

## 최대수요관리를 위한 코호넨 신경회로망과 웨이브릿 변환을 이용한 산업체 부하예측

김창일\*

유인근\*\*

\* 남해전문대학    \*\* 창원대학교

### A novel Kohonen neural network and wavelet transform based approach to Industrial load forecasting for peak demand control

Chang-II Kim\*

In-Keun Yu\*\*

\* Namhae Provincial College    \*\* Changwon National University

**Abstract** - This paper presents Kohonen neural network and wavelet transform analysis based technique for industrial peak load forecasting for the purpose of peak demand control. Firstly, one year of historical load data were sorted and clustered into several groups using Kohonen neural network and then wavelet transforms are adopted using the Biorthogonal mother wavelet in order to forecast the peak load of one hour ahead. The 5-level decomposition of the daily industrial load curve is implemented to consider the weather sensitive component of loads effectively. The wavelet coefficients associated with certain frequency and time localization is adjusted using the conventional multiple regression method and the components are reconstructed to predict the final loads through a six-scale synthesis technique.

### 1. 서 론

전력수요는 그 동안 경제성장과 국민생활수준의 향상에 따라 급격하게 증가해 왔으며, Peak 수요공급을 위하여 매년 막대한 발전소의 건설비용을 부담하게 되었고, 이에 따른 경과지 및 전원입지 확보 등 전력사업환경은 날로 열악해지고 있는 실정이다. 따라서 안정적 전력공급과 경제적 전력사용을 위하여 최대 전력관리 시스템 구성 및 운용 최적화를 통한 Peak 부하관리방안이 요청되고 있다. 수용가의 최대 전력관리는 수요시한을 15분 주기로 임의시간의 예측전력을 연산하여 목표전력 설정 Peak를 초과할 것으로 예상되어질 때, 설정해 놓은 우선순위에 따라 예측전력이 목표전력 이하가 되도록 단계적으로 부하를 차단하여 Peak 상승을 억제하는 것으로서 최대전력관리 측면에서 정확한 부하예측은 중요한 요소이다[1]. 본 연구에서는 이러한 수용가 최대 전력관리의 일환으로 산업체 부하 중 그 변동이 가장 심하게 나타나는 철강회사에 대하여 코호넨 신경회로망[2]과 웨이브릿 변환[3,4]을 이용하여 한 시간 후의 부하를 예측하는 새로운 기법을 제안하였다. 철강회사의 경우 휴가, 특수일 등에 따라 부하는 같은 요일이라 하더라도 각 시간대 별로 많은 차이를 보이고 있기 때문에 달력에 의존하여 과거 실측부하를 입력하고 웨이브릿 변환을 적용하여 부하를 예측할 경우 우수한 예측 결과를 기대하기 어렵다. 따라서 최대 부하관리를 목적으로 코호넨 신경회로망을 이용하여 부하를 두 단계로 두 번 분류하여 분류된 부하 중 부하의 크기가 낮은 그룹은 버리고 남은 부하군을 다시 4개의 그룹으로 클러스터링 하여 각 시간대별 평균부하를 구하였다. 그리고 예측일의 1시간전 부하와 각 그룹의 동시간대 부하를 비교하여 부하의 크기가 가장 유사한 그룹을 선택하여 이전 20일의 부하 데이터를 입력하고, Biorthogonal 1.3 마더 웨이브릿에 대해 웨이브릿 변환을 적용하여 일간 부하를 예측하였으며, 1999년 한 철강회사의 실측부하 데이터를 이용하여 제안된 기법의 효용성을 입증하였다.

### 2. 웨이브릿 변환 이론

본 연구에서 사용한 Wavelet 변환식은 다음과 같다.  $S(t)$ 를 분석해야 할 시간영역의 신호. 즉 과거 부하실적이 라 하면  $S(t)$ 의 Dyadic wavelet 변환은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$DWT_{\phi} S(m, n) = 2^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi^*(\frac{t-n2^{-m}}{2^m}) dt \quad (1)$$

여기서 \* 표시는 복소공액을 나타내며,  $m$ 과  $n$ 은 각각 scale과 time-shift를 나타내는 파라미터이고,  $\psi(t)$ 는 주어진 마더 웨이브릿으로

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

를 만족한다. 이산 웨이브릿 변환은 신호의 분해와 합성을 위한 저대역 및 고대역 필터의 개념으로 확장될 수 있으며, 필터뱅크는 분해시 입력을 두 개의 채널로 나누고 합성시 반대의 과정을 수행한다. 본 연구에서는 Dyadic 웨이브릿 변환을 통해 얻어진 웨이브릿 계수를 활용하여 단기 부하예측 모형을 도출하였으며, 주요 마더 웨이브릿 중에서 가장 적합한 마더 웨이브릿을 선정하였다.

### 3. 코호넨 신경회로망

코호넨 신경회로망은 목적 값이 주어지지 않아도 자기 구성 맵(Self-organizing map)에 의해 스스로 학습하는 자율학습 알고리즘으로서 입력층과 출력층(경쟁층)으로 구성되어 있다. 이때 입력벡터는 크기가 일정하도록 정규화하여야 하며, 연결강도는 적절하게 초기화되어야 한다. 신경망의 학습은 주어진 입력에 대하여 가장 큰 값을 출력하는 노드를 중심으로 이루어지며, 경쟁학습에서 승리한 노드를 중심으로 가장 가까운 거리의 일부 노드만이 학습되어 진다.

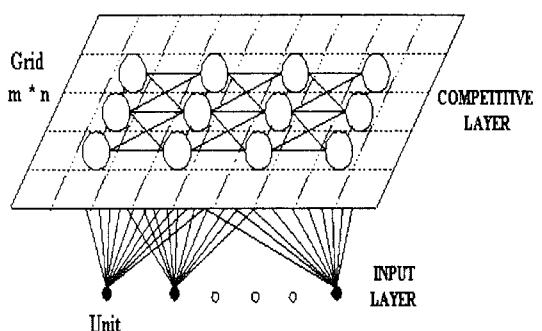


Fig.1 Kohonen feature map

연결강도 벡터와 입력벡터의 근접성은 식 (3)과 같이 유 클리디안 거리를 이용하여 가장 최소값을 가지는 출력노드를 선택함으로써 결정된다.

$$D_j = \sum_{i=0}^{N-1} (X_i(t) - W_{ij}(t))^2 \quad (3)$$

승리노드 선택 후 이 노드의 학습은 식 (4)와 같이 원래의 연결강도 벡터에 연결강도와 입력벡터의 차를 수정함으로써 이루어진다.

$$W(t+1) = W(t) + \alpha(t)[X(t) - W(t)] \quad (4)$$

여기서  $\alpha(t)$ 는 학습률,  $W(t)$ 는 연결강도 그리고  $X(t)$ 는 입력값을 의미한다.

#### 4. 사례연구

본 연구에서 제안된 부하예측 기법의 효용성을 입증하기 위하여 1999년 한 철강회사의 과거실적 부하 및 온도데이터를 이용하였으며, 코호넨 신경회로망을 이용하여 부하를 분류하고 분류된 부하와 과거 실적 온도를 적용하여 중회귀 모델을 통해 회귀계수를 구한 후 예측된 고주파 성분과 예측시간 전(前)시간대(20일치)의 저주파 평균치를 합성하여 부하를 예측하였다. 그림 2는 본 연구에서 제안한 코호넨 신경회로망과 웨이브릿 변환의 복합 모델을 이용한 산업체 부하예측의 순서도를 보여주고 있다.

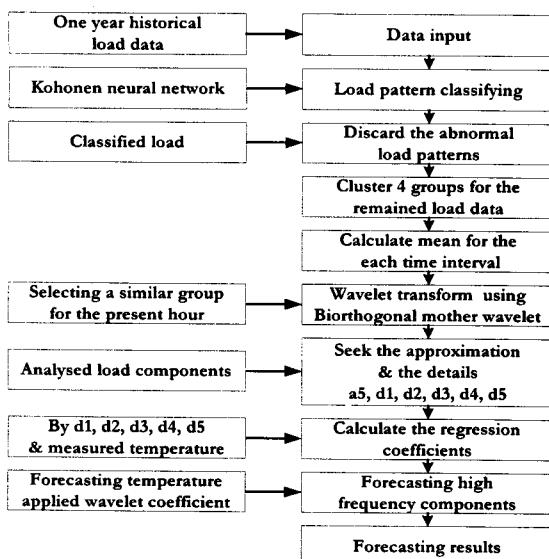


Fig. 2 Flow of the proposed industrial load forecasting method

그림 3은 수용가 최대전력관리의 원리를 보여주고 있다. 여기서  $Q_u$ ,  $Q_s$ ,  $Q_r$ ,  $Q_t$ 는 예측전력량, 목표전력량, 남은 전력량 그리고 현시점까지의 소비전력량을 나타낸다. 또한  $D_i$ ,  $D_r$ 는 각각 이상 전력량선과 소비 전력량선을 나타내고 있다. 그리고  $t$ 는 경과시간을  $T$ 는 디멘드 시한을 의미한다. 그림 4는 1999년 연간 부하에 대해 코호넨 신경회로망을 이용한 첫 번째 클러스터링 결과를 나타내고 있다. 클러스터링의 목적은 각 시간대별 최대부하예측을 위하여 부하데이터를 몇 개의 그룹으로 분류하여 이러한 그룹들을 예측기준으로 사용하는 것이며, 그림 4에서 연간부하 중 각 88일의 부하가 버려졌음을 알 수 있다. 이것은 산업체 부하예측의 목적이 최대 부하관리에 있기

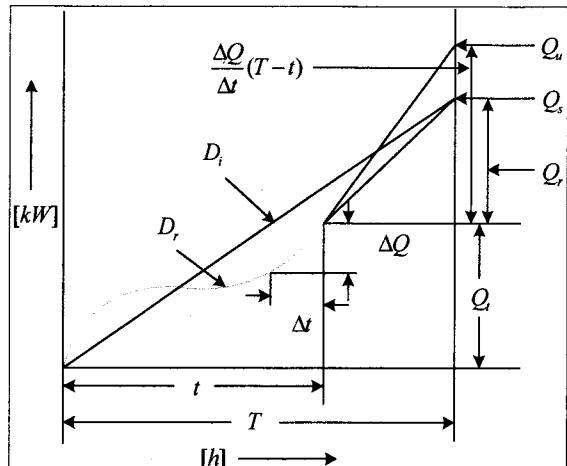
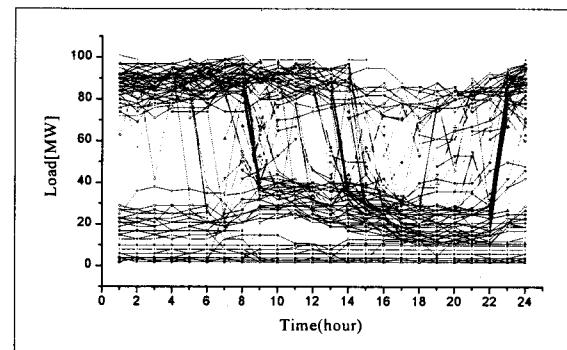


Fig. 3 Basic concept of peak demand control

때문에 코호넨 신경회로망을 이용하여 먼저 두 번의 클러스터링을 통하여 약 40%에 해당하는 특이 부하 패턴을 미리 버린것이다. 그림 5에서 그림 8은 연간 부하 중 버려지고 남은 약 60%의 정상 부하를 4개의 그룹으로 나누어 도시한 것이다. 여기서 최대 부하관리를 위한 기준부하 패턴이 구하여졌음을 알 수 있다. 표 1과 2는 임의로 선정한 각 계절별 일간 부하예측 결과와 예측 시간대별로 선택된 그룹(그림 5 ~ 그림 8 중)을 보여주고 있다. 평균 예측오차율은 2.8[%]로 비교적 우수하게 나타났으며, 제안된 기법의 효용성을 입증하였다. 그림 9는 1999년 10월 28일의 부하 실측치와 예측치를 나타내고 있다.



(the first clustering- 88days)]  
Fig. 4 The discarded load patterns

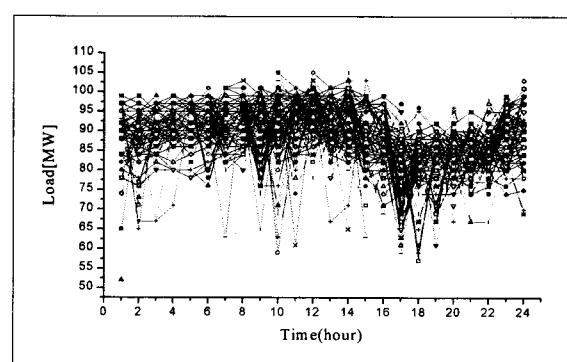


Fig. 5 The clustering group-1(104days)

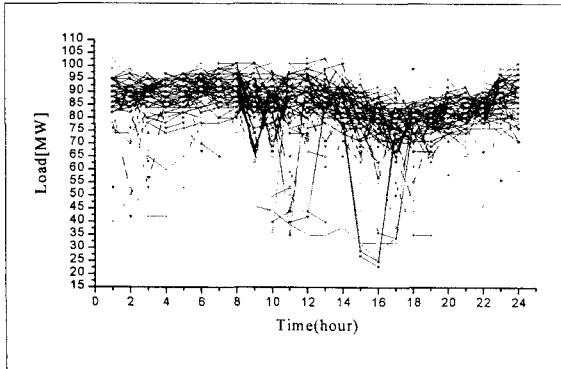


Fig. 6 The clustering group-2(72days)

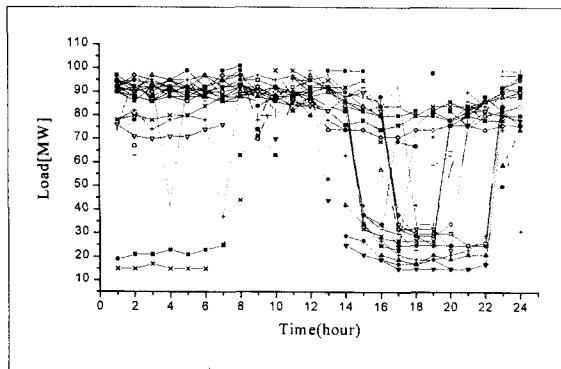


Fig. 7 The clustering group-3(22days)

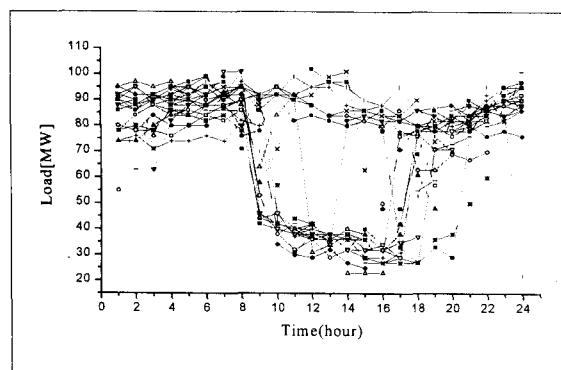


Fig. 8 The clustering group-4(21days)

Table 1 Forecasting errors summary (%)

Date/Time	10am	15pm	21pm	Mean
13. May	2.6	1.8	3.1	2.5
8. Jun.	4.4	0.3	3.2	2.6
14. Jul.	3.6	2.6	1.2	2.5
19. Aug.	1.7	7.5	2.3	3.8
17. Sept.	3.2	2.5	0.5	2.1
9. Oct.	3.0	0.2	4.4	2.5
13. Nov.	4.7	3.8	2.6	3.7
Mean	3.3	2.7	2.5	2.8

Table 2 Groups used

Date/Time	10am	15pm	21pm
13. May	B	B	A
8. Jun.	A	A	A
14. Jul.	A	A	B
19. Aug.	A	D	D
17. Sept.	B	A	D
9. Oct.	A	A	A
13. Nov.	C	A	B

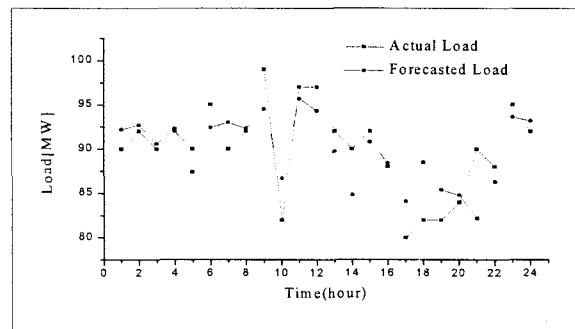


Fig. 9 Comparison of the actual and the forecasted load for 1-day (Oct. 28, 1999)

## 5. 결 론

본 연구에서는 코호넨 신경회로망과 웨이브릿 변환을 이용하여 수용가 최대부하관리를 위한 새로운 산업체 부하예측 기법을 제안하였다. 먼저 코호넨 신경회로망을 이용하여 연간 실적부하를 몇 개의 그룹으로 클러스터링 하였으며, 분류된 부하를 입력하여 Biorthogonal 1.3 마더 웨이브릿으로 1시간 전 부하를 예측하였다. 또한 다른 산업체에 의해 냉방부하가 높은 철강회사의 특성을 고려하여 중회귀 모델을 이용하여 온도 성분을 효과적으로 반영하기 위하여 level 5까지 부하 데이터를 다단분해 하였다. 임의로 선정한 예측일에 대해 평균 2.8[%]의 비교적 우수한 예측결과를 도출하였으며 제안된 기법의 효용성을 입증하였다. 향후 실시간 최대 부하관리를 위해 15분이나 30분 단위의 부하를 예측하기 위한 연구가 이루어져야 할 것으로 보여진다.

본 연구는 2000년 에너지절약 학술진흥사업과 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 일부 지원에 의한 것임

## (참 고 문 헌)

- [1] 김인수, "최대전력 관리장치 보급방안 연구", 전력기술인, 1998
- [2] T. Kohonen, E. Oja, O. Simula, A. Visa, and J. Kangas, "Engineering application of the self-organizing map", Proc. IEEE, Vol. 84, No. 10, pp. 1358-1384, 1996
- [3] I.K. Yu, C.I. Kim and Y H Song, "A novel short-term load forecasting technique using wavelet transform analysis," accepted by Electric Machines and Power Systems, 1998
- [4] C. I. Kim, I.K. Yu and Y H Song, "A novel prediction technique for system marginal price using wavelet transform analysis", accepted by System Science special issue on power market and deregulation, 1999