

Wavelet Transform을 이용한 물수요량의 특성분석 및 다원 ARMA모형을 통한 물수요량예측

Water Supply Forecast Using Multiple ARMA Model Based on the Analysis of Water Consumption Mode with Wavelet Transform

조 용 준* / 김 종 문**

Cho, Yong Joon / Kim, Jong Moon

Abstract

Water consumption characteristics on the northern part of Seoul were analyzed using wavelet transform with a base function of Coiflets 5. It turns out that long term evolution mode detected at 2^{12} scale in 1995 was in a shape of hyperbolic tangent over the entire period due to the development of Sanggae resident site. Furthermore, there was seasonal water demand having something to do with economic cycle which reached its peak at the ends of June and December. The amount of this additional consumption was about $1,700 \text{ m}^3/\text{hr}$ on June and $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ on December. It was also shown that the periods of energy containing sinusoidal component were 3.13 day, 33.33 hr, 23.98 hr and 12 hr, respectively, and the amplitude of 23.98 hr component was the most humongous. The components of relatively short frequency detected at $2^j [j=1,2,\dots,12]$ scale were following Gaussian PDF. The most reliable predictive models are multiple AR[32, 16, 23] and ARMA[20, 16, 10, 23] with the input of temperature from the view point of minimized predictive error, mutual independence of residuals and the availableness of reliable meteorological data. The predicted values of water supply were quite consistent with the measured data which cast a possibility of the deployment of the predictive model developed in this study for the optimal management of water supply facilities.

keywords : ARIMA, multiple ARMA, nonstationary evolution mode, wavelet transformtion

요 지

시계열자료의 분해능력이 뛰어난 wavelet 변환을 사용하여 물소비특성을 분석하였다. Wavelet 변환의 기저함수로 물수요량의 경우 Coiflets5 함수, 기온측정치의 경우 Coiflets3 함수를 사용하였으며 해석결과 2^{12} scale에서 HIGL된 장기간에 걸친 변화추이는 hyperbolic tangent함수의 형태로 전기간에 걸쳐 꾸준한 증가세를 보였다. 또한 절기혹은 경기주기와 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되는 추가수요가 6월과 12월말을 정점으로 발생하였으며 이 추가 수요량은 하절기의 경우 $1,700 \text{ m}^3/\text{hr}$, 동절기의 경우 $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ 정도인 것으로 관측되었다. 정수장 생산량 시계열자료에 내재한 주기성분은 주기가 각각 3.13 day, 33.33 hr, 23.98 hr 와 12 hr인 것으로 규명되었다. 진폭은 주기가 23.98 hr인 성분이 가장 큰 것으로 밝혀졌으며 $2^j [j=1,2,\dots,12]$ scale에서 목도된 단주기성분들은 Gaussian PDF를 따르는 것이 확인되었다. 잔차성분의 상호독립성, 白色波여부와 FPE의 최소화를 기준으로 할 경우 물수요량의 최적예측모형으로는 기온을 입력자료로한 다원 AR[32, 16, 23]과 다원 ARMA[20, 16, 10, 23]인 것으로 판단된다.

핵심용어 : AIRIMA, 다원 ARMA, 비정상 진화 경향, wavelet 변환

* 서울시립대 토목공학과 부교수

** 서울시 상수도 사업본부

1. 서론

물수요 예측모형은 다중회귀분석계열, 시계열분석계열과 수자원 공급시스템을 하나의 동력계로 해석하여 기온과 같은 입력자료로부터 물수요량을 예측하는 다원 ARMA 모형(Johansson, 1993) 등으로 분류할 수 있다. 다중회귀분석모형의 경우 시계열자료에 영향을 미치는 인자를 산정하여 향후 시계열자료를 추정하게 되는 데 급수량의 경우 인구수, 기온, 雲度, 일조시간과 일사량에 선형적으로 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다(현인환과 복동우, 1995). 그러나 이런 수문인자들의 상호 독립성이 의문스럽고 시계열자료의 예측을 위해서는 시계열자료에 영향을 미치는 수문인자들의 예측이 선행되어야 하며 또한 선형회귀분석모형의 경우 단기예측에는 상당한 오차가 수반된다. 일반적인 시계열자료에는 장기간에 걸친 변화추이를 설명하는 경향(trend), 태양성분 혹은 태음성분과 같은 주기적 성분 그리고 상호 독립적인 무작위 변동성분등이 선형적으로 혼재하며, 시계열분석모형은 3가지 성분중 경향과 주기적 성분을 결정론적 인자로 취급하여 시계열자료에서 遊離하면 나머지 자료는 정상시계열을 구성한다는 가정에서 출발한다(Box와 Jenkins, 1976; Kottegoda, 1980). 장주기변화거동과 주기성분은 최소 제곱계열의 회귀분석과 spectral analysis를 통해 유추하게 되는데 회귀분석과정에서 도입되는 인위적인 filtering으로 인해 자료가 왜곡될 수 있다. 또한 spectral analysis를 위해 수행되는 Fourier 변환의 경우 기저함수로 sinusoidal 함수를 사용함으로써 단지 주파수영역에서의 정보만을 제공할 뿐 주파수영역으로 전환되는 과정에서 시간영역에서의 정보는 유실되는 단점이 있다. 따라서 국지적인 기후 혹은 주기형태의 변화 등으로 야기된 장주기의 변화거동이 존재하는 수문자료에는 직접적으로 활용할 수 없다. 무작위 변동성분의 예측모형으로는 정상시계열(stationary time series)에 활용되는 ARMA모형, 장기간에 걸친 변화거동이 존재하는 비정상시계열(nonstationary time series)에 활용되는 ARIMA모형 등이 있으나 시계열에 내재하는 비정상성을 제거하는 데 활용되는 차분화과정 혹은 유사차분화 과정에서 시계열자료에 왜곡이 야기될 수 있어 주의가 요구된다. 다원 ARMA 모형의 경우 입력력시계열자료에 내재하는 비정상성으로 인한 왜곡을 최소화하기 위해 전시계열자료중 정상성이 유지되는 제한적인 부분만이 동력계 특

성과 무작위변동성분의 특성을 산출하는 데 활용된다. 따라서 장주기변화거동이 내재하는 수문자료의 경우 동력계의 특성이 충분히 반영된 모형의 산출에는 상당한 어려움이 수반된다. 최근 이러한 단점을 보완하고자 Fourier 변환계열로는 windowed Fourier method(Krauss 등, 1994), Burt-Adelson의 pyramidal algorithm, quadrature mirror filter와 sub-band coding(Strang과 Nguyen, 1996) 등을 활용한 wavelet 변환등이 제안되었다(Ruskai 등, 1992; Walter, 1994). Wavelet 변환해석방법은 무한한 support를 갖는 기존의 sinusoidal 함수대신 유한한 support를 갖고 상호 직교하는 wavelet 함수군을 기저함수로 채택함으로써 주파수영역에서의 정보뿐만 아니라 장기간에 걸친 변화추이와 같은 실시간 영역에서의 거동도 유리해낼 수 있다. 본 연구에서는 서울소재 정수장중 비교적 규모가 큰 구의정수장을 대상으로 1995년도 정수장시간별생산량과 기온측정자료로 시계열을 구성하여 시계열자료의 분해능력이 뛰어난 wavelet 해석기법을 사용하여 생산량과 기온측정자료의 장기간에 걸친 변화거동을 규명하고 이를 바탕으로 수자원공급계의 동적특성이 충분히 반영된 다원 ARMA모형을 구성하여 급수예고제의 가능성을 기하고자 한다.

2. Wavelet Transform

Wavelet transform은 다음과 같이 정의되며

$$c = \int_{-\infty}^{\infty} z(t)\psi(t) dt \quad (1)$$

여기서 $\psi(t)$ 와 $z(t)$ 는 각각 wavelet 함수, 시계열 자료를 나타내며 wavelet 변환계수 c 는 wavelet 함수가 유한한 support를 갖기 때문에 기존의 Fourier 변환에서의 주기에 해당되는 scale과 시간 t 의 함수가 된다. 시계열분석에 사용되는 wavelet 함수는 시계열자료의 장기간에 걸친 변화추이가 n 차다항식으로 모의되는 경우 1차에서부터 n 차 이상의 moment가 '충인' wavelet 함수가 선정되어야 자료의 인위적인 왜곡을 방지할 수 있다 (Krauss 등, 1994).

$$m_k = \int_R t^k \psi(t) dt \quad (2)$$

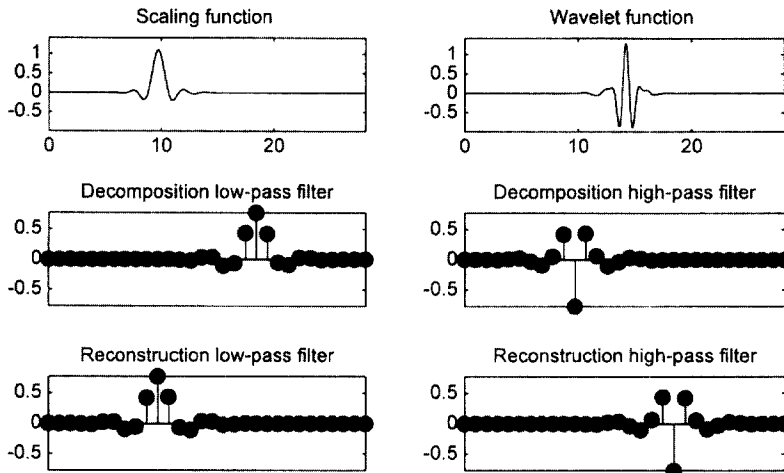


Fig. 1. Coiflet5 Wavelet Function, Its Scale Function and Its Quadrature Mirror Filter

$$z(t) = \sum_{j=1}^n a_j t^j \quad (3)$$

식 (2)에서 m_k 는 wavelet 함수의 k 차 moment, R 은 wavelet 함수의 support를 나타내며 시계열 자료 $z(t)$ 에 내재하는 장주기변화동이가 식 (3)과 같이 n 차다항식으로 모의되는 경우 $m_j=0 [j=1, 2, \dots, k, k > n]$ 인 wavelet 함수를 기저함수로 채택하면 wavelet 변환계수 c 는 '솟아'지며 따라서 장기간에 걸친 변화추이가 high-band filtering을 통해 단주기성분으로 부터 유리될 수 있다. 구의정수지 생산량시계열자료를 검토한 결과 장기간에 걸친 변화추이가 비교적 고차의 다항식으로 모의되는 것으로 판단되어 1차, 2차, 3차와 4차 moment가 '솟아'고 2^6-1 의 support를 갖는 Coiflets5 함수를 wavelet해석의 基底函數로 선정하였다. Discrete wavelet transform 수행과정에서 발생하는 aliasing problem을 해결하기 위해 구성된 quadrature mirror filter중 high-band filter, low-band filter와 이에 해당되는 Coiflets5 함수와 scale function(Coifman과 Wickerhauser, 1992)은 Fig. 1에 도시하였다. Continuous wavelet transform과 Fourier 변환에서의 주기에 해당되는 scale를 2의 지수승 [$2^j, j=1, 2, \dots, 12$], 즉, dyadic scale로 변화시키면서 수행한 discrete wavelet transform(Mallat, 1989)의 결과는 각각 Fig. 2와

Fig. 3에 도시하였다. Low band와 high band filtering을 연속해서 실시한 결과 2^{12} scale에서 장기간에 걸친 변화추이를 원시계열자료에서 분리해 낼 수 있었으며 Fig. 3에 도시된 대로 1996년에 구의정

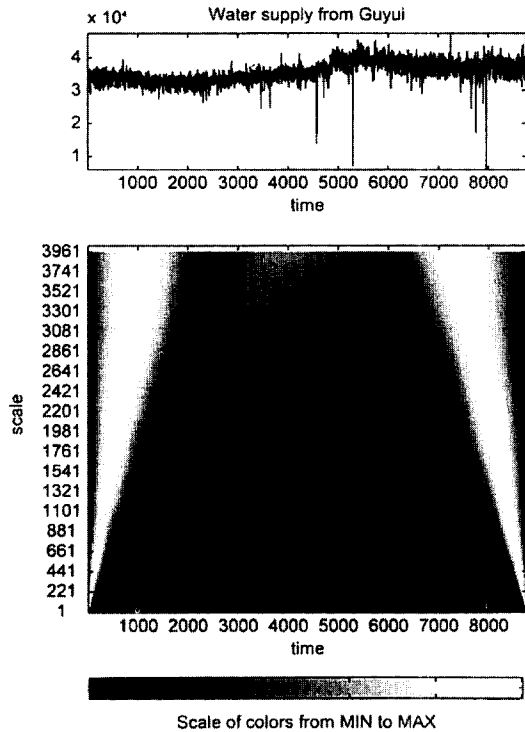


Fig. 2. Continuous Wavelet Transform

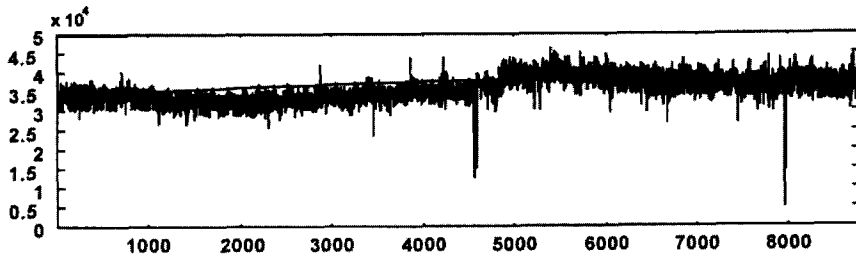


Fig. 3. Water Supply and Its Long Term Evolution Mode Detected at 2^{12} Scale

수장에서 공급된 수량은 hyperbolic tangent 함수의 형태로 전기간에 걸쳐 꾸준한 증가세를 보였다. 이는 같은 기간에 상계동지역의 입주가 시작된 사실과 밀접한 관계가 있을 것으로 추측되나 소득수준의 향상으로 인한 수요량 증가일 가능성도 배제할 수 없어 장기 예측모형의 개발을 위해서는 이에 대한 보다 정밀한 원인분석과 증가량 추세서시에 대한 향후예측도 병행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 절기 혹은 경기주기와 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되는 추가수요가 6월과 12월을 정점으로 발생하며 이 추가수요량은 하절기의 경우 $1,700 \text{ m}^3/\text{hr}$, 12월의 경우 $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ 정도인 것으로 관측되었다. 또한 2^j [$j=3, 4, 5, 6, 7, 8$] scale에서 관측된 주기성분을 전시계열구간에서 발생한 波峰數로 분석한 결과 주기가 각각, 12, 23.98, 46, 75.18, 149.25와 303 hr인 것으로 분석되었다. 분시계열자료에서 2^{12} scale에서 관측된 장기간에 걸친 변화추이를 분리한 후 일반적인 수문자료에 내재하는 태양 혹은 태음성분과 같은 주기성분에 대한 wavelet 변환의 분해능을 검증하기 위해 Hanning window와 256 point에서의 Fast Fourier Transform algorithm을 이용해 spectral analysis를 수행하였으며 분시계열자료에는 주파수가 0.005, 0.0133, 0.03, 0.0417와 0.0833 hr^{-1} 인 주기성분이 내재하는 것으로 판단되며 이를 주기로 환산하면 8.33 day, 3.13 day, 33.33 hr, 23.98 hr 와 12 hr가 된다. 진폭은 예상대로 주기가 23.98 hr인 성분이 가장 크고 그 외 주기성분(이하 P)의 진폭은 비슷한 것으로 나타났으며 개개 파의 진폭과 위상은 다음과 같다.

$$P_{8.33 \text{ day}} = 5.6229 \cdot 10^3 e^{-2.6966i}$$

$$P_{3.13 \text{ day}} = 7.8290 \cdot 10^3 e^{0.1789i}$$

$$P_{33.33 \text{ hr}} = 7.7890 \cdot 10^3 e^{1.4152i}$$

$$P_{23.98 \text{ hr}} = 1.5758 \cdot 10^4 e^{-2.6341i}$$

$$P_{12 \text{ hr}} = 6.0089 \cdot 10^3 e^{1.5574i}$$

여기서 i 는 허수단위를, 아래첨자는 주기를 나타낸다. 2^j [$j=1, 2, \dots, 12$] scale에서 관측된 단주기성분(이하 detail)의 확률밀도함수(이하 PDF)와 누가분포함수는 Fig. 4에 도시하였다. 일반적인 추계학적 모형에서는 주기적 성분을 결정론적 인자로 취급하나 wavelet 변환을 이용해 해석한 결과 spectral analysis를 통해 결정론적 인자로 취급하는 주기성분도 실시간 영역에서 관찰할 경우 sinusoidal wave의 형태로 반복되는 것은 아니라는 사실이 입증되어 개선이 요구된다. Fig. 4에 도시된 대로 2^j [$j=1, 2, \dots, 12$] scale에서의 단주기성분들이 Gaussian PDF를 따른다는 사실에 착안하면 향후 보다 실제에 근접한 예측모형개발도 가능하리라 판단된다. 진폭 A는 Rayleigh PDF, 위상 ϵ 은 uniform PDF를 따르는 무작위변량으로 취급할 경우 Gaussian PDF를 따르는 무작위변량을 얻을 수 있다. 즉, spectral analysis를 통해 결정론적 인자로 취급하는 주기 성분 P를 sinusoidal wave로 모형화 하되 진폭과 위상을 각각 Rayleigh PDF, 위상은 uniform PDF를 따르는 무작위변량으로 취급하면 P와 P의 Hilbert 변환 \hat{P} 는 다음과 같고

$$P = A \cos(\omega t + \epsilon)$$

$$\hat{P} = A \sin(\omega t + \epsilon)$$

일반적인 무작위변량의 변화기법을 이용하면 무작위변량 P와 \hat{P} 의 결합확률밀도함수 $f_{PP}(p, \hat{p})$ 는

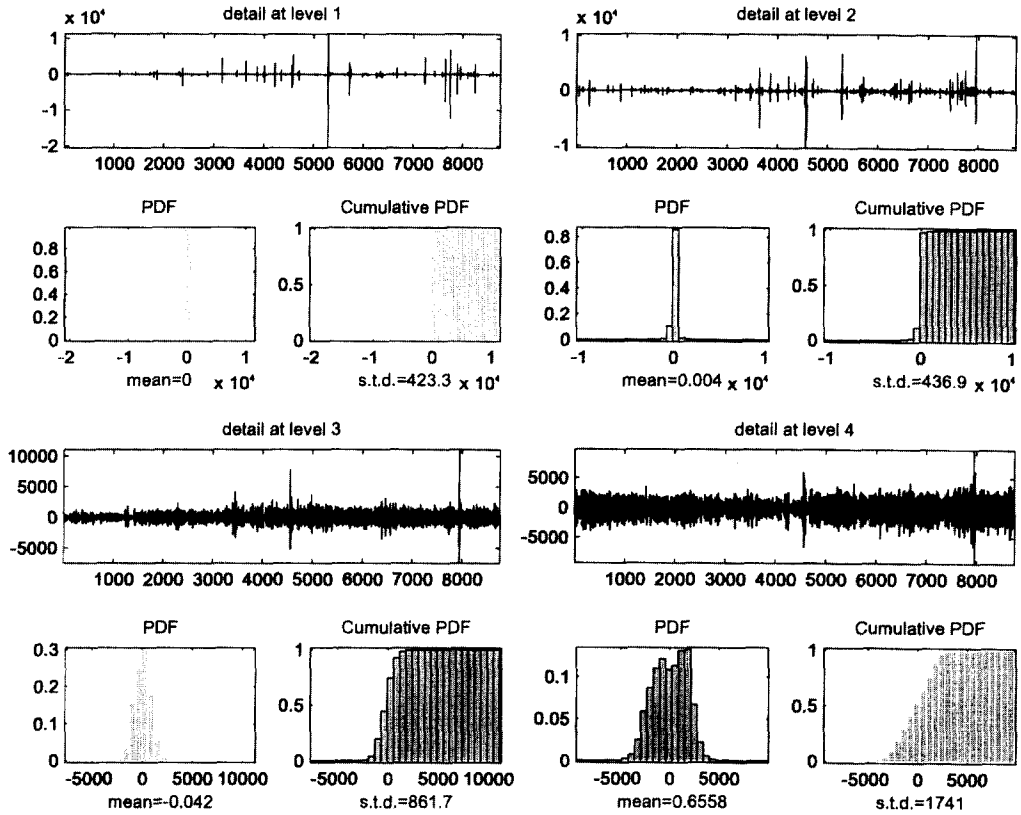


Fig. 4. PDF and Cumulative PDF of Detail Components at 2^j [$j=1,2,3,4$] Scale

다음과 주어지며

$$f_{PP}(\hat{p}, \hat{p}) = 1/2\pi \cdot f_A(A) \left| J \left(\frac{A, \varepsilon}{P, \hat{P}} \right) \right| = 1/2\pi \cdot \exp \left[-1/2(P^2 + \hat{P}^2) \right] \quad (4)$$

여기서 J 는 무작위변량의 변환에 따른 Jacobian matrix를 의미하며, 식 (4)에서 P 는 Gaussian PDF를 따르는 것을 확인할 수 있다.

3. 예측모형

예측모형중 기상자료를 선행자료로 활용하는 다원 ARMA모형을 통한 급수예고제의 가능성을 규명하고자 1995년도 1월 1일부터 6월 30일까지의 상반기 자료로부터 모형의 제변수를 산출하여 7월 1일부터 12월 31일까지의 하반기자료를 이용하여 산정된 모형의 검증을 수행하였다. 여러 기상자료중 비교적 정확한

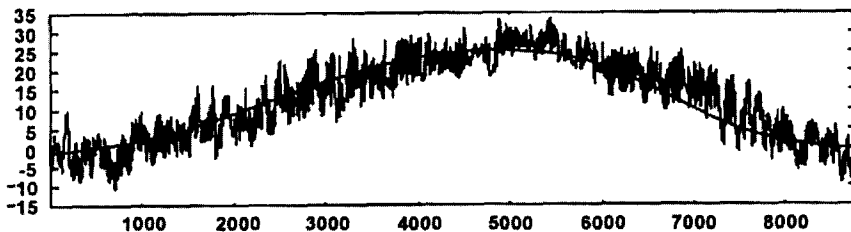


Fig. 5. Temperature and Its Long Term Evolution Mode Detected at 2^9 Scale

예측정보의 취득이 용이하고 불수요에 가장 큰 영향을 미치는 수문인자중의 하나인 기온자료를 다윈 ARMA 모형의 입력자료로 결정하였다. 다윈 ARMA[na, nb, nc, nk] 모형은 다음과 같이 주어지며

$$\begin{aligned}
 A(q)z(t) &= B(q)T(t - nk) + C(q)\varepsilon(t) \\
 A(q) &= 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na} \\
 B(q) &= 1 + b_1q^{-1} + \dots + b_{nb}q^{-nb} \\
 C(q) &= 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{nc}q^{-nc}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

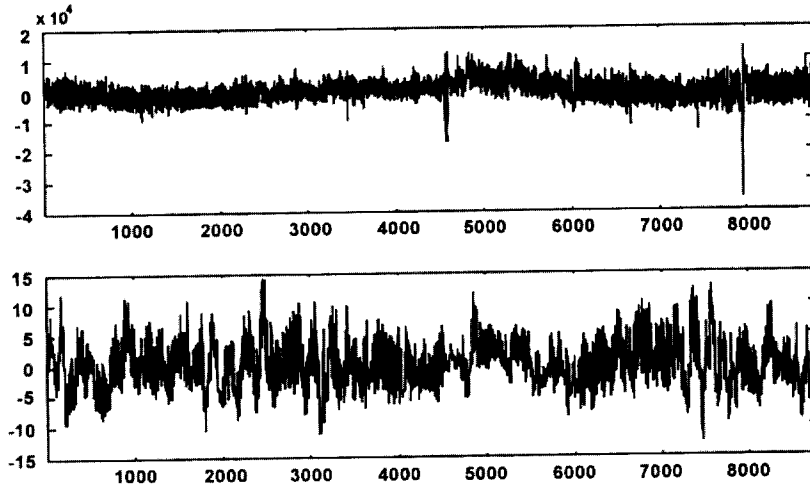


Fig. 6. Water and Temperature Time Series after Its Long Term Evolution Removed

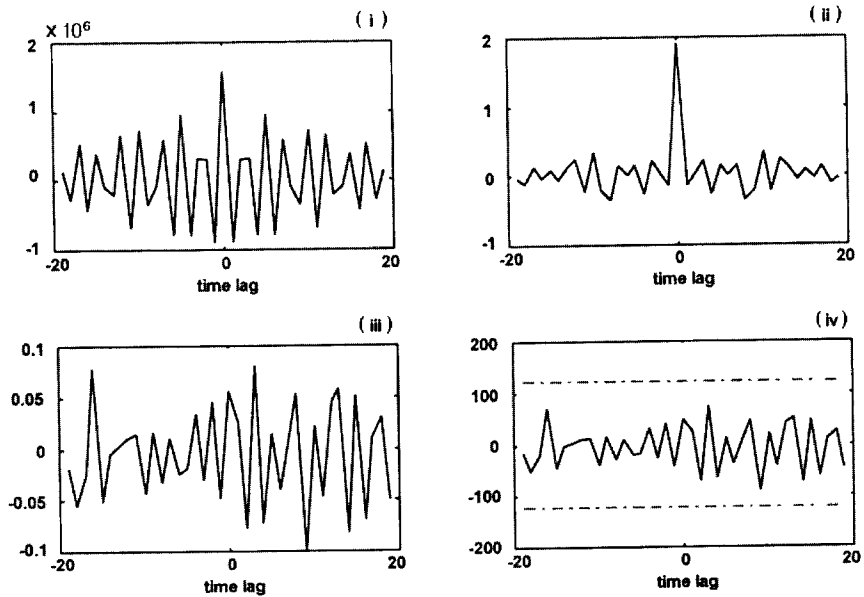


Fig. 7. (i) Covariance Function of Water Supply
(ii) Covariance Function of Temperature
(iii) Cross Covariance Function From Temperature to Water Supply
(iv) Impulsive Response Function of Water Supply System

여기서 $z(t)$, $T(t)$, $\varepsilon(t)$, q^{-1} 와 nk 는 물 수요, 온도, 백색과, delay operator와 지체시간을 각각 나타낸다. 1995년도 기온자료와 Coiflet3 함수를 활용한 wavelet 변환결과 2^9 scale 에서 관측된 기온시계열 자료에 내재한 장주기변화기동은 Fig. 5에 도시하였다. 자료채취간격은 3시간이며 수요량시계열자료와 온도시계열자료에서 각각의 장주기변화기동을 유리함으로써 얻을 수 있는 수요량과 온도의 정상 시계열자료는 Fig. 6에 도시하였다. 모형을 통한 예측치와 계측자료간의 차이로 정의되는 잔차성분 $[\varepsilon]$ 의 상호독립성, 白色波여부와 FPE [Akaike의 final prediction error]의 최소화를 기준으로 최적 다윈 ARMA모형의 차수를 선정한 결과 다윈 AR[32, 16, 23]과 다윈 ARMA[20, 16, 10, 23] 모형이 비슷한 예측정도를 보였

으며 각 모형의 FPE는 각각 $3.506 \times 10^{-5} \text{ m}^6/\text{hr}^2$, $3.509 \times 10^{-5} \text{ m}^6/\text{hr}^2$ 인 것으로 관측되었다. 수자원 공급계의 동적 특성을 규명하기 위해 물 수요와 기온 자료의 Auto Correlation 함수, 기온자료와 물 수요량 자료의 cross correlation 함수를 정상시계열자료로부터 산출하였다. 이를 바탕으로 수자원공급계의 단위 기온 입력자료에 대한 Impulsive response function을 주파수영역에서 산출하였으며 그 결과는 Fig. 7에 도시하였다. 선정된 예측모형의 예측능을 평가하기 위하여 예측된 물 수요의 spectrum과 위상 함수를 산출하였으며 그 결과는 다윈 AR[32, 16, 23] 모형의 경우 Fig. 8에, 다윈 ARMA[20, 16, 10, 23] 모형의 경우 Fig. 11에 도시하였다. 다윈 AR모형과 다윈 ARMA모형을 이용한 예측결과중 수요량이 정집

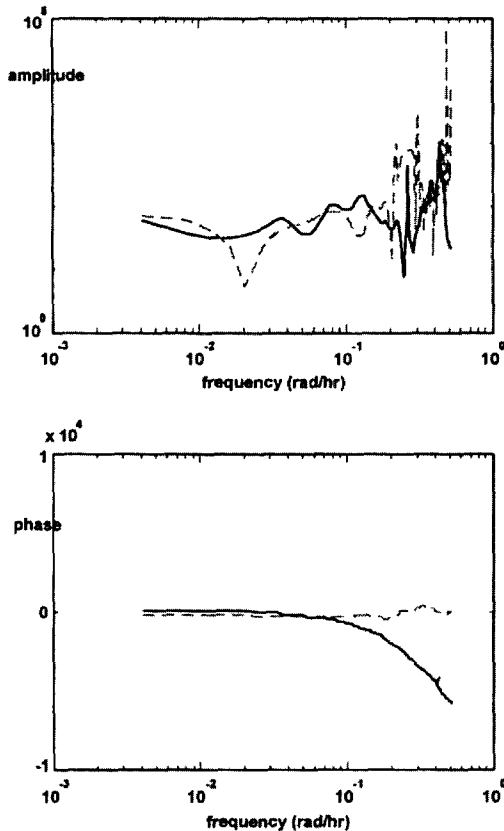


Fig. 8. Spectrum and Its Phase Function of the Forecasted Water Supply Solid Line: Estimated Based on MAR[32, 16, 23] Model, Dashed Line: Measured

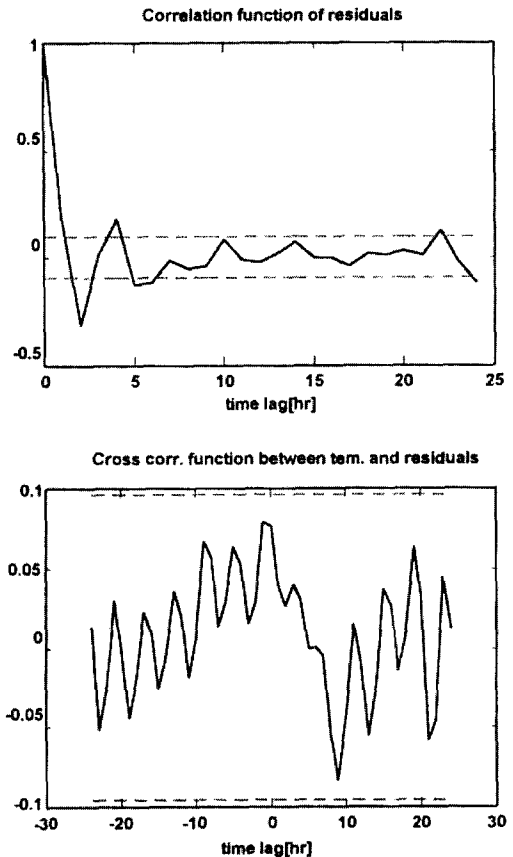


Fig. 9. Correlation Function of Residuals in MAR[32, 16, 23] Model and Cross Correlation Function between Temperature and Residual in MAR[32, 16, 23] Model

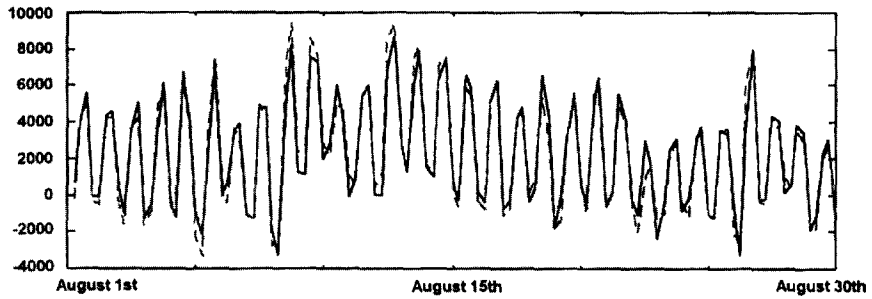


Fig. 10. Predicted Values of Water Supply through MAR[32, 16, 23] Model (Solid Line: Predicted, Dashed Line: Measured)

에 이르는 8월 1일부터 8월 31일까지는 다윈 AR[32, 16, 23] 모형의 경우 Fig. 10에, 다윈 ARMA[20, 16, 10, 23] 모형의 경우 Fig. 13에 도시하였으며 전

예측기간에 대해서는 각각 Fig. 14와 Fig. 15에 도시하였다. 예측치와 관측치가 비교적 잘 일치하는 것을 확인할 수 있으며 잔차성분의 상호독립성과 입력자료

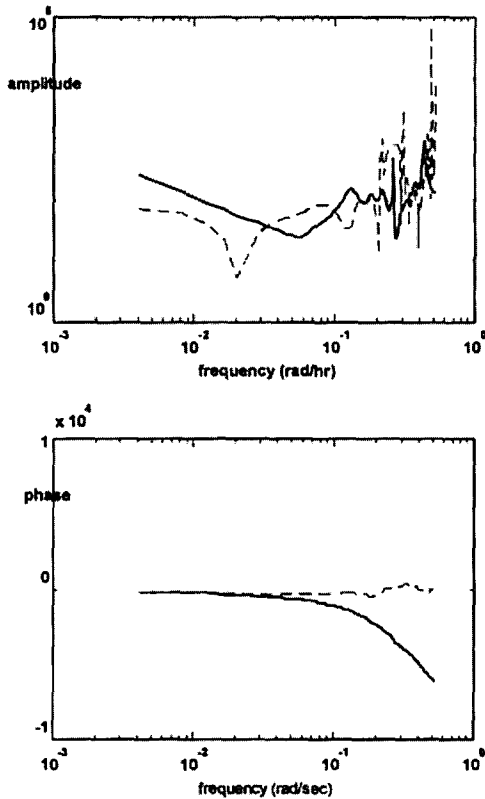


Fig. 11. Spectra and Its Phase Function of the Predicted Water Supply (Solid Line: Estimated Based on MARMA[20, 16, 10, 3] Model, Dashed Line: Measured)

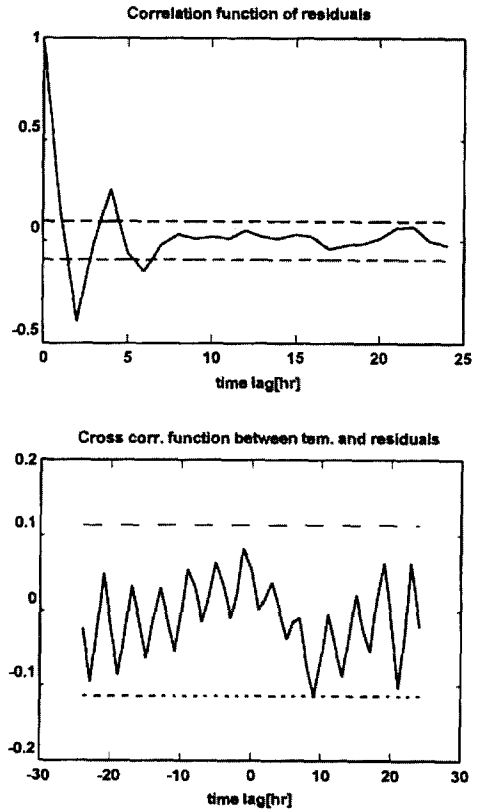


Fig. 12. Correlation Function of Residuals in MARMA[20, 16, 10, 23] Model and Cross Correlation Function between Temperature and Residual in MARMA[20, 16, 10, 23] Model

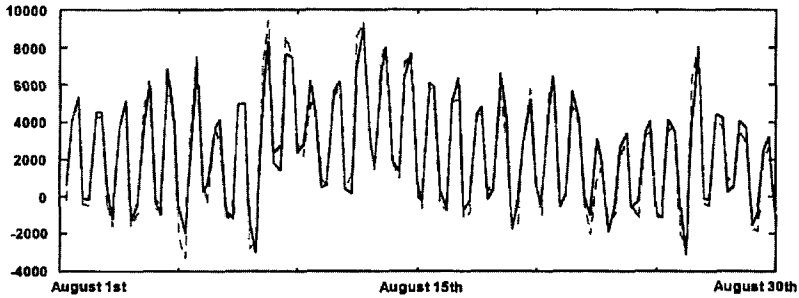


Fig. 13. Predicted Values of Water Supply through MARMA[20, 16, 10, 23] Model (Solid Line: Predicted, Dashed Line: Measured)

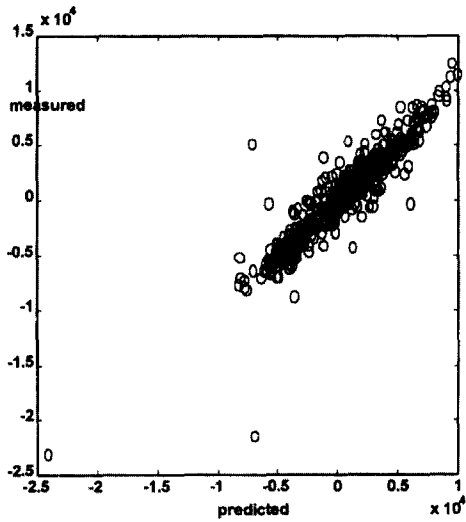


Fig. 14. Predicted Values of Water Supply through MAR[32, 16, 23] vs. the Measured

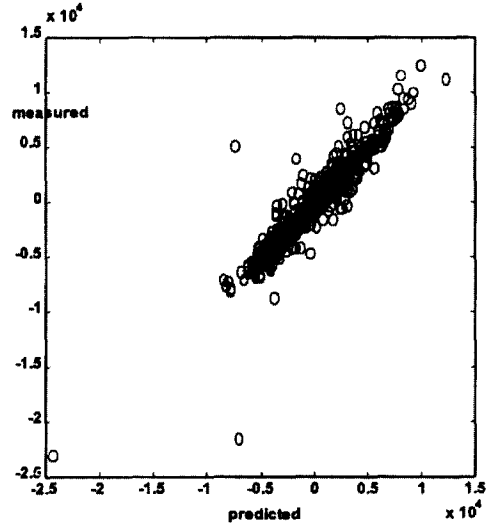


Fig. 15. Predicted Values of Water Supply through MARMA[20, 16, 10, 23] vs. the Measured

와 잔차성분의 상호독립성을 확인하기 위해 잔차성분의 correlation 함수, 잔차와 온도간의 cross correlation function을 산출하였으며 그 결과는 다윈 AR[32, 16, 23] 모형의 경우 Fig. 9에 다윈 ARMA[20, 16, 10, 23] 모형의 경우 Fig. 12에 도시하였다. 95 %의 유의수준에서 독립성이 유지되는 것으로 판단되어 다윈 ARMA 모형은 급수예고제에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

Howe와 Linaweaver(1967) 이후 대부분의 예측 모형은 물 수요는 강수량 혹은 온도와 같은 기후변화

에 무관한 비계절적 수요와 기후변화에 민감하게 반응하는 계절적 수요로 구성된다는 경험적 인식에 근거하여 개발되어 왔다. 최근 물 수요에 기후가 미치는 영향에 많은 연구가 수행되어 강우 시 계절적 수요는 감소된다는 강우사상의 dynamic effect, 감소량은 강우 발생시점의 계절적 수요의 크기에 비례한다는 강우사상의 state-dependent effect와 기온변화에 따른 물 수요 증가 혹은 감소량은 계절에 따라 변한다는 hysteresis 현상이 규명되어 제반사항을 고려한 예측모형의 개발이 수행되고 있다(Miaou, 1990). 본 연구에서는 이러한 경험적 인식에 근거하여 물 수요에 영향을 미치는 여러기상인자중 정확한 예측정보의 취득이

비교적 용이한 기온자료를 입력자료로 활용하는 다원 ARMA모형을 통한 급수예고제의 가능성을 검증하고 자 서울소재 정수장중 비교적 규모가 큰 구의정수장을 대상으로 생산량자료로 시계열을 구성하고 시계열자료의 분해능력이 뛰어난 wavelet 변환을 사용하여 장주기 거동과 계절적 수요를 분석하였다. 구의정수장 시간별 생산량 시계열자료의 해석을 위한 wavelet transform의 기저함수로는 1차, 2차, 3차와 4차 moment가 같고 2^6-1 의 support를 갖는 Coiflets5 함수의 분해능력이 가장 우수하였다. 해석 결과 2^{12} scale에서 장기간에 걸친 변화추이를 실시간 영역에서 분리할 수 있었다. 1996년에 구의정수장에서 공급된 수량은 hyperbolic tangent함수의 형태로 전 기간에 걸쳐 꾸준한 증가세를 보였으며 또한 절기 혹은 경기주기와 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되는 추가수요가 6월과 12월을 정점으로 발생하며 이 추가수요량은 하절기의 경우 $1,700 \text{ m}^3/\text{hr}$, 12월의 경우 $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ 정도인 것으로 관측되었다. 정수장 생산량 시계열자료에 내재한 주기성분은 주기가 각각 3.13 day, 33.33 hr, 23.98 hr 와 12 hr인 것으로 규명되었으며, 진폭은 주기가 23.98 hr인 성분이 가장 큰 것으로 밝혀졌다. 2^j [$j=1, 2, \dots, 12$] scale에서 복도된 단주기성분들은 Gaussian PDF를 따르는 것으로 밝혀져 향후 보다 실제에 근접한 예측모형 개발의 가능성이 제시되었으며 잔차성분의 상호독립성, 白色波 여부와 FPE(Akaike의 final prediction error)의 최소화를 기준으로 할 경우 물수요량의 최적 예측모형으로는 기온을 입력자료로한 다원 AR[32, 16, 23]과 다원 ARMA[20, 16, 10, 23]인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 서울시립대 기성회 학술연구조성비에 의해서 수행된 것으로 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

현인환, 목동우 (1995). "상기급수량의 단기에측." 대한상하수도학회지, 제9권, 제1호.
Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976) *Time*

series analysis-forecasting and control. Holden Day, pp. 174-175.
Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V. (1992). "Wavelet analysis and signal processing." *Wavelets and their applications*, Edited by Ruskai, M. B., Jones and Barlett Publishers International, pp. 153-178.
Howe, C.W. and Linaweaver, F.P., Jr. (1967). "The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure." *Water Resour. Res.*, Vol. 3, No. 1, pp. 13-32.
Johansson, R. (1993). *System modeling and identification.* Prentice Hall International.
Kottegoda, N.T. (1980). *Stochastic water resources technology*, The Macmillan press LTD.
Krauss, T.P., Shure, L. and Little, J.N. (1994). *Signal processing tool box.* The Math Works Inc.
Mallat, S. (1989). "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation." *IEEE Pattern Anal. and Machine Intell.*, Vol. 11, No. 7, pp. 674-693.
Miaou, S.P. (1990). "A class of time series water demand models with nonlinear climatic effects." *Water Resour. Res.*, Vol. 26, No. 2, pp. 169-178.
Ruskai, M.B., Beylkin, G., Coifman, R., Daubechies, I., Mallat, S., Meyer, Y. and Raphael, L. (1992). *Wavelets and their applications.* Jones and Barlett Publishers International.
Strang, G. and Nguyen, T. (1996). *Wavelets and filter banks.* Wellesley-Cambridge Press.
Walter, G.G. (1994). *Wavelets and other orthogonal systems with application.* CRC Press Inc.
<최종본 접수일 : 1998년 4월 25일>