

집단 건물 면적을 이용한 시간별 냉방부하 파라미터 설정 및 예측에 관한 연구

한 규 현[†], 유 성 연, 이 제 묘^{*}, 송 양 섭^{**}

충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단, ^{*}국가핵융합연구원, ^{**}한국표준과학연구원

A Study on Estimation of Cooling Load Using Forecasted Weather Data

Kyu-Hyun Han[†], Seong-Yeon Yoo, Je-Myo Lee^{*}, Yang-Sup Song^{**}

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

^{*}*National Fusion Research Institute, Daejeon 305-333, Korea*

^{**}*Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea*

ABSTRACT: In this paper, new methodology is proposed to estimate the cooling load using areas of building group and predicted weather data. Only three parameters such as maximum, minimum temperature and building area 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. The areas of building group are used for setting several parameters that are used for estimate cooling loads. 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), Areas of building group(건물군 면적)

기 호 설 명

C_l	: 잠열부하상수 [kW]
C_p	: 공기의 비열 [kJ/kg°C]
C_s	: 현열부하상수 [kW]
h_i	: 실내조건 엔탈피 [kJ/kg]
h_o	: 외기조건 엔탈피 [kJ/kg]
\dot{Q}_l	: 잠열부하 [kW]
$Q_{l,int}$: 내부발생 잠열 [kW]

\dot{Q}_s	: 현열부하 [kW]
\dot{Q}_{sol}	: 태양복사열 [kW]
$\dot{Q}_{s,int}$: 내부발생 현열 [kW]
T_i	: 실내온도 [°C]
T_o	: 외기온도 [°C]
$\sum \dot{m}$: 송풍량 [kg/s]
P_s	: 현열부하계수 [kW/°C]

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

그 리 스 문 자

ϵ_s : 현열회수효율

ϵ_l : 잠열회수효율
 η : 환기사용율

1. 서론

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 에너지 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 삶의 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 최고 온도와 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 변동

까지 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 입력 값인 과거 운전 데이터에 상당부분 의존하게 되어 과거 운전 데이터가 부족한 건물에 적용하기에는 어려움이 따른다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 복잡한 수학적 모델을 사용하지 않고, 적용 건물에 대한 과거 운전 데이터 없이 건물의 공조 면적과 기상청의 일기예보로부터 쉽게 얻을 수 있는 익일 최고온도와 최저온도 만을 가지고 냉방부하를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

냉방부하의 전열부하는 다음과 같이 계산한다.

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

여기서 \dot{Q}_{sol} 은 태양복사열, \dot{Q}_{cond} 는 전도열, \dot{Q}_{air} 는 침입외기와 도입외기에 의한 열이며, \dot{Q}_{int} 는 내부발생열과 기타부하를 나타낸다. 본 연구에서는 복잡하고 상세한 열취득으로부터 결정되는 냉방부하의 예측을 단순화 키기 위해 아래 (a), (b), (c) 와 같은 가정을 하였다.

- a) 태양복사열, 전도열은 외기온도와 실내온도차 그리고 건물의 면적과 관련된 파라미터 $P_s(A)$ 로부터 결정된다.
- b) 환기에 의한 부하는 외기 엔탈피 변화와 건물 면적에 관련된 파라미터 $Air(A)$ 로부터 결정된다.
- c) 내부 발생열과 기타부하는 해당 건물 면적 $C_s(A)$, $C_l(A)$ 과 같다고 가정하였다.

가정 (a), (b), (c)에 따라 냉방부하 예측식은 아래와 같이 현열부하(2), 잠열부하(3) 전열부하(4)로 나누어 단순화 시킬 수 있다.

$$\dot{Q}_s = P_s(A)(\dot{T}_p - T_i) + Air(A)\eta\epsilon_s + (\dot{h}_{ip} - h_i) + C_s(A) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_l = Air(A)\epsilon_f\eta(\dot{h}_{po} - \dot{h}_{ip}) + C_l(A) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_l \quad (4)$$

여기서 \dot{T}_p 는 예측한 외기온도의 시간 변화율이고, T_i 는 냉방공간의 설정 실내온도이며 시간변화에 따라 일정하다고 가정하였다. \dot{h}_{po} 는 외기조건에서 엔탈피 시간변화율이고, \dot{h}_{ip} 는 외기온도와 실내 비습도가 만나는 점에서의 엔탈피 시간변화율이다.

3. 냉방부하 파라미터 설정

식(2)~(4)를 이용하여 냉방부하를 예측하려면 각 건물 면적과 관련된 파라미터 $P_s(A)$, $Air(A)$, $C_s(A)$, $C_l(A)$ 를 결정해야 한다. 이를 위해 공조부하 계산이 정확히 시행된 기준 건물을 선정하여 각 유형별 냉방 존에 대하여 냉방 존 면적별 부하에 대한 관계를 분석을 하였다.

① 존 면적과 P_s 파라미터 관계

P_s 파라미터는 건물의 외피와 내피를 통해 발생된 부하, 즉 태양 복사열에 의한 부하와 전도열에 의한 부하를 고려한 파라미터이다.

$$\dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_{conduction} = P_s(T_o - T_i) \quad (5)$$

$$P_s = \frac{\dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_{conduction}}{T_o - T_i} \quad (6)$$

여기서 \dot{Q}_{solar} 는 태양복사열, $\dot{Q}_{conduction}$ 은 전도열, T_o 는 외기 설계 온도, T_i 는 내부 설계 온도를 말한다. 기준 건물의 각 존별면적과 P_s 파라미터의 관계는 Fig.1, 상관관계 식은 (7)과 같다.

$$P_s(Area) = 7.0 \times Area - 65.84 \quad (7)$$

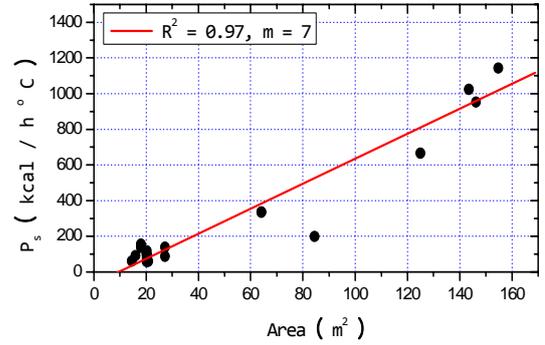
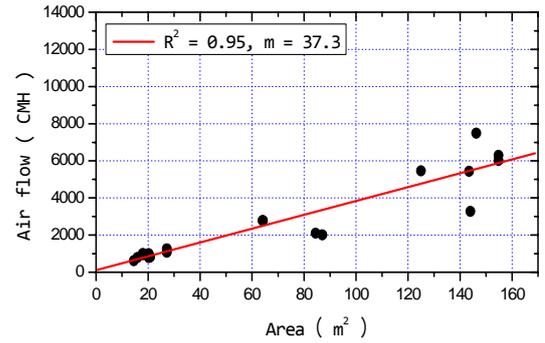


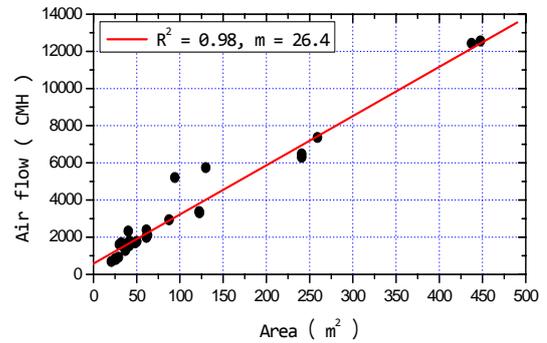
Fig. 1 Relation between each zone's area and P_s parameter

② 연면적과 Air 파라미터와의 관계

송풍량 파라미터에 대한 각 존별 면적과 송풍량의 관계는 식(8), (9), Fig. 2 에 나타내었다.



(a) office zone



(a) lab. zone

Fig. 2 Relation between each zone's area and Air parameter

$$AIR(Area) = 37.3 \times Area + 111.43 \quad (8)$$

$$AIR(Area) = 26.4 \times Area + 582.4 \quad (9)$$

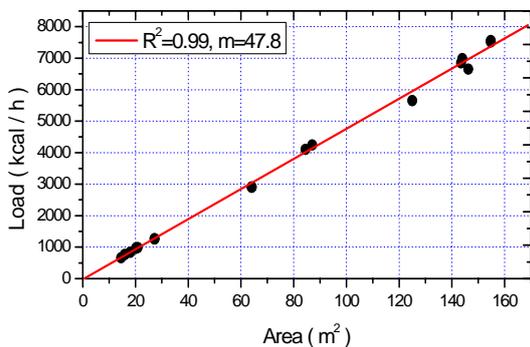
송풍량은 공급되는 환기량과 직접적인 관련이 있고, 일반 사무실과 항온 항습이 중요한 연구 및 실험실에는 큰 차이가 있으므로 상관식을 연구실 및 사무실로 나누었다

③ 연면적과 C_s 파라미터와의 관계

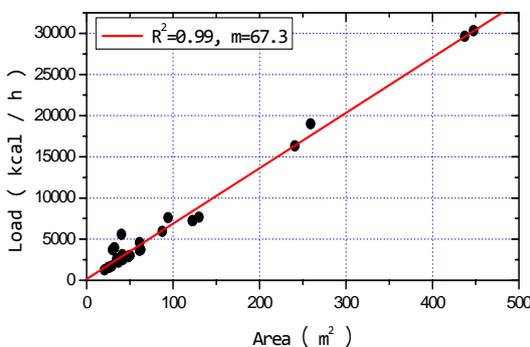
고정현열부하는 기준건물 설계 목록에 나타난 극간풍에 의한 현열, 인체현열, 조명, 전열기구에 의한 부하이다. 본 연구에서 고정부하는 시간변화에 따라 일정하다고 가정하였다. 면적과의 관계식 및 그림은 식(10), 식(11), Fig. 3에 나타내었다.

$$C_s(Area) = 47.8 \times Area - 25.5 \quad (10)$$

$$C_s(Area) = 67.3 \times Area + 160.7 \quad (11)$$



(a) office zone



(b) lab. zone

Fig. 3 Relation between each zone's area and C_s parameter

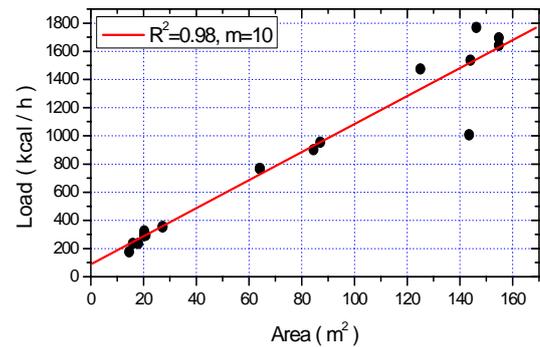
④ 연면적과 C_l 파라미터와의 관계

고정잠열부하는 기준건물 설계 목록에 나타난 극간풍에 의한 잠열, 인체 잠열에 의한 부하이다. 면적과의 관계식 및 그림은 식(12), (13), Fig. 4와 같다.

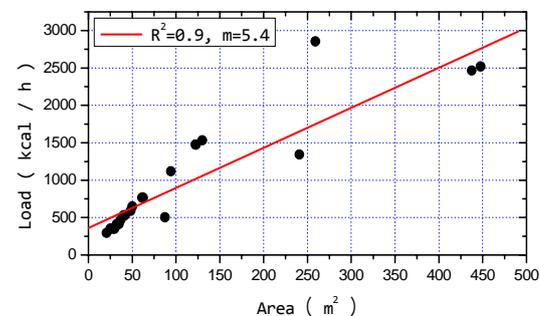
$$C_l(Area) = 9.9 \times Area + 88.9 \quad (12)$$

$$C_l(Area) = 5.4 \times Area + 362.9 \quad (13)$$

Fig. 1 ~ 2에서 볼 수 있듯이 존별 면적에 대한 각 냉방부하 파라미터는 90% 이상의 강한 상관 관계를 갖고 있고, 식(7)~(13)을 이용하여 다른 건물에 대한 면적 데이터를 입력하면 신뢰성 있는 냉방부하 파라미터를 설정할 수 있다. 설정한 각 냉방부하 파라미터를 냉방부하 예측식인 (2), (3), (4)에 대입하면 시간별 냉방부하를 예측할 수 있다.



(a) office zone



(b) lab. zone

Fig. 4 Relation between each zone's area and C_l parameter

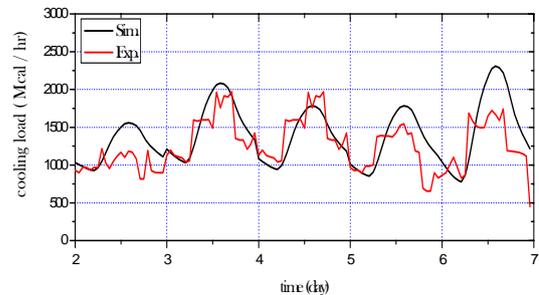
4. 냉방부하 예측 결과 및 분석

본 연구에서 제안한 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해서 벤치마킹 건물을 선정하여 실측 결과와 예측 결과를 비교해 보았다. 또한 냉방부하 예측식에 사용되는 시간별 예측온도 및 예측 습도는 참고문헌의 방법⁽⁶⁾을 이용하였다. 선정된 벤치마킹 건물군은 K연구소의 건물군으로 총 11개의 건물군으로 구성되어 있으며, 11개 건물군의 총 사무실 면적은 2685 m², 총 실험실 면적은 9010 m²이다. 이러한 건물군에 냉방을 공급하는 기계실의 냉동설비 현황을 Table 1에 나타내었다.⁽⁸⁾ 따라서 건물군에 걸리는 냉방부하는 터보냉동기 2기와 흡수식냉동기 1기의 병렬운전으로 감당하며, 냉동기가 냉수에 공급하는 부하량을 건물의 실측 냉방부하로 설정하기로 하였다. 각 냉동기에서 공급하는 부하량은 건물의 공조기로 유입되는 냉수의 열용량에 매 시간 운전 일지에 기록되는 냉수의 입구와 출구의 온도차를 곱해서 계산하였다. 이와 같이 계산한 실측 결과를 기준으로 본 연구에서 고안한 냉방부하의 타당성을 검증하기 위해 본 연구에서는 2007년 7월, 8월에 대한 예측결과와 실측결과를 비교해 보았다. Fig. 5는 2007년 7월에 대하여 주말과 주일을 제외한 평일에 대한 그림이다. 복잡한 변화를 보이는 것은 공급측으로부터 계산한 실측냉방부하이며, 부드러운 경향을 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 비정상 상태 정적 해석 기법을 적용하였기 때문에 미리 예측된 외기온도와 습도에 따라 부하량이 결정되었는 반면, 실측 부하는 비정상상태 동적상태인 에너지의 이동에 따라 각 건물자체에 축열된 에너지를 제거해 주는 과정이 포함되어 있기 때문이다. 또한 본 연구에서 벤치마킹한 건물군들의 용도가 화학 및 물리 실험을 위한 건물임을 고려하였을 때 냉방에 관계 없이 정밀한 실험을

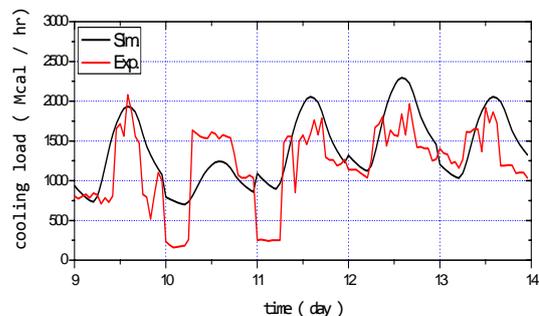
Table 1. Equiped chiller unit

Chiller Type	Capacity.(USRT)
Turbo	300
Absorption	500
Turbo	500

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 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.



(a) 2007. 07. 02. ~ 07. 07.



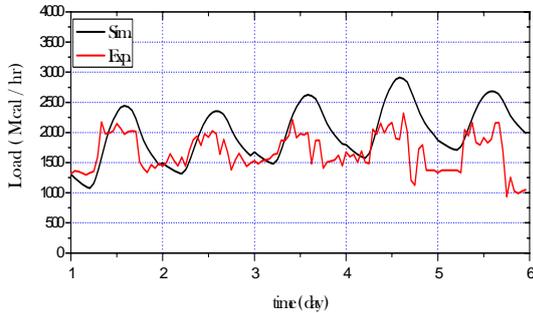
(b) 2007. 07. 09. ~ 07. 14.

후 기

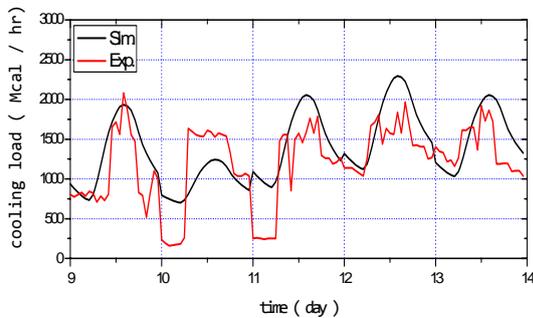
본 연구는 한국표준과학연구원과 (주)가교테크의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

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.



(c) 2008. 08. 01. ~ 08. 16.



(d) 2008. 08. 09. ~ 08. 14.

Fig. 5 Comparison of predicted cooling load

5. 결 론

건물군의 면적만을 이용하여 매우 간편하게 시간별 냉방부하를 예측하는 기법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 시간별 냉방부하 예측 기법은 건물의 면적을 이용하여 부하 파라미터들을 결정한 후 제안된 식에 기상청에서 예보해주는 최고온도와 최저온도를 대입하면 시간별 냉방부하를 예측 할 수 있다. 본 연구에서 제안한 냉방부하 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해 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.