대한설비공학회 2008 하계학술발표대회 논문집 pp. 0937 ~ 0942

08-S-154

기상 예보치를 이용한 냉방부하 예측 기법에 관한 연구

한 규 현†, 유 성 연 , 이 제 묘*

충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단, *국가핵융합연구소 ,

A Study on Estimation of Cooling Load Using Forecasted Weather Data

Kyu-Hyun Han†, Seong-Yeon Yoo , Je-Myo Lee*

BK21 Mechatronics Group at Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**National Fusion Research Institute, Daejeon 305-333, Korea*

ABSTRACT: In this paper, new methodology is proposed to estimate the cooling load using design parameters of building and predicted weather data. Only two parameters such as maximum and minimum temperature are necessary to obtain hourly distribution of cooling load for the next day. The maximum and minimum temperature that are used for input parameters can be obtained from forecasted weather data. Benchmarking building(research building) is selected to validate the performance of the proposed method, and the estimated cooling loads in hourly bases are calculated and compared with the measured data for benchmarking building. The estimated results show fairly good agreement with the measured data for benchmarking building.

Key words: Cooling load estimation(냉방부하 예측), Maximum Temperature(최고온도), Minimum Temperature(최저온도), Specific humidity(비습도), Forecasted Weather data(예보 기상 데이터)

기 호 설 명

C_l : 잠열부하상수 [kW]
C_p : 공기의 비열 [kJ/kg^oC]
C_s : 현열부하상수 [kW]
h_i : 실내조건 엔탈피 [kJ/kg]
h_o : 외기조건 엔탈피 [kJ/kg]
$\dot{Q}_l$: 잠열부하 [kW]
$Q_{l,\mathrm{int}}$: 내부발생 잠열 [kW]
$\dot{Q}_s$: 현열부하 [kW]
$\dot{Q}_{s,\mathrm{int}}$: 내부발생 현열 [kW]
$\dot{Q}_{sol}$: 태양복사열 [kW]
T_i : 실내온도 [^oC]
T_o : 외기온도 [^oC]
$\sum\dot{m}$: 송풍량 [kg/s]
P_s : 현열부하계수 [$kW/^oC$]

그 리 스 문 자

ϵ_s : 현열회수효율
ϵ_l : 잠열회수효율
η : 환기사용율

† Corresponding author
Tel.: +82-42-821-8901; fax: +82-42-821-8894
E-mail address: lovelyday00@naver.com

1. 서 론

국내의 에너지 해외 의존도는 약 97%에 달하고 있을 뿐 아니라 2001년 기준으로 건물부분의 에너지도 전체 사용량의 약 30%에 이르고 있다.[1] 이로 인해 과거와는 달리 새로운 많은 에너

지 효율적 시스템이 건축물에 적용되고 있으며, 특히 대체에너지 시스템의 건축물 적용이 확산되고 있음에 따라 이의 효과분석을 위한 건축물 정밀 에너지해석의 필요성은 증대되고 있다. 또한 최근 소득 증대와 삶이 질에 대한 수준이 높아지면서 냉방을 하는 건축물이 급속히 증대하고 있으며, 고급 건축물일수록 난방에너지보다 냉방에너지의 소비가 커지고 있다. 이러한 냉방에너지와 같은 건축물의 연간 에너지 해석은 건물의 초기 설계 단계나 공조 에너지 시스템의 초기 도입 단계에서는 효과적이지만, 실질적으로 에너지를 사용하는 냉방 시스템을 운영하는 단계에서는 하루에 대한 시간별 부하 예측이 더욱 중요하다.

그동안 설계자들을 위한 건물의 연간 에너지 해석 연구 및 이와 관련된 S/W 적용 연구는 활발하게 진행된 반면 운영자들을 위한 시간별 에너지 해석은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시스템 운영자들이 손쉽게 냉방 부하 예측을 할 수 있도록 기상 예보치 대표 정보인 최고온도와 최저온도 두 가지 요소만을 이용하여 부하 예측이 가능한 기법을 개발 하였고, 신뢰성을 검토하기 위하여 실제 건물에 적용해 보았다.

2. 냉방부하 예측 방법

운영자들을 위한 시간별 냉방부하 예측에 관한 연구는 축열 시스템을 적극 도입하고 있는 일본에서 주로 연구되어 왔다. Tadahiko et al.[(2)]은 위상학적 개념인 TBCM 모델과 시계열 통계적 개념인 ARIMA 모델을 서로 완충시킨 접합모델(hybrid model)을 이용하여 부하곡선을 예측하는 연구를 하였고, Harunori et al.[(3)]은 ARX모델을 통해 냉방부하를 예측하는 기법을 제안하였으며, Jin et al.[(4)]은 적응성 인공 신경회로망 모델을 이용하여 입력 데이터 중 예상치 못했던 부하 변동까지 고려한 냉방부하 예측 기법을 제안하였다. 또한 Nobuo et al.[(5)]은 칼만필터(Kalman Filter) 모델, GMDH 모델 그리고 신경망 회로 모델들을 통한 냉방부하 예측 결과를 벤치마킹 건물과 사무실에 비교함으로써 상대적인 예측 정확도를 검증하는 연구를 하였다. 이와 같은 예측 기법들은 모두 복잡한 수학적, 통계학적 개념에서 출발한 방법으로 전문지식이 없는 운영자가 사용하기 어려우며, 냉방부하 예측을 적용해야하는 건물에 대한 입력값인 과거 운전 데이터에 상당부분 의존하게 되어 과거 운전 데이터가 부족한 건물에 적용하기에는 어려움이 따른다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 연구에서 는 복잡한 수학적 모델을 사용하지 않고, 적용 건물에 대한 과거 운전 데이터 없이 건물의 공조 설계 값과 기상청의 일기예보로부터 쉽게 얻을 수 있는 익일 최고온도와 최저온도 만을 가지고 냉방부하를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

냉방부하는 유리와 벽체를 통과하는 태양복사열, 외기와 실내의 온도차에 의해 전달되는 전도열, 인체나 실내가구의 내부발생열, 침입공기와 환기에 의한 도입외기의 냉각감습열, 급기덕트의 손실을 포함한 기타부하 등이 있으며, 열은 현열과 잠열로 구분할 수 있다.

냉방부하의 전열은 다음과 같이 계산한다.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{air} + \dot{Q}_{,\mathrm{int}} \qquad (1)$$

여기서 $\dot{Q}_{sol}$은 태양복사열, $\dot{Q}_{cond}$는 전도열, $\dot{Q}_{air}$는 침입외기와 도입외기에 의한 열이며, $\dot{Q}_{,\mathrm{int}}$는 내부발생열과 기타부하를 나타낸다. 태양복사열, 전도열, 외기에 의한 현열은 외기온도와 실내온도차에 따라 달라지고, 내부발생열과 기타부하는 실내외 온도차에 민감하지 않으므로 식 (1)은 다음과 같이 단순화 시킬 수 있다.

$$\dot{Q}_d = P_s(T_{o,d} - T_{i,d}) + \dot{m}_a\eta(h_{io} - h_i)(1-\epsilon_s) + C_s + \dot{m}_a\eta(h_o - h_{io})(1-\epsilon_l) + C_l \qquad (2)$$

여기서 $T_{o,d}$는 외기 설계온도이고, $T_{i,d}$는 실내설계온도이며, P_s 는 현열부하 계수, C_s를 현열부하 상수로 명명하였다. 건물의 설계자료로부터 전체부하($\dot{Q}_d$)와 현열부하 상수(C_s)를 찾고, 외기 설계온도와 실내 설계온도를 식 (2)에 대입하면 현열부하 계수 P_s를 구할 수 있다.

설계자료로부터 구한 현열부하계수를 식 (3)에 대입하면 시간 냉방부하를 예측할 수 있다.

$$\dot{Q} = P_s(T_o - T_i) + \dot{m}_a\eta(h_{io} - h_i)(1-\epsilon_s) + C_s + \dot{m}_a\eta(h_o - h_{io})(1-\epsilon_l) + C_l \quad (3)$$

여기서 T_o는 예측한 시간대별 외기온도이고, T_i는 냉방공간의 설정 실내온도이며, h_o는 외기조건에서 엔탈피이고, h_i는 외기온도와 실내 비습도가 만나는 점에서의 엔탈피이다. 이러한 값을 구하기 위해서는 시간대별 외기온도와 습도를 예측하여야 하며, 본 연구에서 이용한 방법은 다음과 같다.

3. 외기온도와 습도 예측 방법

건물의 냉방부하는 외기온도와 습도와 같은 기상조건에 따라 달라지므로 냉방부하를 추정하기 위해서는 익일의 외기온도와 습도에 대한 예측이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 과거 5년간 6월부터 9월까지의 시간대별 기상데이터를 분석하여 외기온도와 습도에 대한 표준화 예측 함수를 도출하였다. 그리고 도출된 예측함수를 이용하여 기상청에서 항상 예보하는 최고온도와 최저온도만으로 시간대별 외기온도와 습도를 예측하는 방법을 사용하였다.[6]

Fig. 1은 2001년부터 2005년까지 대전지역의 5년간 6월부터 9월까지의 외기온도 월별 평균값을 최고온도를 1로 최저온도를 -1로 설정하여 식

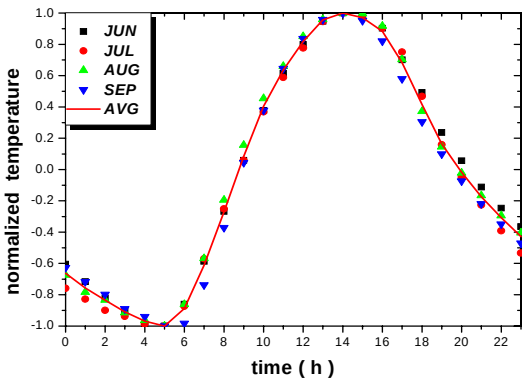


Fig. 1 Variation of hourly outdoor temperature for five years at Daejeon.

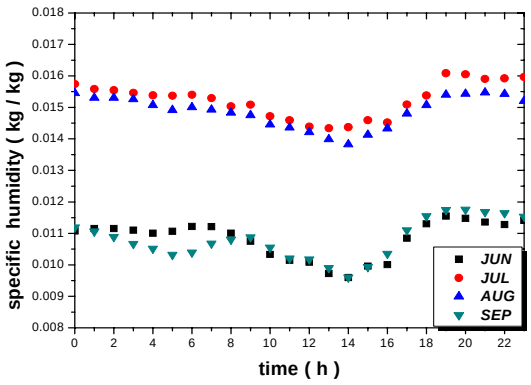


Fig. 2 Variation of hourly averaged specific humidity for five years at Daejeon.

(9)를 이용하여 무차원화하여 나타낸 것이다.[7]

$$T^* = \frac{T(h) - T_{avg}}{T_{\max} - T_{avg}}, \quad 0 \le T^* \le 1 \quad (4)$$

여기서 $T_{\max}$는 하루 중 최고온도이며, T_{avg}는 최고온도와 최저온도의 평균값이다. 모든 달에서 하루 동안의 온도변화는 14시에 최대값이 나타나고, 5시에 최소값이 나타남을 보이는 일정한 패턴을 가짐을 알 수 있다.

대전지역의 5년간 6월부터 9월까지 월별 비습도의 평균값의 변화를 Fig. 2에 나타내었으며, 비습도는 온도와 상대습도로부터 습공기 프로그램을 이용하여 구하였다. 하루 중 비습도 변화는 매우 작으며, 6월과 9월, 7월과 8월이 각각 비슷한 값을 나타내고 있다. 상대습도는 월별 변화가 크기 않지만, 비습도는 월별로 차이가 뚜렷하며, 계절적 특성상 덥고 습한 7, 8월이 6, 9월 보다 약 40% 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 비습도의 변화는 6월부터 7월까지 증가하였다가 8월부터 9월까지 감소하고 있다. 본 연구에서는 이러한 비습도의 증가와 감소가 날짜에 비례해서 변한다고 가정하여 다음과 같은 선형 상관식을 제안하였다.

$$f(d) = C_1|d - 46| + C_2 \quad (5)$$

여기서 d는 6월 15일부터 계산한 일수이며, C_1과 C_2는 지역의 특성에 따라 결정되는 상수이다. 6

월, 7월, 8월, 9월의 평균 비습도로부터 C_1과 C_2를 구하고, 각 달의 시간별 비습도에 식 (5)을 더하여 나타내면 Fig. 3에 보인 바와 같이 월에 상관없는 하나의 비습도 상관식을 얻을 수 있다.

이와 같이 5년간 데이터를 분석한 결과 외기온도, 상대습도의 경향은 일정하게 나타남을 볼 수 있으며, 무차원 외기온도와 비습도를 상관식으로 나타내면 다음과 같다.

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

$$SH(h,d) = 0.011 - 5.31E-4h + 2.19E-4h^2 - 3.61E-6h^3 + 2.52E-6h^4 - 7.51E-8h^5 + 7.67E-10h^6 - 0.000141|d-46| + 0.006375 \quad (7)$$

위에서 도출한 무차원 외기온도와 비습도 함수식을 예측외기온도함수, 예측비습도함수로 명명하였으며, 식(6)과 기상청에서 예보하는 익일최고온도와 최저온도를 식 (8)에 대입하면 시간대별 외기온도를 예측할 수 있으며, 식(7)을 통해 시간대별 비습도를 예측할 수 있다.

$$T(h)_{es} = T_{avg} + T^*(h) \bullet (T_{\max} - T_{avg}) \quad (8)$$

4. 냉방부하 예측 결과 및 분석

본 연구에서 제안한 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해서 벤치마킹 건물을 선정하여 실측결과와 예측 결과를 비교해 보았다. 선정된 벤치마킹 건물인 C 연구동은 일반적인 주간 근무 시간 냉방이 필요한 시설이며, 화학 실험 연구용 건물로 2005년 준공되어 운영 중인 건물이다. 건축 연면적은 5,338.9 m^2, 이며 지하 1층 지상 3층으로 구성 되있다. 냉방부하 산정을 위한 건물의 외기 기준 온도는 32.3^oC, 상대습도는 85%이며, 건물의 냉방 시스템은 200 USRT 용량의 흡수식 냉동기 2대로 설비되어 있으며, 냉수유량은 121 CMH이다.[8] 따라서 벤치마킹 건물인 C 연구동에 걸리는 냉방부하는 흡수식냉동기의 운전으로 감당하며, 흡수식 냉동기에서 공급하는 부하량을 건물의 실측 냉방부하로 설정하기로 하였다. 흡수식 냉동기에서 공급하는 부하량은 건물의 공조기로 유입되는 냉수의 열용량에 매 시간 운전 일지에 기록되는 냉수의 입구와 출구의 온도차를 곱해서 계산하였다.

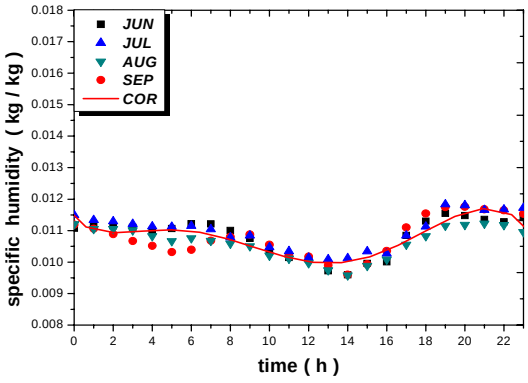
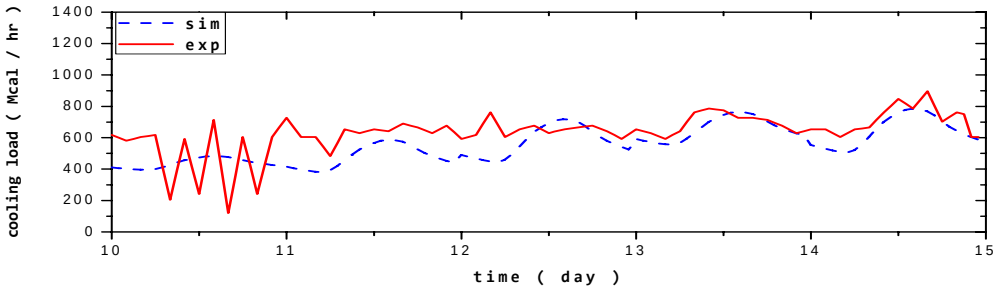
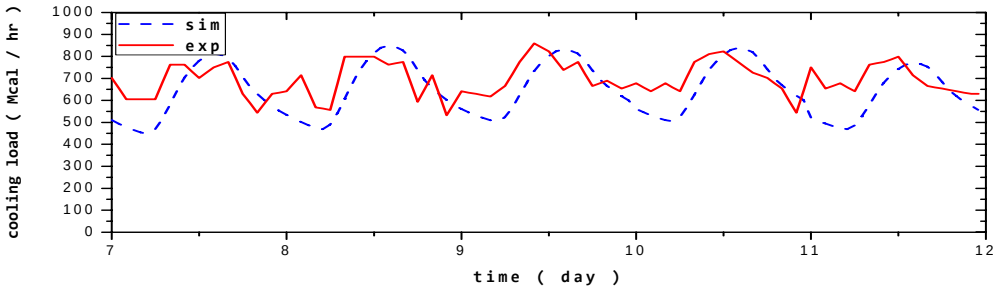


Fig. 3 Variation of hourly outdoor specific humidity for five years at Daejeon.

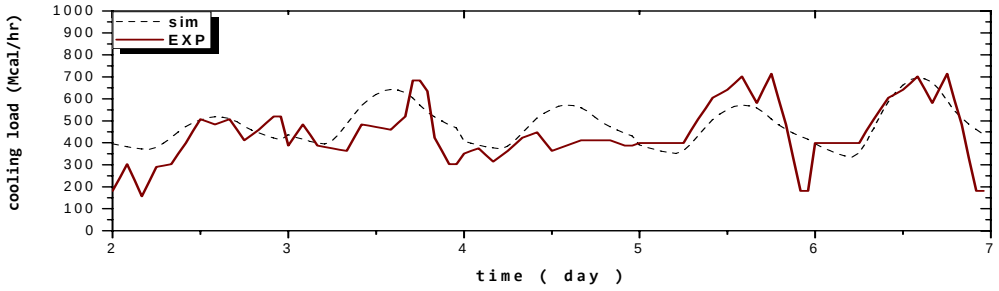
이와 같이 계산한 실측 결과를 기준으로 본 연구에서 고안한 냉방부하의 타당성을 검증하기 위해 본 연구에서는 2006년과 2007년 7월, 8월에 대한 예측결과와 실측결과를 비교해 보았다. Fig. 4는 2006년과 2007년 월에 대하여 주말과 주일을 제외한 평일에 대하여 한주를 나타낸 그림이다. 실선으로 나타낸 것은 공급측으로부터 계산한 실측냉방부하이며, 파선으로 나타낸 것은 냉방부하 예측 기법으로부터 추정한 예측 냉방부하이다. 그림에서 볼 수 있듯이 정오에서 오후 3시 사이에 예측치와 실측치 모두 피크부하를 기록하고 있음을 보인다. 예측치의 냉방부하 곡선은 피크부하가 발생하는 시점을 중심으로 주로 주간 근무 시간대에 부하값이 증가하였다가 감소하는 경향을 갖지만 실측치의 냉방부하 곡선은 비 근무 시간대인 아침이나 저녁에도 부하율의 증감현상이 있음을 볼 수 있다. 그 이유는 예측 냉방부하는 비정상상태 정적 해석 기법을 적용하였기 때문에 미리 예측된 외기온도와 습도에 따라 부하량이 결정 되있는 반면, 실측 부하는 비정상상태 동적상태인 에너지의 이동에 따라 건물자체에 축열된 에너지를 제거해 주는 과정이 포함되어 있기 때문이다. 또한 본 연구에서 벤치마킹한 건물의 용도가 화학 및 물리 실험을 위한 건물임을 고려하였을 때 냉방에 관계 없이 정밀한 실험을 위한 항온 항습 조건을 위해 냉동기를 실제 수시로 가동 시켰을 가능성도 크기 때문에 예측치와 실측치의 차이가 발생함을 짐작할 수 있다. 또한 실측치의 부하값도 실제 건물의 냉방부하가 아닌



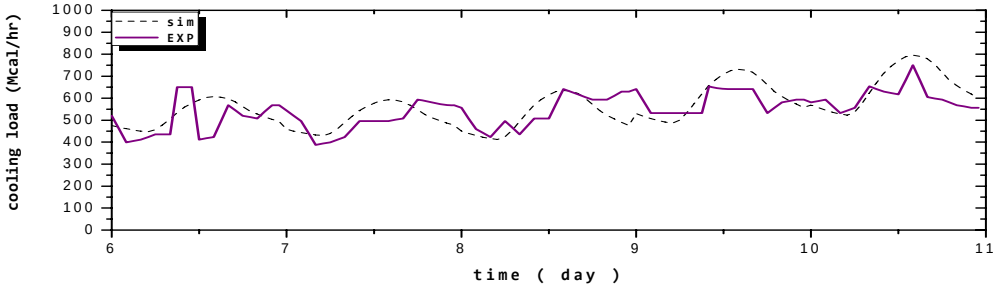
(a) JULY, 2006



(b) August, 2006



(c) JULY, 2007



(d) August, 2007

Fig. 4 Comparison of predicted cooling load with measured data.

건물의 공조 시스템 운영자의 경험 및 주관에 따라 운전하는 공급측의 부하라는 점도 오차에 기인하고 있다. 그러나 대체적으로 예측치와 실측치의 경향은 일치하고 있으며, 이러한 시간별 냉방부하 예측곡선을 참조하여 운영자는 하루에 대한 시간별 시스템 운영 스케줄을 작성하여 에너지 절약적인 공조 시스템 운영이 가능하게 된다.

5. 결 론

기상 예보치를 이용하여 매우 간편하게 시간별 냉방부하를 예측하는 기법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 시간별 냉방부하 예측 기법은 건물의 설계 도서를 이용하여 기본 파라미터들을 결정한 후 제안된 식에 기상청에서 예보해주는 최고온도와 최저온도를 대입하면 시간별 냉방부하를 예측 할 수 있다. 본 연구에서 제안한 냉방부하 예측 기법의 타당성을 검증하기위해 벤치마킹 건물에 시간대별 냉방부하를 분석하였다. 예측치와 실측치의 비교분석 결과 예측치와 실측치의 냉방부하 경향은 비교적 비슷함을 볼 수 있었다.

본 연구에서 제안한 냉방부하 예측기법을 사용하면 운영자가 손쉽게 공조 시스템의 에너지 절약형 운영을 가능하게 해주는데 큰 도움이 될 것이다.

후 기

본 연구는 한국표준과학연구원과 (주)가교테크의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Mi-Hyun Kim, Seung-Jik Suh, 2007, A Study on the Performance of Indoor Temperature Variation in Building, SAREK Summer Proc. pp. 160~165.
2. Tadahiko M., Hiroaki T. and Kazuyuki K., 1999, Development of load profile prediction using TCBM and ARIMA hybrid-modeling, IBPSA Proc.
3. Harunori Y. and Tatsuo I., 1997, Rational operation of a thermal storage tank with load prediction scheme by ARX mode approach, IBPSA Proc., pp. 1-8.
4. Jin Y., Hugues R. and Radu Z., 2005, Building energy prediction with adaptive artificial neural networks, IBPSA Proc.
5. Nobuo N., Mingjie Z., Song P. and Yoshihiko N., 1999, Load prediction for optimal thermal storage, IBPSA Proc.
6. Yoo, S. H., Lee, J. M., Han, K. H. and Han, S. H., 2006, A study on prediction of temperature and humidity for estimation of cooling load, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 5, pp. 394-402.
7. Meteorological Officer, Weather data from 2001 to 2005 for Daejeon.
8. Mechanical reports and specifications for C research building.