

축열운전을 위한 기상예보치의 이용가능성에 대한 검토

정재훈[†], 신영기^{*}, 박병윤^{**}

세종대학교 세종-록히드마틴 우주항공연구소, ^{*}세종대학교 기계공학과, ^{**}수원과학대학 건축과

Study on the Feasibility of Applying Forecasted Weather Data for Operations of a Thermal Storage System

Jae-Hoon Jung[†], Young-Gy Shin^{*}, Byung-Yoon Park^{**}

Sejong-Lockheed Martin Aerospace Research Center, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

^{**}Department of Architecture, Suwon Science College, Hwaseong 445-742, Korea

(Received July 25, 2005; revision received December 15, 2005)

ABSTRACT: In this paper, we investigated a feasibility of applying highest and lowest temperatures of the next day forecasted from a meteorological observatory to operation of an air-conditioning system with thermal storage. First we investigated specific characteristics of the time series of forecasted temperatures and errors in Osaka from 1994 to 1996. Since the forecast error is not always small, it might be difficult to use the forecasted data without correction for the sizing and the control of the thermal storage system. On the other hand, the autocorrelation functions of the forecast errors decrease relatively slowly during high summer season when cooling thermal storage is required. Since the values of the autocorrelation functions for one day are larger than 0.4, not small, the forecast errors can be predicted by proper statistical analysis. Thus, the forecasted values of the highest temperatures for the next day were improved by using the stochastic time series models.

Key words: Forecasted weather data(기상예보치), Forecast error(예보오차), Autocorrelation function(자기상관함수), Stochastic time series model(확률시계열모델)

기 호 설 명

그리스 문자

e : 정규백색잡음 [$^{\circ}\text{C}$]

T : 온도 [$^{\circ}\text{C}$]

y : 시계열 [$^{\circ}\text{C}$]

σ^2 : 정규백색잡음의 분산

ω : 예보오차

하첨자

ha : 최고기온 실측치

hf : 최고기온 예보치

t : 시각

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-3408-3897; fax: +82-2-3408-3895

E-mail address: jhjung@sejong.ac.kr

1. 서론

근래, 최대부하의 삭감과 운영비절감을 목적으로 축열을 병용한 공기조화시스템에 대한 연구가 광범위하게 이루어지고 있다. 축열시스템의 최적설계는 크게 두 가지 문제로 나눌 수 있다. 하나는 축열조의 최적용량선정이며, 다른 하나는 축열시스템의 최적제어운전이다. 이들은 서로 불가분의 관계에 있으며, 다음날의 부하예측에 의해 크게 영향을 받는다. 부하예측을 위해서는 외부기후와 건물에너지 사용량의 시간적 변화를 파악하는 것이 중요하다. 이는 결정론적이 아닌 확률론적 변화로 취급되어야 한다.^(1,2)

Hokoi et al.⁽³⁾은 일본 동경의 과거 5년간의 기상데이터를 기초로 일사량과 외기온의 확률적 변동을 표현하는 ARMA(auto regressive-moving average) 모델을 제안하였다. 과거의 기상데이터를 사용하여 제작된 확률모델은 HVAC 시스템의 장치용량문제를 포함한 여러 목적에 유용한 정보를 줄 수 있다. 그러나 축열운전을 위해서는 가까운 미래 기후를 예측하는 확률모델이 바람직하다. 이런 관점에서 볼 때, 기상청으로부터 공표되는 다음날의 최고·최저기온 예보치의 활용은 합리적인 축열운전을 위한 목적에 부합될 것으로 보인다.^(4,5)

그러나 대부분의 기존 연구에서는 기상청에서 발표된 예보치를 그대로 사용하여 건물의 부하를 예측하고 있다. 그렇지만 기상청의 예보치는 어느 정도의 오차를 포함하고 있을 것으로 예상된다. 예보치가 어느 정도의 오차를 포함하고 있는지, 오차의 개선 여부는 있는지에 대한 검토가 선행되어야 할 것이다. 이러한 관점에서, 본 논문은 기상청의 기상예보치를 축열운전에 활용할 것을

목적으로, 먼저 예보치가 어느 정도의 오차를 갖고 실측치를 예보하는지 살펴본다. 그리고 예보 오차시계열을 표현하는 확률시계열모델을 작성하여 예보오차를 예측함으로써 기상예보치의 정확도를 높일 가능성을 찾아본다.

2. 최고·최저기온 데이터의 특징

2.1 최고·최저기온 실측치

오사카(大阪)의 1994, 1995년 각 연도의 5월부터 12월까지의 최고·최저기온을 Figs. 1, 2에 나타낸다. 1994년의 최고기온의 최고치와 최저치는 각각 39.1°C, 7.0°C였으며, 최저기온의 최고치와 최저치는 각각 29.3°C, 0.4°C였다. 1995년에는 최고기온의 최고치와 최저치가 각각 37.4°C, 3.5°C였으며, 최저기온은 28.7°C, 0.0°C였다. 1994년이 1995년보다 전반적으로 고온이었음을 알 수 있다.

2.2 최고·최저기온 예보치

최고·최저기온 예보치는 "A" 일간신문의 석간에 발표된 일주일분의 예보치 중 1일 후의 예보치를 발췌했다. 이 데이터는 당일 오전 9시에 기상대로부터 발표된 값이다. 단, 일요일과 경축일에는 석간이 휴간이므로 1일 후의 예보치는 얻을 수가 없었다. 때문에 휴일인 경우에는 다음날의 데이터가 없는 것으로 취급했다. 최종적으로 1994년의 경우 5월부터 12월까지 총 245일 중 석간이 휴간인 45일을 제외한 200일분의 데이터가, 1995년의 경우도 같은 식으로 199일분의 데이터가 검토대상이 되었다. 최고·최저기온의 예보치를 Figs. 3, 4에 나타낸다. 실측치에 비해 시간적 변화가 완만한

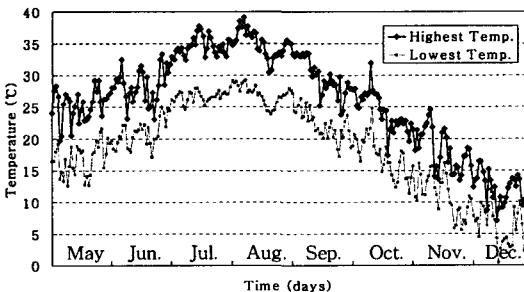


Fig. 1 The actual values from May to Dec. in 1994.

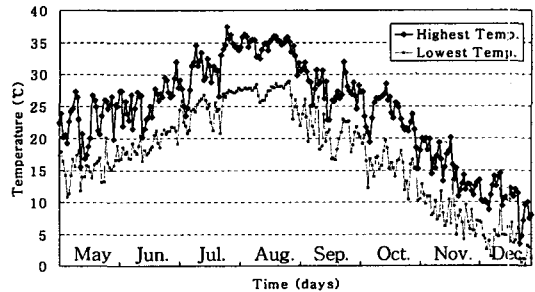


Fig. 2 The actual values from May to Dec. in 1995.

것을 알 수 있다.

1994년도 최고·최저기온의 예보치 오차, 즉 예보치로부터 실측치를 뺀 값의 도수분포를 Fig. 5에 나타낸다. 이 값은 예보치가 어느 정도의 신뢰성을 가지고 있는가를 나타낸다. 최고기온의 경우 8.9℃나 낮게 예보한 때가 있는가 하면, 5.3℃ 높게 예보한 때도 있었다. 이에 비해 최저기

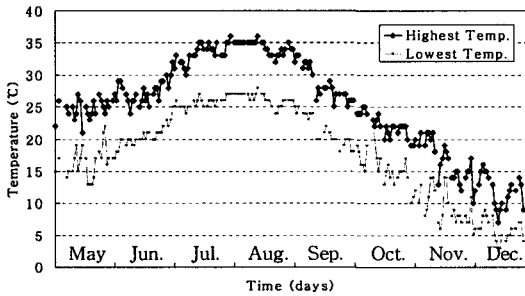


Fig. 3 The forecasted values from May to Dec. in 1994.

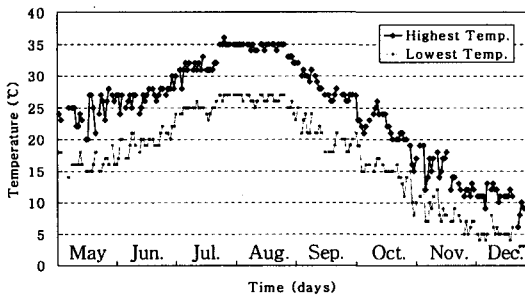


Fig. 4 The forecasted values from May to Dec. in 1995.

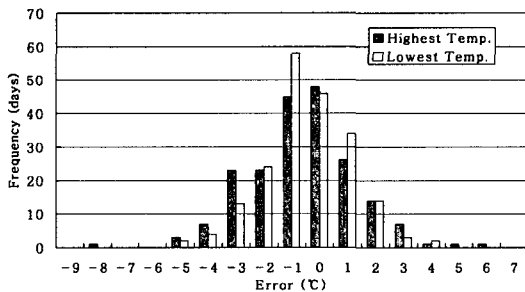


Fig. 5 Histogram of forecast errors from May to Dec. in 1994.

온의 예보오차는 작은 편으로, -5.5℃에서 3.6℃ 범위 내에 분포하고 있다. 예보오차가 ±1.0℃ 이내인 데이터의 비율은 최고기온이 37%, 최저기온이 40%이며, ±2.0℃ 범위에 있는 데이터는 최고기온이 67%, 최저기온이 76%를 차지한다. 또한, 예보오차의 평균치는 최고기온이 -1.2℃, 최저기온이 -1.0℃였다. 평균적으로 1℃ 가량 낮게 예보했음을 알 수 있다. 표준편차는 최고기온이 1.9℃, 최저기온이 1.6℃로 정확도가 높은 예보라고 할 수 없다. 그러므로 예보치를 그대로 사용하기 보다는 적당한 보정 후에 사용해야 할 것이다.

3. 확률시계열모델에 의한 예보오차의 예측

3.1 예보오차의 시계열 특성

예보오차(예보치-실측치)의 시계열 특성을 검토하였다. 1994년의 최고·최저기온 예보오차에서 평균을 뺀 랜덤성분의 시계열을 각각 Figs. 6, 7에,

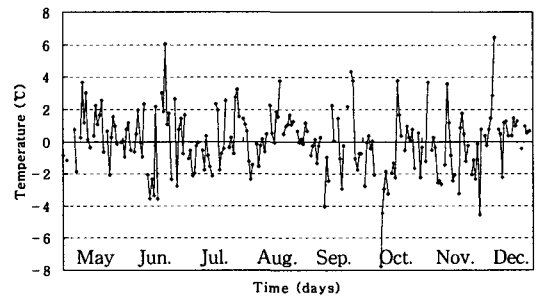


Fig. 6 The time series of the forecast errors of the highest temperatures from May to Dec. in 1994.

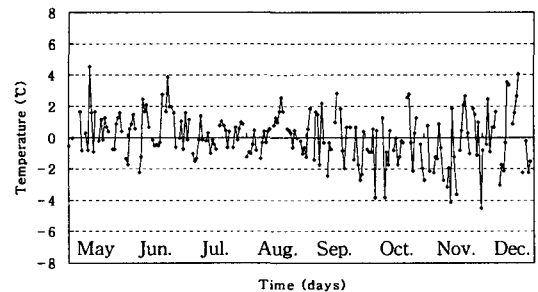


Fig. 7 The time series of the forecast errors of the lowest temperatures from May to Dec. in 1994.

이 시계열의 자기상관함수를 각각 Figs. 8, 9에 나타낸다. 자기상관함수는 시계열 데이터의 시간차가 변함에 따라 어느 두 값 사이의 상관관계가 어떻게 변하는가를 나타내는 통계학적 측정량으로 Figs. 8, 9의 경우, 가로축에는 하루에서 10일까지의 시간차를, 세로축에는 시간차의 함수로 0에서 1까지의 자기상관함수값을 취했다.

예보오차의 랜덤성분 시계열은 시간차가 0인 부분을 제외한 전 구간에서 자기상관함수가 0인 백색잡음(white noise)이 되는 것이 바람직하다. 그러나 Figs. 8, 9에서 볼 수 있듯이 최고·최저기온의 자기상관함수가 각각 하루에 약 0.36, 0.32, 이틀에 약 0.22, 0.12 정도의 수치로 감쇄하고 있

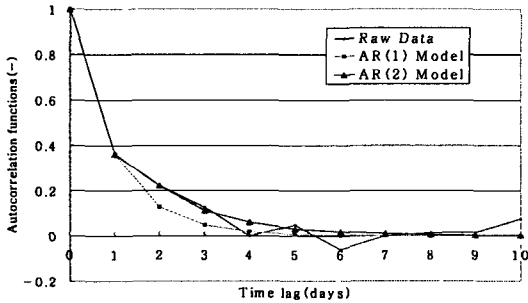


Fig. 8 The autocorrelation functions for the forecast errors of the highest temperatures from May to Dec. in 1994.

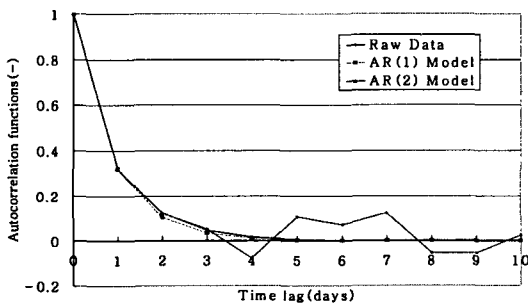


Fig. 9 The autocorrelation functions for the forecast errors of the lowest temperatures from May to Dec. in 1994.

어, 하루 전과 이틀 전 값의 영향을 크게 받고 있는 것을 알 수 있다. 이는 예보오차예측을 통한 예보치 개선의 가능성을 시사한다.

예보오차시계열을 표현하는 확률시계열모델로 자기회기(Auto-Regressive)모델을 구해 Table 1에 표기하였다.⁽⁶⁾ 또한, Figs. 8, 9에 모델을 데이터와 함께 나타내었다. 이중 AR 2차 모델은 데이터와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

3.2 하절기 예보오차시계열과 예측

연중 냉축열을 가장 많이 필요로 하는 하절기 7, 8월의 최고기온 예보치 T_{hf} 와 실측치 T_{ha} 사이의 상관관계를 검토하였다. 1994년 최고기온의 상관관계를 Fig. 10에 나타낸다. 회귀선은 실선으로 나타났다. 약 2/3 가량의 데이터가 $T_{ha} = T_{hf}$ 인 점선 위 부분에 존재한다. 이는 1994년의 최고기온이 일반적으로 실측치보다 낮게 예보되었음을 말해 준다.

회귀선으로부터의 차 ω_t 는 기상예보 시뮬레이션에서 고려하는 요소들 이외의 여러 가지 요인들이 원인이 되어 생겨난 오차이다. 만약 예보오차인 ω_t 를 예측할 수 있다면 예보치는 더욱 향상될 것이다. 1994년 최고기온의 예보오차 ω_t 를 Fig. 11

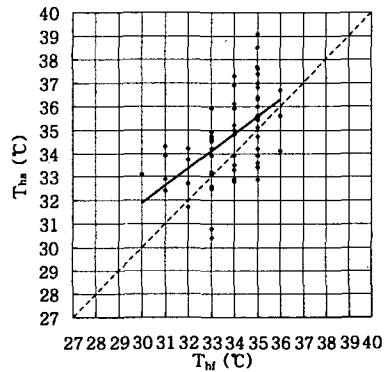


Fig. 10 Correlation between the forecasted and actual highest temperatures (Jul. and Aug. in 1994).

Table 1 Stochastic time series models of the forecast errors in 1994

	Highest temperature	Lowest temperature
AR (1)	$y_t - 0.36y_{t-1} = e_t, \sigma^2 = 0.87$	$y_t - 0.33y_{t-1} = e_t, \sigma^2 = 0.89$
AR (2)	$y_t - 0.32y_{t-1} - 0.11y_{t-2} = e_t, \sigma^2 = 0.86$	$y_t - 0.32y_{t-1} - 0.02y_{t-2} = e_t, \sigma^2 = 0.89$

에 나타낸다. 이 시계열의 자기상관함수를 계산한 결과, 하루에 0.55, 이틀에 0.29의 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 예보오차시계열 ω_t 를 나타내는 확률시계열모델로서 다음과 같은 ARMA(1,1) 모델을 얻었다.⁽⁶⁾

$$y_t - 0.53y_{t-1} = e_t + 0.03e_{t-1} \quad (1)$$

식(1)을 사용하여 예보오차를 예측하였다. e_t 값을 0으로 하고 y_{t-1} , e_{t-1} 값은 과거치를 사용하여 하루 뒤의 예보오차를 예측하였다. 예측 결과를 Fig. 11에 예보오차 ω_t 와 함께 나타내었다. Lag가 하루인 경우의 자기상관함수값이 큰 관계로 예측치는 하루 전날값의 영향을 많이 받아 예측이 하루 뒤지는 듯한 경향이 보이나, 상당부분 오차를 예측하고 있는 것으로 보인다. 식(1)로 어느 정도 예보오차를 예측했는지 알아보기 위해 ARMA(1,1) 모델에 의한 예보오차 예측치로부터 예보오차 ω_t 를 뺀 차를 구해 Fig. 12에 나타내었다. 예

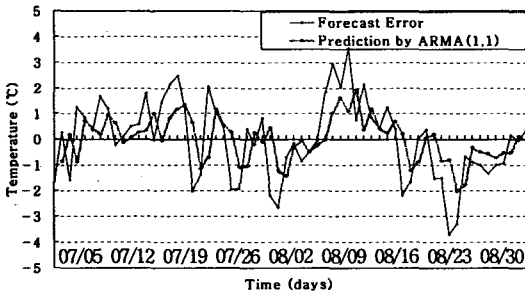


Fig. 11 The time series of forecast errors ω_t and the prediction by the ARMA(1,1) (Jul. and Aug. in 1994).

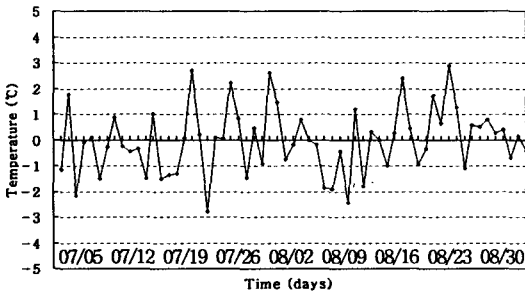


Fig. 12 The prediction errors of ARMA(1,1) model.

보오차 ω_t 와 Fig. 12의 (예측치-예보오차) 시계열의 표준편차를 구한 결과, 각각 1.53°C, 1.28°C였다. ARMA(1,1) 모델을 사용하여 예보오차를 약 16% 정도 줄일 수 있었음을 알 수 있다.

4. 기상대 발표시각별 예보오차시계열

3장까지는 석간신문에서 얻은 당일 오전 9시 발표 예보치에 근거하여 예보오차시계열의 특성을 조사하였다. 그러나 현재는 신문뿐만 아니라 인터넷 등을 통하여 최신데이터를 입수할 수 있게 되었다.⁽⁷⁾ 최신데이터일수록 예보치의 정확도는 높아질 것으로 기대된다. 이러한 관점에서 본 장에서는 기상대에서 직접 얻은 최신데이터를 대상으로 예보오차시계열을 검토한다.

4.1 평균치와 분산

오사카 기상대의 일원부(日原簿)에서 얻은 데

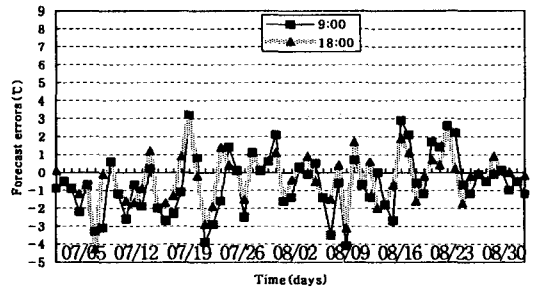


Fig. 13 The time series of forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1994).

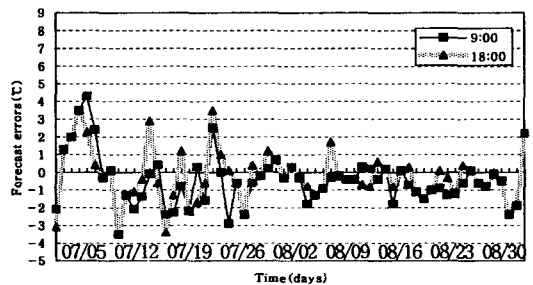


Fig. 14 The time series of forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1995).

이터를 근거로 예보오차시계열의 특성을 조사했다. Fig. 13에 1994년 7, 8월의 오전 9시와 오후 6시 발표 최고기온의 예보오차시계열을 나타냈다. 이 시계열의 평균치는 발표시각 오전 9시, 오후 6시별로 각각 -0.63°C , -0.34°C 였다. 또한, 표준편차는 각각 1.69°C , 1.36°C 였다. 최신 예보치 쪽이 정확도가 높은 것을 알 수 있다.

마찬가지로 1995년 7, 8월의 오전 9시, 오후 6시 기상대발표 최고기온의 예보오차시계열을 Fig. 14에 나타낸다. 1995년의 최고기온 예보오차시계열의 평균치는 오전 9시, 오후 6시 발표 각각 -0.47°C , -0.24°C 였다. 표준편차는 각각 1.47°C , 1.46°C 였다. 1995년 데이터에 있어서도 최신 예보치가 신뢰도가 높음을 알 수 있다.

Fig. 15에 1996년 7, 8월 최고기온의 시각별 예보오차시계열을 나타낸다. 1996년부터는 오전 5시, 오전 11시, 오후 5시, 이렇게 하루 3회 예보치를 발표하고 있다. 발표시각별 평균치와 표준편차를 Table 2에 나타낸다. 표를 참조해 보면 대체적으로 최신 예보치가 신뢰도가 높다는 것을 알 수 있다.

한편, 1996년 데이터를 1994년, 1995년 데이터와 연도별로 비교해 보면, 평균치는 감소했으나 표준편차는 증가하고 있음을 알 수 있다. 1995년,

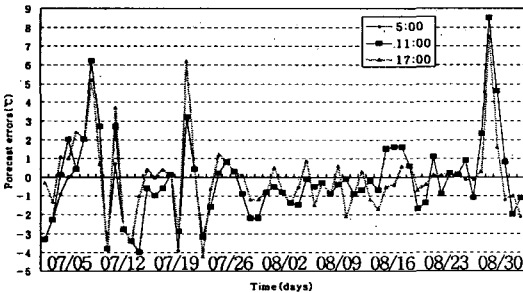


Fig. 15 The time series of forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1996).

Table 2 The averages and standard deviations of time series for forecast errors (from Jul. to Aug. in 1996)

	05 : 00	11 : 00	17 : 00
Average	-0.23°C	-0.13°C	-0.03°C
S. D.	2.22°C	2.24°C	2.02°C

1996년으로 진행함에 따라 평균은 0°C 에 가까우나, 오차가 극단적으로 큰 날이 눈에 띈다. 예를 들어, 1996년도에는 6°C 이상의 예보오차가 3회 발생한다. 8월 27일의 경우, 최고기온의 실측치가 전날의 30.7°C 에서 7.2°C 나 낮은 23.5°C 였다. 이러한 이상현상이 지구 전체적 규모의 이상기상현상에 의한 것인지 확인할 수는 없지만, 앞으로도 점점 증가할 것으로 생각된다. 기상청에 의한 최신의 수치계산에 의해서도 이러한 이상수치의 예측은 곤란한 것으로 생각되므로, 이러한 이상수치에 대해 건축의 관점에서 어떻게 대처해야 할 것인가에 대한 검토가 필요할 것이다.

4.2 자기상관함수

발표시각별 예보치의 개선 가능성을 찾기 위하여 예보오차시계열의 자기상관함수를 구했다. Figs. 16~18에 각각 1994년, 1995년, 1996년 7, 8월의 최고기온 예보오차로부터 평균치를 뺀 시계열의

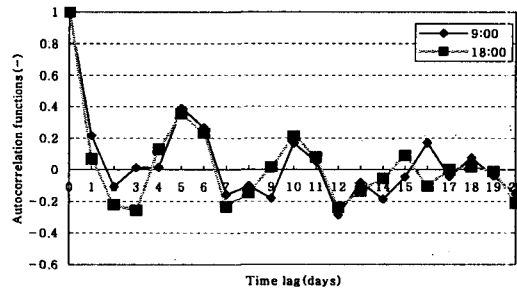


Fig. 16 The autocorrelation functions for the forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1994).

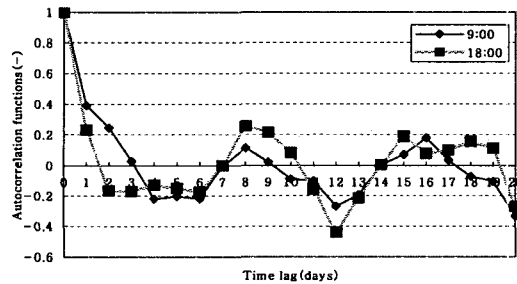


Fig. 17 The autocorrelation functions for the forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1995).

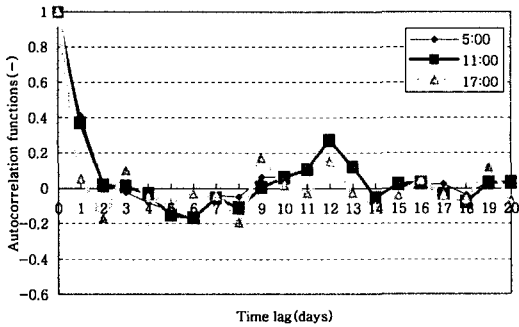


Fig. 18 The autocorrelation functions for the forecast errors (Highest temperatures from Jul. to Aug. in 1996).

발표시각별 자기상관함수를 나타낸다. 이상의 자기상관함수를 살펴보면, 발표시각이 빠른 쪽이 1일에 대한 자기상관이 높은 것을 알 수 있다. 이 경우, 확률시계열모델을 사용하여 다소 예보오차를 작게 할 개량의 여지가 보인다.

그러나 최신 예보치일수록 1일에 대한 자기상관값이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 특히 1996년의 오후 5시 발표 예보치의 경우, 자기상관값이 0에 가깝고 백색잡음에 가까운 변동을 보이고 있다. 이 경우 확률시계열모델에 의한 예보치의 개선의 가능성은 보이지 않는다. 그러나 4.1절에서 본 것처럼 1996년 8월 27일의 경우, 실제 최고기온은 30.7℃의 예보치보다 7.2℃나 낮은 23.5℃를 기록하고 있다. 이런 예보오차는 결코 작다고 할 수 없으며, 예보오차의 표준편차를 크게 하는 주된 요인이 되고 있다. 금후 이러한 문제에 대해 축열운전 등을 포함한 건축적인 관점에서 어떻게 대응해야 할 것인가 대한 검토가 진행되어야 할 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 합리적인 축열운전을 위한 냉난방부하예측을 목적으로 1994~1996년의 일본 오사카의 최고·최저기온 기상 예보치 및 실측치를 검토하였다. 또한, 예보오차시계열의 특징을 조사하고 확률시계열모델을 작성하여 예보오차의 개선을 시도하였다. 그 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 1994년과 1995년의 최저기온의 예보오차는 평균값과 표준편차에 있어서 최고기온의 예보오

차보다 작았다. 최저기온의 예보치가 최고기온 예보치보다 정확했음을 알 수 있다. 이는 최저기온이 최고기온보다 더 완만하게 변동하기 때문으로 사료된다.

(2) 1995년의 예보오차 평균치는 1994년의 예보오차 평균치보다 작았다. 반면, 1995년의 예보오차 표준편차는 1994년의 예보오차 표준편차보다 컸다. 예보치의 정확도에 있어서 1995년의 예보가 1994년보다 향상되었다고 보기는 어렵다.

(3) 7, 8월 하절기에 있어 최고기온의 예보오차 자기상관함수는 1994년의 경우 하루에 약 0.55, 이틀에 약 0.29로 상당히 높은 상관을 갖고 있었다. 이 자기상관을 이용하여 ARMA(1,1) 시계열모델에 의해 예보오차를 16% 줄일 수 있었다.

(4) 예보치 발표시각별로 볼 때, 최신 예보치일수록 신뢰도가 높고 확률시계열모델에 의한 개선의 여지는 낮음을 알 수 있었다. 그러나 최신 예보치의 예보오차가 반드시 작다고는 할 수 없으므로, 이에 대한 건축적인 입장에서의 검토와 대책이 필요하다.

후 기

이 논문의 일부는 2004년도 한국학술진흥재단의 지원으로 이루어졌습니다(KRF-2004-005-D00247).

참고문헌

- Hokoi, S.I. and Matsumoto, M., 1988, An analysis of stochastic properties of the heating load in an intermittently air-conditioned building, *Energy and Buildings*, Vol. 11, pp. 259-266.
- Yoshida, H.N. and Terai, T.O., 1992, Modeling of weather data by time series analysis for air-conditioning load calculations, *ASHRAE Transactions*, Vol. 98, No. 1, pp. 328-345.
- Hokoi, S.I., Matsumoto, M. and Ihara, T.K., 1991, Statistical time series models of solar radiation and outdoor temperature-Identification of seasonal models by Kalman filter, *Energy and Buildings*, Vol. 15, No. 16, pp. 373-383.

4. Yoshida, H. N., 1997, Heating and cooling load prediction for the rational management of thermal storage tank operation, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No. 495, pp. 77-83.
5. Han, D. Y. and Youn, H. B., 2002, Building energy control algorithms by using outdoor air temperature prediction, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 345-350.
6. Box, G. E. P. and Jenkins, G. M., 1976, Time Series Analysis—Forecasting and Control, Holden-Day.
7. www.kma.go.kr.
8. Jung, J. H., 1997, Study on the Optimal Control of a Thermal Storage System Using the Weather Forecast, MS thesis, University of Kyoto, Kyoto, Japan.