

냉방부하 추정을 위한 온도와 습도 예측에 관한 연구

유 성 연, 이 제 묘^{*}, 한 규 현, 한 승 호^{**}

충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단, *한국기초과학지원연구원 열유체기술팀,
**한전 전력연구원 전력계통연구소

A Study on Prediction of Temperature and Humidity for Estimation of Cooling Load

Seong-Yeon Yoo, Je-Myo Lee^{*}, Kyou-Hyun Han, Seung-Ho Han^{**}

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

^{*}Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

^{**}Power Distribution System Lab., Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received December 8, 2006; revision received March 23, 2007)

ABSTRACT: To estimate the cooling load for the following day, outdoor temperature and humidity are needed in hourly base. But the meteorological administration forecasts only maximum and minimum temperature. New methodology is proposed for predicting hourly outdoor temperature and humidity by using the forecasted maximum and minimum temperature. The correlations for normalized outdoor temperature and specific humidity has been derived from the weather data for five years from 2001 to 2005 at Seoul, Daejeon and Pusan. The correlations for normalized temperature are independent of date, while the correlations for specific humidity are linearly dependent on date. The predicted results show fairly good agreement with the measured data. The prediction program is also developed for hourly outdoor dry bulb temperature, specific humidity, dew point, relative humidity, enthalpy and specific volume.

Key words: Outdoor temperature(외기온도), Relative humidity(상대습도), Specific humidity(비습도), Prediction of temperature and humidity(온도·습도 예측), Cooling load(냉방부하)

1. 서 론

에너지 자원이 빈곤하여 에너지 소비량의 97%를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 에너지 개발과 에너지 활용에 대하여 많은 연구개발이 필요하다. 우리나라의 경우 국민소득 향상과 생활

수준의 향상으로 특히 냉방에 사용되는 에너지양이 급격히 증대하고 있으며, 공기조화에 소비되는 전력소비량이 전체 전력소비량의 20% 정도에 이르고 있다. 소비성 전력수요인 냉방부하는 주로 여름철 주간(14:00~16:00)에 집중적으로 발생하며 전력 사용 현황을 보면 최저치와 최고치가 30% 정도의 차이가 난다. 정부에서는 계절별, 시간대별로 에너지의 사용 밸런스를 맞추기 위하여 전력수요관리 프로그램을 만들어 활용하고 있으며 이에 호응하는 사용자에게는 초기 투

† Corresponding author

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

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

자비 지원, 값싼 사용료 등 많은 혜택을 주고 있다. 이와 같은 혜택 때문에 축냉제를 이용하여 에너지를 보관하였다가 필요한 시점에 사용할 수 있는 축냉시스템이 각광을 받고 있으며, 심야전력을 활용함으로써 전력소비의 평준화에 기여하고 있다. 축냉시스템의 경우 설계 시 고려하여야 할 점은 축냉조 크기의 선정과 최적제어 운전이며, 최적제어를 위해서는 익일의 냉방부하 예측이 중요하다. 냉방부하의 가장 중요한 요소는 외기 기상조건이므로 익일의 온도와 상대습도를 예측할 수만 있다면 냉열원 발생을 위한 열원장비 시스템의 운전시간 등을 최적화하여 관리할 수 있으며, 운전비용을 절감할 수 있을 것이다.

냉난방 부하와 전력수요를 예측하기 위해서 외기온도와 습도를 예측하는 연구는 그다지 많지 않다. Kawashima et al.⁽¹⁾와 Shaheen et al.⁽²⁾은 기상예보를 통해 얻은 최고온도, 최저온도, 예측시 실측된 외기온도와 각 시간에서의 온도수정계수, 3일간 혼련된 상수의 평균값을 이용하여 외기온도를 예측하는 알고리즘을 발표하였고, Han et al.⁽³⁾은 Kawashima와 Shaheen의 논문에서 제시된 알고리즘을 우리나라 기후에 맞게 적용하여 외기온도를 예측하는 알고리즘을 제시했다. 또한 Hokoi et al.⁽⁴⁾은 일본 동경의 과거 5년간의 기상 데이터를 기초로 일사량과 외기온의 확률적 변동을 표현하는 ARMA(auto regressive-moving average) 모델을 제안하였다. Jung et al.⁽⁵⁾은 예보오차시계열을 표현하는 확률시계열모델을 작성하여 예보오차를 예측하는 연구를 시행하였다.

본 연구에서는 냉난방장치의 운전자가 현장에서 손쉽게 사용할 수 있도록 기상청에서 예보하는 최고온도와 최저온도만을 가지고, 익일의 시간대별 온도와 습도를 예측하는 방법을 제시하였다.

2. 시간대별 온도와 습도 예측

냉방부하가 발생하는 하계 6월, 7월, 8월, 9월의 외기온도와 상대습도를 분석하기 위해 기상청에서 측정했던 2001년부터 2005년까지 5년간 데이터를 활용하였다. 지리적 특성으로 인해 외기온도와 상대습도는 지역마다 차이가 있으므로⁽⁶⁾ 이를 고려하기 위해 내륙에 위치한 서울과 대전의 데이터와 해안가에 위치한 부산의 데이터를 분석하여 비교하였으며, 각 지역의 관측지점은 Table

Table 1 Weather data measuring point

Station	Latitude (Nroth)	Longitude (East)	
Seoul	37°34'	126°57'	
Daejeon	36°22'	127°22'	
Pusan	35°06'	129°01'	

Station	H (m)	ht (m)	hr (m)
Seoul	85.5	1.5	0.5
Daejeon	62.6	1.6	0.6
Pusan	69.2	1.7	0.6

1과 같다. 여기서 H는 노장의 해발높이, ht는 온도계 높이, hr은 우량계의 지상높이이다.

Fig. 1은 2005년 7월과 8월 특정한 날 대전지역의 하루 동안 외기온도, 상대습도, 비습도 변화를 나타낸 것이다. 비가 오는 날은 과도한 습도에 의한 잠열의 영향으로 외기온도의 변화가 무질서하므로 본 연구에서는 맑은 날만을 고려하여 분석하였다. 온도의 경우 최고온도는 13시부터 15시 사이에 나타났고, 새벽 4시부터 6시 사이에 최저온도가 나타났다. 또한 최고온도와 최저온도 사이에서 단조증가와 단조감소를 하면서 매일 일정한 변화 양상을 보이고 있다. 상대습도의 변화는 온도와 비교해 보았을 때 외기온도가 높을 때는 상대습도가 낮고, 반대로 외기온도가 낮을 때는 상대습도가 높은 것이 일반적인 경향이다. 비습도의 변화는 하루 중 변화량이 매우 작기 때문에 온도와 상대습도와 같은 규칙적인 경향을 찾을 수가 없으나, 7월에는 증가하고 8월에는 감소하는 것을 알 수 있다.

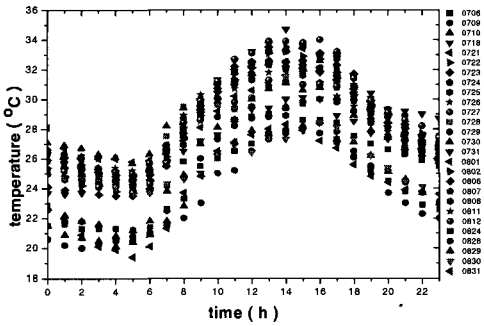
외기온도를 예측하기 위해 하루 동안 외기온도를 무차원화 시킨 뒤 월별 평균값을 산출하였다. Fig. 2는 2001년부터 2005년까지 서울, 대전, 부산 지역에 대해 6월부터 9월까지 맑은날의 외기온도 평균값을 최고온도를 1로 최저온도를 -1로 설정하여 식(1)을 이용하여 무차원하여 나타낸 것이다.

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

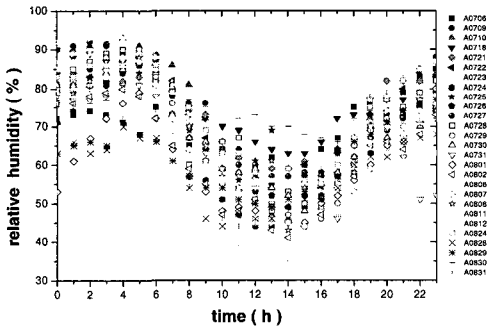
여기서 T_{max} 는 하루 중 최고온도이며, T_{avg} 는 최

고온도와 최저온도의 산술평균값이다. 내륙에 위치한 서울과 대전에서 하루동안 온도변화는 거의 일치하며 오후 14시에 최고 온도가 나타나고, 새벽 5시에 최저온도를 보이는 일정한 경향을 가짐을 알 수 있다. 서울과 대전 지역과 달리 해안에 위치한 도시인 부산 지역의 온도 특성은 최고온도의 경우 서울과 대전 지역보다 빠른 12시와 13

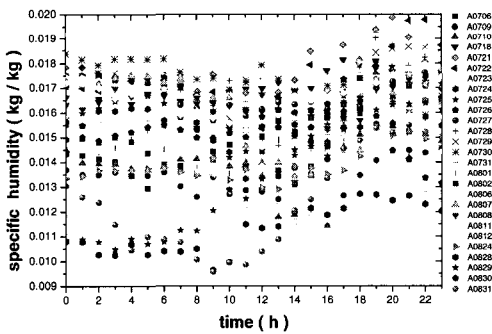
시 사이에 나타나고, 최저온도는 두 지역과 같은 새벽 5시에 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 부산지역이 서울과 대전지역에 비해 해가 약간 빨리 뜨고, 해풍의 영향으로 내륙 지역에 비해 대류가 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판단된다. 또 한가지 특이한 사항은 6월, 7월, 8월, 9월의 무차원온도 평균값이 서울, 대전, 부산 지역모



(a) Temperature

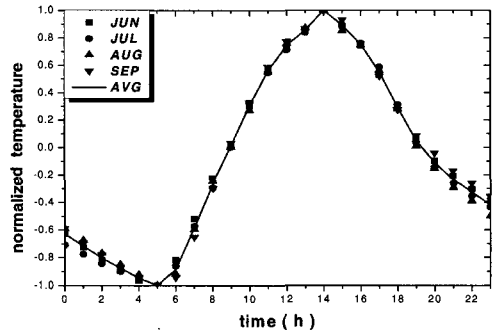


(b) Relative humidity

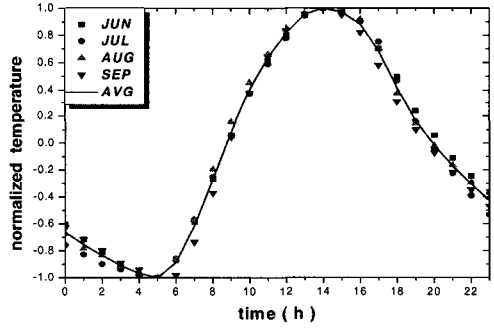


(c) Specific humidity

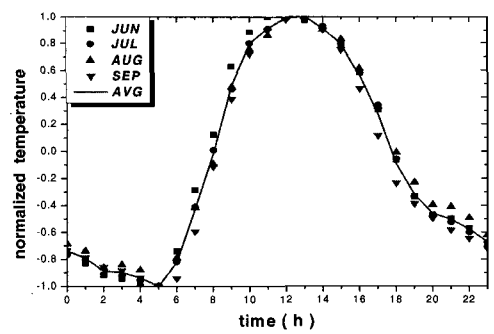
Fig. 1 Variation of temperature and humidity during a day at Daejeon.



(a) Seoul



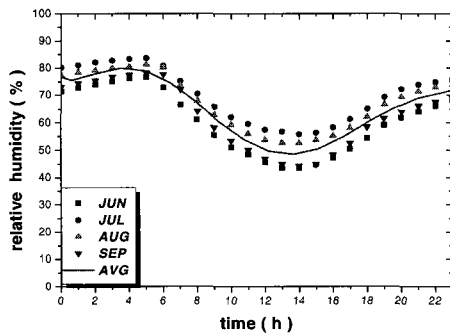
(b) Daejeon



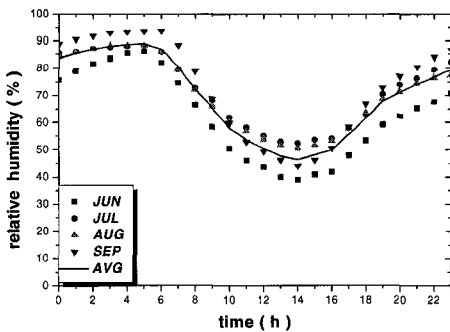
(c) Pusan

Fig. 2 Variation of monthly averaged outdoor temperature for five years.

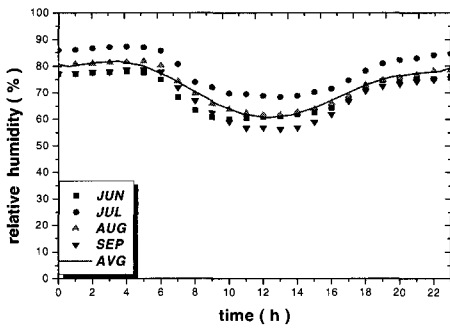
두 하나의 곡선으로 나타낼 수 있다는 사실이다. 상대습도를 예측하기 위해 하루 동안 상대습도의 월별 평균값을 산출하여 예측 상대습도 함수를 구하여 비교하였다. Fig. 3은 서울, 대전, 부산 지역의 5년간 상대습도를 월별로 평균한 값이다. 상대습도는 하루 중 외기온도가 가장 높은 13시에서 15시 사이에 최저값을 가지며, 최저온도가



(a) Seoul



(b) Daejeon



(c) Pusan

Fig. 3 Variation of monthly averaged relative humidity for five years.

포함된 4시에서 6시 사이에 최고 상대습도를 가짐을 알 수 있다. 부산지역의 상대 습도 변화폭은 내륙에 위치한 서울, 대전에 비해 비교적 작음을 볼 수 있고, 대전 지역의 변화폭이 가장 크음을 알 수 있다. 그 이유는 내륙 지방으로 갈수록 해풍의 영향이 작아지기 때문이라 사료된다. 월별 상대습도 변화는 7월과 8월에는 약간 높고, 6월과 9월에는 약간 낮지만 변화폭은 약 $\pm 5\%$ 정도인 것을 알 수 있다.

대전지역의 5년간 6월부터 9월까지 월별 비습도의 평균값의 변화를 Fig. 4에 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 7월, 8월이 6월, 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.

$$f(d) = C_1|d-45| + C_2 \quad (2)$$

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(2)를 더하여 나타내면 Fig. 5에 보인 바와 같이 월에 상관없

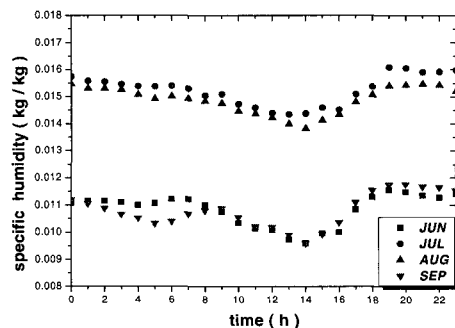


Fig. 4 Variation of monthly averaged specific humidity for five years at Daejeon.

는 하나의 비습도 상관식을 얻을 수 있다. 또 한 가지 특징은 하루 동안 비습도의 변화는 크지 않으며, 서울과 대전은 온도가 높은 낮에 비습도가 낮지만, 해안에 위치한 부산은 바다에서 습기의 유입으로 낮에 비습도가 높은 것을 알 수 있다.

결론적으로 지역에 따라 다소 차이는 있지만, 무차원 외기온도와 상대습도의 하루 중 변화 경

향은 월에 상관없이 일정하게 나타나며, 비습도는 7월까지 선형적으로 증가하였다가 그 이후로는 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 각 지역에 대한 무차원 외기온도(T^*), 상대습도(RH), 비습도(SH)에 대한 상관식을 시간(h)과 일수(d)의 함수로 구하면 다음과 같다.

서울

$$T^*(h) = -0.66 + 0.07h - 0.13h^2 + 0.03h^3 - 0.002h^4 + 9.48E-5h^5 - 1.19E-6h^6 \quad (3)$$

$$RH(h) = 75.62 - 1.18h + 2.02h^2 - 0.52h^3 + 0.05h^4 - 0.00168h^5 + 2.22E-5h^6 \quad (4)$$

$$SH(h, d) = 0.011 - 1.62E-4h + 3.67E-5h^2 - 6.59E-6h^3 + 5.85E-7h^4 - 2.22E-8h^5 + 2.99E-10h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006345 \quad (5)$$

대전

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

$$RH(h) = 89.89 - 10.4h + 5.47h^2 - 0.98h^3 + 0.07h^4 - 0.002h^5 + 2.8E-5h^6 \quad (7)$$

$$SH(h, d) = 0.011 - 5.31E-4h + 2.19E-5h^2 - 3.61E-6h^3 + 2.52E-7h^4 - 7.51E-8h^5 + 7.67E-10h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006375 \quad (8)$$

부산

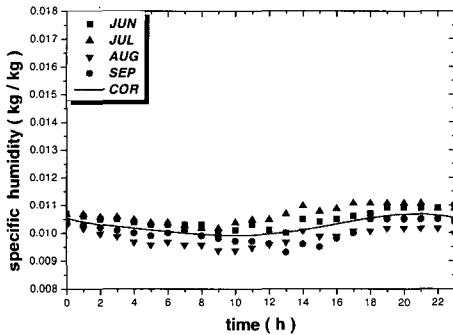
$$T^*(h) = -0.76 + 0.17h - 0.19h^2 + 0.05h^3 - 0.004h^4 + 1.69E-4h^5 - 2.35E-6h^6 \quad (9)$$

$$RH(h) = 79.93 - 0.78h + 1.35h^2 - 0.39h^3 + 0.037h^4 - 0.0015h^5 + 2.08E-5h^6 \quad (10)$$

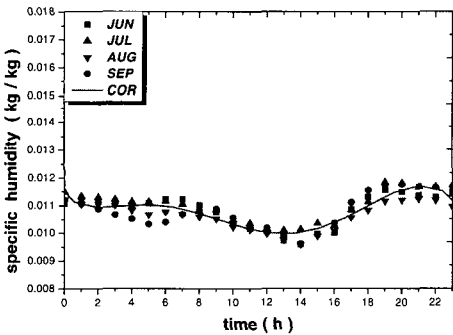
$$SH(h, d) = 0.011 + 1.98E-4h - 2.07E-5h^2 + 4.64E-6h^3 - 3.97E-7h^4 + 1.47E-7h^5 - 2.0E-9h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006345 \quad (11)$$

3. 온도와 습도 예측 결과 및 분석

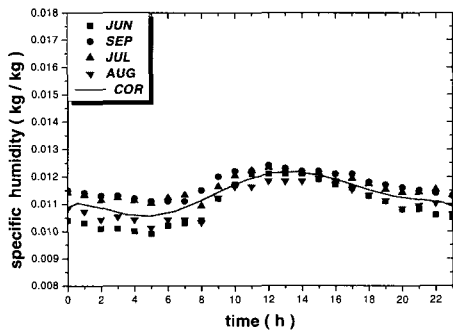
앞 절에서 도출한 예측온도 상관식으로 구한 무차원 온도와 기상청의 자동응답시스템을 통해서 쉽게 얻을 수 있는 최고온도와, 최저온도를



(a) Seo



(b) Daejeon



(c) Pusan

Fig. 5 Variation of monthly averaged specific humidity for five years.

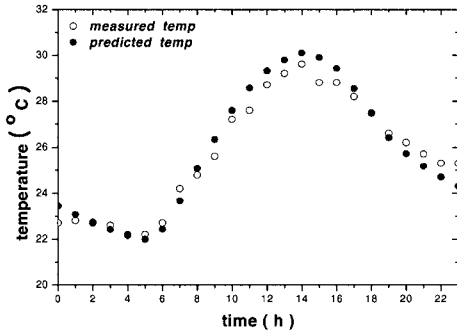
식(12)에 대입하면 하루 동안의 시간별 온도변화를 구할 수 있다.

$$T_{es} = T_{avg} + T^*(T_{max} - T_{avg}) \quad (12)$$

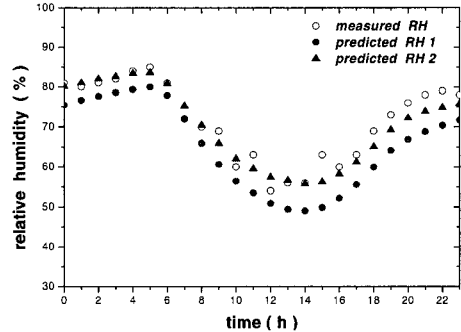
여기서 T_{es} 는 익일 예측온도이고, T^* 는 상관식으로 구한 무차원 온도이며, T_{max} 와 T_{avg} 는 익일

예보 최고온도와 평균온도이다.

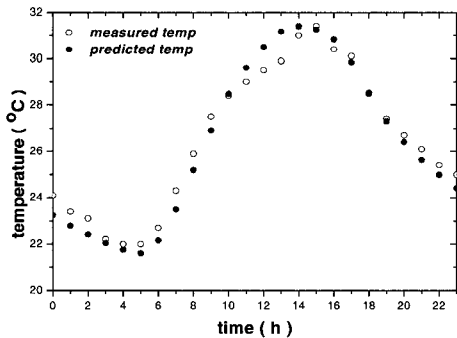
Fig. 6은 2005년 7월 15일 하루동안 식(12)에 의해 예측한 온도와 실제 측정된 온도를 비교한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 예측된 온도는 실제 측정된 값들과 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 부산지역의 경우는 다른 결과와 비교해 볼 때 규칙적인 경향에서 약간 벗어나고



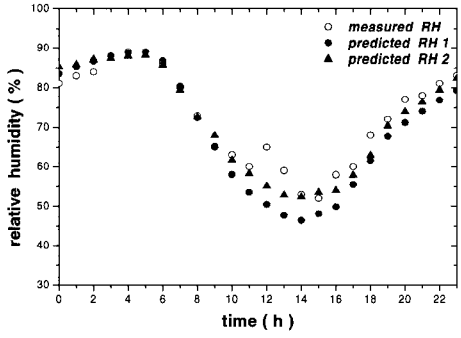
(a) Seoul



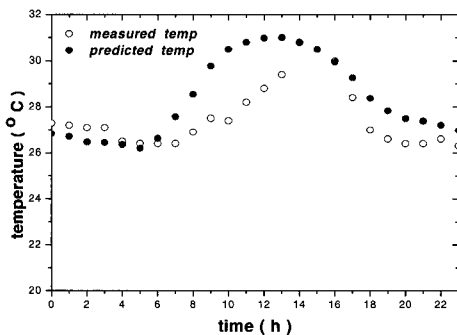
(a) Seoul



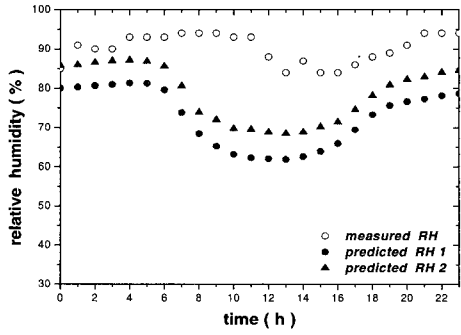
(b) Daejeon



(b) Daejeon



(c) Pusan



(c) Pusan

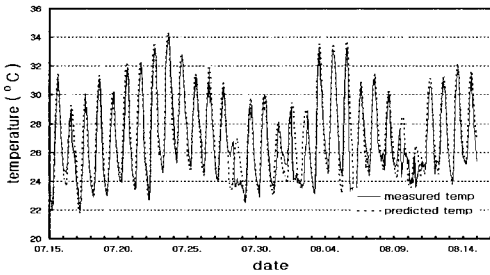
Fig. 6 Comparison of predicted temperature with measured data on 15 July.

Fig. 7 Comparison of predicted relative humidity with measured data on 15 July.

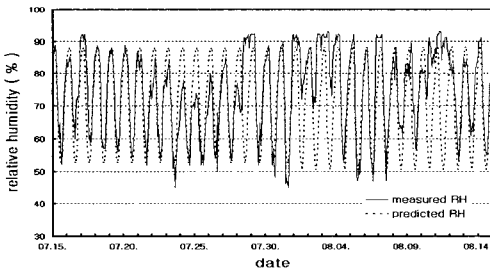
있으나 그 차이는 크지 않다. 부산지역의 7월 15일은 강수량이 8mm를 기록한 날이어서 맑은 날씨를 토대로 도출된 예측온도 상관식으로부터 구한 온도는 실측온도보다 약간 높다. Fig. 7은 상대습도 상관식으로부터 예측한 값(predicted RH1)과 비습도 상관식으로부터 예측한 값(predicted RH2)을 7월 15일 하루 동안 실제 측정된 상대습도와 비교한 것이다. 온도 예측 결과와 마찬가지로 강수량을 기록한 부산 지역에서는 측정값이 예측값보다 상당히 크지만, 비가 오지 않았던 다른 지역에서는 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수

있다. 또한 비습도 상관식으로부터 구한 값이 상대습도 상관식으로부터 구한 값보다 훨씬 정확한 결과를 보이고 있다. 그 이유는 상대습도 상관식은 날씨에 따른 변화를 고려할 수 없는 반면, 비습도 상관식은 시간과 날씨를 모두 고려하여 도출하였기 때문이다.

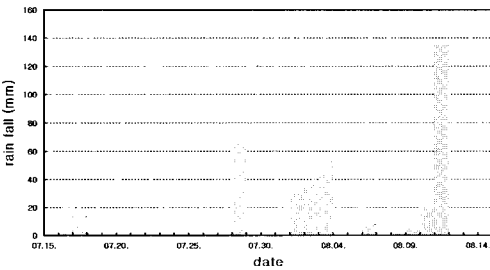
Fig. 8은 2005년 7월 15일부터 8월 15일까지 한달동안 대전지역의 예측한 온도와 상대습도를 실제 측정된 데이터와 비교한 것이며, 강수량을 함께 도시하였다. 여기서 상대습도는 비습도 상관식을 외기상태량 예측프로그램에 입력하여 구한 것이다. 예측온도와 실측온도는 매우 잘 일치하고 있으며, 여름 장마철로 인해 강수량이 집중적으로 기록된 기간에도 기대 이상으로 예측이 정확한 것을 알 수 있다. 상대습도의 경우도 맑은 날에는 예측값과 실측값이 잘 일치하고 있으나 강수량이 집중적으로 기록된 기간에는 예측값과 실측값이 많은 차이를 보이고 있다. 이는 온도에 비해 습도가 강수량에 훨씬 민감하기 때문이며, 이를 보정하기 위해 강수량을 기록한 날들에 대한 통계적인 분석 및 인공지능 알고리즘 적용을 통한 추가적인 연구를 수행하고 있다.



(a) Temperature



(b) Relative humidity



(c) Rain fall

Fig. 8 Comparison of predicted temperature and relative humidity with measured data from 15th July to 15th August.

4. 외기 상태량 예측 프로그램

본 연구에서 도출한 예측온도 상관식과 예측비습도 상관식을 토대로 익일 외기온도와 비습도를 시간대별로 구하고, 습공기 프로그램을 통해 냉방부하 추정에 추가적으로 필요한 비습도, 엔탈피, 습구온도, 비체적, 이슬점 온도를 예측 및 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 먼저 외기 상태량을 예측하고자 하는 지역을 선택하면 해당 지역의 예측온도 함수와 상대습도 함수가 호출되고, 기상청 자동응답시스템을 통해 얻을 수 있는 최고온도와 최저온도를 입력하면 원하는 외기 상태량을 계산할 수 있다. Fig. 9는 이러한 알고리즘을 윈도우 프로그램 코드를 이용하여 작성한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기상청에서 설정한 각 지역의 지역번호와 최고온도와 최저온도 등 3가지 데이터만 입력하면 익일의 외기상태량을 예측하여 출력하고, 변화 추세를 볼 수 있는 막대 그래프가 표시된다. 사용자가 건구온도, 비습도, 노점온도, 상대습도, 엔탈피, 비체적의 6가지 상태량 중 특정 상태량을

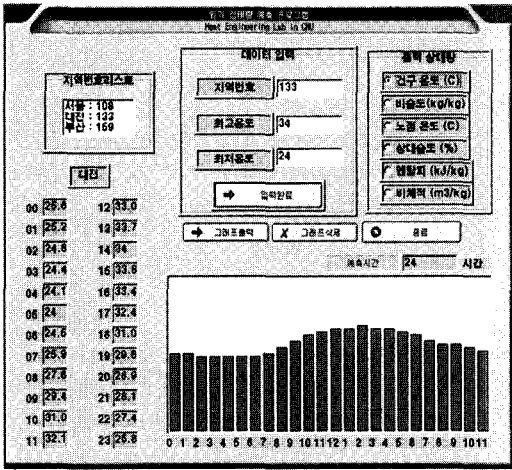


Fig. 9 Prediction program for properties of outdoor air.

선택할 수 있으며, 특정 상태량을 선택하지 않을 경우 프로그램은 임의로 건구온도를 선택하여 출력하게 된다.

5. 결론

건물의 냉방부하 추정에 필요한 익일 외기온도와 습도를 예측하기 위해서 서울, 대전, 부산지역의 과거 5년간 기상데이터를 분석하여 아래와 같은 무차원 외기온도와 비습도에 대한 상관식을 얻었다.

서울

$$T^*(h) = -0.66 + 0.07h - 0.13h^2 + 0.03h^3 - 0.002h^4 + 9.48E-5h^5 - 1.19E-6h^6$$

$$SH(h, d) = 0.011 - 1.62E-4h + 3.67E-5h^2 - 6.59E-6h^3 + 5.85E-7h^4 - 2.22E-8h^5 + 2.99E-10h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006345$$

대전

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

$$SH(h, d) = 0.011 - 5.31E-4h + 2.19E-4h^2 - 3.61E-6h^3 + 2.52E-6h^4 - 7.51E-8h^5 + 7.67E-10h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006375$$

부산

$$T^*(h) = -0.76 + 0.17h - 0.19h^2 + 0.05h^3 - 0.004h^4 + 1.69E-4h^5 - 2.35E-6h^6$$

$$SH(h, d) = 0.011 + 1.98E-4h - 2.07E-4h^2 + 4.64E-5h^3 - 3.97E-6h^4 + 1.47E-7h^5 - 2.0E-9h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006345$$

기상청의 자동응답시스템을 통해 쉽게 얻을 수 있는 익일 최고온도와 최저온도를 위의 상관식에 대입하여 구한 시간대별 예측온도, 상대습도를 실제 측정된 데이터와 비교한 결과 비교적 잘 일치하였다. 또한 냉방부하를 추정하는데 유용하게 쓰이는 익일 시간대별 건구온도, 비습도, 노점온도, 상대습도, 엔탈피, 비체적을 예측할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

후 기

본 연구는 한국전력공사 전력연구원과 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. Kawashima, M., Dorgan, C. E. and Michell, J. W., 1995, Hourly thermal load prediction for next 24 hours by ARIMA, EWMA, LA and an artificial neural network, ASHRAE Transactions, Vol. 101, No. 1, pp. 186-200.
2. Shaheen, N.I. and Ahmed, O., 1997, A simple methodology to predict local temperature humidity, ASHRAE Transaction, Vol. 103, No.1 pp. 451-459.
3. Han, D. Y. and Yang, H. B., 2002, Building energy control algorithm by using outdoor air temperature prediction, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 345-350.
4. Hokoi, S.I. and Matsumoto, M., 1988, An analysis of stochastic properties of the heating load in an intermittently air-conditioned building, Energy and Building, Vol.11, pp. 259-266.

5. Jung, J. H., Shin, Y. G. and Park, B. Y., 2006, Study on the feasibility of applying forecasted weather data for operations of thermal storage system, Journal of SAREK, Vol. 18, No. 1, pp. 87-94.
6. Kim, B., Ejvind, L., Soren, P., Rolf, D. and Jesfer, T., 2005, Use of weather forecasting to control night cooling, Proceedings of the IBPSA Annual Conference, pp. 1347-1353.
7. Weather data from 2001 to 2005 in meteorological office.