

# 배전계통에서 신경회로망을 이용한 고저항 고장 검출에 관한 연구

“이 화석”, 이 상성\*, 박 준호\*, 장 병태\*\*

\*부산대학교 전기공학과, \*\*전력연구원

## A Study on High Impedance Fault Detection Using Neural Networks in Power Distribution Systems

“H. S. Lee”, S. S. Lee\*, J. H. Park\*, B. T. Jang\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University, \*\*KEPRI

Abstract : High impedance fault can not be easily detected by conventional method. But if it would not be detected and cleared quickly, it can result in fires, and electric shock.

In this paper, neural network, which has learning capability, is used for high impedance fault detector. The potential of the neural network approach is demonstrated by simulation using KEPCO's measured data. The instantaneous values and frequency spectrum of current are respectively used as the inputs of neural networks. Also, the methods using combined data to exploit the advantage of each data are proposed.

In this paper, back-propagation network(BPN) is used for high impedance fault detector and can use for high speed relay because it detects faults within 1 cycle.

### 1. 서론

최근 전력수요의 급증에 따라 송배전설비는 점차 대형화되는 추세이며 지역적으로 광범위하게 산재되어 있어 전력계통의 보호시스템 체계가 복잡해지고 계통의 고장 양상도 다양해지고 있다. 일반적으로 대부분의 전력공급체계가 급전소로부터 가공선으로 이루어져 있는데, 배전계통에서의 고저항고장(high impedance fault : IHF)은 고장발생시 고장지점의 아크(arc)를 동반한 높은 저항때문에 고장전류가 적게 흐르는 특성을 가지고 있다. 이러한 고장은 검출이 용이하지 않아서 인명 안전사고 및 화재등과 같은 전기재해로 유발될 수 있다[1-6].

이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구자들에 의해 제시된 고저항 고장 검출방법들로서 고장발생시 3 고조파 전류증가의 크기 또는 위상각 변화를 측정하는 방법[3], 아크에 의해 발생되는 잡음과 고조파성분을 이용하는 방법, 고장시 증가된 에너지 레벨을 설정값과 비교, 판단하는 방법, 지락전류신호를 고역 통과 필터를 통과시키거나, 주파수 스펙트럼을 비교하는 방법 등 다양하고 복합적인 방법들이 제안되었으나 만족할만한 성능은 얻지 못하였다. 또한 근래에 각광을 받기 시작한 신경회로망을 이용하여 고저항 고장을 검출해 보고자 하는 연구[4-6]도 시도되었으나 차단기에 차단(trip) 신호를 낼 수 있을 정도로 정확한 검출 성능을 가지지는 못하였다.

본 논문에서는 여러 응용분야에 널리 사용되고 있는 역전파 회로망(back-propagation network : BPN)을 이용하여 보다 정확한 검출성능을 가지는 고저항 고장검출용 신경회로망을 구성하였고 신경회로망의 입력으로는 전류의 순시치, 주파수 스펙트럼 데이터, 앞 두 데이터를 결합하여 이용하는 경우등 여러 종류의 입력에 대해서 신경회로망을 구성하여 검출성능을 평가하였다.

### 2. 신경회로망의 고저항 고장검출에의 적용 방법

신경회로망을 이용하여 고저항 고장을 검출하기 위해서는 정상운전시와 고장발생시의 어떤 유행을 찾는 것이 중요하다. 또한, 신경회로망은 종래의 여러 검출방법에서 사용한 고저항 고장 검출에 유용한 데이터를 입력으로 이용할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 이러한 데이터를 조합하여 입력으로 이용할 수 있다. 그리고, 신경회로망을 고장검출기로 사용하기 위해서는 적당한 크기의 입력데이터를 취득해야 한다. 즉 1 cycle 또는 수 cycle의 전류, 전압 데이터를 전처리하여 입력으로 할 수 있다.

고저항 고장발생시 고장전류는 기존의 과전류지락계전기로는 검출할 수는 없지만 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉 전류 순시치를 계속하여 신경회로망의 입력으로 이용할 수 있다.

본 논문에서는 1 cycle의 전류 데이터를 window형식으로 계속하였고, 이 데이터를 신경회로망의 입력으로 이용할 수 있도록 스케일(scaling)하였다. 또한 FFT(fast fourier transform) 분석을 행하여 신경회로망의 입력에 필요한 데이터를 획득하였다. 신경회로망을 이용한 고장검출기의 블록 선도를 그림 1에 나타내었다.

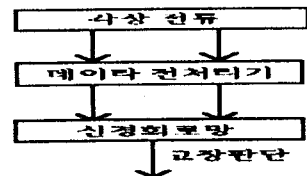


그림 1. 신경회로망을 이용한 고장검출기

#### 2. 1 순시치 데이터를 신경회로망의 입력으로 이용하는 방법

신경회로망의 입력으로 전류의 순시치를 이용하는 경우는 2 가지형태로 구성하였다. 첫째는 신경회로망의 입력으로 a상, b상, c상 순시치 전류를 측정하여 전처리 과정에서 단순히 0~1의 값으로 정규화시킨 데이터를 신경회로망의 입력으로 이용하였다. 둘째는 이 정규화시킨 데이터를 내림순 정렬(descending sort)하여 각 상별로 신경회로망의 첫 번째 뉴런에 최대값, 마지막 뉴런에 최소값이 입력되는 형태로 구성하였다. 순시치를 이용한 하수데이터의 구성을 그림 2에 나타내었다.

#### 2. 2 주파수 스펙트럼 데이터를 신경회로망의 입력으로 이용하는 방법

FFT 분석을 행하여 구한 주파수 스펙트럼을 신경회로망의

a상	b상	c상	0/1 or 10/01
----	----	----	--------------

순시치전류64개 순시치전류64개 순시치전류64개 출력  
a) 각 상별로 정규화한 경우

a:max, ..., min	b:max, ..., min	c:max, ..., min	0/1 or 10/01
-----------------	-----------------	-----------------	--------------

순시치전류64개 순시치전류64개 순시치전류64개 출력  
b) 각 상별로 내림순 정렬한 경우

그림 2. 순시치 데이터를 이용한 경우의 신경회로망 입, 출력

입력으로 이용하였다. 주파수 스펙트럼을 이용하는 경우 필요 차수까지만 추출하여 각각의 최대값으로 나누어 신경회로망의 입력으로 이용하였다. 입력 데이터의 구성은 그림 3에서 보는 것처럼 2가지 방법으로 구성하였다.

a상	b상	c상	0/1 or 10/01
----	----	----	--------------

진폭 위상 진폭 위상 진폭 위상  
5개 5개 5개 5개 5개 5개 출력

a) 4 고조파까지의 진폭 및 위상 스펙트럼 데이터를 이용한 경우

a상	b상	c상	0/1 or 10/01
----	----	----	--------------

진폭 5개 진폭 5개 진폭 5개 출력

b) 4 고조파까지의 진폭 스펙트럼 데이터를 이용한 경우

그림 3. 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 입, 출력

2. 3 순시치와 주파수 스펙트럼 데이터를 결합하여 신경회로망의 입력으로 이용하는 방법

신경회로망은 정보를 결합해서 입력으로 이용할 수 있는 장점이 있으므로 고저항 고장 검출에 유용한 정보인 순시치와 주파수 스펙트럼 데이터를 결합하여 신경회로망의 입력으로 이용하는 방법을 제안하였다. 입력데이터의 구성 방법을 그림 4에 나타내었다.

a상	b상	c상	0/1 or 10/01
----	----	----	--------------

진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
출력

a) 순시치와 주파수 스펙트럼을 이용한 경우

a상	b상	c상	0/1 or 10/01
----	----	----	--------------

진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
진폭 5개, 위상 5개, 순시치 64개  
출력

b) 순시치와 진폭스펙트럼을 이용한 경우

그림 4. 순시치 및 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 입, 출력

또한, 신경회로망의 출력은 두 가지 형태로 구성하였다. 첫째는 출력층의 뉴런수를 1개로 정하여 정상운전시는 0, 고장발생시는 1을 목표출력으로 정하였다. 둘째는 출력층의 뉴런수를 2개로 정하여 정상운전시는 [1 0], 고장발생시는 [0 1]을 목표출력으로 하였다.

본 논문에서는 위에서 제시한 여러 입력패턴에 대하여 검출 성능을 고찰하였고, 역전파 신경회로망 모델을 이용한 시뮬레이션을 통하여 신경회로망 방법이 고저항 고장 검출에 유용한지를 검토하였다.

### 3. 사례 연구

#### 3. 1 실험 자료

본 연구에서 사용한 데이터는 1986년 12월 3일 경주 변전소 관할 경우 D/L에서 인위적으로 C상의 고저항 지락 고장을 발생시켜 측정한 3상의 전류데이터[2]를 이용하였다. 시뮬레이션에 이용한 실험 자료의 목록을 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험자료 목록

검지 표면의 종류	실험 횟수
보도블럭	1
자갈·모래	2
모래	2

3. 2 순시치 데이터를 신경회로망의 입력으로 이용한 경우

신경회로망의 입력으로 전류의 순시치를 이용하여 2가지 경우로 시뮬레이션하였다.

1) 경우 1 : 학습 데이터는 표 1의 실험자료에서 모래, 자갈·모래, 보도블럭에서 각각 하나씩 택하여 총 1731가지의 경우로 학습하였다. 이때 신경회로망의 구조는 입력 뉴런은 192, 은닉층의 뉴런은 50, 출력층의 뉴런은 1개로 구성하였다. 또한 학습시 사용하지 않은 데이터를 이용하여 검출 성능을 평가하였다. 그림 5에 학습에 사용하지 않은 자갈·모래 데이터의 신경회로망 출력파형을 나타내었다. 그림 5에서 보는 것처럼 고장발생과 거의 동시에 정확히 검출함을 확인할 수 있다.

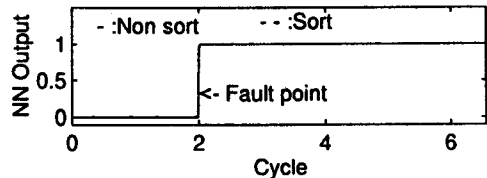


그림 5. 순시치 데이터를 이용한 경우의 신경회로망 출력 파형 (경우 1)

2) 경우 2 : 신경회로망 방법의 일반성을 고찰하기 위하여 경우 1과는 다른 조합으로 학습데이터를 구성하였고 학습데이터의 총 수는 1691개이다. 즉 표 1의 실험중 학습데이터를 자갈·모래 2개, 모래 1개를 택하여 경우 1과 동일한 구조로 학습한 후 학습에 사용하지 않은 보도블럭 및 모래실험에 대하여 검출 성능을 평가하였다. 그림 6에 보도블럭에 대한 신경회로망 출력파형을 나타내었다. 그림 6에서 보는 것처럼 고장발생후 조금의 시간지연을 가지나 1 cycle 이내에 정확히 검출하였다.

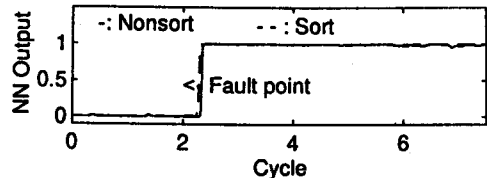


그림 6. 순시치 데이터를 이용한 경우의 신경회로망 출력 파형 (경우 2)

3. 3 주파수 스펙트럼을 신경회로망의 입력으로 이용한 경우

3. 2절의 경우와 동일한 데이터로 그림 3에서 구성한 2가지 방법으로 시뮬레이션하였다.

1) 경우 1 : 4. 2절의 경우 1에서 이용한 순시치 데이터 각각을 FFT분석하여 추출한 데이터를 그림 3처럼 입력데이터로 구성하였고 학습데이터의 수는 총 1731 경우이다. 그림 7에 학습에 사용하지 않은 자갈·모래 데이터의 신경회로망 출력파형을 나타내었다.

그림 7에서 보는 것처럼 그림 3의 a)형태로 구성한 경우는 고장과 거의 동시에 검출하나 b)형태로 구성한 경우에는 고장발생후 과도현상을 거쳐 1 cycle 이내에 정확히 검출함을 알 수 있었다.

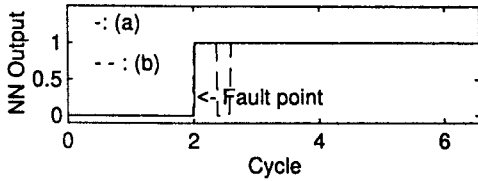


그림 7. 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 출력 파형( 경우 1)

그림 7에서 보는 것 처럼 그림 3의 a)형태로 구성된 경우는 고장파 거의 동시에 검출하나 b)형태로 구성된 경우에는 고장발생후 과도현상을 거쳐 1 cycle이내에 정확히 검출함을 알 수 있었다.

2) 경우 2 : 4. 2절의 경우 2와 동일한 실험에 대한 데이터를 그림 3처럼 구성된 후 학습에 사용하지 않은 실험에 대하여 검출성능을 평가하였고 그 결과를 그림 8에 나타내었다.

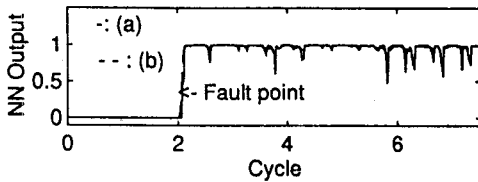


그림 8. 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 출력 파형( 경우 2)

그림 8에서 보는 것처럼 그림 3의 a)형태로 구성된 경우에는 고장발생후 시간 지연 및 진동현상이 발생하나 정확히 검출함을 알 수 있었고, b)의 형태로 구성된 경우에는 고장발생후 시간지연을 가지나 정확히 검출하였다.

### 3. 4 순시치와 주파수 스펙트럼 데이터를 결합하여 신경회로망의 입력으로 이용한 경우

3. 2절 및 3. 3절에서 순시치와 주파수 스펙트럼 데이터가 고저항 고장 검출에 유용함을 알았다. 또한 신경회로망은 정보를 결합해서 입력으로 이용할 수 있는 장점이 있으므로 고저항 고장 검출에 유용한 정보인 순시치와 주파수 스펙트럼 데이터를 결합하여 신경회로망의 입력으로 이용하는 방법을 제안하였다. 입력데이터의 구성 방법을 그림 4에 나타내었다.

1) 경우 1 : 전질의 경우 1과 같은 데이터를 그림 4와 같은 방법으로 각각 구성하였고 검출성능은 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 보는 것처럼 순시치를 입력으로 사용한 경우와 비슷한 결과를 얻었고 진폭 데이터를 이용한 경우의 과도현상은 나타나지 않았다.

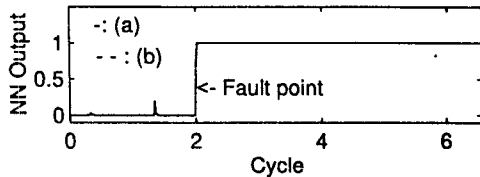


그림 9. 순시치 및 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 출력파형( 경우 1)

2) 경우 2 : 전질의 경우 2와 동일한 실험에 대한 데이터를 그림 4와 같은 방법으로 각각 구성하였고 학습에 사용하지 않은 실험에 대한 검출성능을 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 보는 것처럼 시간지연을 가지나 고장발생후 1 cycle이내에서 정확히 검출하였다.

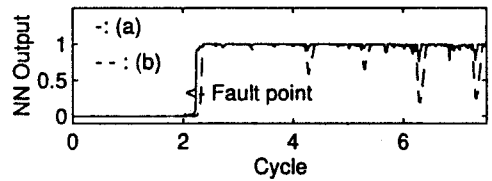


그림 10. 순시치 및 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 출력파형( 경우 2)

또한, 출력층의 뉴런을 2 개로 정한 경우에 그림 4 a) 형태로 학습데이터를 구성하여 학습에 사용하지 않은 실험에 대한 검출성능을 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 실선은 첫번째 뉴런의 출력이고 점선은 두번째 뉴런의 출력을 나타낸다.

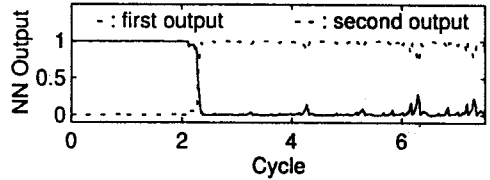


그림 11. 순시치 및 주파수 스펙트럼을 이용한 경우의 신경회로망 출력파형( 출력층의 뉴런수 : 2개)

## 5. 결론

본 연구에서는 종래의 방법으로는 쉽게 검출하기 어려운 문제인 고저항 고장 검출에 학습능력을 가진 신경회로망을 고저항 고장검출법으로써 사용하였다.

고저항 고장은 기존의 방법으로는 쉽게 검출할 수 없지만 본 논문에서 구성한 신경회로망 방법으로는 과도현상과 진동형태를 보이기는 하나 고장발생후 1 cycle 이내에서 정확히 검출할 수 있어 계통의 과도안정도 향상에 필요한 고속 계전기로서 사용할 수 있다. 특히 입력으로 구성된 여러 방법을 조합하여 고저항 고장 검출법으로 이용하면 검출성능 및 정확도를 더 높일 수 있는 가능성을 보여주었다.

앞으로는 다양한 데이터를 이용하여 시뮬레이션 해 볼 필요가 있으며 신경회로망에 의한 고저항 고장 검출 방법은 많은 장점을 가질 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] "Detection of High Impedance Faults", EPRI Report EL-2413, prepared by Power Technologies, Inc., June, 1982.
- [2] "다중접지 배전선로 보호계전방식 개선에 관한 연구", 한국 전력공사 기술연구원, 1987.
- [3] "High Impedance Fault Detection Using Third Harmonic Current", EPRI Report EL-2430, prepared by Huges Aircraft Co., June, 1982.
- [4] Sonja Ebron, David L. Lubkeman, and Mark White, "A Neural Network Approach to the Detection of Incipient Faults on Power Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 905 - 914, April, 1990.
- [5] A. F. Sultan, G. W. Swift, and D.J.Fedirchuk, "Detection of High Impedance Arcing Faults Using A Multi-layer Perceptron", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4 pp. 1871 - 1877, Oct., 1992.
- [6] 이 화석, 한 중길, 박 준호, "신경회로망을 이용한 고저항 고장 검출", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 465-467, 1995.