
TISEAN 패키지를 이용한 전력 수요 시계열 분석

추연규* · 박재현*

*경남과학기술대학교

Time Series Analysis of Maximum Electrical Power using the TISEAN package

Yeon-gyu Choo* · Jae-hyeon Park*

*Gyeongnam National University of Science and Technology

E-mail : ygchoo@gntech.ac.kr

요 약

비선형 동력학 시스템으로 판단되는 전력수요의 시계열 데이터를 분석하고 예측하기 위해 다양한 방법과 알고리즘이 적용되어져 왔다. 본 논문에서는 복잡한 비선형 시스템의 특성을 파악하기 위해 비선형 시계열 분석을 효과적으로 수행할 수 있는 각종 알고리즘과 코드를 패키지로 제공하는 TISEAN을 이용하여 전력수요 시계열 데이터가 가지고 있는 카오스 성질을 분석하였다.

ABSTRACT

On this paper, various analysis methods has been applied to analyze and forecast the maximum electrical power needs, which is regarded as a nonlinear dynamic system. To understand the characteristic of complicated system, we used TISEAN package and evaluate the chaotic characteristic of time series obtained from electrical power demand using it. TISEAN package offers various algorithms and codes to analyze time series of nonlinear system effectively.

키워드

Chaos, Lyapunov Exponent, Time Series, Electrical Power Demand

1. 서 론

결정론적 동력학 시스템은 예측가능한 선형시스템으로서 규칙참조에 의해 현재 상태에 따라 다가오는 미래의 상태를 대응할 수 있으나 카오스 시스템은 연속성을 갖지 않고 현재 상태에 따른 미래 상태의 예측이 어려운 비선형 시스템에 기초를 두고 있다.[1] 이러한 카오스 현상에 대한 연구는 많은 연구를 통해 수학, 물리, 공학적인 해석이 이루어지고 있으나 응용가능성과 예측과 관련하여 더 많은 연구가 진행되고 있다. 카오스와 관련한 연구와 관련된 관심사항중 첫째는 카오스를 통해 복잡한 동력학 특성을 가지는 시스템의 이해가 가능한 것인가이고, 둘째는 카오스를 이용해 비선형 시스템의 예측과 제어가 가능한가라는 것이다. 시스템의 특성에 기인하는 시간적

변화는 시계열 기록을 통해서 측정될 수 있으므로 비선형 시계열 분석방법은 앞서 언급한 두가지 문제점을 해결하기 위한 핵심이다.[2] 카오스 성질을 가지는 비선형 시스템은 초기상태의 아주 작은 불확실성도 계속 증폭되면 특정시간 이후에는 급격한 차이를 보인다는 초기조건에 민감한 의존성에 기인한다. 또한 잡음신호와 유사한 스펙트럼이 지속적으로 결합된 현상을 보이며 카오스 특징에 의해 혼합된 동력학적인 어트랙터 (Attractor)가 모든 위상공간에서 관찰된다는 것도 특징이다.[1] 특정 비선형 동력학 시스템이 카오스 성질을 가지고 있는지 확인하기 위해서는 시스템으로부터 획득한 계열 데이터를 다양한 정성 및 정량적인 분석방법을 통해서 확인하는 것이다. 본 논문에서는 생산과 소비가 동시에 이루어지는 전력공급시스템이 카오스 성질을 가지고 있는

지 TISEAN (acronym for Time Series ANalysis) 패키지에서 제공하는 다양한 분석방법을 이용하여 판단하고자 한다. 시간별로 획득된 전력수요 시계열 데이터에 대해 매입차원을 달리하면서 위상공간에 표시한 어트랙터, 상관차원(correlation dimension), 최대 Lyapunov 지수 등의 분석결과를 통해 카오스 성질을 가지고 있는지 확인한다.

II. 본 론

2.1. 카오스 신호 분석

환경보존 및 에너지 절약 등과 밀접한 관련이 있는 전력공급과 수요예측은 산업사회 발전과 생활방식의 향상에 따라 중요성이 점차 강조되고 있다.[3] 전력수요의 예측은 생산과 소비가 동시에 이루어지는 소비특징으로 인하여 실시간으로 변화하는 전력수요에 능동적으로 대응하고 안정적인 전력공급이 이루어지도록 정확한 예측에 따른 운용이 필요하다. 전력수요의 정확한 예측을 위해서는 카오스 성질을 가지고 비선형 동력학 시스템이 가지는 예측 가능성을 판단하기 위해 시계열 데이터를 이용한 분석이 선행되어야 한다.

2.2. 어트랙터 재구성

다차원 동력학시스템의 시계열 데이터로부터 다양한 종류의 동력학 시스템을 규명하거나 잡음을 포함하는 기이한 어트랙터의 존재여부를 수학적으로 접근하기 위해 1980년대 Takens는 어트랙터 재구성과 관련된 수학적인 기초를 제공하였다.[3] 기이한 어트랙터를 제공하는 시스템에서 이산 시간적으로 상태변수를 시계열 데이터 형태로 작성한 뒤 시간간격을 τ 로 하는 벡터를 식 (1)과 같이 작성한다.

$$z_0 = z(0), z_1 = z(\tau), z_2 = z(2\tau), \dots \quad (1)$$

다음 시간지연 T 를 선택하고 식 (2)와 같은 시계열 데이터의 벡터를 작성한다.

$$\begin{pmatrix} z(0), & z(T), & z(2T) \\ z(\tau), & z(\tau+T), & z(\tau+2T) \\ \vdots & & \\ z(k\tau), & z(k\tau+T), & z(k\tau+2T) \end{pmatrix} \quad (2)$$

작성된 벡터를 선분절 연결 형태로 3차원 상태 공간에 재구성하여 표시하면 다양한 형태의 어트랙터를 획득할 수 있으나 3차원 이상의 고차원 어트랙터는 식 (3)과 같은 벡터를 이용하여 재구성한다.

$$u(t) = (z(t), z(t+T), \dots, z(t+2NT)) \quad (3)$$

여기서 $1+2N$ 을 매입차원(embedding dimension)이라고 하며 N 은 충분히 큰 값을 선택한다. 시간지연 T 의 선택은 임의적으로 적용할 수 있으나 자기상관함수의 형태에 따라 결정하는 방법에 의해 획득된 값을 적용한다.

2.3. 상관차원

시계열 데이터가 가지는 카오스적인 성질을 분석하기 위해 정량적 분석방법인 상관차원과 Lyapunov 지수를 이용한다. 상관차원은 일차원적인 벡터 형태의 데이터로 구성된 시계열 신호를 매입차원으로 재구성한 후 설정되어 있는 범위 내의 반경을 변화시켜가면서 반경 내의 궤적들 간의 간섭정도를 계산하여 구한다. 위상공간에 표현된 어트랙터의 반경을 r 이라고 하고 어트랙터의 근접한 두 점이 근접한 확률을 의미하는 상관적분은 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - |x_i - x_j|) \quad (4)$$

2.4. 최대 Lyapunov 지수

카오스 어트랙터를 정량적으로 분석하기 위해 사용하는 Lyapunov 지수는 초기조건에 대한 카오스적인 궤도의 민감성을 측정하는 좋은 도구로 사용된다. Lyapunov 지수는 위상공간에서 어트랙터가 확장하고 수축하는 과정에서 시스템이 안정화되거나 불안정화되는 정도를 위상수학적 척도로 나타낸다. 양의 값을 가지는 최대 Lyapunov 지수는 위상공간의 궤도가 점차적으로 분리되어 카오스 특성의 존재 가능성을 나타내며, 음의 값을 가지는 최대 Lyapunov 지수는 궤도가 점차적으로 수축되어 소멸하는 경우를 나타낸다.[4,5]

최대 Lyapunov 지수는 시계열 데이터에 대한 묵시적 모델의 구성없이 결정될 수 있다. 안정적인 특성화는 데이터간의 거리 확장에 따른 매입차원 및 지수법칙의 확인을 필요로 한다.[6,7] 우선 궤적 형태로 시계열 데이터를 나타내고 이전에 방문한 점 s_n 에서 관찰가능한 아주 근접한 점을 $s_{n'}$ 라 가정한다. 각 점간의 거리를 $\Delta_0 = s_n - s_{n'}$ 라고 한다면 이 간격은 시간이 경과함에 따라 지수함수적으로 증가한다. 이것을 이용하면 시계열 데이터로부터 식 (5)와 같이 미래의 위치를 예측할 수 있다.

$$\Delta_1 = s_{n+1} - s_{n'+1} \quad (5)$$

만일 $|\Delta_1| \approx \Delta_0 e^{\lambda}$ 를 구할 수 있다면 여기서 λ 를 최대 Lyapunov 지수라 한다.

2.5. TISEAN

본 논문에서 사용된 시뮬레이션 도구인 TISEAN은 비선형 동력학 시스템 이론에 기초를 둔 다양한 알고리즘으로 시스템의 시계열을 분석하기 위해 GPL 라이선스를 기반으로 Rainer Hegger, Holger Kantz, Thomas Schreiber에 의해서 개발되어 배포중인 도구이다. 패키지 내에 포함된 스펙트럼, 자기상관함수 등과 같은 선형 시계열 데이터 분석도구를 포함하고 있으나 이는 데이터의 신속한 검사에 적합하며, 다양한 알고리즘이 적용된 도구들은 특정 파라미터를 요구하기

도 한다.[2]

III. 실험 및 고찰

3.1. 진주지역 전력수요 시계열 데이터 분석

본 논문에서 사용한 전력수요 시계열 데이터는 경상남도 진주시의 2008년 시간대별로 수집된 것으로 그림 1에 일부를 나타낸 것이다. 시계열 데이터의 전개 형태를 통해서 일주일 단위의 주기성을 일부 관찰할 수 있으나 다양한 전력수요의 변화에 따라 안정적인 선형시스템보다는 비선형시스템의 특성이 강한 것을 알 수 있다.

TISEAN의 *delay* 프로그램을 이용하여 시계열 데이터의 시간지연에 따른 어트랙터를 위상공간에 나타내면 그림 2와 같다. 좌측은 기본 시계열 데이터, 우측은 시간지연을 5로 각각 설정한 뒤 위상공간에 표현한 것으로 시간지연이 증가할수록 기본적인 형태와 다른 형태로 변형되는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 잡음신호에서만 관찰할 수 있는 위상공간 전체에 걸친 임의적인 분포는 관찰할 수 없다.

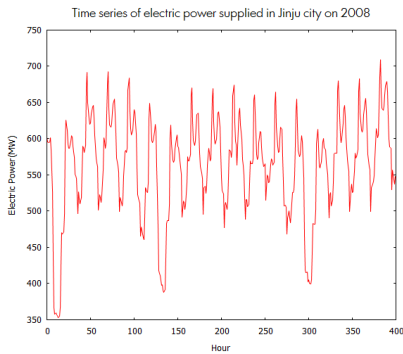


그림 1. 전력수요 시계열 데이터 일부

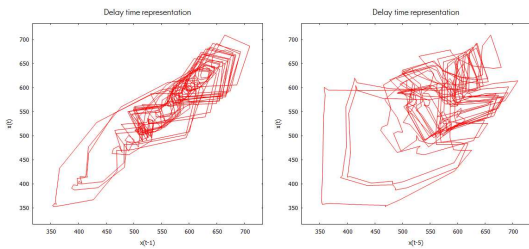


그림 2. 시계열 데이터의 위상공간 궤적 표현

3.2. 상관차원

그림 3은 TISEAN의 *d2* 프로그램을 이용하여 획득한 상관적분과 상관차원을 gnuplot 소프트웨어를 이용하여 나타낸 것으로, 좌측은 장기간에 걸쳐 수집된 특정지역의 전력수요 시계열 데이터를 이용하여 매입차원을 1부터 6까지 변경하면서 획득한 상관적분을, 우측은 매입차원별로 상관차원을 도식화한 것으로 잡음과 같은 형태의 시계열 데이터와는 정성적으로 다른 결과를 보여준다.

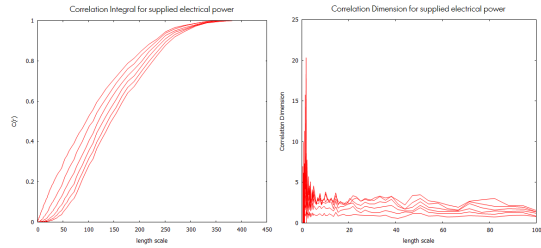


그림 3. 시계열 데이터의 상관적분과 상관차원

3.3. 최대 Lyapunov 지수

최대 Lyapunov 지수를 인접한 점들간의 거리 정보를 이용하여 유추할 수 있으나 많은 영향들로 인하여 변동이 생길 수 있다.[6] 이러한 관점에서 최대 Lyapunov 지수에 대한 강인성과 불편 추정량을 다음 식 (5)와 같이 유도할 수 있다. 만일 $S(\epsilon, m, t)$ 가 m_0 보다 큰 모든 m 과 정확한 범위 ϵ 에 대해 동일한 기울기를 가지고 선형적으로 증가한다면 이때 기울기는 최대 Lyapunov 지수의 추정치로 취급될 수 있다.

$$S(\epsilon, m, t) = \left\langle \ln \left(\frac{1}{|U_n|} \sum_{s_n \in U_n} |s_{n+t} - s_{n'+t}| \right) \right\rangle_n \quad (6)$$

TISEAN 패키지의 *lyap_k* 프로그램은 식 (6)을 응용한 것으로 가장 근접한 이웃은 각 참조점을 뒤따른다. ϵ 이 작아지면 작아질수록 S 의 선형적 범위가 확대된다. 시계열에 포함된 잡음과 유한 데이터는 ϵ 를 제한하며 Lyapunov 지수는 참조점과 이웃점 사이의 연속적인 상관관계에 의해 영향을 받을 수 있다. 그림 4는 *lyap_k* 프로그램으로부터 획득한 결과를 gnuplot으로 나타낸 것이며 궤적의 기울기를 최대 Lyapunov로 추정할 수 있다.

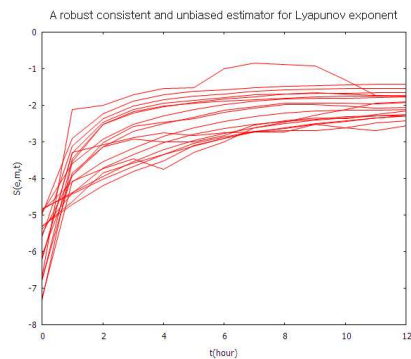


그림 4. 최대 Lyapunov 지수 추정

IV. 결 론

비선형 동역학 시스템에 기초를 둔 카오스 시스템의 다양한 분석방법중 시스템의 동역학 특성을 이해하고 비선형 시스템의 예측에 있어 가장 많이 이용되는 방법이 시계열 분석방법이다. 카오스 성질을 가지는 비선형시스템으로부터 획득한

시계열 데이터에 대한 다양한 분석방법을 통해서 일반 잡음과는 구분되는 결과를 얻을 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 분석방법을 구체적인 시뮬레이션으로 구현하기 위해 TISEAN 패키지를 이용하였다. 위상공간에서의 어트랙터 재구성, 상관차원 및 최대 Lyapunov.지수 시뮬레이션을 통해 전력수요 시스템의 시계열 데이터가 가지고 있는 카오스 성질을 일반 잡음신호와 구분하였다.

TISEAN 패키지는 비선형 시스템이 가지고 있는 카오스 특성을 다양한 방법을 통해 분석하는 도구로 널리 활용되고 있으며 전력수요와 같은 시스템의 단기예측 도구로써도 활용이 가능하다. 따라서 향후 연구에서는 기존의 예측도구와 TISEAN 예측도구를 이용하여 예측하고 그 성능을 비교 평가하고자 한다.

참고문헌

- [1] Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe, "*Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*", Springer-Verlag, 1992
- [2] Rainer Hegger, Holger Kantz and Thomas Schreiber, "*Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package*", Chaos, Vol. 9 Issue 2, 1999.
- [3] F. Takens, "*Detecting strange attractors in turbulence*", Dynamical systems and Turbulence Vol : 898, Issue : 1, pp.366-381, 1981.
- [4] G. L. Baker and J. P. Gollub, "*Chaotic Dynamics*", Cambridge University Press, 1996
- [5] Steven H. Strogatz, "*Nonlinear Dynamics and Chaos*", AddisonWesley, 1996
- [6] H. Kantz, "*A robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series*", Phys. Lett. A 185, 77, 1994.
- [7] M. T. Rosenstein, J. J. Collins, C. J. De Luca, "*A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets*", Physica D 65, 117, 1993.