

카오스 퍼지 알고리즘을 이용한 전력수요량 예측시스템 설계

추연규*, 이채동**, 김봉기*, 이광석*, 김현덕*

*진주산업대학교, **한국전력

A Design on Supplied Forecasting System of Electrical Power using Chaos Fuzzy Algorithm

Yeon-Gyu Choo*, Chae-Dong Lee**, Bong-Ki Kim*, Kwang-Seak Lee* Hyun-duk Kim**

*Jinu National University **Korea Electric Power Corporation

요약

최근들어 전력의 안정적인 공급과 계통의 안전한 운용 등을 위해서 신뢰성 높은 전력수요예측의 필요성이 점차 증가하고 있다. 본 논문에서는 기존에 제시된 예측시스템보다 정확도가 높은 전력수요예측을 위해 카오스 이론과 퍼지 보상 알고리즘을 이용하여 전력수요량 예측시스템을 제안한다. 최대수요 전력 시계열 데이터를 수집하여 카오스 성질을 분석하여 이를 바탕으로 퍼지 알고리즘을 적용한 전력수요량 예측 시스템을 구성하고, 이 시스템을 통하여 얻어진 결과와 실제 데이터를 비교함으로써 시스템의 성능을 평가한다

키워드

Chaos Fuzzy Algorithm, supplied forecasting, electrical power, chaotic character

1. 서론

현대 산업 사회의 발전과 국민 생활의 향상을 통해서 전력은 생산, 소비활동의 중요한 요소로 인식되고 있다. 신뢰성이 높은 전력의 안정적인 공급과 계통의 안전한 운용 그리고, 운용 비용의 절감과 같은 실리적 측면에서부터 자원이나 환경 보존에 이르는 다양한 것까지 전력수요 예측의 중요성 또한 증대되고 있다.^[1]

지금까지의 전력수요 예측 기법은 크게 시계열 분석방법, 회귀분석법과 전문가 시스템의 사용 및 신경회로망을 이용한 분석방법 등으로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 카오스 이론을 공학적으로 응용하기 위해서 대상 시스템이 카오스 시스템인지 비선형 시스템인지를 규명하고, 출력신호를 모니터링하여 시계열 형태로 취하고, 카오스 성질 유무를 판단하여, 정량적 방법 및 정성적 방법으로 분석하여 이의 해석을 통해 정확한 예측을 하였다. 예측의 정밀도에 따라서 전력을 안정적이고, 효율적으로 공급함에 따른 경제적 효과를 기대할 수 있다.^{[2][3][4]}

자연현상이나 예측하지 못하는 여러 요인들에 의해서 발생하는 비선형 시스템들은 직선적 예측이 불가능하여 정확한 수요예측이 불가능하다. 그러나, 비선형적 특성 가운데 카오스 성질을 파악하여 카오스 시스템인 경우에는 이를 적극적으로 제어대상으로 활용하면 단기적인 예측에 있어서 만족스러운 결과를 얻을 수 있다.^{[7][8][9][10]}

본 논문에서는 최대수요 전력 시계열 데이터를

수집하여 카오스 성질을 분석하여 이를 바탕으로 퍼지 알고리즘을 적용한 전력수요량 예측 시스템을 구성하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 예측 시스템을 통하여 얻어진 결과와 실제 데이터를 비교하고, 기존 예측시스템과 성능을 비교하여 제안된 시스템의 우수성을 확인한다.

II. 전력 수요량의 카오스 신호분석

본 논문에 사용한 시계열 데이터는 경상남도에 공급되는 전력량을 측정된 것으로 2004년 1월부터 12월까지의 시간별 측정치를 가지고 분석하였다. 우선 전력수요의 비선형적인 특성을 카오스의 정량 및 정성분석 방법을 통하여 단기예측의 가능성을 확인하고 예측모델에 적용되는 퍼지 적용 알고리즘 설계를 위한 자료로 활용한다. 그림 1에 나타난 시계열 데이터는 10여일 동안에 측정된 데이터로서 주기성을 나타내는 부분은 생산현장의 전력수요가 비교적 안정적인 주중을 나타내며 상대적으로 낮은 부분은 주말과 같이 생산현장의 전력수요 감소에 기인한다.

카오스 성질을 가지는 비선형 시스템을 분석하기 위해 사용되는 정량적 분석도구로서 보편적으로 사용하는 상관차원에 대해서 고려한다. 이 개념은 케적상의 임의 두점이 반경 r 이내에 근접해 있을 확률을 나타내는 상관적분(correlation integral) $C(r)$ 과 반경 간의 기울기로서 나타내는 곳이다. 상관차원은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$v = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r}$$

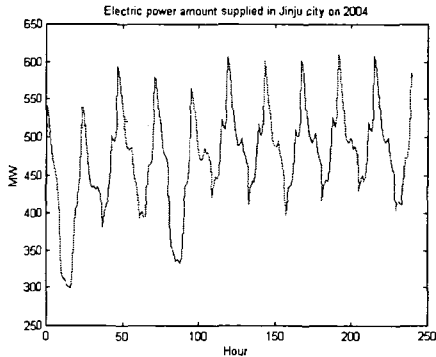


그림 1. 2004년 경상남도에 공급된 전력 수요 시계열 데이터

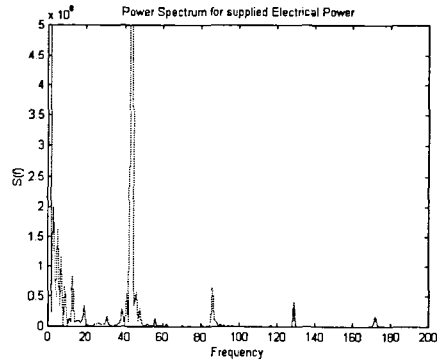


그림 2. 시계열 데이터의 파워 스펙트럼

여기서 r 은 어트랙터 궤적의 임의의 공간에 있어서 반경을 의미하고 상관적분 $C(r)$ 은 다시 식과 같이 주어진다.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - |x_i - x_j|)$$

여기서 $H(t)$ 는 임계함수(heavyside function)로서 다음 식과 같은 성질을 가진다.

$$H(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases}$$

즉, $C(r)$ 는 서로 다른 x_i 와 x_j 의 차이의 절대치가 r 보다 작은 경우 수의 합이다. 만일 r 의 값이 너무 크면 $C(r)$ 가 1이 되어 $v=0$ 이 되나 작은 r 에 대해서는 다음 식과 같은 식이 성립한다.

$$C(r) = \text{상수} \times r^v$$

한편 어트랙터의 재구성과 관련된 Takens 이론[8]에 의해서 아주 작은 r 에 대해서는 매입차원과 같은 값을 가진다. 본 논문에서는 상관차원을 정밀하게 계산하기 위해서 장기간에 걸쳐 수집된 시계열 신호를 사용하였고 매입차원을 1부터 6까지 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 본 논문에서 사용하는 시계열 데이터는 잡음적인 성질보다는 카오스적인 성질을 강하게 나타냄을 알 수 있었다.

표 1. 매입차원 변화에 따른 시계열 신호의 상관차원

구분	1	2	3	4	5	6
Power	0.9416	1.8254	1.9189	1.4878	1.1914	0.8620

정성적 분석의 대표적 방법으로는 주파수 평면상의 에너지 분포를 통해서 카오스적인 성질을 분석하는 파워 스펙트럼과 자기상관함수가 있다. 그림 2는 본 논문에서 사용한 시계열 데이터의 파워 스펙트럼을 나타낸 것이다. 순수한 잡음의 경우 주파수 전구간에 걸쳐 에너지가 분포되나 본 논문에서 사용한 시계열 데이터는 좁은 영역에서 에너지가 분포됨을 알 수 있다.

잡음 신호와 카오스 신호를 자기상관함수를 통해서 비교해볼 때 구분이 명확하지 않아서 신호를 구별하는데 어려움이 있으나 자기상관함수의 평균값을 비교해보면 카오스 신호가 큰 값을 가진다. 본 논문에서 시뮬레이션 결과에서 본 논문에서 사용한 시계열 데이터의 자기상관함수의 평균값이 큰 값을 가짐을 확인하였다. 본 논문에서 제안된 시스템을 적용하기 이전 단계로서, 시뮬레이션에 적용되는 시계열 모델의 카오스 신호 분석을 통해 카오스적인 성질의 존재유무를 우선적으로 판단하고 단기 예측 시스템의 적용 가능성을 확인해야 한다. 만일 카오스 성질을 가진 시스템인 경우 최적의 전력수요 변화율을 획득하기 위한 퍼지 알고리즘을 단기예측에 적용한다. 앞에서 언급한 위상공간 분석, 정량적 분석방법인 매입차원에 의한 상관적분 분석, 정성적 분석방법인 파워 스펙트럼과 자기상관 함수 분석을 통해서 수집된 시계열 모델을 분석한 결과 주기적인 성질을 부분적으로 보여주는 카오스 신호로 판명되었다.

III. 전력 수요량 예측시스템 설계

기존에 제안된 카오스 퍼지 알고리즘을 이용한 전력수요 예측은 단순히 퍼지 알고리즘만을 이용하여 획득한 최대전력변화율을 이용하여 예측하는 방식으로 예측 및 실제데이터의 오차가 다소 크게 나타났다.

본 논문에서 제안하는 카오스 퍼지 알고리즘을 사용한 예측시스템은 퍼지 알고리즘에 의해서 산출되는 최대전력수요 변화율과 예측 및 실제 데이터간 오차를 보상하여 오차를 최소화하는 알고리즘을 적용하였다. 최소화된 오차를 발생하는 보상치를 선택하여 시뮬레이션에 적용하여 기존 시스템과 성능을 비교평가한다. 제안된 시스템의 기본적인 구조는 그림 3과 같이 구성된다.

전력수요 예측시스템의 입력으로 사용되는 데이터는 최대 소요전력 측정치와 일기, 기온, 기온 증가분과 같은 기후 관련 데이터들이다. 입력으로 사용된 최대전력수요는 매시간 측정된 데이터이며, 기후 관련 데이터들은 일반적인 기후 성향을 고려하였으며, 다음과 같은 퍼지규칙을 통해서 얻어진다.

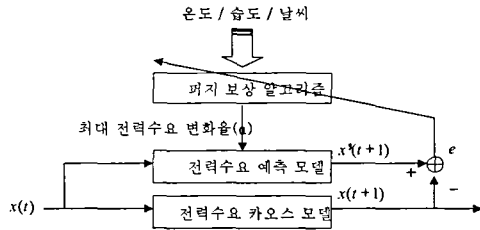


그림 3. 제안된 예측시스템 구성도

If 날씨가 매우 춥고 날씨의 변화가 없고 습도가 건조하면, then 전력의 변화는 매우 크다.

표 2는 날씨와 날씨 변화율을 이용하여 퍼지 알고리즘에 입력된 퍼지규칙이며, 소속함수는 그림 4와 같이 설계하였다. 퍼지추론방법은 MAX-MIN 연산과 싱글톤의 비퍼지화 방법을 이용하였다.

표 2. 퍼지 규칙

$\Delta\omega \backslash \omega$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZO
NS	NB	NS	NS	ZO	PS
ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
PS	NS	ZO	PS	PS	PB
PB	ZO	PB	PB	PB	PB

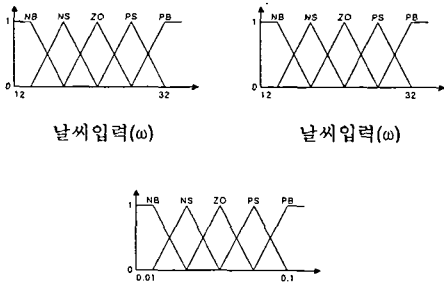


그림 4. 소속함수

- w(날씨) PB:매우덥다./PS:약간덥다./ZO:보통이다.
NS:춥다./NB:매우 춥다.
- Δw(날씨변화) PB:매우심하다./PS:조금있다./ZO:거의없다.
NS:조금있다./NB:매우심하다.
- α (전력변화율) PB:매우심하다./PS:심하다./ZO:약간있다.
NS:조금있다./NB:거의없다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 제안된 시스템은 예측 및 실제 데이터간의 오차가 다소 크게 나타났던 기존 제안된 카오스 퍼지 알고리즘을 개선하여 퍼지 알고리즘에 의

해 생성된 최대전력 변화율을 예측 및 실제 데이터 오차를 보상하는 구조로 되어있다.

본 논문에서 제안한 퍼지 보상 알고리즘을 이용한 전력수요량 단기예측 시스템을 시뮬레이션하기 위해 수집한 시계열 데이터는 2004년 1월부터 2004년 12월까지 경상남도에서 공급되는 시간별 전력량을 측정된 것을 사용하였다.

최대전력수요 변화율은 온도에 영향을 줄 수 있는 다양한 입력 파라미터를 고려하고 정확한 데이터를 수집하여 적용하는 경우 기존 모델에 비해 정밀한 결과를 얻을 수 있으므로 전력수요의 단기예측에 적합하다고 할 수 있다. 본 시뮬레이션에서 고려되는 주요 입력 파라미터는 전력 수요량 및 통상적인 기후 데이터에 국한되어 있다.

시뮬레이션 결과를 살펴보면 보상 알고리즘을 적용하지 않은 결과와 적용한 결과 사이의 명백한 구분이 가능하며, 보상치를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에는 계절과 상관없이 상대적으로 큰 차이를 나타내었다.

그림 5, 6은 보상치 적용 여부에 따른 2004년도 3월중 실제 전력 수요량과 예측 수요량의 일부를 나타낸 것이다. 퍼지 보상 알고리즘에 의해 보상치를 적용했을 경우, 적용하지 않은 경우보다도 더 안정적이며 변동이 적은 것으로 나타났다.

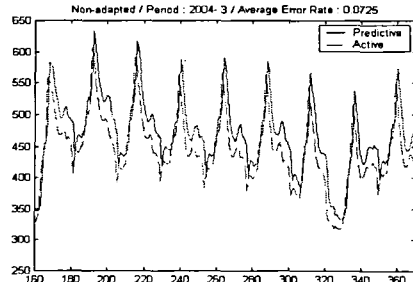


그림 5. 2004년 3월 실제 전력수요 및 예측결과 (보상을 고려하지 않은 경우)

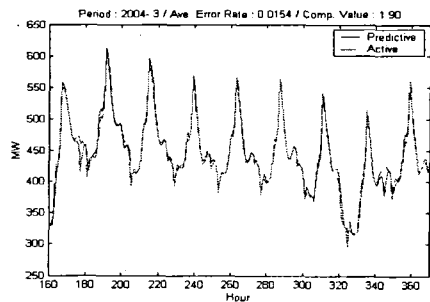


그림 6. 2004년 3월 실제 전력수요 및 예측결과 (보상을 고려한 경우)

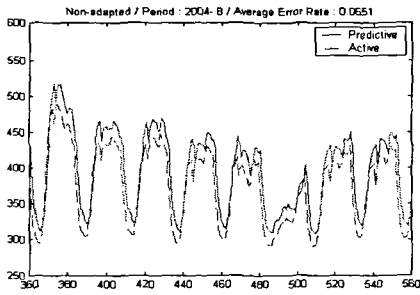


그림 7. 2004년 8월 실제 전력수요 및 예측결과 (보상을 고려하지 않은 경우)

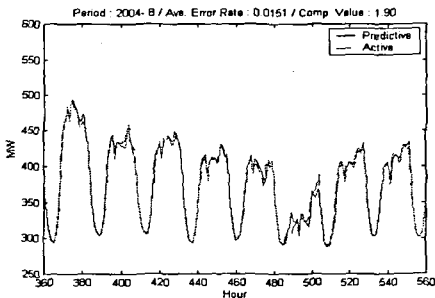


그림 8. 2004년 8월 실제 전력수요 및 예측결과 (보상을 고려한 경우)

그림 7, 8은 2004년도 8월중 실제 전력 수요량과 예측 수요량의 일부를 나타낸 것으로, 실제 수용량을 보면 계절의 특성을 알 수 있는데 냉방기의 전력 수요가 가장 많은 오후 2시경 최댓치에 도달되며 활동인구가 거의 없는 오전 3시경 최저치에 도달한다. 동일한 패턴을 가지지는 않으나 1주일의 주기로 유사한 시계열을 나타낸다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 보상치를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우보다도 오차가 적음을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 시계열 데이터의 입력으로부터 카오스 성질을 분석, 퍼지 알고리즘으로부터 추론되어진 제어값에 의해 전력수요량과 특정 플랜트의 예측을 수행하는 보상 알고리즘을 이용한 예측시스템을 제안하였다. 제안된 카오스 퍼지 알고리즘을 이용한 예측시스템을 전력수요와 같은 특정 플랜트에 적용하여 우수성을 확인하였다.

계절별로 구분된 특정 지역의 단기 전력 수요량 시계열 데이터를 제안된 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 수행하고 실제 데이터와 비교 평가한 결과, 예측된 데이터와 실제 데이터간의 전체 평균 예측오차는 6.86%로, 보상치를 적용한 경우 1.59%로 나타났다. 이러한 오차는 고려된 입력 파라미터중 기후 관련 데이터가 정확하지 않고 통상적 데이터를 사용하여 발생한 것으로 판단되며, 다음과 같은 결론을

얻었다.

첫째, 보상치 적용여부는 예측 및 실제 데이터간 오차에 많은 영향을 주었으며, 적절한 보상치 선택으로 오차를 최소화할 수 있었다. 둘째, 간헐적으로 발생한 큰 오차는 연휴와 같은 외부적인 요인과 급격한 온도 변화와 같은 환경적인 요인에 의해서 나타난 일시적인 현상으로 판단된다. 셋째, 퍼지 알고리즘에 사용된 입력 파라미터중 기후에 관련된 온도, 습도, 날씨와 같은 데이터들이 정확하게 입력되지 않아 시뮬레이션 결과 다소 높은 오차를 발생시킨 것으로 판단된다.

그리고, 1년중 3월, 8월, 10월에 평균 오차가 비교적 크게 나타났는데 이는 카오스적 성질을 가지는 전력수요량이 기온변화와 같은 주변환경에 민감한 의존성을 가짐을 보여준다.

본 논문에 제안된 시스템으로 실시한 시뮬레이션에서 발생한 예측의 오차를 줄이기 위해서는 다양한 기후 및 온도 관련 데이터의 수집, 주거 및 산업환경 변화 등의 다양한 파라미터가 고려되어야 하며, 학습이 가능한 신경망을 도입하여 적용시킴으로써 보다 개선된 전력수요량의 단기예측이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] C.E. Asbury, "Weather load model for electric demand and energy forecasting", IEEE Trans. on Power Appr. and Sys., vol. PAS-94, p.1111-1116, 1975
- [2] 村田純一, 三宅尚志, 相良節夫, "休日と季節の影響を表すモデルによる週間電力負荷予測", 電気學會 全國大會, 1093, 1989.
- [3] 灰田 武藏, "變數變換を用いた最大需要 豫測手法", 電気學會 電力技術 研究會 資料, PE-93- 24, 1993.
- [4] 中村 繁, 北村幸房, "氣象データ マニュアル", 丸善, 1987.
- [5] Kazuyuki Aihara & Ryuji Tokunaga, "Kaosu Ouyousenryaku", Ohmsha, Tokyo, 1993
- [6] 유관식, 추연규, 김현덕, 신위재, "카오스 퍼지 제어를 이용한 단기 부하 예측에 관한 연구", 추계 학술 대회 논문집, 한국신호처리시스템학회, pp.197-200, 2000.
- [7] Steven H.Strogatz, "Nonlinear Dynamics and Chaos", Addison Wesley, Massachusetts, 1994
- [8] Heinz-otto Peitgen, Hartmut Jürgens, Dietmar Saupe, "Chaos and Fractals, New frontiers of science", Springer-Verlag, 1992
- [9] Edward Ott., "Chaos in Dynamical Systems", Cambridge University Press, 1993
- [10] Jong Hyun Kim and John Stringer, "Applied Chaos", A Wiley-Interscience Publication, 1992