

# 빙축열 시스템의 효율적인 제어를 위한 냉방부하 예측에 관한 연구

유 성 연, 한 규 현<sup>†</sup>, 이 제 묘\*, 한 승 호\*\*

충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단, \*국가핵융합연구소,

\*\*한전 전력연구원 전력계통연구실

## A Study on Estimation of Cooling Load for Effective Control of Ice Thermal Storage System

Seong-Yeon Yoo, Kyu-Hyun Han<sup>†</sup>, Je-Myo Lee\*, Seung-Ho Han\*\*

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

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

\*\*Power Distribution System Lab., Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received October 25, 2007; revision received December 11, 2007)

**ABSTRACT:** It is necessary to estimate the cooling load of the next day for effective control of ice thermal storage system. In this paper, new methodology is proposed to estimate the cooling load using design parameters of building and predicted weather data. Only six input parameters such as sensible heat coefficient and constant, latent heat coefficient and constant, maximum and minimum temperature are necessary to obtain hourly distribution of cooling load for the next day. Two benchmarking buildings(hospital and research institute) are selected to validate the performance of the proposed method, and the estimated cooling loads in hourly and daily bases are calculated and compared with the measured data for E hospital. The estimated results show fairly good agreement with the measured data for both buildings.

**Key words:** Cooling load estimation(냉방부하 예측), Ice thermal storage system(빙축열 시스템), Temperature(온도), Specific humidity(비습도), Sensible heat load(현열부하), Latent heat load(잠열부하), Weather data(기상 데이터)

### 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]  
 $\dot{Q}_{s,int}$  : 내부발생 현열 [kW]  
 $\dot{Q}_{sol}$  : 태양복사열 [kW]  
 $T_i$  : 실내온도 [°C]  
 $T_o$  : 외기온도 [°C]  
 $\sum \dot{m}$  : 잠열부하계수 [kg/h]  
 $\sum UA$  : 현열부하계수 [kW/°C]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-42-821-8901; fax: +82-42-821-8894

E-mail address: lovelyday00@naver.com

## 1. 서 론

전기에너지는 발생과 동시에 소비해야 되는 특성이 있으며, 주간과 야간 소비량의 현격한 차이로 야간의 잉여전력을 효율적으로 저장하는 에너지 활용도를 높여야 할 필요성이 있다. 야간의 잉여전력으로 에너지를 저장하는 축열 방식을 도입하면, 국가적으로는 전력수급의 안정화에 기여하고, 건물주로서는 냉방 운전비용 감소의 경제적 이득을 얻을 수 있다. 축열 시스템 중에서 잠열을 저장하는 방식인 빙축열 시스템은 하루에 필요한 냉방부하 중 일부만을 빙축열조 냉열로 감당하는 부분축 열방식과 하루의 냉방부하 전체를 빙축열조만으로 감당하게 하는 전축열방식으로 나누어 진다. 전축열방식은 냉동기의 용량이 커지게 되고 축열조를 위한 공간이 증가하기 때문에 우리나라에서는 경제성 측면에서 거의 대부분 부분축 열방식으로 보급되고 있다. 이러한 부분축 열방식에서는 냉동기와 축열조 운전을 잘 조합하여 부하에 적합하도록 제어 운전되어야 한다. 그 동안 빙축열 시스템을 수년간 보급하는 과정에서는 시스템의 제어 운전을 전적으로 운전자의 경험에 의존하여 왔다. 따라서 운전자의 판단 실수 및 운전 미숙으로 인하여, 불필요한 전력소모에 의한 운전비용 증가와 냉방공급량 부족으로 사용자의 불편과 불만을 초래하는 사례가 자주 발생하여 왔다. 빙축열 시스템은 기존 공조 시스템과는 달리 주간에 필요한 냉열을 심야에 미리 저장하기 때문에 냉방부하 예측 기법 등을 통한 예측제어로 운전되어야 전력피크 저감과 에너지 절약효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 다양하고 복잡한 빙축열 시스템을 최소의 운전비용으로 효율적이고, 편리하게 제어할 수 있는 알고리즘 개발을 위한 냉방부하 예측 방법에 대해 연구하였다.

빙축열 시스템의 최적 제어를 위한 냉방부하 예측에 관한 연구는 우리나라와 같이 심야전력제도가 적용되어 빙축열 시스템을 많이 사용하고 있는 일본에서 주로 연구되어 왔다. Tadahiko et al.<sup>(1)</sup>은 위상학적 개념인 TBCM 모델과 시계열 통계적 개념인 ARIMA 모델을 서로 완충시킨 접합모델(hybrid model)을 이용하여 부하곡선을 예측하는 연구를 하였고, Harunori et al.<sup>(2)</sup>은 ARX 모델을 통해 냉방부하를 예측하는 기법을 제안하

였으며, Jin et al.<sup>(3)</sup>은 적응성 인공 신경회로망 모델을 이용하여 입력 데이터 중 예상치 못했던 부하 변동까지 고려한 냉방부하 예측 기법을 제안하였다. 또한 Nobuo et al.<sup>(4)</sup>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 운전자가 사용하기 어려우며, 냉방부하 예측을 적용해야 하는 건물에 대한 입력값인 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 설계 값과 기상청의 일기예보로부터 쉽게 얻을 수 있는 일일 최고온도와 최저온도 만을 가지고 냉방부하를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

## 2. 냉방부하 예측 방법

빙축열 시스템에서 축냉과 방냉을 효율적으로 제어하기 위해서는 냉방부하의 예측이 매우 중요하다. 에너지 절약적인 시스템이 되려면 냉방부하를 예측하고 그에 대응하여 제어함으로써 가능하다. 냉방부하의 계산방법은 연간을 통해 기후에 따라 끊임없이 변화하는 일정기간 동안의 부하를 계산하는 기간부하계산법과 특정시간대의 최대부하를 계산하는 최대부하계산법이 있다. 먼저 기간부하는 합리적인 공조설비의 계획과 연간 운전비를 산출하기 위해 각 지역별 난방도일 또는 표준기상자료를 사용하여 계절 또는 1년 동안에 발생하는 총 부하를 의미한다. 최대부하는 공조설비의 용량을 결정하기 위해 연중 가장 추운 날 또는 더운 날로 가정된 설계용 외기온도를 이용하여 계산한다. 냉방부하를 계산할 때 일사의 영향을 고려한 실내외 온도차를 구하는 방법에는 CLTD(Cooling Load Temperature Difference)법, TETD(Total Equivalent Temperature Difference)법, ETD(Equivalent Temperature Difference)법 등이 있다. 이와같은 방법으로 냉방부하를 계산하기 위해서는 냉방부하 계산 프로그램에 대한

전문적인 지식이 요구되며, 많은 계산시간이 소요된다. 축냉 시스템의 냉방부하 예측제어는 정확한 계산을 필요로 하지 않으며, 하루 동안 냉방부하의 변화 추세와 냉방기간 동안 1일 평균 냉방부하 변화 등과 같은 경향성이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 누구나 손쉽게 사용할 수 있는 냉방부하 예측방법을 제시하고자 한다.

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

냉방부하의 여러 형태 중 현열( $\dot{Q}_s$ )은 다음과 같이 계산한다.

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{air} + \dot{Q}_{s,int} \quad (4)$$

여기서  $\dot{Q}_{sol}$ 은 태양복사열,  $\dot{Q}_{cond}$ 는 전도열,  $\dot{Q}_{air}$ 는 침입외기와 도입외기에 의한 현열이며,  $\dot{Q}_{s,int}$ 는 내부발생열과 기타부하를 나타낸다. 태양복사열, 전도열, 외기에 의한 현열은 외기온도와 실내온도차에 따라 달라지고, 내부발생열과 기타부하는 실내의 온도차에 민감하지 않으므로 식(4)의 현열은 다음과 같이 단순화 시킬 수 있다.

$$\dot{Q}_{s,d} = (\sum UA)(T_{o,d} - T_{i,d}) + C_s \quad (5)$$

여기서  $T_{o,d}$ 는 외기 설계온도이고,  $T_{i,d}$ 는 실내 설계온도이며,  $\sum UA$ 는 현열부하 계수,  $C_s$ 를 현열부하 상수로 명명하였다. 건물의 설계자료로부터 현열부하( $\dot{Q}_{s,d}$ )와 현열부하 상수( $C_s$ )를 찾고, 외기 설계온도와 실내 설계온도를 식(5)에 대입하면 현열부하 계수  $\sum UA$ 를 구할 수 있다.

유사한 개념으로 모든 잠열부하( $\dot{Q}_{l,d}$ )를 실내외 온도차에 따라 발생하는 항과 상수항으로 구분하여 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q}_{l,d} = \sum \dot{m}(h_{o,d} - h_{i,d}) + C_l \quad (6)$$

여기서  $h_{o,d}$ 는 외기설계조건에서 공기의 엔탈피,  $h_{i,d}$ 는 외기설계온도와 실내비습도가 만나는

점에서 공기의 엔탈피이며,  $\sum \dot{m}$ 은 잠열부하 계수,  $C_l$ 은 잠열부하 상수로 명명하였다. 잠열부하( $\dot{Q}_{l,d}$ )와 잠열부하 상수( $C_l$ )를 건물의 설계자료에서 찾고, 외기 설계조건과 실내 설계조건으로부터 습공기 선도를 사용하여  $h_{o,d}$ 와  $h_{i,d}$ 를 계산한 뒤 식(6)에 대입하면 잠열부하 계수  $\sum \dot{m}$ 을 구할 수 있다. 설계자료로부터 구한 현열부하계수, 현열부하상수, 잠열부하계수, 잠열부하상수를 식(7)과 식(8)에 대입하면 시간별 현열부하와 잠열부하를 예측할 수 있다.

$$\dot{Q}_s = (\sum UA)(T_o - T_i) + C_s \quad (7)$$

$$\dot{Q}_l = \sum \dot{m}(h_o - h_i) + C_l \quad (8)$$

여기서  $T_o$ 는 예측한 시간대별 외기온도이고,  $T_i$ 는 냉방공간의 설정 실내온도이며,  $h_o$ 는 외기조건에서 엔탈피이고,  $h_i$ 는 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.<sup>(5)</sup>

Fig. 1은 2001년부터 2005년까지 대전지역의 5년간 6월부터 9월까지의 외기온도 월별 평균값을 최고온도를 1로 최저온도를 -1로 설정하여 식(9)를 이용하여 무차원화하여 나타낸 것이다.<sup>(6)</sup>

$$T^* = \frac{T(h) - T_{avg}}{T_{max} - T_{avg}}, \quad 0 \leq T^* \leq 1 \quad (9)$$

여기서  $T_{max}$ 는 하루 중 최고온도이며,  $T_{avg}$ 는

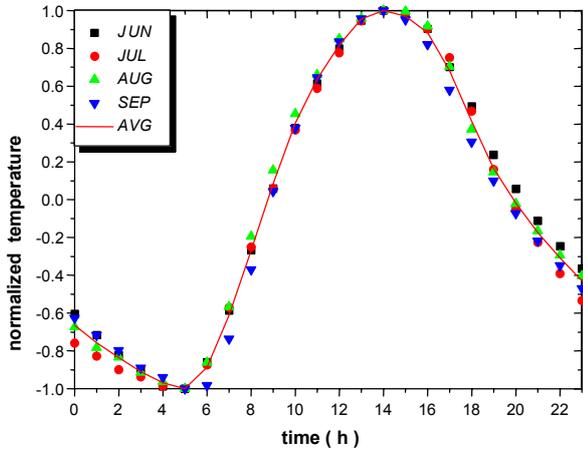


Fig. 1 Variation of hourly outdoor temperature for five years at Daejeon.

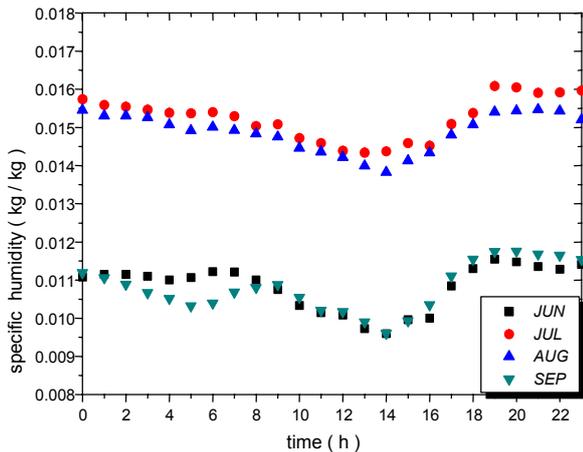


Fig. 2 Variation of hourly averaged specific humidity for five years at Daejeon.

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 크지 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.

$$f(d) = C_1|d - 46| + C_2 \quad (10)$$

여기서  $d$ 는 6월 15일부터 계산한 일수이며,  $C_1$ 과  $C_2$ 는 지역의 특성에 따라 결정되는 상수이다. 6월, 7월, 8월, 9월의 평균 비습도로부터  $C_1$ 과  $C_2$ 를 구하고, 각 달의 시간별 비습도에 식(10)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.

$$T^*(h) = -0.94 + 0.46h - 0.25h^2 + 0.04h^3 - 0.003h^4 + 1.07E - 4h^5 - 1.29E - 6h^6 \quad (11)$$

$$SH(h, d) = 0.011 - 5.31E - 4h + 2.19E - 4h^2 - 3.61E - 6h^3 + 2.52E - 6h^4 - 7.51E - 8h^5 + 7.67E - 10h^6 - 0.000141|d - 46| + 0.006375 \quad (12)$$

위에서 도출한 무차원 외기온도와 비습도 함수식을 예측외기온도함수, 예측비습도함수로 명명하였으며, 식(11)과 기상청에서 예보하는 익일최고온도와 최저온도를 식(13)에 대입하면 시간대별

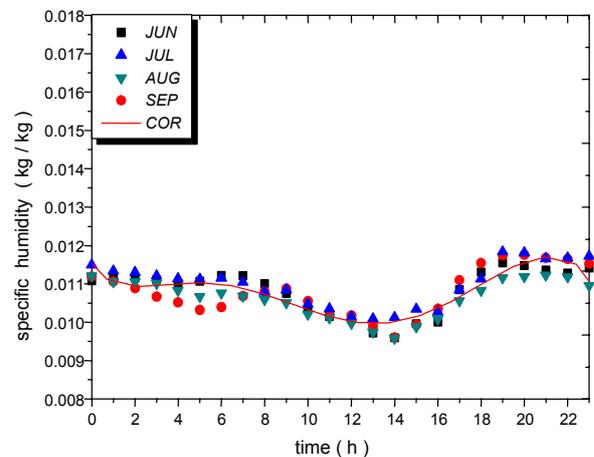


Fig. 3 Variation of hourly outdoor specific humidity for five years at Daejeon.

외기온도를 예측할 수 있으며, 식(12)를 통해 시간대별 비습도를 예측할 수 있다.

$$T(h)_{es} = T_{avg} + T^*(h) \cdot (T_{max} - T_{avg}) \quad (13)$$

### 4. 냉방부하 예측 결과 및 분석

#### 4.1 1일 냉방부하

빙축열 시스템의 부하추종 제어에 필요한 냉방부하 예측에는 하루 동안 냉방부하의 변화 추세와 냉방기간 동안 1일 평균 냉방부하의 변화 등이 중요하다. 이를 위해 해당 건물의 공조 설계 데이터를 이용하여, 현열부하계수와 현열상수, 잠열부하계수와 잠열상수를 계산하였으며, 예측된 온도와 상대습도를 이용하여 1일 시간별 냉방부하를 예측하였다. 본 연구에서 제안한 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해서 벤치마킹 건물을 선정하여 실측 결과와 예측 결과를 비교해 보았다. 선정된 벤치마킹 건물인 E병원(은 24시간 냉방이 필요한 시설이며, 에너지 다소비형 건물로 2004년 준공되어 운영 중인 건물이다. 건축 연면적은 93,854 m<sup>2</sup>, 이며 지하 3층 지상 15층으로 구성 되었다. 냉방부하 산정을 위한 건물의 외기 기준 온도는 31.2 °C, 상대습도는 85%이며, Fig. 4에 보인 바와 같이 건물의 냉방 시스템은 700 USRT 용량의 흡수식 냉동기 2대, 780 USRT 용량의 터보 냉동기 2대, 10,500 USRT 용량의 축냉조 1대, 7.231 lpm 용량의 브라인 펌프 3대, 9,100 lpm 용량의 냉각수 순환 펌프 3대, 9,475 lpm 용량의 냉수 순환 펌프 3대로 설비되어 있다. 여기서 적용한 고정부하의 값은 현열부하 2,350.4 kW, 잠열부하 1,379.3 kW이다.<sup>(7)</sup> 또다른 벤치마킹 건물인 K 연구소는 2002년 준공되어 사용 중인 연구소 건물로 지하 2층, 지상 7층의 연면적 28,132 m<sup>2</sup>의 건물이다. 냉방부하 산정을 위한 건물의 외기 기준 온도는 33.4 °C, 상대습도는 85%이며, 건물의 냉방시스템은 700 USRT 용량의 흡수식 냉동기 2대, 260 USRT 용량의 터보냉동기 2대로 구성되어 있다. 여기서 적용한 고정부하의 값은 현열부하 1,481.7 kW, 잠열부하 35.6 kW이다.<sup>(8)</sup>

냉방부하를 예측하고자 하는 건물에서 예측온도 함수에 현열부하계수( $\sum UA$ )와 잠열부하계수( $\sum \dot{m}$ ) 값을 대입하면 현열부하와 잠열부하를 계산할 수

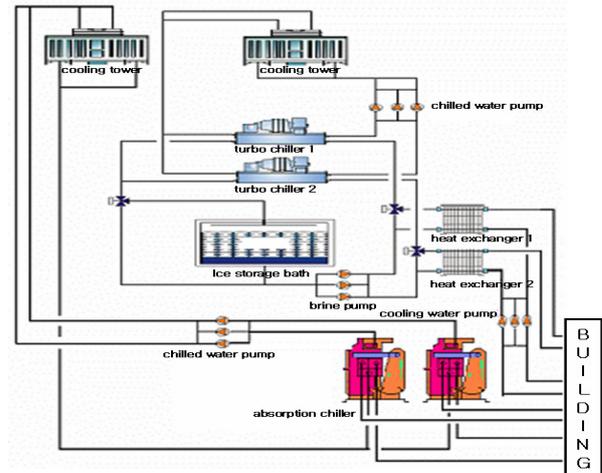
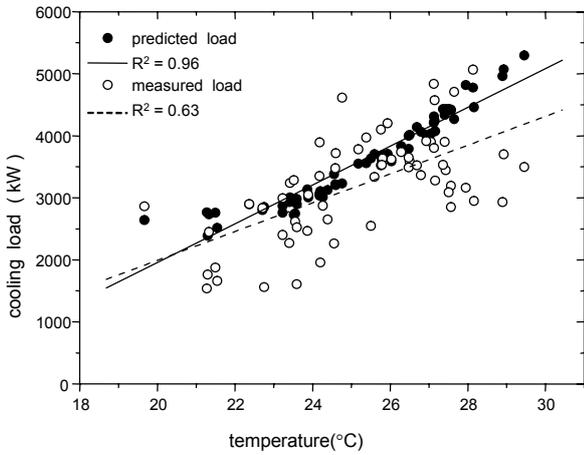
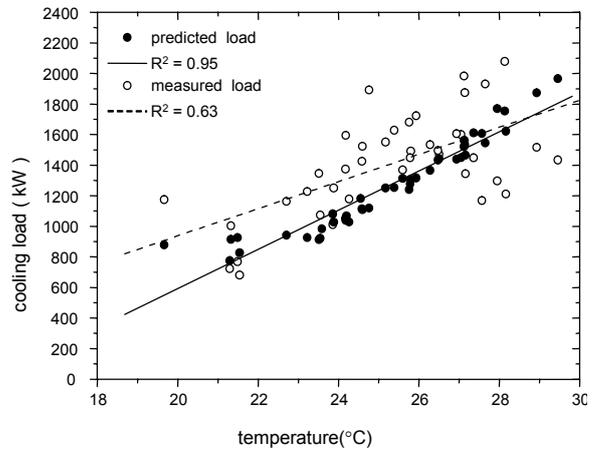


Fig. 4 Schematic diagram of the cooling system of E hospital.

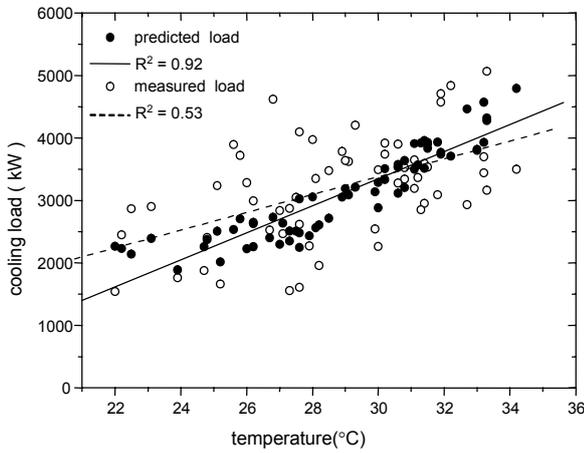
있고, 이것을 합하여 예측 냉방부하를 구할 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6은 2개의 벤치마킹 건물에 대해서 냉방부하와 외기온도의 관계를 나타낸 것이다. 냉방부하와 외기온도의 관계를 분석하기 위해 사용된 외기온도의 분류로는 그날에 발생했던 최대 외기온도, 24시간 동안 외기온도의 평균값, 마지막으로 습도의 영향을 고려한 유효온도 등 3종류이며, 각각의 온도에 대해서 냉방부하 예측 결과와 실측 결과를 비교하였다. 2개의 건물에 대하여 최대온도와 냉방부하와의 상관관계는 대략 92%, 하루 평균온도와 냉방부하와의 상관관계는 95%, 유효온도와 냉방부하와의 상관관계는 83%로 이 중에서 상관관계가 가장 좋은 온도는 하루 평균온도임을 알 수가 있다. 그러나 외기온도와 실측냉방부하와의 상관관계는 최고온도, 평균온도, 유효온도에 대해서 약 54%, 63%, 66%로 각각 나타났다. 예측치의 경우 건물 내부조건을 일정하게 유지하는 것으로 가정한 계산에 의한 결과이므로 온도와 냉방부하가 강한 상관관계를 갖지만, 실측치의 경우 건물의 냉방에너지 사용량의 편차에 영향을 미치는 요소는 외기 온도뿐만 아니라 건물 내 거주자의 냉방시간, 실내 설정온도 등과 같은 내부적 요인이 포함되어 있기 때문에 약한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 그림에서 실험결과와 예측치가 교차하는 온도는 냉난방 설계 용량 결정시 적용하는 위험률(TAC; Technical Advisory Comittee)과 연관이 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 정부에서 권장하는 냉방온도는 26~28 °C인데 실제로 사무실 냉방 유



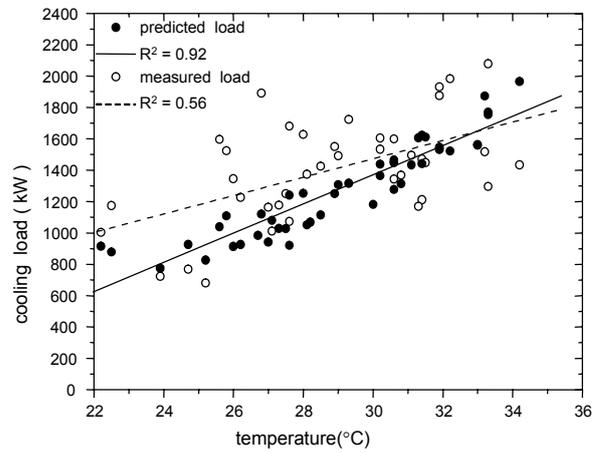
(a) average



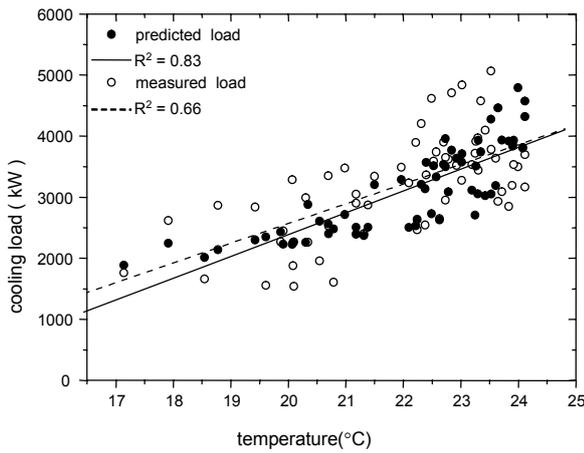
(a) average



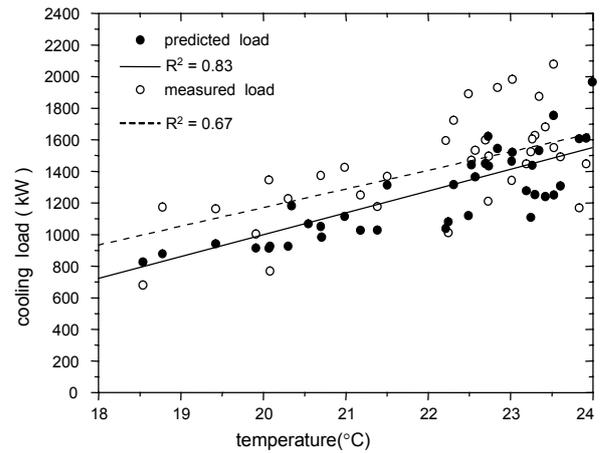
(b) maximum



(b) maximum



(c) effective



(d) effective

Fig. 5 Comparison of predicted load with measured load for E hospital.

Fig. 6 Comparison of predicted load with measured load for K Institute.

지 온도는 24 °C 근처로 과냉방이 이루어지는 것을 알 수 있고, 위험률이 적용되는 이후의 온도에서는 냉방장치 용량의 한계 때문에 충분한 냉

방을 할 수 없음을 알 수 있다. 일반적으로 위험률의 적용은 6월에서 9월까지 1년 기준 총 2,928 시간의 TAC 1%, 2.5%, 5%를 적용한다.<sup>(9)</sup>

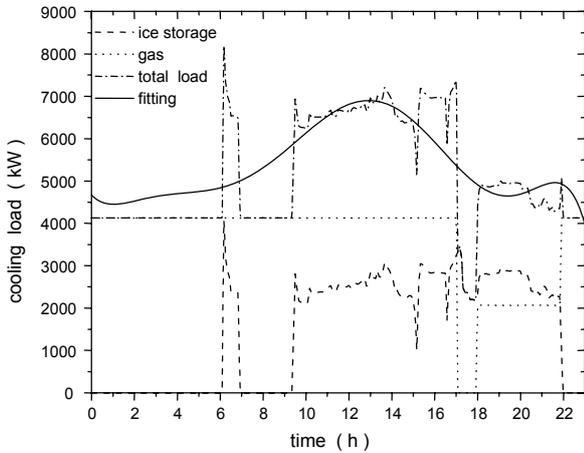


Fig. 7 Measured cooling load for a day on 22nd July.

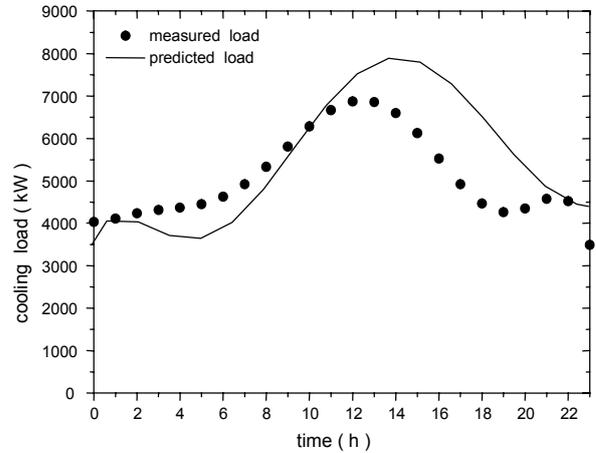


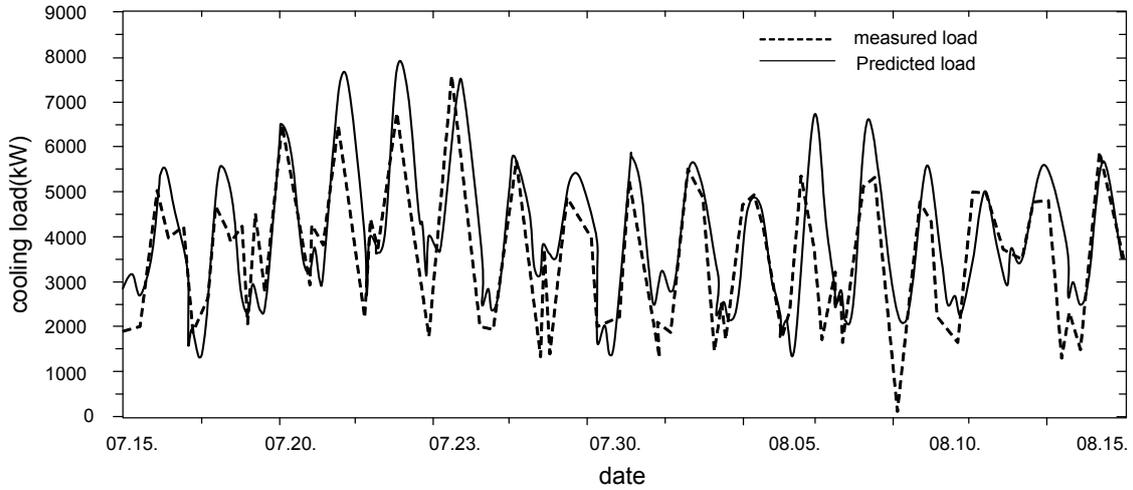
Fig. 8 Comparison of predicted cooling load with measured data on 22nd July.

4.2 시간대별 냉방부하

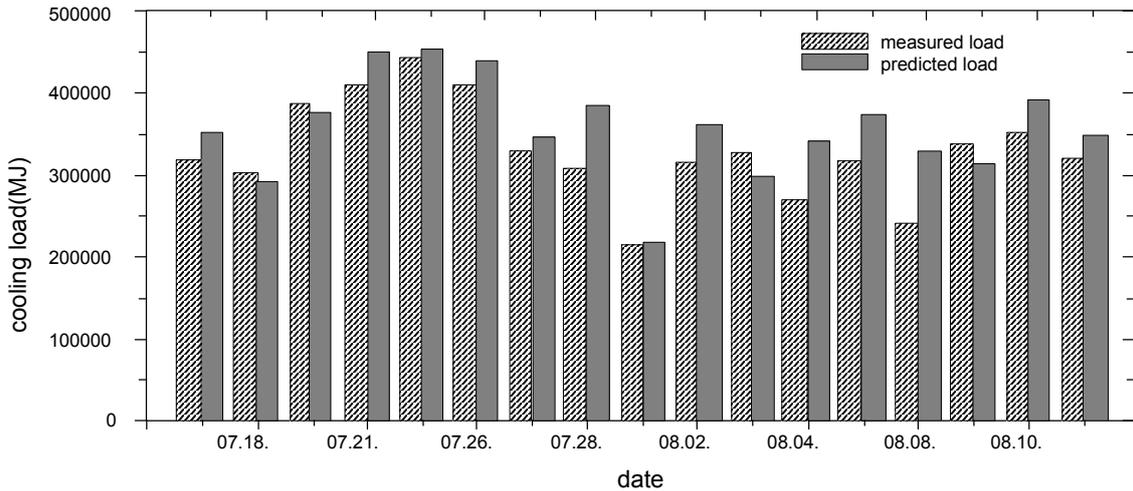
5년간 기상 데이터를 평균하여 얻은 온도를 무차원화 하여 예측 온도함수를 구하고, 상대습도의 평균을 산출하여 표준화된 함수식을 얻었다. 또한 온도와 냉방부하의 관계에서 현열부하계수, 현열상수, 잠열부하계수, 잠열상수를 해당 건물의 설계도서에서 구한 뒤 식(7), 식(8)에 대입하여 시간대별 현열부하와 잠열부하를 구하였다. 본 연구에서 얻은 시간대별 냉방부하 예측 결과의 타당성을 검증하기 위해 벤치마킹 건물에 대한 실측 결과와 비교하였다. 먼저 벤치마킹 건물인 E 병원에서 발생하는 실제 시간별 냉방부하 측정 결과 중 7월 22일을 Fig. 7에 나타내었다. 건물에 걸리는 냉방부하는 Fig. 4에 나타난 시스템에 설치된 터보냉동기, 흡수식냉동기, 축열조의 방냉으로 감당하며, 각 데이터는 기준시간의 순시부하로 변화하는 것으로 고려하였다. 축냉조의 방냉부하는 부하 헤더측 열교환기를 통과하는 냉수의 유량에 열교환기 입출구 온도차를 곱하여 계산하였으며, 냉수의 유량을 직접 측정하지 않고 정유량 펌프의 가동시간에 대한 자료로부터 구하였다. 흡수식 냉동기의 부하계산은 현장에서 직접 취득한 데이터를 토대로 흡수식 냉온수기의 입출구 온도차를 4℃로 가정하여 부하량을 계산하였다. 또한, 축냉조의 방냉과 흡수식 냉동기의 가동시점과 종점은 근무자가 작성한 업무일지와 PC에 자동 저장된 데이터를 토대로 결정하였다. 시간별로 걸리게 되는 전체부하는 터보냉동기, 흡수식냉동기, 축열조의 방냉 등으로 이루어지는 부

하량의 총 합으로 계산되며, 시간별 냉방부하의 경향성을 파악하기 위해 계산된 전체부하에 대하여 곡선 접합을 하여 부하곡선을 얻었다.

Fig. 8은 전력피크가 나타난 7월 22일의 시간대별 예측 냉방부하와 실측부하를 비교한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 예측된 냉방 부하가 실측한 냉방 부하량 보다 다소 큰 값을 갖지만, 대체적으로 예측 냉방부하 곡선은 실측 냉방부하의 경향과 비교적 잘 일치하고 있음을 보여주며 1일 총 냉방부하는 예측치는 474,840 MJ, 실측치는 438,217 MJ로 예측치와 실측치 사이에 7.7%의 오차가 있었다. 이와 같은 방법으로 2005년 7월 15일부터 8월 15일까지 냉방부하의 시간별 예측 결과를 실제 측정한 부하량과 비교한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 시간별 부하곡선의 경우 전체적으로 예측치의 피크부하가 실측치의 피크부하보다 다소 크게 예측되었음을 볼 수 있으며, 1일 총 부하량 역시 실제 부하보다 약간 크게 예측되었을 볼 수 있다. 피크부하가 발생하는 시간은 예측치의 피크부하가 실측치의 피크부하보다 뒤쳐짐을 알 수 있다. 이는 건물의 열취득상태에서 실제 냉방부하가 되기까지의 감쇠와 지연 효과로 인해 시간적 차이가 발생하는 것이며, 예측온도와 비습도로부터 기인하는 기상예보오차와 동적 열전달 효과를 고려하지 않은 냉방부하 예측 방법에서 오는 오차등이 포함된 것으로 판단된다. 그러나 시간별 예측부하와 1일 총 예측 부하량은 실제 부하의 경향과 상당히 유사함을 보여준다.



(a) Hourly cooling load



(b) Daily cooling load

Fig. 9 Comparison of predicted cooling load with measured data from 15th July to 15th August.

### 5. 결 론

빙축열 시스템의 효율적인 제어를 위해 건물설계 데이터와 기상예보를 이용하여 매우 간편하게 냉방부하를 예측하는 기법을 제안하였다. 건물 설계 데이터로부터 다음 식을 이용하여 현열부하계수 ( $\sum UA$ ), 현열부하상수( $C_s$ ), 잠열부하계수( $\sum \dot{m}$ ), 잠열부하상수( $C_l$ )를 구하고,

$$\dot{Q}_{s,d} = (\sum UA)(T_{o,d} - T_{i,d}) + C_s$$

$$\dot{Q}_{l,d} = \sum \dot{m}(h_{o,d} - h_{i,d}) + C_l$$

시간별 현열부하와 잠열부하는 다음과 같이 구한다.

$$\dot{Q}_s = (\sum UA)(T_o - T_i) + C_s$$

$$\dot{Q}_l = \sum \dot{m}(h_o - h_i) + C_l$$

여기서 시간대별 외기조건  $T_o$ ,  $T_i$ ,  $h_o$ ,  $h_i$ 는 기상청에서 예보하는 익일 최고온도와 최저온도를 예측온도함수와 예측비습도함수에 대입하여 구한다. 본 연구에서 제안한 냉방부하 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해 벤치마킹 건물에 대하여 1일 냉방부하와 시간대별 냉방부하를 분석하였다. 1일 냉방부하를 분석한 결과 최고온도와 상관관계는 92%, 하루 평균온도와 상관관계는 96%로 나타났다. 시간대 별 냉방부하의 경우도 예측 냉방 부하곡선은 실측 냉방부하의 경향과 비교적 잘 일치하였다.

본 연구에서 제안한 냉방부하 예측기법을 냉방 부하 추종제어 빙축열 시스템의 운전에 활용한다면 빙축열 시스템의 활용도를 높이고 전력피크를 저감하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국전력공사 전력연구원과 (주)가교테크의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Tadahiko M., Hiroaki T. and Kazuyuki K., 1999, Development of load profile prediction using TCBM and ARIMA hybrid-modeling, IBPSA Proc.
2. 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.
3. Jin Y., Hugues R. and Radu Z., 2005, Building energy prediction with adaptive artificial neural networks, IBPSA Proc.
4. Nobuo N., Mingjie Z., Song P. and Yoshihiko N., 1999, Load prediction for optimal thermal storage, IBPSA Proc.
5. 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.
6. Meteorological Officer, Weather data from 2001 to 2005 for Daejeon.
7. Mechanical reports and specifications for E hospital.
8. Mechanical reports and specifications for K institute.
9. 2004, Energy saving basis of buildings, notice No. 459, Ministry of construction & transportation.