

웨이브릿 변환을 이용한 발전시스템 한계원가 예측기법

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

Prediction technique for system marginal price using wavelet transform

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 technique for prediction of System Marginal Price(SMP). In this paper, Daubechies D1(haar), D2, D4 wavelet transforms are adopted to predict SMP and the numerical results reveal that certain wavelet components can effectively be used to identify the SMP characteristics with relation to the system demand in electric power systems. The wavelet coefficients associated with certain frequency and time localisation are adjusted using the conventional multiple regression method and then reconstructed in order to predict the SMP on the next scheduling day through a five-scale synthesis technique. The outcome of the study clearly indicates that the proposed wavelet transform approach can be used as an attractive and effective means for the SMP forecasting.

관관계에 그 결과가 크게 좌우되므로, 이들간의 편차를 줄 경우에는 예측 정확도가 낮아질 수밖에 없는 문제점이 있다. Wavelet 변환은 신호처리나 Fourier 변환을 필요로 하는 다양한 분야에 활용 가능한 방법으로 주목을 받고 있으며, 최근에는 전력시스템 분야에도 과도해석과 전력품질 해석, 보호계전, 단기부하예측 등에 도입되면서 많은 관심을 모으고 있다[4-7].

따라서 본 연구에서는 예측된 전력수요와 과거 실적 SMP 데이터를 이용하여 Wavelet 변환을 활용한 새로운 개념의 SMP 예측 기법을 제안하고자 한다.

2. SMP의 특성

SMP 곡선 모형은 매 30분 간격으로 일간 48개의 포인트로 구성되어 있으며 그림에서 알 수 있는 바와같이 SMP는 일간, 주간, 계절, 전력수요 그리고 전반적인 시장의 상황에 따라 매우 다양하게 변한다.

1. 서 론

1990년 영국을 필두로 세계 각국에서 전력산업에 경쟁을 도입하는 구조개편이 본격적으로 추진되고 있으며, 그것의 단기적 방안으로 발전부문을 수 개의 발전회사로 분할하여 경쟁을 도입하고, 분할된 발전회사의 단계적인 민영화로 효율성 제고를 통한 발전원가 절감을 도모해야 한다는 필요성이 제기되고 있다[1].

영국에서의 도매전력 거래는 전력을 사고 파는 거래가 이루어지는 시장과 같은 기능을 하는 전력 풀(Pool)에 의해 이루어지고 있으며 NGC (National Grid Company)가 운영을 맡고 있다. 풀의 기능 중 발전경쟁 단계에서는 발전 사업자간 경쟁입찰에 따라 입찰최저가 우선으로 전력공급 순위를 결정하는 발전가격입찰제를 적용하고 있다. 각 발전회사로부터 다음날의 운전상황(30분 단위의 발전소 운전가능 상황, 발전기 상태, 운전유연성, 고정비, 가변비 등)에 대한 정보를 접수한 NGC는 제시된 가격을 기초로 각 발전기의 순위를 부여하며, 예측수요에 기초한 30분 단위의 전력공급 계획을 작성한다. 풀을 가격은 매 30분 단위로 운전되는 발전소 중 가장 높은 가격(System Marginal Price)과 공급용량 확보를 위한 설비부과금(Capacity element)에 의해 결정된다[2].

영국의 경우 전력 풀의 모든 발전회사는 풀내에서 발전기 가격을 어떻게 결정하여 제출 할 것인가라는 문제에 직면해 있으며, 경쟁입찰 시 중요한 위치를 차지하는 익일의 SMP가 어떠한 것인가는 매우 중요한 문제이다. 따라서 SMP에 대한 정확한 예측은 전력 생산자로 하여금 가능한 한 SMP에 가까운 발전단가를 풀에 제출할 수 있도록 발전기를 선정하는데 도움을 주게 된다.

최근 SMP 예측에 대한 여러 산법들 중 인공신경회로망(ANN)을 이용한 기법이 적용[3]되고 있으나, 이는 신경회로망의 학습에 사용한 모형과 실제 예측 패턴과의 상

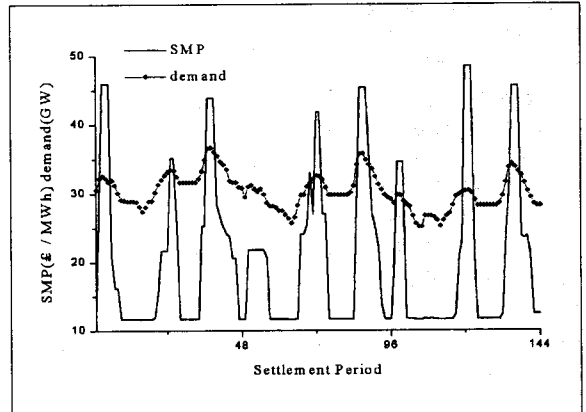


Fig.1 Trends of SMP and demand

그림 1은 평일 3일간의 SMP와 전력수요 곡선과의 관계를 보여주고 있다. SMP 곡선이 각 시간대별로 매우 불규칙한 패턴을 가지고 있으며, 전력수요에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

- 영국의 경우 전력 풀에서의 하루 전 입찰과정은
- 계획일자(Scheduling Day) : 어떤 날의 05:30 - 익일 05:00까지의 기간
- 지불기간(Settlement Period) : 30분
- 지불일자(Settlement Day) : 어떤 날의 0:00 - 익일 0:00까지의 기간을 기준으로 수행된다.

SMP는 단기한계비용 원칙에 의해 결정되며, 단기 한계비용은 어떤 기간 동안 기저부하를 만족시키기 위한 전체 출력이 수요보다 많은가(비첨두 부하시) 그렇지 않은가(첨두 부하시)에 따라 달라진다. 비첨두 부하시에는 유연하지 않은 대용량 발전기가 낮은 출력으로 운전하게 되어 SMP는 수요를 만족시키기 위한 한계발전소의 운전가

격을 기초로 결정된다. 침두 부하시에는 예비용량이 부족하므로 중간 부하용 또는 침두 부하용 발전기가 운전되고 기동정지가 발생하므로 운전가격뿐만 아니라 고정비 가격과 기동가격도 포함되어 SMP가 결정된다[2].

### 3. SMP 예측을 위한 웨이브릿 변환 모델

웨이브릿 변환은 신호의 변화가 급격한 부분에서는 고 해상도로 분해하고, 그 반대의 경우는 낮은 해상도로 분해할 수 있는 다해상도 분해가 가능한 변환 방법이다. 웨이브릿은 진동하면서 양쪽으로 빠르게 소멸하는 모양을 가지며 이를 모(mother)웨이브릿  $h(t)$ 라 하고 이 모웨이브릿의 크기변환(scaling) 및 이동(translation)된 형태들이 웨이브릿 변환의 기저함수로 사용되며, 연속 웨이브릿 변환과 이산 웨이브릿 변환으로 나누어 진다.

#### 3.1 연속 웨이브릿 변환

변환요소를  $a(a>0)$ , 이동요소를  $b$ 라 하면, 웨이브릿 기저함수  $h_{a,b}(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$h_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

여기서  $\frac{1}{\sqrt{|a|}}$ 은 에너지를 정규화 시키는 항이며, 식 (1)과 같은 기저함수를 이용한 입력신호  $x(t)$ 에 대한 웨이브릿 변환  $W_x(a,b)$ 는

$$W_x(a,b) = \langle h_{a,b}(t), x(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} h^*\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

식 (2)에서 처럼  $W_x(a,b)$ 는 입력신호의 변환 및 이동된 모 웨이브릿의 선형조합으로 나타나며, 스케일링 요소  $a$ 가 작아지면 웨이브릿 기저함수의 폭이 좁아지고 작은 스케일링 요소는 고주파 성분을 나타낸다. 반면 스케일링 요소  $a$ 가 커지면 웨이브릿 기저함수의 폭이 넓어져 입력신호의 저주파 성분을 반영하게 된다. 따라서 스케일 변수가 포함된 연속 웨이브릿 변환의 기저함수는 시간과 주파수 축상의 윈도우를 넓히거나 좁히면서 신호의 특성에 적응적으로 대처할 수 있다.

#### 3.2 이산 웨이브릿 변환

연속 웨이브릿 변환을 수행할 경우 많은 양의 데이터 산출과 구현의 어려움이 수반되는데 이러한 문제점을 해결하기 위하여 변수  $a, b$ 를 샘플링(sampling)하여 이산적인 스케일링 요소와 이동요소를 사용하는 것이 효율적이다. 샘플링 격자를  $a = a_0^m (a_0 > 1)$ ,  $b = nb_0 a_0^m (b \neq 0)$ 라 하면 이산 웨이브릿 변환 형태는 다음 식과 같다.

$$h_{mn}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} h(a_0^m(t) - nb_0), m, n \in Z \quad (3)$$

이산 웨이브릿 변환은 신호의 분해와 합성을 위한 저대역 및 고대역필터의 개념으로 확장될 수 있으며, 필터뱅크는 분해시 입력을 두 개의 채널로 나누고 합성시 반대의 과정을 수행한다.

### 4. 사례연구

제한한 산법의 효율성을 입증하기 위하여 1997년 영국 전력 푸울에서 예측된 전력수요와 실측 SMP 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 일주일간의

SMP 데이터를 1단계 스케일의 저주파성분과 5단계 스케일의 고주파 성분으로 분해한 5 레벨(level 5)의 각 웨이브릿 계수를 보여주고 있다. 첫 번째 단계로 분해된 d1이 다른 고주파 성분보다 매우 민감함을 알 수 있으며, 따라서 전력수요의 영향을 가장 많이 받는 수요 민감 유형으로 판단된다. 그림 3은 웨이브릿 변환으로 분해된 그림 2의 각 고주파 성분(d1~d5)과 예측된 수요와의 관계에서 도출한 회귀계수에 일일의 수요를 적용함으로써 구해진 일일의 예측된 고주파 성분으로서 전날의 저주파 성분과 일일의 고주파 성분의 5단계 스케일 합성을 통하여 SMP가 예측된다.

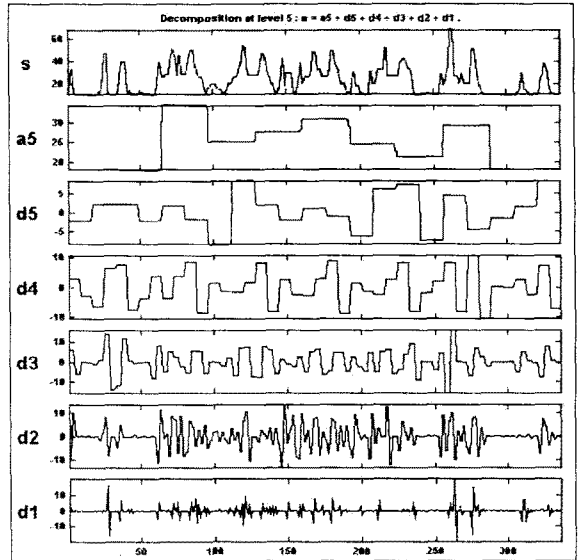


Fig.2 Five level decomposition of a daily SMP curve

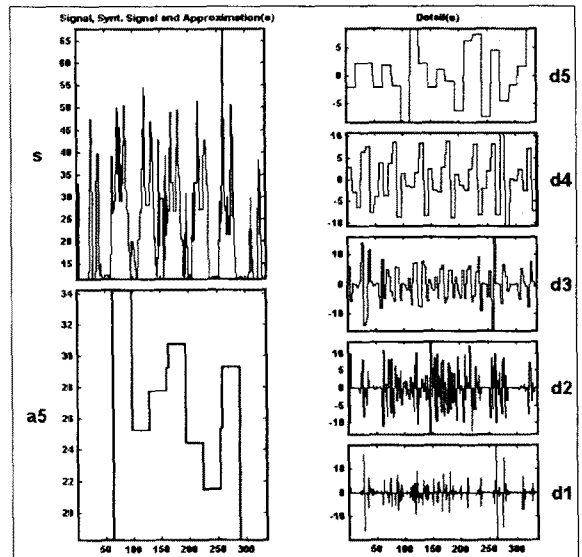


Fig.3 Synthesis of the predicted five level coefficients

표 1은 DB2 웨이브릿을 이용하여 level 4와 level 5로 분해한 1997년 1월 세째주 주간(월-일)의 SMP 예측 결과를 나타낸 것이다. level 4와 level 5에서의 주간 평균오차는 각각 11.89 [%]와 6.98[%]로 나타났으며,

level 5에서의 예측 결과가 현저히 우수함을 알 수 있다. 평일(화-금)의 평균 예측오차는 level 5에서 6.61%로 나타났다. 그림 4는 DB2 웨이브릿 변환에 의한 1997년 1월 21일(화요일)의 예측 SMP와 실측 SMP와의 관계를 보여주고 있으며, 그림 5는 1997년 1월 평일 3일간(수요일-금요일)간의 예측치와 실측치와의 관계를 비교하고 있다. 그림 6은 주말(토요일-월요일)의 평균 오차율을 나타내고 있다. 그림 5와 6에서 예측치가 실측치를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

Table 1 The mean percentage errors of week days 단위:(%)

요 일 \ DB	Daubechies 2	
	level 4	level 5
월요일	17.34	8.18
화요일	11.59	8.53
수요일	11.92	5.00
목요일	10.89	6.53
금요일	10.01	6.37
토요일	11.88	7.65
일요일	9.57	6.56
평 균	11.89	6.98

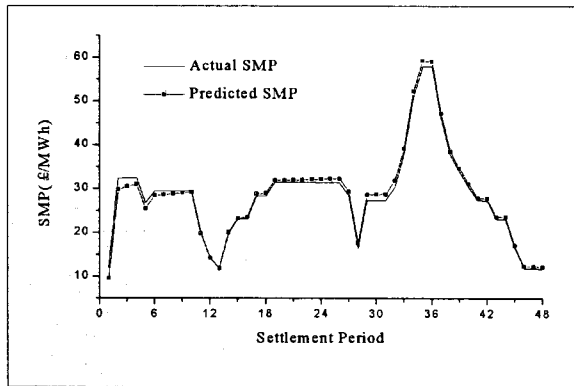


Fig.4 Comparison of the actual and the forecasted SMP for 1-day in the Winter (21.1.1997)

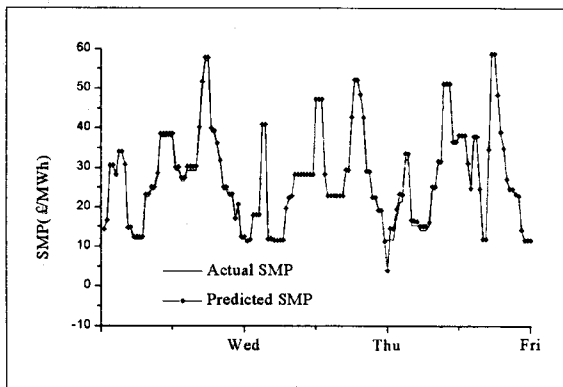


Fig.5 Comparison of the actual and the forecasted SMP for weekdays in the Winter (1.1997)

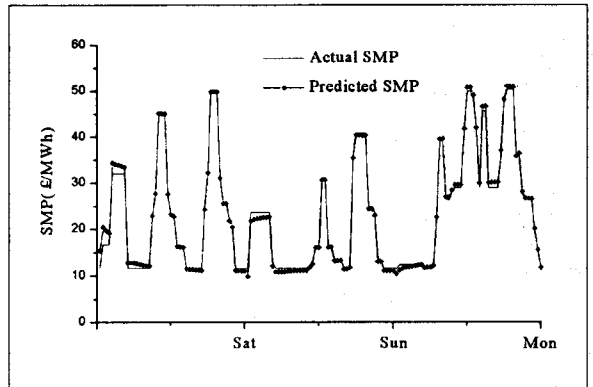


Fig.6 Comparison of the actual and the forecasted SMP for weekend days in the Winter (1.1997)

## 5. 결 론

본 연구에서는 전력산업구조 개편에 따른 새로운 발전 시스템 한계원가(SMP) 예측 기법을 제안하였다. 웨이브릿 변환을 이용하여 과거 SMP 곡선을 level 5까지 고주파와 저주파로 분해하고 SMP에 많은 영향을 미치는 부하와의 관계를 통해 회귀계수를 도출한 후 이 계수에 일의 예측된 부하를 적용함으로써 SMP를 예측하였다. 1997년 영국 전력회사의 과거 실측 SMP 및 예측된 전력수요 데이터를 이용하여 SMP를 예측한 결과 level 5에서 평일 6.61%, 주말 7.46% 정도의 예측 오차율을 보였으며, SMP 예측에 있어 웨이브릿 변환을 이용한 기법이 대안이 될 수 있음을 입증하였다. 그리고 특수일에 대한 SMP 예측은 연구 중에 있다.

본 연구는 한국과학기술원 지정 참여대학 공작기계기술 연구센터의 일부지원에 의한 것임

## (참 고 문 헌)

- [1] 김영준, "전력산업의 경쟁체제 도입", 전기학회지, 48권 1호, 1999
- [2] 김발호, 박종배 "전력산업 구조개편하에서의 전력계통운용 형태", 하계학술대회 논문집, 1999
- [3] Wang, A; Ramsay, B "Prediction of System Marginal Price in the UK Power Pool Using Neural Networks", Proceedings of the 1997 International Conference on Neural Networks, Houston USA, 1997
- [4] S. Santoso and E.J. Powers, "Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis," IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 11, No. 2, 1996
- [5] I.K. Yu and Y H Song, "Development of a Novel Adaptive Single-pole Autoreclosure Schemes for EHV Transmission Systems using Wavelet Transform Analysis," Electric Power System Research, Vol. 47, No. 1, 1998
- [6] I.K. Yu and Y H Song, "Wavelet Analysis and Neural Network based Adaptive Single-pole Autoreclosure Scheme for EHV Transmission Systems," International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 20, No. 7, 1998
- [7] 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