

웨이브릿 변환을 이용한 계절별 부하예측 알고리즘

김창일\* 김봉태\*\* 김우현\*\* 유인근\*\*  
 \* 남해전문대학 \*\* 창원대학교

Seasonal load forecasting algorithm using wavelet transform analysis

Chang-Il Kim\* Bong-Tae Kim\*\* Woo-Hyun Kim\*\* In-Keun Yu\*\*  
 \* Namhae Provincial College \*\* Changwon National University

Abstract - This paper proposes a novel wavelet transform based algorithm for the seasonal load forecasting. In this paper, Daubechies DB2, DB4 and DB10 wavelet transforms are adopted to predict the seasonal loads and the numerical results reveal that certain wavelet components can effectively be used to identify the load characteristics in electric power systems. The wavelet coefficients associated with certain frequency and time localization are adjusted using the conventional multiple regression method and then reconstructed in order to forecast the final loads through a four-scale synthesis technique. The outcome of the study clearly indicates that the wavelet transform approach can be used as an attractive and effective means of the seasonal load forecasting.

1. 서 론

부하예측은 전력계통 운용계획, 경제발전계획, 전력시스템의 안정성 평가 및 경제급전제어 등의 기본 입력자료로 사용되어진다. 따라서 부하의 정확한 예측은 시스템의 경제적 운용과 발전설비의 유지보수 및 안정된 전력공급을 위한 필수조건이라 할 수 있다. 지금까지 부하예측에 대한 다양한 기법들이 개발되어 왔으며, 주요 산법으로 시계열 분석에 기초한 자기회귀(AR), 이동평균(MA), 이들의 혼합모형인 ARMA와 지수평활법 등이 사용되어 왔으나, 시계열 방법을 이용할 경우 최적한 예측모델을 구하기 위하여 많은 양의 데이터가 필요하며 충분한 자료를 확보한다 하더라도 수시로 갱신해야 하는 번거로움이 있다. 근년 과거의 수요변동에 대한 경험과 지식을 이용한 전문가 시스템을 적용하여 전력수요를 예측하는 인공지능(AI)기법과 인공신경회로망(ANN)을 이용한 방법이 주를 이루고 있으며 많은 연구와 더불어 우수한 결과를 보여주고 있다[1-2]. 그러나 ANN 기법들은 신경회로망의 학습에 사용한 모형과 실제 예측 패턴과의 상관관계에 그 결과가 크게 좌우되므로, 이들간의 편차가 클 경우에는 예측 정확도가 낮아진다.

본 연구에서는 최근 전력시스템 분야의 과도해석과 전력품질 해석, 보호계전, 단기부하예측 등에 도입[3-8] 되면서 많은 관심을 모으고 있는 웨이브릿 변환을 이용하여 기존 민감 부하에 대한 1-24시간 후의 전력부하를 예측하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다.

다양한 원형 웨이브릿(Haar, Daubechies, Coiflets, Symlet, Morlet 등) 중에서 Daubechies D2, D4, D10를 이용하여 전력부하를 level 4까지 저주파와 고주파로 분해하였다. 기온에 민감한 고주파 성분과 온도와의 상관관계를 통해 중회귀 모델을 이용하여 회귀계수를 도출하였으며, 이 회귀계수에 익일의 예상온도를 적용함으로써 익일의 각 시간대별 고주파를 예측하고 이것과 전달 저주파 성분의 4단계 스케일 합성을 통하여

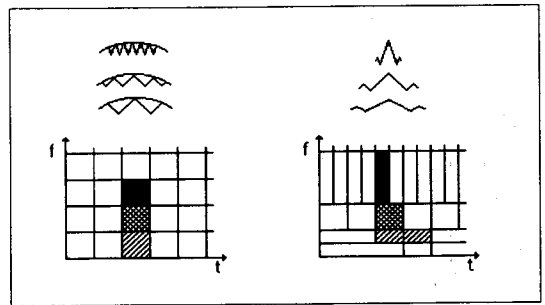
최종적으로 익일의 시간별 부하를 예측하였다.

본 논문에서는 1995년 각 계절별 부하예측 결과 봄 1.09[%], 여름 1.95[%], 가을 1.19[%] 그리고 겨울 0.82[%]의 비교적 우수한 오차율을 얻었으며, 제시한 기법의 효용성을 입증하였다. 또한 웨이브릿 변환을 이용한 알고리즘이 부하예측에 효율적으로 적용될 수 있음을 보였다.

2. 웨이브릿 변환

웨이브릿(wavelet)은 고전 수학에서 신호의 선형적 표현을 위하여 연구된 분야로, 하나의 함수가 이동(shifts) 파라미터와 스케일(Scale) 파라미터를 동시에 사용한다는 효율성으로 인해 많은 분야에서 관심을 불러 일으키고 있다.

웨이브릿 변환은 시간영역 및 주파수 영역에 대한 새로운 해석기법으로서, 임의로 선정된 상이한 시간주기 동안의 주파수 정보를 얻을 수 있고, 고주파에 대한 시간분해 능력이 뛰어나며 저주파에서의 주파수 분해능력이 높은 특징을 갖고 있다. 여러가지 변환 기법들과 마찬가지로 웨이브릿 변환도 한 영역에서 다른 영역으로의 변환, 즉 본래의 시간영역으로부터 시간-최도 영역으로의 변환을 의미한다. 또한 주어진 신호를 서로 다른 해상도를 갖는 몇 개의 스케일로 분해하고 이들 분해된 신호로부터 정보의 손실 없이 다시 본래의 시간영역 신호를 재구성 할 수 있는데, 이를 웨이브릿 역변환이라 한다. 그림 1은 Fourier 변환과 Wavelet 변환의 차이점을 나타낸 것이며, 그림에서 보여지듯이 Fourier 변환의 결점인 시간분해 능력이 Wavelet 변환에서는 매우 우수함을 알 수 있다.



(a) STFT (b) wavelet transform  
 Fig.1 Basis function and corresponding tiling of the frequency plane

웨이브릿 변환식은  $x(t)$ 를 분해해야할 시간영역의 신호인 과거 실측부하라 할 때  $x(t)$ 의 dyadic wavelet 변환은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$DWT_{\varphi^s}(m, n) = 2^{-m/2} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \varphi^* \left( \frac{t - n2^m}{2^m} \right) dt \quad (1)$$

여기서 \*표시는 공액복소를 나타내며, m과 n은 각각 스케일(scale)과 시간-적동(time-shift)을 나타내는 파라미터이고  $\Psi(t)$ 는 주어진 모 웨이브릿(mother wavelet)으로

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (2)$$

를 만족한다. 본 연구에서는 dyadic wavelet 변환을 통해 얻어진 웨이브릿(wavelet) 계수를 활용하여 단기 부하예측 모델을 도출하였으며, 여러가지 모 웨이브릿 즉, Haar, Daubechies, Morlet, Meyer 및 Coiflet 중에서 Daubechies 웨이브릿 변환을 이용하였다.

Dyadic 웨이브릿 변환은 다해상도 피라미드형 분해기법에 의해 실행되며, 과거 부하실적 자료를 다단 분해과정을 통하여 웨이브릿 계수로 분해하고 이를 다시 복원(합성)하는 절차를 통하여 정보의 손실 없이 본래의 신호를 얻어낸다. 따라서 웨이브릿 변환을 이용하여 부하실적 자료를 분해 및 합성하는 과정에서 적절한 기법을 고안하여 새로운 부하예측 모델을 도출하였다.

### 3. 회귀계수 모형

부하예측에 많은 영향을 미치는 온도와 부하와의 관계를 나타내기 위해 식(3)과 같은 2차 회귀 다항식을 사용하였다.

$$L_F = a_0 + a_1 T^1 + a_2 T^2 \quad (3)$$

여기서  $L_F$ 는 예측 고주파 성분을 나타내며  $a_0, a_1, a_2$ 는 웨이브릿 계수를  $T^1, T^2$ 는 각각 지역별(주요 5개 대도시) 부하소비 가중치가 적용된 온도를 나타낸다. 편의상  $a_0, a_1, a_2$ 는 A로 나타내었다. 회귀계수를 구하기 위하여 식(4)와 같은 행렬을 이용하였다.

$$L_F = TA + e \quad (4)$$

여기서  $L_F$ 는  $n \times 1$ ,  $T$ 는  $n \times k$ ,  $A$ 는  $k \times 1$ , 그리고  $e$ 는 오차로서  $k \times 1$ 의 차원을 가진다. 계수행렬 A를 구하기 위하여 오차평균의 자승치를 편미분한 값이 최소가 되도록 하면 식(5)와 같다.

$$\sum e_i^2 = e'e = (L_F - TA)'(L_F - TA) \quad (5)$$

여기서  $e'$ , 즉  $(L_F - TA)'$ 는 오차  $e$ 의 전치행렬을 의미한다. 따라서 식(6)으로부터 회귀계수가 구해진다.

$$A = (T'T)^{-1} T'L_F \quad (6)$$

식(6)으로부터 구해진 회귀계수와 익일의 온도를 식(3)에 적용하여 익일의 고주파를 예측한다. 따라서 식(3)으로부터 구해진 익일의 3시간 간격의 고주파 성분과 전달의 3시간별 저주파 성분을 합성함으로써 익일의 부하가 예측되었다. 예측부하와 실적부하와의 오차율은 식(7)을 이용하여 구해진다.

$$\text{예측오차율} = \frac{|\text{실적부하} - \text{예측부하}|}{\text{실적부하}} \times 100(\%) \quad (7)$$

### 4. 사례연구

본 연구에서는 우리나라 주요 도시별 부하 소비율을 고려하여 가중치를 적용한 3시간 간격의 기온 데이터와 과거 실적 부하 데이터를 이용하여 각 계절별 일간부하를 예측하였다. 그림 2는 Daubechies 4 level 4에서 웨이브릿 변환을 통하여 일간 부하곡선을 고주파 성분과 저주파 성분으로 분해한 웨이브릿 계수를 보여주고 있다. 그림에서 1 스케일 분해된 d1이 다른 고주파 성분에 비해 매우 기온에 매우 민감한 곡선임을 알 수 있으며, 따라서 온도의 영향을 가장 많이 받는 온도 민감 곡선으로 유형으로 판단된다.

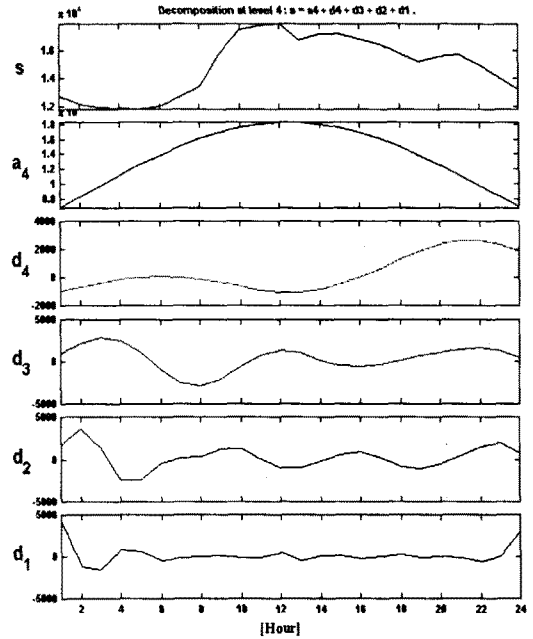


Fig.2 Four level decomposition of a weekly load curve

Table 1 The results of season load forecasting

계절	요일	월	화	수	목	금	토	일
봄 (DB4)	Lev3	1.23	0.70	0.79	1.04	0.89	1.49	2.51
	Lev4	1.06	0.64	0.72	0.96	0.82	1.40	2.08
여름 (DB10)	Lev3	2.97	3.00	2.97	2.25	2.36	2.27	2.93
	Lev4	2.35	2.18	1.99	1.65	1.50	1.97	2.03
가을 (DB4)	Lev3	1.36	1.02	1.36	1.03	1.24	1.84	1.64
	Lev4	1.21	0.92	1.26	0.93	1.13	1.56	1.35
겨울 (DB2)	Lev3	0.61	0.71	0.88	0.78	0.78	1.12	1.69
	Lev4	0.55	0.60	0.73	0.60	0.68	1.04	1.55
평균	Lev3	1.54	1.36	1.50	1.28	1.32	1.68	2.19
	Lev4	1.29	1.08	1.17	1.04	1.03	1.49	1.75

표 1은 본고에서 제안한 알고리즘을 이용하여 1995년의 봄(3,4,5월), 여름(6,7,8월), 가을(9,10,11월) 그리고 겨울(1,2월)의 과거 실적부하 및 기온 데이터를 각 계절에 대해 같은 요일별로 입력하여 웨이브릿 변환을 통해 예측한 결과이다. Lev(level)1에서 Lev4까지 분해하여 예측한 결과, 상대적으로 결과가 우수한 Lev3과 Lev4에서의 평균 예측오차를 비교하였으며, Lev

3보다 Lev 4로 분해하였을 경우의 결과가 우수함을 알 수 있다. 이러한 결과를 통하여 원 신호(부하곡선)가 기온 민감 곡선임을 알 수 있다. 연간을 통한 각 요일별 평균예측 오차는 월요일 1.29(%), 평일(화-금) 평균 1.08(%), 토요일 1.49(%) 그리고 일요일의 경우 1.75(%)로써 비교적 우수한 예측 결과를 보여주고 있다.

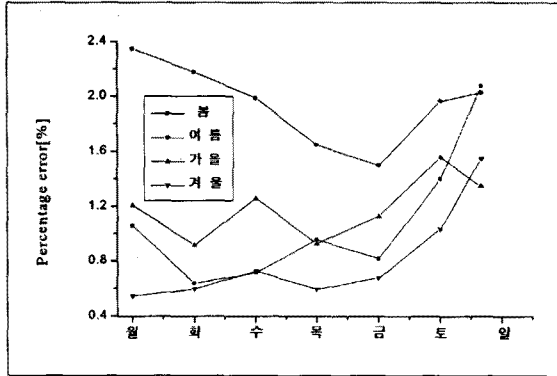


Fig.3 The mean percentage error of four season(1995)

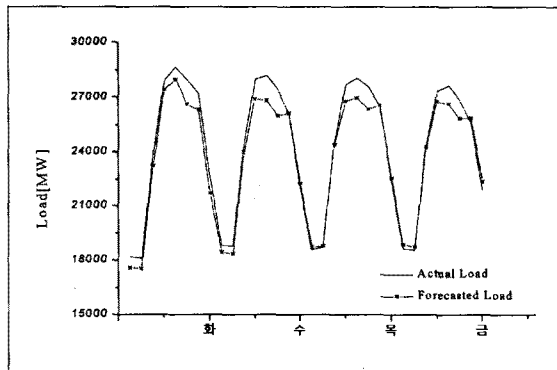


Fig.4 Comparison of the actual and the forecasted load for weekdays(Aug. 22-25, 1995)

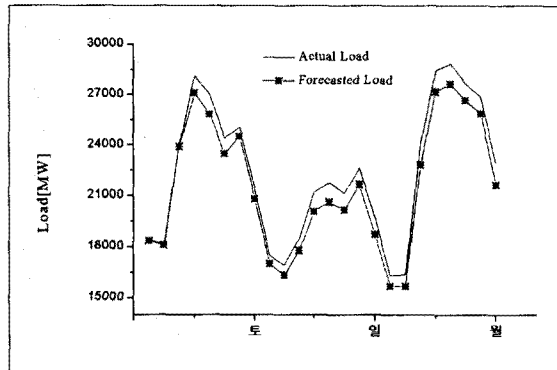


Fig.5 Comparison of the actual and the forecasted load for weekend days(Aug. 12-14 1995)

그림 3은 Daubechies 4를 이용하여 level 4까지 분해하여 예측한 1995년의 각 요일에 대한 평균 오차를 나타낸 것이다. 역시 냉방기의 투입 및 태풍 등의 영향으로 부하의 변동이 가장 심한 여름철의 예측오차가 가장 크게 나타났으며, 상대적으로 부하의 변동이 가장 적

은 겨울철의 오차율이 가장 낮음을 알 수 있다.

그림 4는 다른 계절에 비해 부하의 변동이 가장 심한 8월 넷째주 평일 4일간(22일부터 25일까지)에 대한 실측부하와 예측부하의 관계를 비교하여 도시한 것이다. 실측 부하에 비해 예측 부하의 값이 다소 작음을 알 수 있다.

그림 5는 8월 12일에서 14일까지의 주말 3일에 대한 실측부하와 예측부하를 나타내고 있다. 부하유형의 특성상 일요일의 부하가 토요일 부하에 비해 현저하게 낮음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 웨이블릿 변환을 이용한 각 계절별 단기부하예측 기법을 제안하였다. Daubechies DB2, DB4, DB 10을 이용하여 level 4까지 분해하고 회귀 계수를 도출한 후 익일의 예상기온을 적용하여 각 계절 별로 평일(화-금)과 주말(일,토,월)의 부하를 예측한 결과 봄은 DB4 - level 4에서 1.09(%), 여름은 DB10 - level 4에서 1.95 [%], 가을은 DB4 - level 4에서 1.19(%) 그리고 겨울의 경우 DB2 - level 4에서 0.82(%)의 비교적 우수한 예측결과를 보였다. 예측결과에 비추어 볼 때 웨이블릿을 변환을 이용한 기법이 단기부하예측에 매우 유효하게 적용될 수 있음을 보였으며, 특수일에 대한 부하예측은 연구 중에 있다.

본 연구는 '99년 에너지절약 학술진흥사업과 한국과학기술원 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 일부 지원에 의한 것임

## (참 고 문 헌)

- [1] D. C. Park, M.A. El-Sharkawi, R. J. Marks II, L. E. Atlas and M. J. Damborg, "Electric load forecasting using an artificial neural network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 442-449, 1991
- [2] K. Y. Lee, Y. T. Cha and J. H. Park "Short-term for forecasting using an artificial neural network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp. 124-131, 1992
- [3] I. K. Yu, Y. H. Song, "Wavelet analysis and neural network based adaptive single-pole autoreclosure scheme for EHV transmission systems", Electric Power Systems Research, Vol. 20, No. 7, pp. 465-474, 1998
- [4] O. Chaari, M. Meunier and F. Brouaye, "Wavelets : A new tool for the resonant grounded power distribution systems relaying", IEEE Trans. No Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1301-1308, 1996
- [5] W.A. Wilkinson, M. D. Cox, "Discrete wavelet analysis of power transients", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 4, pp. 2038-2044, 1996
- [6] P. Pillay, A. Bhattacharjee, "Application of wavelets to model short-term power system disturbances", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 4, pp. 2031-2037, 1996
- [7] D. C. Robertson, O. I. Camps, J. S. Mayer and W. B. Gish "Wavelets and electromagnetic power system transients", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, pp. 1050-1056, 1996
- [8] I.K. Yu, C.I. Kim, and Y H Song, "A novel wavelet transform based approach to short-term load forecasting," ICEE, Kyungju, Korea, 1998