

열화상 카메라의 시계열 데이터를 이용한 수·변전설비의 진단

황석승* · 배영철**

Diagnosis of power supply using time-series of infrared camera

Suk-Seung Hwang* · Young-Chul Bae**

요 약

본 논문에서는 수·변전 설비의 열화진단을 위해서 열화상 카메라로 측정된 온도에 대한 시계열 데이터를 타켄스의 매립법을 이용하여 2차원 위상 공간으로 변환하여 패턴 변화에 따른 온도 변화 특성을 살펴보았다.

시뮬레이션 결과 위상 공간에서의 완전한 비선형적인 특성 거동을 확인할 수 없었지만 특정한 패턴을 가지고 있어 앞으로 추가적인 연구를 통한 검증 방법이 요구된다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristic of temperature variation was reviewed according to pattern variation. In order to degrade of diagnosis of power supply by using time series data for temperature measured by infrared camera it was transformed into 2 dimension phase plane using Takens embedding method. As a simulation results we cannot completely confirm the characteristic behaviors of nonlinear dynamics in phase plane. However these results has a certain patterns, it requires verification method through additional research in the future.

키워드

Chaos, Nonlinear Dynamics, Time series, Phase plane, IR camera
카오스, 비선형 동적 시스템, 시계열, 위상 공간, 적외선 카메라

I. 서론

산업 단지의 수·변전 설비를 포함한 전력 설비들은 공장을 가동하는데 가장 기본적인 전원을 공급하는 설비로서 그 중요성이 높아지고 있다. 특별히 석유 화학 단지의 수·변전 설비는 일반 산업단지의 수·변전 설비와는 그 특성이 매우 다르다. 화학 산업 단지는 전력 설비 이전에 화학 물질이라는 특성을 가진 재료

와 가스 등을 취급하므로 화학적인 폭발 등의 직접적인 원인이 아닌 하나의 작은 사고라고 그 파급 효과가 주변의 공장으로 연쇄적인 폭발로 이어질 수 있는 특성을 가진다. 이러한 사고의 원인에는 가스 누출이나 폭발이 아닌 전기 설비에 의해서도 원인이 될 수 있으며 사고의 여파는 물질적인 피해는 물론 2차, 3차의 간접적인 피해를 포함하여 큰 인명 피해를 가져올 수 있다.

* 조선대학교 메카트로닉스공학과(hwangss@chosun.ac.kr),

** 교신저자 : 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 08. 07

심사(수정)일자 : 2012. 11. 30

게재확정일자 : 2012. 12. 10

석유화학단지에서의 전력 설비를 포함한 수·변전 설비의 사고는 전원을 공장에 공급하지 못하는 정전으로부터 오는 막대한 1차적인 피해가 있으며 또한 수·변전 설비의 열화 상태로 인하여 절연이 파괴되어 석유 화학 단지의 폭발력이 강한 기체의 폭발을 유도하는 2차적인 피해를 예상할 수 있다. 1차적인 피해이던 2차적인 피해이던 이는 모두 석유화학 단지에서는 심각한 물질적, 경제적, 심리적인 피해를 만들 수 있어 예방이 최선의 방법으로 떠오른다.

따라서 화학 산업 단지에서는 이러한 피해를 줄이기 위한 많은 노력을 산업 단지 전체와 병행하여 전기설비에 대한 진단 노력을 진행하고 있다. 일반적으로 수·변전 설비를 포함한 전기설비의 진단 기법으로는 열화진단[1], 부분 방전 진단[2] 등의 방법이 사용되고 있다. 또한 비선형 특성에 대한 연구[3-4] 및 다른 방법에 의한연구[5-8]이 있었다. 열화진단은 적외선 파장을 이용한 열화상 카메라로 전기설비의 발열 부분을 촬영하여 정상부분과 발열 부분의 온도 차이를 확인함으로써 설비를 진단하는 기법으로 열화상으로 촬영한 화상 데이터와 시계열 데이터를 이용하여 온도 변화를 감지한다. 그러나 이 방법은 사람의 눈으로 직접 열화상 데이터를 확인하여 판정해야 하는 문제점을 가지고 있어 자동으로 판독하기 위한 방법이 제시되어야 한다.

본 논문에서는 열화상 카메라에서 실측한 온도 데이터를 이용하여 비선형 특성의 여부를 확인 하기 위한 알고리즘을 제시한다. 제시한 알고리즘은 타켄스 [10]의 매립 정리에 의한 1차원 시계열 데이터를 2차원 또는 3차원의 위상 공간으로 변환하는 방법을 이용하여 패턴 변화를 살펴보았다.

II. 열화상 카메라에 의한 열화진단

열화상 카메라에 의해 수·변전 설비의 열화진단을 수행하였다. 그림 1은 디지털화상 카메라에 의해 라인 스위치의 열화 상태를 확인한 것이다. 그림 1에서는 모두 5지점의 라인 스위치의 접촉 개소를 중심으로 디지털 카메라를 이용하여 촬영하였다.



그림 1. 라인스위치
Fig. 1 Line switch

그림 2에 열화상카메라에 의해 측정된 화상을 나타내었으며 각 지점의 측정 온 결과는 표1과 같다. 그림 1과 표1에서 나타낸 것과 같이 2지점에서의 온도의 최대 편차는 4.7°C가 되어 일부 열화 현상이 있음을 알 수 있다.

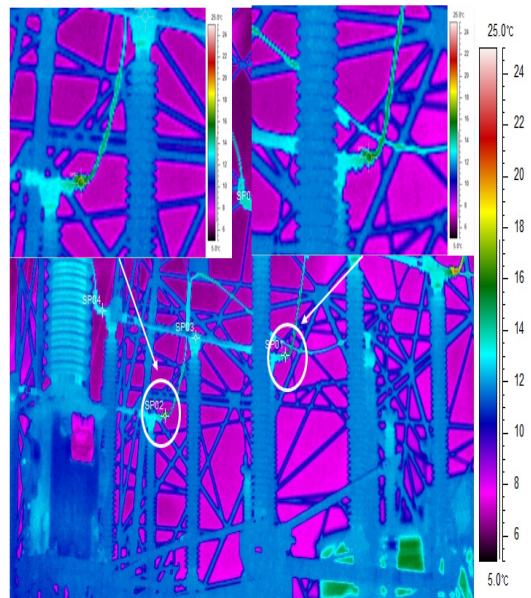


그림 2. 적외선 영상
Fig. 2 IR image

표 1. 온도 측정
Table 1. Temperature measurement

측정지점	Spot1	Spot2	Spot3	Spot4	Spot5
온도 [°C]	16.4	17.7	12.7	13.0	13.2

III. 시계열데이터의 위상 공간의 변환

3.1 타켄스 매립법[10]

열화상으로 측정된 온도의 시계열 데이터에서 특성 변화를 살펴보기 위하여 1차원의 데이터를 2차원의 데이터 또는 3차원 데이터로의 변환을 수행하는 매립(embedding)에 의한 상태 공간의 재구성(reconstruction)이 선행되어야만 한다.

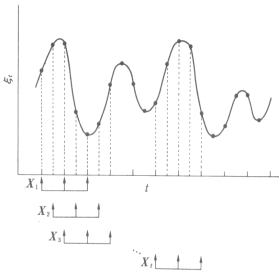


그림 3. 시계열데이터
Fig. 3 Time-series

매립은 상태변수 $x_t \in R^n$ 에 관련된 식(1)과 같은 1변수의 시계열 데이터 ξ_t 로부터,

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i, \dots \quad (1)$$

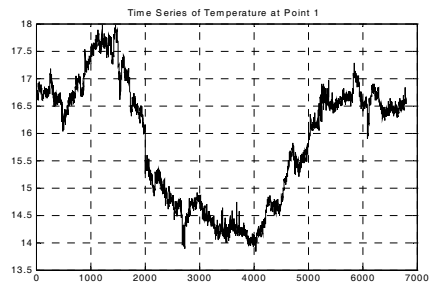
시간 지연의 크기 τ 및 차수 m 을 선정하여 식(2)와 같은 m 차원 벡터를 생성하는 것이다.

$$\begin{aligned} X_1 &= (\xi_1, \xi_{1+\tau}, \dots, \xi_{1+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \\ X_t &= (\xi_t, \xi_{t+\tau}, \dots, \xi_{t+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \\ X_N &= (\xi_N, \xi_{N+\tau}, \dots, \xi_{N+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \end{aligned} \quad (2)$$

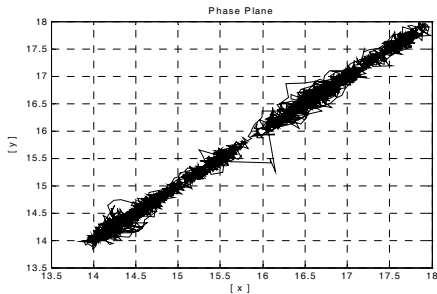
이때, m 이 $2n+1$ 이상이면, 재구성된 상태 공간에서 어트랙터의 구조가 보존되는 것이 보여지고 있으며, X_n 이 상태 공간내의 일정한 영역 내에 여러 개의 고리가 중첩된 이상한 모양을 나타내면 혼돈적인 성질을 가진다고 할 수 있다.

그림 3와 4은 타켄스의 매립법으로 구성된 어트랙터를 나타내었다. 그림 3(a)는 1지점의 온도에 대한 시계열데이터를 나타내었다. 시계열 데이터를 분석해보면 온도 범위가 16도를 기준으로 약간의 변동 폭을 가지고 거의 일정한 온도 패턴을 유지하고 있는 것으로 볼 수 있다.

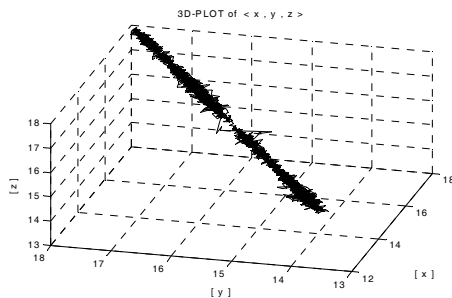
그림 3(b)는 그림 3(a)의 시계열 데이터를 이용하여 차원 $m=3$ 으로 정한 후 타켄스 매립법으로 구성된 위상공간을 보여주고 있다. 그림 3(b)에서 보듯이 그림 3(b)의 위상 공간은 변화가 거의 없는 관계로 완전한 2차원의 어트랙터를 구성하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그림 3(c)는 그림 3(a)의 시계열데이터를 가지고 재구성한 3차원 어트랙터로서 2차원과 거의 비슷한 어트랙터를 구성하고 있음을 알 수 있다. 그림 3(b)와 3(c)에서는 온도 변화가 일정한 범위 내에 있어서 거의 주기적인 패턴이 형성되고 있음을 알 수 있다.



(a) 1지점에서의 시계열 데이터
(a) Time-series at 1 point



(b) 1지점에서의 위상 공간
(b) Phase plane at 1 point



(c) 1지점에서의 3차원 공간
(c) 3D phase at 1 point

그림 3. 1지점에서의 시계열데이터, 위상공간, 3차원 공간
Fig. 3 Time-series, phase plane and 3D phase at 1 point

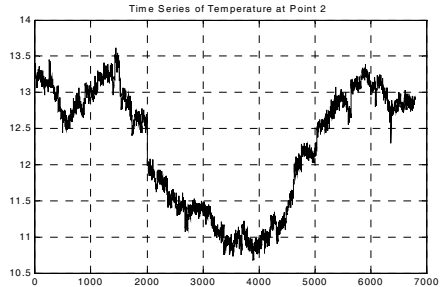
그림 3에서 보는 바와 같이 시계열과 위상공간에서 확인하듯이 정상 상태에서의 어느 정도의 패턴을 구성할 수 있을 것으로 예상된다.

그림 4(a)는 다른 지점과의 온도 변화가 4.7°C의 차이를 가진 2지점의 온도에 대한 시계열데이터를 나타내었다. 시계열 데이터를 분석해보면 온도 범위가 17도를 기준으로 그림 3(a)와 같이 약간의 변동 폭을 가지고 거의 일정한 온도 패턴을 유지하고 있는 것으로 볼 수 있다.

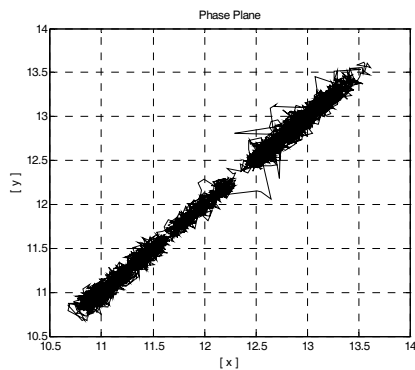
그림 4(b)은 그림 4(a)의 시계열 데이터를 이용하여 차원 $m=3$, $\tau=3$ 으로 정한 후 타켄스 매립법으로 구성된 위상공간을 보여주고 있다. 변화가 거의 없는 관계로 완전한 2차원의 어트랙터를 구성하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그림 4(c)는 그림 4(a)의 시계열데이터를 가지고 재구성한 3차원 어트랙터로서 2차원과 거의 비슷한 어트랙터를 구성하고 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)와 4(c)에서는 온도 변화가 일정한 범위 내에 있어서 거의 주기적인 패턴이 형성되고 있음

을 알 수 있다.

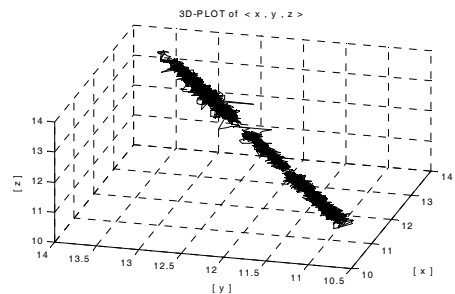
그림 4에서 보는 바와 같이 온도변화가 있어도 어트랙터상에서 큰 변화가 없어 이를 검증하기 위한 다른 방법이 모색되어야 할 것으로 보인다.



(a) 2지점에서의 시계열 데이터
(a) Time-series at 2 point



(b) 2지점에서의 위상 공간
(b) Phase plane at 2 point



(c) 2지점에서의 3차원 공간
(c) 3D phase at 2 point

그림 4. 2지점에서의 시계열데이터, 위상공간, 3차원 공간
Fig. 4 Time-series, phase plane and 3D phase at 2 point

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 열화상 측정으로 얻어진 온도 데이터의 시계열 데이터를 이용하여 비선형성을 알아보기 위하여 타켄스의 매립 정리에 의한 1차원 시계열 데이터를 2차원, 3차원의 위상 공간을 구하였다. 구해진 결과 만족할만한 비선형 특성인 어트랙터를 얻지는 못하였지만 추후 다른 비선형 특성을 판정하는 방법인 포엔카레 맵을 이용한 방법, 프랙탈 차원을 이용하는 방법, 리아프노프 지수를 통하여 보다 면밀한 검증 방법에 대한 연구가 필요하다..

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지정 전남대학교 중화학설비 안전진단센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] 大島一夫, 近藤友厚, “電氣 設備の劣化診断”, 電設技術, 2008.3.
- [2] 구선근, 한기선, 윤 진열, “ 한국전력공사 변전 분야의 전자기파 부분 방전 진단 기술 연구 및 적용 사례”, 전기의 세계, 58권, 2호, pp. 16-22, 2009.
- [3] 손영우, 배영철, “하드웨어 구현에 의한 카오스 어트랙터 생성용 Chua 회로에 관한 연구”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 2호, pp. 158-163, 2010.
- [4] 손영우, 배영철, “L 성분이 없는 간략화 CHUA 회로 구현에 관한 연구”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 1호, pp. 17-22, 2010.
- [6] Jun - Wei Hsieh, Min-Tat Ko, Hong-Yuan, Kuo- Chin Fan, " A new wavelet-based edge detector via constrained optimization", Image and Vision Computing, 15, pp511-527, 1997.
- [7] Christopher J. Deschenes, "Fuzzy Kohonen Network for Classification of Transients Using the Wavelet Transform for Feature Extraction", Information Science 87, pp247-266, 1995.
- [8] R. A. Gopinath and C.S. Burrus, Wavelet Transform and Filter Banks, wavelets-A Tutorial in Theory and Application, pp.603-644, 1992.
- [9] Alfredson R.J, Time Domain Methods for Monitoring the Coditon of Rolling Elements Bearings' mechanical Engineering Transactions

Institute of Mechanical Engineers, Australia. pp102-107, 1985.

- [10] Takens, F. "Detecting strange attractors in turbulence, in dynamical systems and turbulence", Lecture Notes in Mathematics, 898, pp.363-381, Springer 1981

저자 소개



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학박사)

2006.5~2008.3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008.4~현재 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동 로봇용 위치추정, 간섭제거



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년~1991년 한국전력공사

1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원

1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수

2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수

2011년~2011년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.