

---

# 카오스 해석에 기초한 고저항 고장전류의 특징 추출에 관한 연구

배영철\*, 고재호\*\*, 임화영\*\*

## A Study on Extracting Characteristics of High Impedance Fault-Current Based on Chaotic Analysis.

Young-Chul Bae\*, Jae-Ho Ko\*\*, Hwa-Yeoung Yim\*\*

### Abstract

Previous studies on high impedance faults assumed that the erratic behavior of fault current would be random. In this paper, we prove that the nature of the high impedance faults is indeed a deterministic chaos, not a random motion. Algorithms for estimating Lyapunov spectrum and the largest Lyapunov exponent are applied to various fault currents in order to evaluate the orbital instability peculiar to deterministic chaos dynamically, and fractal dimensions of fault currents, which represent geometrical self-similarity are calculated. In addition, qualitative analysis such as phase planes, Poincare maps obtained from fault currents indicate that the irregular behavior is described by strange attractor.

### I. 서 론

전력 계통에서 고저항 고장(High Impedance Fault : HIF)은 고장 전류가 작은 아크성 특징 때문에 고장 전류의 크기에 의존하는 기존의 계전 방식으로는 검출이 불가능하며, 이에 대한 많은

연구가 진행되고 있다.[7-15] 아크성 고저항 고장 전류의 발생 및 소멸 특징은 기존의 연구[7-11]에서는 랜덤하다는 가정 하에 통계적 처리 및 조파 해석법을 위주로 하였으나 본 논문에서는 고저항 고장 전류가 랜덤한 상태가 아닌 결정론적 혼돈(chaos) 현상임을 정성적, 정량적 판단 기준을 적용

---

\* 여수대학교 전기 및 반도체공학과

\*\* 광운대학교 제어계측공학과

접수일자 : 1999년 11월 18일

하여 규명하고자 한다.

본 논문에서는 고저항 고장시의 실측 데이터에 혼돈적인 성질이 있음을 embedding에 의한 상태 공간의 재구성 후, 혼돈 현상의 판별 기준인 시계열 데이터, 위상공간, 포엔카레맵, 리아프노프 지수, 프랙탈 차원으로 판별하였다.

혼돈을 정량화 할 수 있는 요소중 기하학적인 혼돈의 성질을 나타내는 프랙탈 차원과 동특성(dynamics) 중 궤도 불안정성의 지표인 리아프노프 지수를 모두 구하여 새로운 고장 검출 인자로 제시하였다.

## II. Embedding에 의한 상태 공간의 재구성

고저항 고장 파형에서 혼돈적인 특성이 나타나 는지를 판별하기 위해서는 embedding에 의한 상태 공간의 재구성(reconstruction)이 선행되어야만 한다. embedding은 상태변수  $x_t \in R^n$ 에 관련된 다음과 같은 1변수의 시계열 데이터  $\xi_t$ 로부터,

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

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

$$\begin{aligned} X_1 &= (\xi_1, \xi_{1+\tau}, \dots, \xi_{1+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \\ X_i &= (\xi_i, \xi_{i+\tau}, \dots, \xi_{i+(m-1)\tau}) \dots \dots \dots (2) \\ &\vdots \\ X_N &= (\xi_N, \xi_{N+\tau}, \dots, \xi_{N+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \end{aligned}$$

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

추정하고 싶은 프랙탈 차원, 리아프노프 지수 등과 같은 혼돈의 측정량이 Embedding 차원이 충분히 크면 위상적으로 보존되어 재구성된 어트랙터에 대해서도 추정이 가능하다.

### 1. 시간 지연 선정의 최적화

실측 고장 파형으로부터 상태 공간을 재구성함

에 있어서 식 (2)에 나타난 시간지연  $\tau$ 의 선택은 매우 중요하며 특히, 시간 지연  $\tau$ 가 너무 적으면 재구성 상태 공간내의 데이터는 극단적으로 상관 이 크게되어 상태공간의 45° 기울기를 갖는 직선 상에 응집하며, 너무 크면 서로의 상관성을 잃게 된다.

본 논문에서는 고저항 고장 전류의 시간 지연을 자기 상관 함수 및 포엔카레 맵을 통과하는 평균 주기를 이용하여 선정하였다.

- 1) 자기상관 함수를 이용한 시간 지연의 선택  
자기상관 함수는 식 (3)으로 표현되며,

$$R(n) = \frac{\sum_k \xi_k \xi_{k+n}}{\sum_k |\xi_k|^2} \dots \dots \dots (3)$$

재구성 할 데이터의 선형 독립성을 보장하기 위해 자기상관(auto-correlation) 함수가 최초로 0이 될 때를 시간 지연으로 선택한다.

자기 상관 함수를 이용하여 시간 지연을 선정하면, 계산이 간단하고 데이터 수가 많지 않은 경우에 효율적으로 적용될 수 있다. 자기상관 함수를 정읍 인공 지락 시험 파형 및 고창 인공 지락 시험에 적용한 결과를 표 1에 나타냈다.

표 1. 자기 상관을 이용한 시간 지연 선정

파형의 종류	주요한 주기	주기당 sample 수	시간 지연 ( $\tau$ )
정읍 인공 지락 파형	기본파의 주기	64 sample	16.4
고창 인공 지락 파형	기본파의 주기	167 sample	41.82

- 2) 포엔카레 단면을 통과하는 평균 주기

포엔카레 단면이란 재구성한 상태 공간의 차원 보다 1차원이 적은 평면으로, 불규칙한 진동 신호의 샘플링에 효율적으로 사용된다.

고장 전류의 재구성 차원을 3차로 선정한 후, 2차원의 포엔카레 단면을 통과하는 순간의 평균 주

기를 계산한 결과 정읍 인공 지락시는 16으로 고창 지락시는 43이었다.

2. 재구성 차원 설정을 위한 False nearest neighbour법

재구성 차원은 주어진 데이터가 몇 차원 또는 몇 개의 독립 변수로 기술될 수 있는가 하는 것을 의미하며 일반적으로 프랙탈 차원의 2배 이상, 상관 차원 계산시 스케일링 영역이 최대가 되도록 하는 방법이 있으나, 본 논문에서는 재구성시에 차수의 부족으로 인한 neighbour를 식별하는 false neighbour기법을 적용하여 최적의 재구성 차원을 선정하였다.

주어진 고장전류  $s(k)$ 로부터  $d$ 차원의 벡터  $y(k)$ 를 재구성하면

$$y(k) = \{s(k), s(k+\tau), \dots, s(k+(d-1)\tau)\} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $d$ 는 재구성 차원이고,  $\tau$ 는 앞에서 설명한 시간지연이다.

재구성된  $y(k)$ 중에서 nearest neighbor를  $y^{NN}(k)$ 라 한다면,  $y(k)$ 와 이 neighbor와의 유클리디언 거리는 식(5)와 같이 표현되며,

$$R_d(k)^2 = \sum_{m=1}^d [s(k+(m-1)\tau) - s^{NN}(k+(m-1)\tau)]^2 \dots\dots\dots (5)$$

차원이  $d+1$ 일 때는 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$R_{d+1}(k)^2 = \sum_{m=1}^{d+1} [s(k+(m-1)\tau) - s^{NN}(k+(m-1)\tau)]^2 = R_d(k)^2 + |s(k+d\tau) - s^{NN}(k+d\tau)|^2 \dots\dots\dots (6)$$

차원이  $d$ 에서  $d+1$ 로 1차 증가 시에 상대 거리는 식(5)와 식(6)으로부터 다음과 같이 정리할 수 있으며,

$$\sqrt{\frac{R_{d+1}(k)^2 - R_d(k)^2}{R_d(k)^2}} = \frac{|s(k+d\tau) - s^{NN}(k+d\tau)|}{R_d(k)} \dots\dots\dots (8)$$

false neighbour는 차원을 1씩 증가시키면서 식 (7)

을 계산했을 때, 어떤 임계치 이상 증가하는 값으로 정의된다. 이는 실제 동특성에 의한 neighbour가 아니라 저차원의 사영으로 인하여 생기는 것으로 false neighbour가 존재하지 않는 최소 차원이 최적의 재구성 차원이 된다.

고장 전류의 false neighbour는 재구성 차원이 3 이상에서는 더 이상 존재하지 않으므로 재구성 차원을 3으로 선정하였다.

본 논문에서 고저항 고장전류의 위상 공간을 재구성하기 위한 시간지연  $\tau$ 와 재구성 차원을 표 2에 보였다.

표 2. 최적 시간 지연과 재구성 차원

파형의 종류	시간 지연 $\tau$	재구성 차원 $m$
정읍 고장 전류	16	3
고창 고장 전류	42	3

Ⅲ. 고저항 고장 전류의 위상공간 해석

고저항 고장 전류를 표 2에 정리한 시간 지연과 재구성 차원을 이용하여 재구성한 후 위상 공간을 구하여 건전상의 위상 공간을 그림 1 ~ 그림 3에 나타내었다.

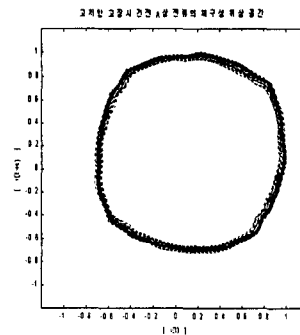


그림 1. 수목에 접촉시 건전상 전류의 위상 공간

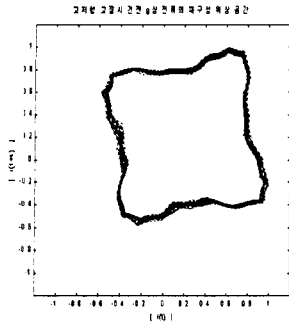


그림 2. 보통토사에 지락시 전전상 전류의 위상 공간

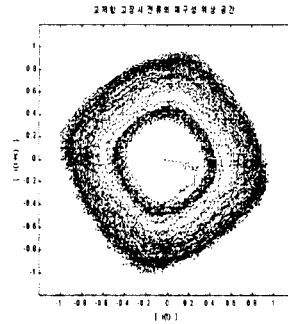


그림 5. 보도블럭에 지락시 고장 전류의 위상 공간

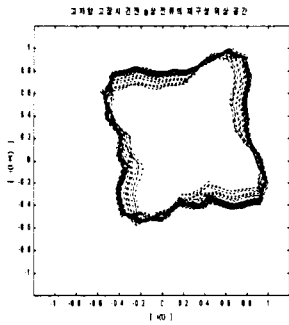


그림 3. 수목에 접촉시 전전상 전류의 위상 공간

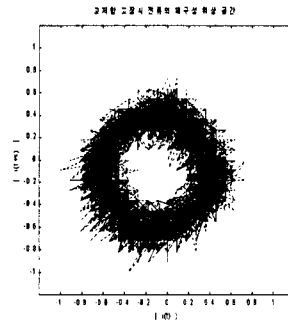


그림 6. 수목에 접촉시 고장 전류의 위상 공간

전전상 전류의 위상 공간은 대부분이 단일 폐곡선을 나타내는 1주기 신호에 가까운 특징을 보였으나, 복잡하게 변하는 그림 3의 경우도 있었다. 그러나, 변화의 폭 및 불규칙한 특성이 고장상에 비해 크게 나타나지는 않았으며, 이는 고저항 고장 전류의 위상 공간을 고장 유형별로 나타낸 그림 4 ~ 그림 6과 비교하면 뚜렷하게 알 수 있다.

고장 전류의 위상 공간은 지락 매체에 따라 그 모양이 구분된 특성을 나타내며, 아크의 발생과 소멸에 따라 특정한 형태로는 변하지는 않지만 위상 공간내의 일부분을 벗어나지 않으며, 마치 수많은 끌개(attractor)가 얹히고 중첩된 기이하면서도 모양이 있는 구조체를 형성한다. 이러한 구조체를 이상한 끌개(strange attractor)라 하며, 고장 전류는 혼돈 성질을 강하게 나타낸다고 할 수 있다.

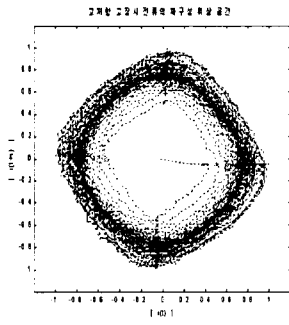


그림 4. 모래에 지락시 고장 전류의 위상 공간

#### IV. 포앵카레 맵을 이용한 고장 전류의 특징 추출

포앵카레 맵(Poincare map)은 위상 공간내의 궤적을 수직으로 교차하는 포앵카레 단면(Poincare section)을 설정한 후 그 단면을 위상 공간에 나타낸 것으로, 혼돈 신호를 이산(discrete) 신호로 샘플링하는 방법이다.

포앵카레 맵에서 1주기 운동은 한점, 2주기 운동은 2점, 준주기(torus) 운동은 닫힌 폐곡선으로 혼돈 신호는 무수히 많은 점이 다른 모양을 보이므로 주

기 운동, 준주기 운동과 쉽게 구별할 수 있다.

포엔카레 맵은 단면의 위치에 따라 다르게 되므로, 현상의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있도록 선정하여야 하며 본 논문에서는 고장 전류의 특성이 명확히 보이도록 평균에 직교하는 포엔카레 단면과 평균을 지나는 단면을 설정하여 그림 7 ~ 그림 10에 보였다.

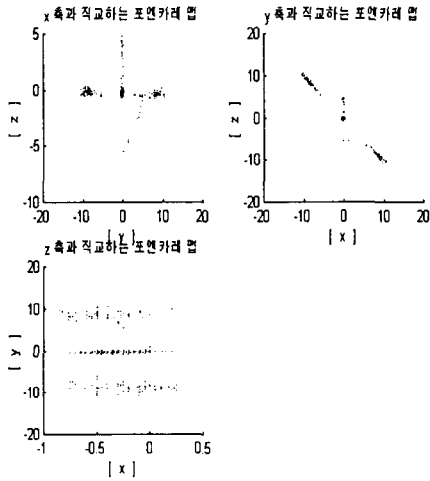


그림 7. 모래땅에 지락시 고장 전류의 포엔카레 맵

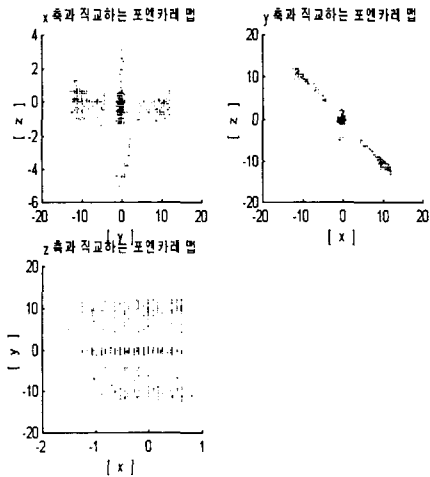


그림 8. 차량에 지락시 고장 전류의 포엔카레 맵

배전 선로가 습기가 있는 미루나무에 지락시(그

림 10)를 제외하고는 모래땅(그림 7), 차량(그림 8), 보도블럭(그림 9)상의 지락 고장시 거의 유사한 포엔카레 맵의 특성을 나타내고 있으며, 이는 혼돈의 특징 중 하나인 자기상사성(self-similarity)을 나타내는 것이다

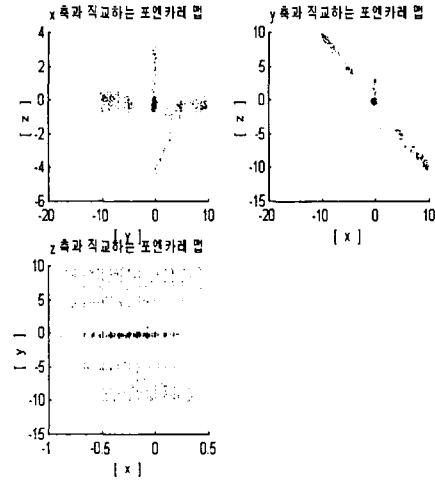


그림 9. 보도블럭에 지락시 고장 전류의 포엔카레 맵

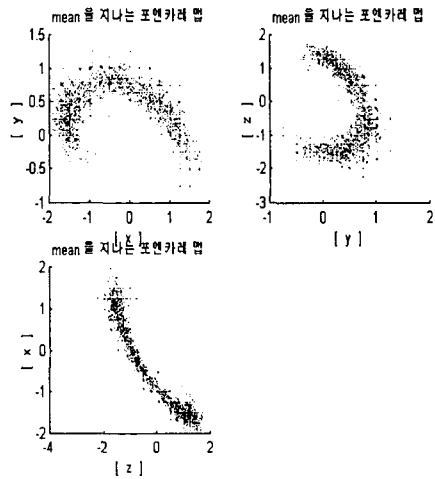


그림 10. 수목(미루나무)에 지락시 고장 전류의 포엔카레 맵

전전상 전류 및 아크성 고장 전류와 유사한 아크성 부하 전류의 포엔카레 맵을 그림 11과 12에

각각 보였으며, 특히 아크 부하 전류의 경우 유사한 전류 파형의 주기가 반복되어 안정성을 가지는 특징으로 나타났다.

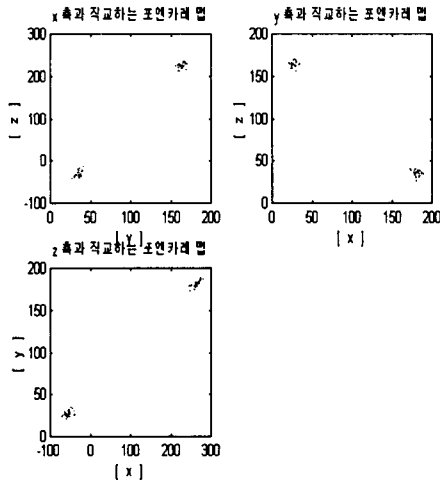


그림 11. 자갈,모래에 C상이 지락시 건전상 전류의 포엔카레 맵

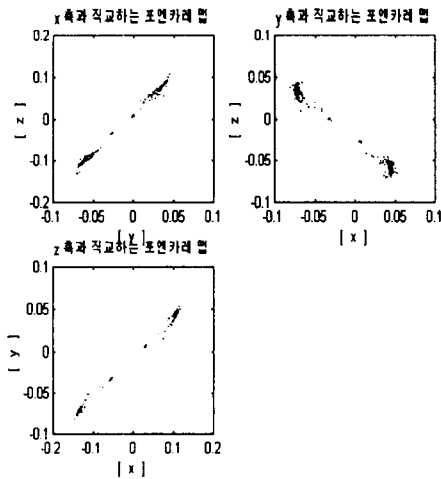


그림 12. 지속 부하시 아크성 부하 전류의 포엔카레 맵

그림에서 알 수 있듯이 고장 전류는 포엔카레 단면의 위치에 따라 그 모습이 서로 다르지만 일정한 형태를 가진 점들의 집합(자기상사성)으로 나

타나고 있어, 주기성이 강한 건전상의 전류나, 고장 전류와 유사한 아크성 부하 전류와도 판이하게 나타났다.

V. 고장 전류의 리아프노프 지수 계산 알고리즘

리아프노프 지수는 혼돈의 특징 중 궤도 불안정성을 정량적으로 평가하는 양이며, 이를 다차원적으로 확장한 것이 리아프노프 스펙트럼이다. 불규칙적인 고저항 고장 전류의 본질에 결정론적 혼돈이 존재하고 있음을 리아프노프 스펙트럼으로 규명하고자 한다.

고저항 고장 전류를 유발시키는  $n$ 차원 이산 역학계가 식(8)과 같이 정의된다면(여기서,  $x_t$ 는 이산시간  $t$ 에 있어서 상태,  $\mu$ 는 파라미터 벡터,  $F$ 는  $n$ 차원사상이다.)

$$x_{t+1} = F(x_t, \mu), \quad x_t \in R^n \dots\dots\dots (8)$$

미소변위  $\delta x_t$ 에 관한 자코비안 행렬  $DF(x_t)$ 를  $N$ 회 사상한 식(9)의

$$DF_N = DF(x_{N-1})DF(x_{N-2})\dots DF(x_0) \dots\dots\dots (9)$$

의 고유치  $\sigma_i(N)$ 을 이용해서, 리아프노프 지수 ( $\lambda_i$ )는 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \log |\sigma_i(N)| \dots\dots\dots (10)$$

그러나, 고저항 고장 전류에서는 식(8)과 같은 이산 역학계를 정의할 수가 없기 때문에 재구성된 상태 공간내 궤적 중 1점  $X_t$ 를 중심으로 하여, 미소반경  $\epsilon$ 의  $m$ 차원 공간내의 초구( $\epsilon$ 구)에 들어가는 다른 점  $X_{k_i}$ ( $M$ 개,  $i=1,2,\dots,M$ )의 변화율로부터 추정하여야 한다.

즉,  $X_{k_i}$ 에 대한 변위 벡터  $y_i$ 는 식(11)이 되고,

$$y_i = X_{k_i} - X_t, \quad y_i \in R^m \dots\dots\dots (11)$$

시간이  $s$ 정도 경과한 후에  $\epsilon$ 구의 중심  $X_t$ 는  $X_{t+s}$ 로,  $\epsilon$ 구 내의 각점  $X_{k_i}$ 는  $X_{k_i+s}$ 로 각각 변화한다. 따라서, 시간  $t+s$ 에서의 변위벡터  $z_i$

는 식(12)로 된다.

$$z_i = X_{ki+s} - X_{i+s}, \quad z_i \in R^m \quad \dots\dots\dots (12)$$

$\epsilon$  구의 반경과 시간  $s$ 가 충분히 작다면, 식(11)의  $y_i$ 와 식(12)의  $z_i$ 의 관계는 행렬  $G_i$ 를 이용해서

$$z_i = G_i y_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

로 근사적으로 나타낼 수가 있다.

식 (13)의  $G_i$ 를 구하기 위해 평가 함수  $S$ 를 다음과 같이 정의하면

$$S = \sum_{i=1}^M |z_i - G_i y_i|^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

거리  $S$ 의 각  $g_{ki}$  ( $G_i$ 의  $ki$ 성분)에 대한 극소 조건인

$$\frac{\partial S}{\partial g_{ki}} = 0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

에서

$$G_i V = C$$

$$v_{ki} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_{ik} y_{ii} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$c_{ki} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M z_{ik} y_{ii}$$

을 얻으며, 행렬  $G_i$ 를 이용하여 리아프노프 지수를 구한다.

배전 선로가 자갈에 지락 하였을 때 고장 전류의 리아프노프 스펙트럼을 구하여 그림 13에 나타내었다. 실제통에서는 기본파의 성분이 매우 크기 때문에 최대 리아프노프 지수가 매우 작게 나타났

으나 그 값이 양의 값으로 결정론적 혼돈의 특징인 궤도 불안정성이 나타남이 증명되었다.

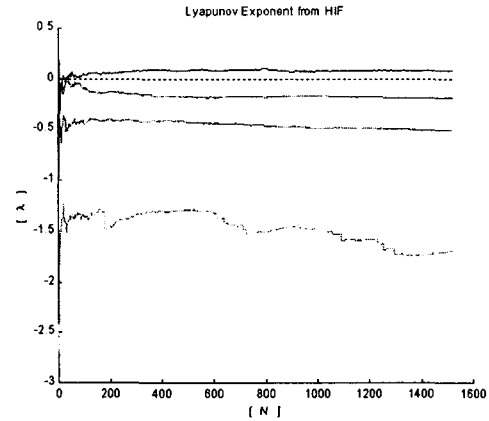


그림 13. 자갈에 지락시 고장 전류의 리아프노프 스펙트럼

다양한 고저항 고장시의 최대 리아프노프 지수를 구하여 표 3에 정리하였다.

### VI. 프랙탈 차원을 이용한 고장 전류의 기하학적 특성 해석

프랙탈 차원은 혼돈을 정량적으로 표시하는 것으로 본 논문에서는 상관적분에 의한 상관 차원으로 나타내었다. 재구성된 어트랙터 상의 1점을  $x_i \in R^m$ 이라고 하면, 상관적분은 다음 식 (17)로 정의되며,

표 3. 최대 리아프노프 지수

지락시 접촉매체	고장 장소	최대 리아프노프 지수	지락시 접촉매체	고장 장소	매체상태	최대 리아프노프 지수
아스팔트	정읍 D/L	0.009	보도블럭	고창 D/L	건조	고장 전류
보도블럭	정읍 D/L	0.021		고창 D/L	습기	0.0024
자갈,모래	정읍 D/L	0.035	모래땅	고창 D/L	반습기	0.0086
모래	정읍 D/L	0.023	강자갈	고창 D/L	건조	0.0143
나무	정읍 D/L	0.012	차량	고창 D/L	大	0.0231
보통토사	정읍 D/L	0.001	미루나무	고창 D/L	습기	0.0199

$$C^m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - |X_i - X_j|) \dots\dots\dots (17)$$

여기서,  $H(t)$ 는 heavy-side 함수로,

$$H(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases} \dots\dots\dots (18)$$

이다.

상관적분의 알고리즘은  $m$ 차원 공간에 있어서 재구성된 어트랙터 상의 1점  $X_i$ 를 고려하고, 나머지  $(N-1)$ 개의 점에 대해서 중심을  $X_i$ 로 했을 때 반경  $r$ 의  $m$ 차원 초구(hyper-ball)내로 들어가는 점  $X_j$ 를 계산한 후, 모든  $X_i$ 를 중심으로 해서 반복함으로써, 식 (17)에 나타난 상관적분이 얻어진다.

상관적분이 식 (19)와 같이 반경  $r$ 의 적당한 영역에서 스케일링된다고 하면,

$$C^m(r) \propto r^{\nu(m)} \dots\dots\dots (19)$$

식 (19)의 스케일링 지수  $\nu(m)$ 를 상관지수(correlation exponent)라고 하고 상관지수는 이 식의 양변에 대수를 취한 후에

$$\log C^m(r) \propto \nu(m) \log r \dots\dots\dots (20)$$

어트랙터를 스케일 범위  $r_1 \leq r \leq r_2$ 에서 관측했을 때, 식 (19)가 성립하면 이 범위에서 자기상사성이 성립한다. 결국  $\nu(m)$ 은 횡축으로  $\log r$ , 종

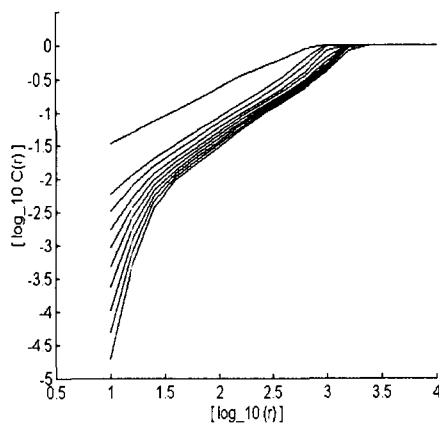


그림 14. 고장 전류의 상관 적분

축으로  $\log C^m(r)$ 을 취해서 그린 그래프에 있어서 직선 부분의 기울기로, 재구성 차원  $m$ 의 증가와 함께  $\nu(m)$ 이 포화되어 접근해 가는 값이 상관 차원이 되며, 그림 14에 고장 전류의 상관 적분 차수  $m$ 을 1부터 10까지 변화시켜 나타내었으며, 고장 전류의 프랙탈 차원을 표 4에 보였다.

표 4. 고장 전류의 프랙탈 차원

지락시 접촉매체	매체상태	고장 장소	프랙탈 차원
보도블럭	건조	고창 D/L	1.9874
	습기	고창 D/L	2.0145
모래땅	반습기	고창 D/L	1.9936
강자갈	건조	고창 D/L	2.0146
차량	大	고창 D/L	1.9987
미루나무	습기	고창 D/L	2.5345

고장 전류의 프랙탈 차원은 모두 비정수의 소수 차원으로 그 본질에 기하학적 혼돈이 존재함이 규명되었다. 특히 수목에 접촉 시에 프랙탈 차원이 2.5345로 가장 크게 나타났다.

## Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 실계통에서 고저항 고장 현상을 다양한 조건(지락시 대지의 표면, 절연 상태 및 지락 장소)하에 실험한 실측 파형을 써서 고장 전류의 변화 특성을 부하전류와 구별하여 위상 공간으로 나타내었다. 간헐적으로 발생하여 불규칙한 진동을 일으키는 아크 지락 전류에 일정한 패턴이 존재함을 포엔카레 맵으로 규명하였으며, 상관 차원도 계산하여 고저항 고장 전류에 자기 유사성(Self-similarity)이 있음을 증명하였다. 결정론적 혼돈 현상의 동특성인 궤도 불안정성이 아크 지락 전류의 본질적인 변화 특성임을 리아프노프 지수를 구하여 입증하였다. 혼돈 해석에 기초한 결과로부터 고저항 고장을 검출하려는 연구가 수행되어져야 할 것으로 사료되며, 프랙탈 차원의 계산을 실시간으로 처리하기 위한 연구가 차후 과제로 남는다.



참고문헌

[1] Aihara, K., Ikeguchi, T. "Lyapunov spectral analysis on random data", Int. J. Bif. & Chaos, Vol. 7, No. 6, pp.1267-1282, 1997

[2] Kantz, H. "A Robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series", Phys. Lett. A185. pp.77-87, 1994

[3] Eckmann, J. P., Kamphorst, S. O., Ruelle, D., Ciliberto, S. "Liapunov exponents from time series", Phys. Rev. A34(6), pp.4971-4979, 1986

[4] Ko, J. H., Shim, J. C., Ryu, C. W., Park, C. G., Yim, W. Y. "Detection of high impedance faults using neural nets and chaotic degree",

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

[6] Grassberger, P., Procaccia, I. "Measuring strangeness of strange attractors", Physica 9D, pp.189-208, 1983

[7] Aucoin, B. M., Russel, B. D. "Distribution high impedance fault detection utilizing high frequency current component", IEEE. Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.6, pp.1596-1606, Jun,1982.

[8] Aucoin, B. M., Russel, B. D. "Detection of distribution high impedance faults using burst noise signals near 60Hz", IEEE. Trans. on Power Delivery, Vol.PWRD-2, No.2, pp.342-348, Apr,1987.

[9] Hughes Aircraft Company, "High impedance fault detection using third harmonic current", Electric Power Research Institute Project 1285-22, Final Report EL-2430, Jun, 1982.

[10] Huand, C. L., Chu, H. Y., Chen, M. T. "Algorithm comparision for high impedance fault detection based on staged fault test", IEEE. Trans. on Power Delivery, Vol.3, No.4,

Oct. 1988.

[11] Russel, B. D., Chinchali, R. P. "A digital signal processing algorithm for detecting arcing faults on power distribution feeders", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.4, No.1, Jan, 1989.

[12] Kwon, W. H., Lee, G. W., Park, Y. M. " A Study for the improvement of the protection relay scheme on multi grounded distribution system", KEPCO Project Final Report, KRC-85A-JO5, 1987.

[13] Ko, J. H., Shim, J. C., Ryu, C. W., Park. C. G., Yim, W. H."Detection of High Impedance Faults Using Neural Nets and Chaotic Degree", Proc. of EMPD '98, IEEE, Singapore, Vol.2, March, 1998, pp.399-404

[14] Ko, J. H., Shim, J. C., Ryu, C. W., Bae, Y. C., Yim, W. H. "ANALYSIS OF CHAOTIC PROPERTIES IN HIF",Proc. of ICEE '98, ICEE, Kyongju, Korea, Vol.I, July, 1998, pp.488-491

[15] Mamishev, A. V., Russel, B. D., Benner, C. L. "Analysis of High Impedance Faults Using Fractal Techniques", Proc. of IEEE, 1995, pp.401-406



배 영 철(裵英哲)

1984년 2월 광운대학교 전기공학  
학과 졸업

1986년 2월 광운대학교 대학원  
전기공학과 졸업(공학석사)

1997년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1986년2월-1991년9월 한국전력공사

1991년9월-1997년9월 산업기술정보원 책임연구원

1997년9월-현재 국립여수대학교 전기 및 반도체공학과 조교수

\*관심 분야: 카오스 동기화, 카오스 제어, 카오스 암호화 통신, 실측 카오스 해석, 시계열 해

석, 신경망



**고 재 호(高載虎)**  
1995년 제어계측공학과 졸업(석사)  
1997년 동 대학원 제어계측공학과 졸업.  
현재 광운대 대학원 제어계측공학과 박사과정.



**임 화 영(任化永)**  
1973년 한양대 공대 전기과 졸업.  
1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).  
1982년 ~ 1988년 광운대 공대 전기공학과 교수.  
현재 광운대 공대 제어계측공학과 교수.