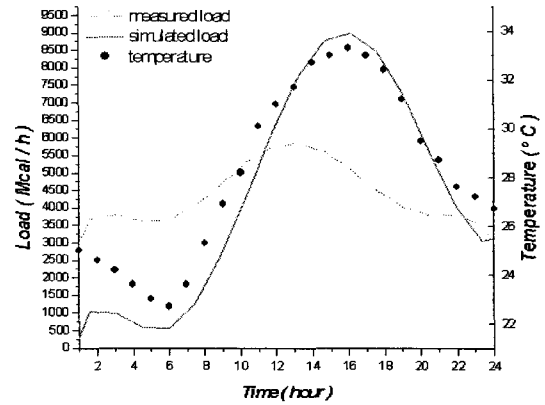
(a) Maximum temperature



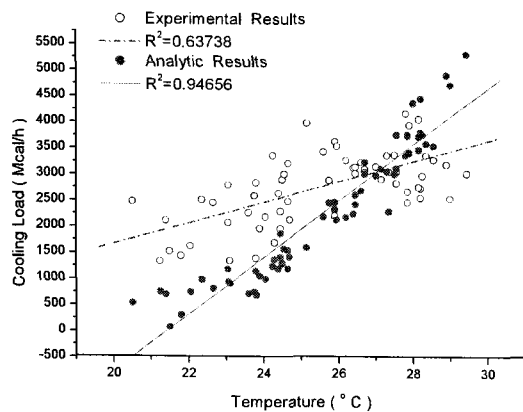
(a) 7월 20일



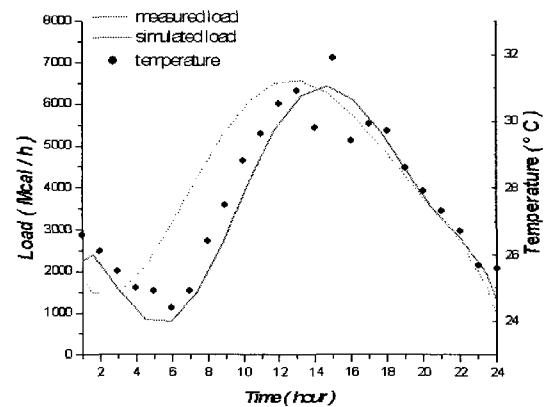
(b) Average temperature



(b) 7월 22일



(c) $(T_{max} + T_{min})/2$ temperature



(c) 7월 26일

Fig. 4 Relation between cooling load and temperature

Fig. 5 Variation of cooling load for a day

Fig. 5는 벤치마킹한 건물에서 예측 일일평균 온도, 예측냉방부하와 실제 건물에서 냉방부하 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 예측냉방부하에 대한 6차 곡선은 식 (6)과 같다.

$$Q = 0.94 - 0.13X + 0.01X^2 - 0.001X^3 + 2.97E - 5X^4 - 4.04E - 7X^5 + 2.13E - 9X^6 \quad (6)$$

Fig. 5의 (a), (b), (c)를 분석하여 보면 설계기준온도 이하에서는 과냉방을 하고 있으며 설계기준온도를 초과하는 부분에서는 이론치 보다 실측치 냉방부하가 더 크므로 쾌적한 냉방을 하지 못함을 나타낸다. 설계기준온도는 31.2℃이고 정부권장 냉방온도는 26~28℃이다. 이 건물의 경우 사무실 냉방유지온도는 24℃였다. Fig. 4에서와 같이 위험율이 적용되고 있으며 위험율 이하에서는 과냉방, 위험율 이상에서는 쾌적한 냉방이 되지 않고 있음을 알 수 있다. 실측냉방부하도 예측된 냉방부하처럼 온도와 비례관계가 있음을 확인하였다. 빙축열 시스템을 제조하는 회사에서 적용하는 제어프로그램이 각기 다르므로 본 연구에서 제출된 최종 결과물인 예측냉방부하곡선은 빙축열 운전시스템에 탑재하기 위하여는 더 많은 연구가 필요하지만 빙축열 시스템 운전 시 운전가이드 북으로 활용하면 에너지 절약적이며 쾌적한 냉방운전을 할 수 있다.

4. 결론

이번 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기상데이터를 normalize하여 예측온도함수와 상대습도함수를 구하였다.

$$T^* = -0.94 + 0.46X - 0.25X^2 + 0.04X^3 - 0.003X^4 + 1.07E - 4X^5 - 1.29E - 6X^6$$

$$Rh^* = 89.89 - 10.40X + 5.47X^2 - 0.98X^3 + 0.007X^4 - 0.002X^5 + 2.8E - 5X^6$$

(2) 기상데이터를 분석하여 예측온도와 실측온도 사이에 99.8% 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

(3) 외기온도와 건물냉방부하는 비례관계가 있어 예측온도함수에 건물의 ΣUA 와 $\Sigma \dot{m}$ 값을 대입하여 건물의 냉방부하를 예측할 수 있었다.

$$Q = 0.94 - 0.13X + 0.01X^2 - 0.001X^3 + 2.97E - 5X^4 - 4.04E - 7X^5 + 2.13E - 9X^6$$

(4) 건물 냉방부하 산정 시 위험율이 고려된 설계 기준온도를 적용하며 사무실에서 냉방 시 설계기준온도 이하에서는 과냉방이 되고 설계기준온도 이상에서는 쾌적한 공기조화가 이루어 지지 않음을 확인 할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국전력공사 전력연구원의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 고시 제2004-459호 건축물의 에너지 절약 설계기준
2. 에너지경제연구원 에너지 수요 전망(2005년 3분기)
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.