

냉방부하에 영향을 미치는 외기 환경조건의 상관관계에 관한 연구

이 제 묘[†]

국가핵융합연구소 정책실

A Study on Correlation of Outdoor Environmental Condition about Cooling Load

Je-Myo Lee[†]

National Fusion Research Institute, Daejeon 305-333, Korea

(Received August 6, 2012; revision received September 25, 2012)

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 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)

기 호 설 명

Q	: 부하 [kcal/h]
A	: 전열면적 [m^2]
k	: 열통과율 [kcal/ $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$]
T_2	: 출구온도 [$^\circ C$]
T_1	: 입구온도 [$^\circ C$]

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 생활수준의 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 투자비 지원, 값싼 사용료 등 많은 혜택을 주고 있다. 이와 같은 혜택 때문에 축냉재를 이용하여

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-879-5061; fax: +82-42-879-5389

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

에너지를 보관하였다가 필요한 시점에 사용할 수 있는 축냉시스템이 각광을 받고 있으며, 심야전력을 활용함으로써 전력소비의 평균화에 기여하고 있다. 축냉시스템의 경우 설계 시 고려하여야 할 점은 축냉조 크기의 산정과 최적제어 운전이며, 최적제어를 위해서는 익일의 냉방부하 예측이 중요하다. 냉방부하의 가장 중요한 요소는 외기 환경조건(온도·습도)이므로 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 외기 온도와 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 평균 값을 이용하여 외기온도를 예측하는 알고리즘을 발표하였고, Han et al.⁽³⁾은 Kawashima and 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 예보오차 시계열을 표현하는 확률 시계열모델을 작성하여 예보오차를 예측하는 연구를 시행하였다.

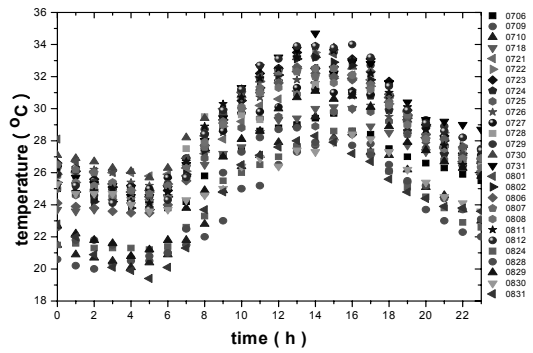
본 연구에서는 기존의 복잡한 시스템과는 차별화된 Normalize를 통하여, 냉난방장치의 운전자가 현장에서 손쉽게 사용할 수 있도록 기상청에서 예보하는 환경조건(최고온도, 최저온도)과 냉방부하의 상관관계를 정립하고자 한다.

2. 본 론

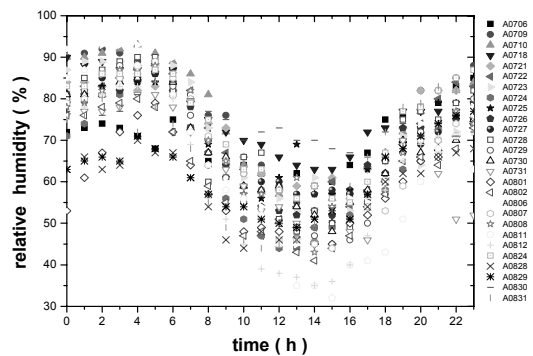
2.1 Modeling을 통한 온, 습도의 상관관계

냉방부하가 발생하는 하계 6월, 7월, 8월, 9월의 외기온도와 상대습도를 분석하기 위해 기상청에서 측정했던 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 비교하였다. Fig. 1은 5년간의 7월

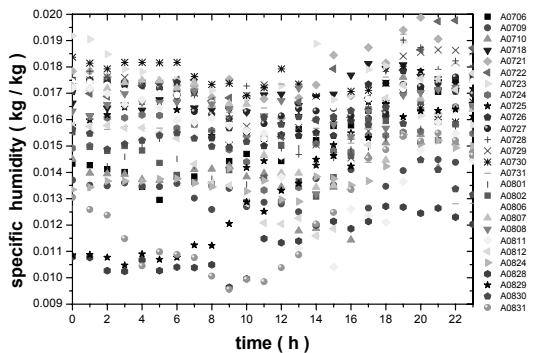
과 8월 대전지역의 하루 동안 외기온도, 상대습도, 비습도 변화를 나타낸 것이다. 비가 오는 날은 과도한 습도에 의한 잠열의 영향으로 외기온도의 변화가 무질서하므로 본 연구에서는 맑은 날만을 고려하여 분석하였다. 온도의 경우 최고온도는 13시부터 15시 사이에 나타났고, 새벽 4시부터 6시 사이에 최저온도가 나타났다. 또한 최고온도와 최저온도 사이에서 단조증가와 단조감소를 하면서 매일 일정한 변화 양상을 보이고 있다. 습공기 선도에 의하면 상대습도의 변화는 온도와 비교해 보았을 때 외기



(a) Temperature



(b) Relative humidity



(c) Specific humidity

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

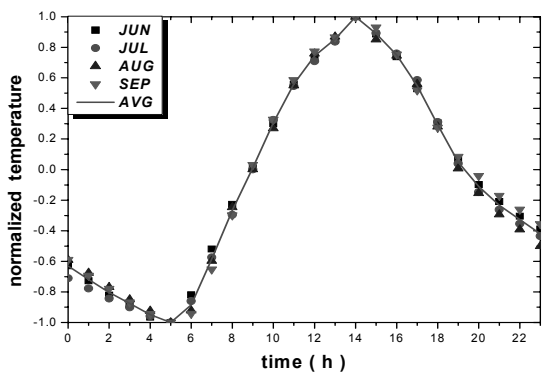
온도가 높을 때는 상대습도가 낮고, 반대로 외기 온도가 낮을 때는 상대습도가 높은 것이 일반적인 경향이다. 비습도의 변화는 하루 중 변화량이 매우 작기 때문에 온도와 상대습도와 같은 규칙적인 경향을 찾을 수가 없으나, 7월에는 증가하고 8월에는 감소하는 것을 알 수 있다. 외기 온도를 예측하기 위해 하루 동안 외기 온도를 무차원화 시킨 뒤 월별 평균 값을 산출하였다. Fig. 2는 5년 동안의 서울, 대전, 부산 지역에 대해 6월부터 9월까지 맑은 날의 외기

온도 평균 값을 최고온도를 1로 최저온도를 -1로 설정하여 식(1)을 이용하여 무차원화 하여 나타낸 것이다.

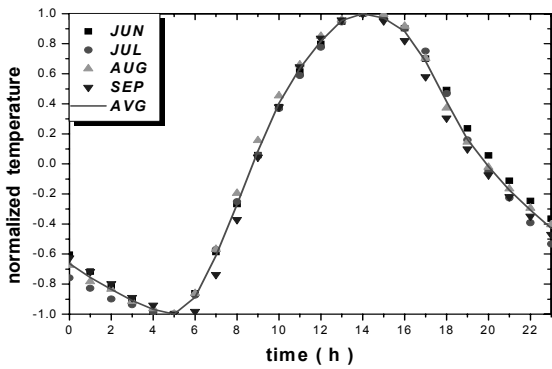
$$T^* = \frac{T(h) - T_{avg}}{T_{max} - T_{avg}}, \quad 0 \leq T^* \leq 1 \quad (1)$$

여기서 T_{max} 는 하루 중 최고온도이며, T_{avg} 는 최고온도와 최저온도의 산술평균 값이다. 내륙에 위치한 서울과 대전에서 하루 동안 온도변화는 거의 일치하며 오후 14시에 최고 온도가 나타나고, 새벽 5시에 최저온도를 보이는 일정한 경향을 가짐을 알 수 있다. 서울, 대전 지역과 달리 해안에 위치한 도시, 부산 지역의 온도 특성은 최고온도의 경우 서울, 대전 지역보다 빠른 12시와 13시 사이에 나타났고, 최저온도는 두 지역과 같은 새벽 5시에 나타났음을 알 수 있다. 그 이유는 부산지역이 서울, 대전지역에 비해 해가 약간 빨리 뜨고, 해풍의 영향으로 내륙 지역에 비해 대류가 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판단된다. 또 한 가지 특이한 사항은 6월, 7월, 8월, 9월의 무차원온도 평균 값이 서울, 대전, 부산 지역 모두 하나의 곡선으로 나타낼 수 있다는 사실이다. 상대습도를 예측하기 위해 하루 동안 상대습도의 월별 평균 값을 산출하여 예측 상대습도 함수를 구하여 비교하였다. Fig. 3은 서울, 대전, 부산지역의 5년간 상대습도를 월별로 평균한 값이다. 상대습도는 하루 중 외기 온도가 가장 높은 13시에서 15시 사이에 최저값을 가지며, 최저온도가 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 큼을 알 수 있다. 그 이유는 내륙 지방으로 갈수록 해풍의 영향이 작아지기 때문으로 사료된다. 월별 상대습도 변화는 7월과 8월에는 약간 높고, 6월과 9월에는 약간 낮지만 변화폭은 약 $\pm 5\%$ 정도인 것을 알 수 있다.

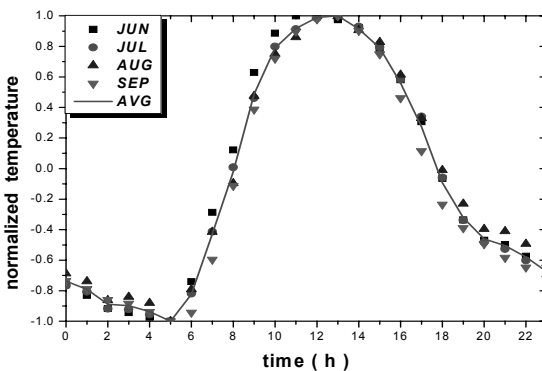
대전지역의 5년간 6월부터 9월까지 월별 비습도의 평균 값의 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 비습도는 온도와 상대습도로부터 습공기 프로그램을 이용하여 구하였다. 하루 중 비습도 변화는 가장 크지 않지만, 비습도는 월별로 차이가 뚜렷하며, 계절적 특성상 덥고 습한 7, 8월이 6, 9월 매우 작으며, 6월과 9월, 7월과 8월이 각각 비슷한 값을 나타내고 있다. 상대습도는 월별 변화가 크지 않지만, 비습도는



(a) Seoul

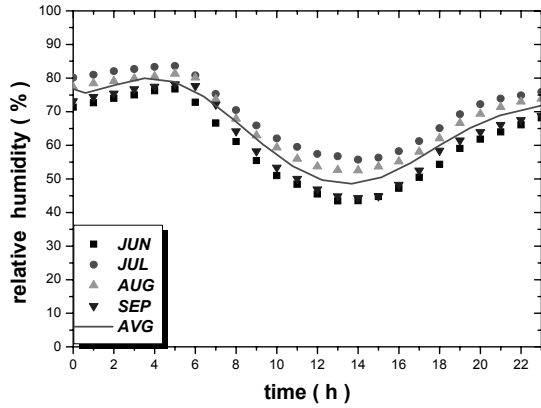


(b) Daejeon

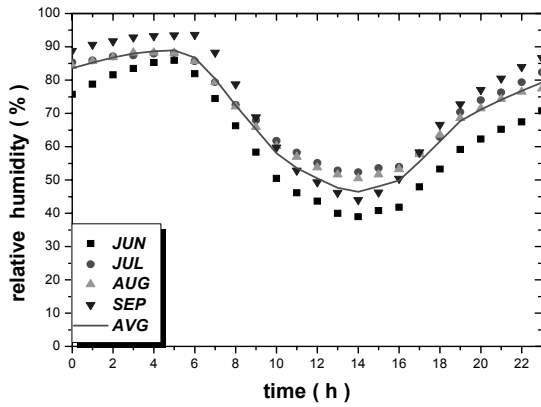


(c) Pusan

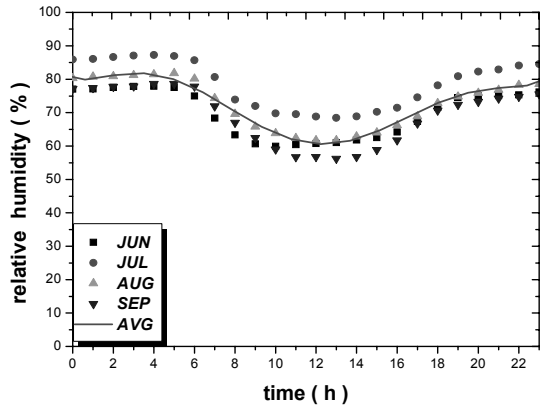
Fig. 2 Variation of monthly averaged outdoor temperature for five years.



(a) Seoul



(b) Daejeon



(c) Pusan

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

뚜렷하며, 계절적 특성상 덥고 습한 7, 8월이 6, 9월보다 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.

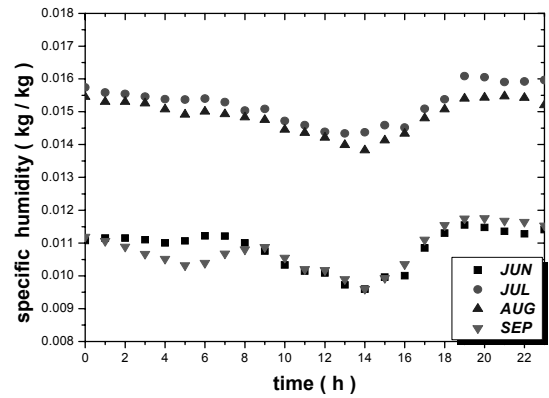


Fig. 4 Variation of monthly averaged specific humidity for five years at Daejeon.

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

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 상관없는 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 경향은 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

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

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

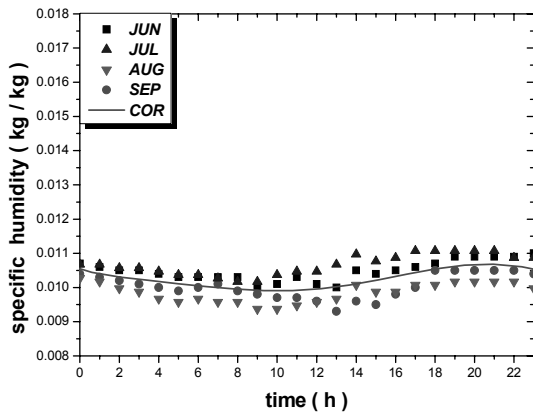
$$SH(h, d) = 0.011 - 5.31E-4h + 2.19E-4h^2 - 3.61E-6h^3 + 2.52E-6h^4 - 7.51E-8h^5 + 7.67E-10h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006375 \quad (8)$$

부산

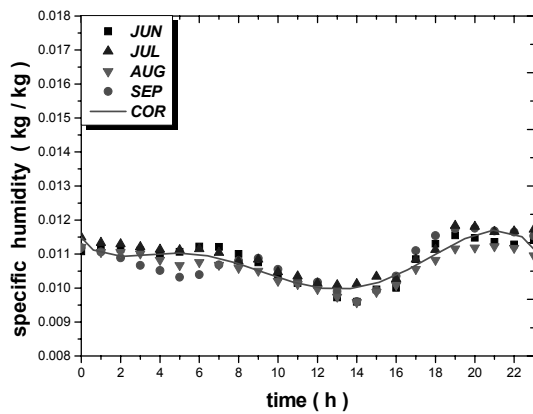
$$T^*(h) = -0.76 + 0.17h - 0.19h^2 + 0.05h^3 - 0.004h^4 + 1.69E-4h^5 - 2.35E-6h^6 \quad (9)$$

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

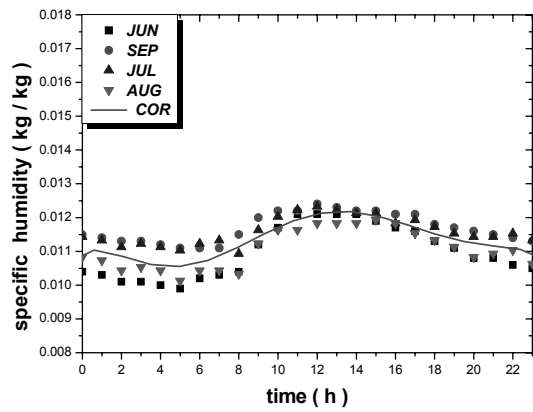
$$SH(h, d) = 0.011 + 1.98E-4h - 2.07E-4h^2 + 4.64E-6h^3 - 3.97E-6h^4 + 1.47E-7h^5 - 2.0E-9h^6 - 0.000141|d - 45| + 0.006345 \quad (11)$$



(a) Seoul



(b) Daejeon



(c) Pusan

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

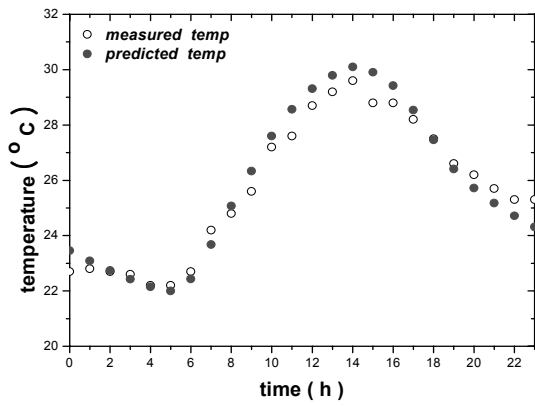
2.2 Modeling을 통한 온, 습도상관관계 고찰

앞 절에서 도출한 예측온도 상관식으로 구한 무차원 온도와 기상청의 자동응답 시스템을 통해서 쉽게 얻을 수 있는 최고온도와, 최저온도를 식(12)에 대입하면 하루 동안의 시간별 온도변화를 구할 수 있다.

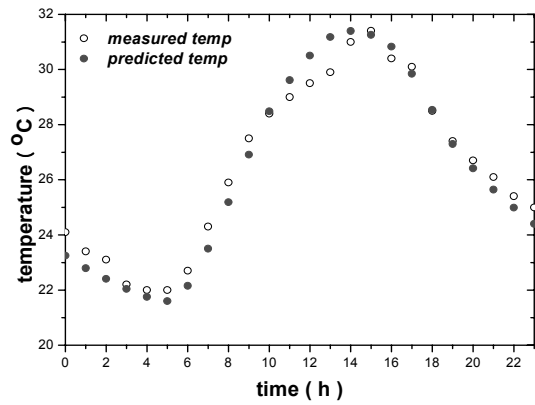
$$T_{es} = T_{avg} + T^*(T_{max} - T_{avg}) \quad (12)$$

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

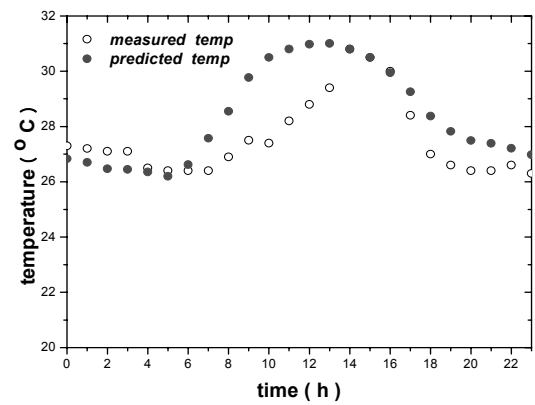
Fig. 6은 0000년 7월 15일 하루 동안 식(12)에 의해 예측한 온도와 실제 측정온도를 비교한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 예측된 온도는 실제 측정값들과 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 부산지역의 경우는 다른 결과와 비교해 볼 때 규칙적인 경향에서 약간 벗어나고 있으나 그 차이는 크지 않다. 부산지역의 7월 15일은 강수량이 8 mm를 기록한 날이어서 맑은 날씨를 토대로 도출된 예측온도 상관 식으로부터 구한 온도는 실측온도보다 약간 높다. Fig. 7은 상대습도 상관 식으로부터 예측한 값(predicted RH1)과 비습도 상관 식으로부터 예측한 값(predicted RH2)을 7월 15일 하루 동안 실제 측정온도와 비교한 것이다. 온도 예측 결과와 마찬가지로 강수량을 기록한 부산 지역에서는 측정값이 예측값 보다 상당히 크지만, 비가 오지 않았던 다른 지역에서는 비교적 잘 일치하



(a) Seoul



(b) Daejeon

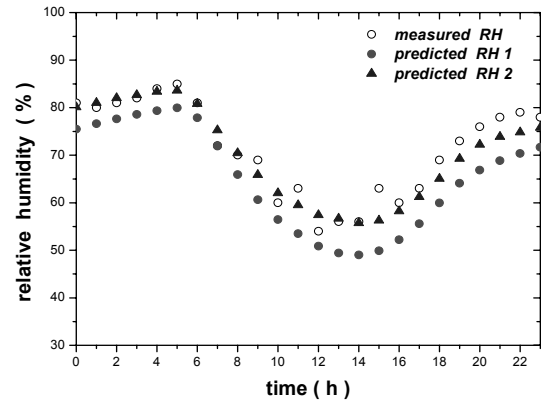


(c) Pusan

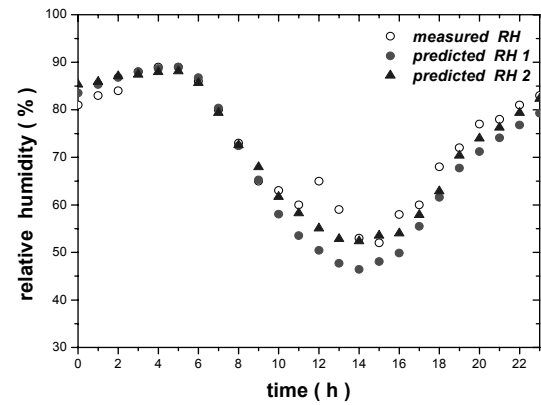
Fig. 6 Comparison of predicted temperature with measured data on 15 July.

고 있음을 알 수 있다. 또한 비습도 상관 식으로부터 구한 값이 상대습도 상관 식으로부터 구한 값보다 훨씬 정확한 결과를 보이고 있다. 그 이유는 상대습도 상관 식은 날짜에 따른 변화를 고려할 수 없는 반면, 비습도 상관 식은 시간과 날짜를 모두 고려하여 도출하였기 때문이다.

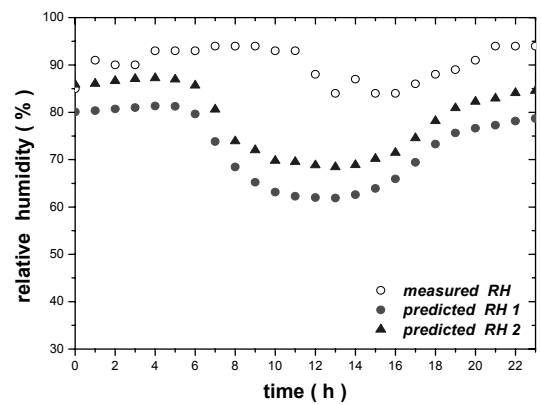
Fig. 8은 7월 15일부터 8월 15일까지 한 달 동안



(a) Seoul



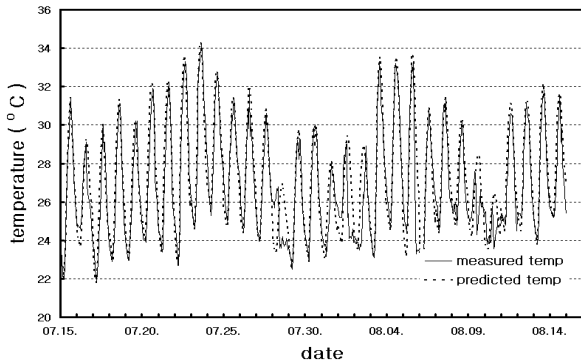
(b) Daejeon



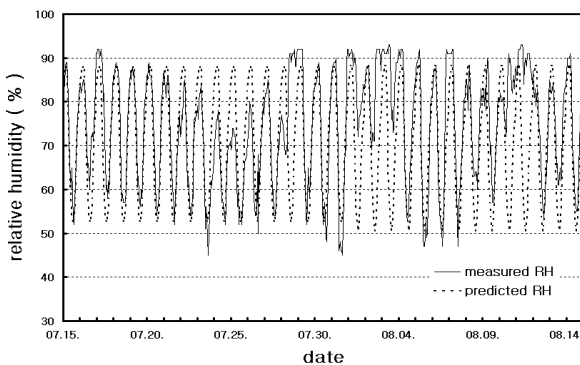
(c) Pusan

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

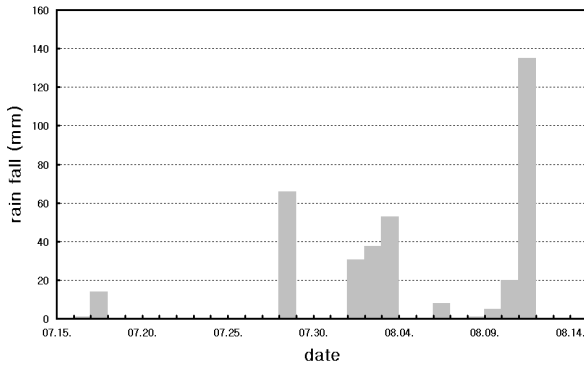
대전지역의 예측한 온도와 상대습도를 실제 측정된 데이터와 비교한 것이며, 강수량을 함께 도시하였다. 여기서 상대습도는 비습도 상관 식을 외기상태량 예측 프로그램에 입력하여 구한 것이다. 예측온도와 실측온도는 매우 잘 일치하고 있으며, 여름 장마철로 인해 강수량이 집중적으로 기록된 기간에도 기대 이상으로 예측이 정확한 것을 알 수 있다. 상대습도의



(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.

경우도 맑은 날에는 예측 값과 실측 값이 잘 일치하고 있으나 강수량이 집중적으로 기록된 기간에는 예측 값과 실측 값이 많은 차이를 보이고 있다. 이는 온도에 비해 습도가 강수량에 훨씬 민감하기 때문이며, 이를 보정하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

3. 결 론

어떤 건물에서 부하를 분석하면 $Q = k \times A \times \Delta t$ 에

서 $k \times A$ 값은 일정함으로 Δt 에 의해 변화되며, 온도, 습도의 예측이 중요함을 알 수 있다. 연구결과로 서울, 대전, 부산지역의 과거 5년간 기상 데이터를 분석하여 아래와 같은 무차원화 된 예측외기온도와 예측비습도에 대한 상관 식을 도출하였다.

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

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

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

위의 상관 식은 하나의 기준치로 해당 건물별로 부하계산서 및 운영일지를 검토하여 상관 식을 도출하고 시운전을 하면서 보정을 하면 외기환경조건이 냉방부하를 지배한다는 것을 확인 할 수 있으며 훌륭한 냉방부하 예측프로그램이 탄생하게 된다.

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 Transac-

- tions, Vol. 101, No. 1, pp. 186-200.
2. Shaheen, N. I. and Ahmed, O., 1997, A simple methodology to predict local simple methodology to predict local temperature humidity, AS HRAE Transactions, 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.