

뉴로-퍼지 알고리즘을 이용한 전력 설비의 열화 상태 분석 연구

황경준* · 이현룡 · 최유순** · 김용갑**
원광대학교

A Study on the degradation Analysis Using Neuro-Fuzzy Algorithm

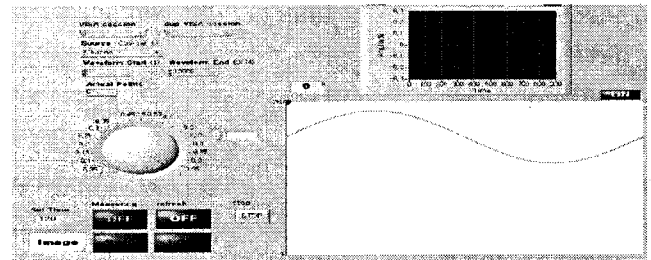
Kyoung-Jun Hwang* · Hyun-Ryoun Lee · Yoo-Seun Choi** · Yong-Kab Kim**

Abstract - In this paper, we have studied for analysis of the partial discharge(PD) signal in power transmission line. The PD signal has estimated as detected signal accumulation of a PRPDA method by using Labview, and analyzed with neuro-fuzzy algorithm. With practical PD logic implementation of theoretical detected system and hardware implementation, the device for Hipotronics Company's 22.9kV or 154kV setup has generated and then has applied with 18kV,20kV with 1:1 time probe. It's also used the LDPE 0.27mmt (scratch error 0.05mmt) to sample for making PD. Our new class of PD detected algorithm has also compared with previous PRPDA or Fuzzy algorithm, which has diagnose more conveniently by adding numerical values.

로 계산된다. 여기서, C_0 는 내부결함과 직렬 연결된 커패시턴스이며 δV_0 는 결함으로부터 발생하는 전압강하 값이다. 방전 발생시간은 방전이 발생했을 때, 시험전압의 주기 중 어느 부분에서 발생했는가에 대한 시간 정보로서, 시험전압의 위상 ϕ 와 발생전압 U_0 로 표현된다.[6] 방전 발생 수(N_f)는 방전이 발생한 빈도수로 한 주기 또는 반주기 동안의 방전발생 수를 의미한다. 이러한 기법을 이용하여 부분방전 신호를 누적시켜 검출하는 PRPDA기법을 Labview로써 표현하여 부분방전 검출 시스템을 구축하였다.

1. 서 론

전력 케이블의 열화 진행 상태를 조기 진단하는데 있어서 매우 중요한 부분이 PD(Partial Discharge)이다. 그러나 부분방전은 시간적 측면에서 매우 비주기적인 신호일 뿐만 아니라 현장 실측 데이터의 경우 주변의 여러 가지 노이즈의 영향으로 부분방전 유무의 판별이 어려운 실정이다. 때문에 부분방전을 주변의 노이즈들과 구분해내는 일은 매우 어려운 일일뿐 아니라 부분방전 진단이라는 커다란 숙제라고 할 수 있다. 이러한 이유로 부분방전 신호를 누적 패턴을 형성하여 진단하는 PRPDA(phase Resolved Partial Discharge Analysis, $\phi-q-m$) 기법으로 부분방전 신호를 검출할 필요성을 느끼게 되었다. 또한 최근 인간 두뇌의 근사 모델인 신경회로망과 애매성을 해결하려는 퍼지이론이 컴퓨터를 이용한 계측 기술에 비약적으로 발전함에 따라 국내외에서 인공지능 알고리즘을 이용하여 부분방전을 진단하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다.[1] 선진 기술을 가지고 있는 해외에서 뿐만 아니라 국내에서 신경망 알고리즘을 이용한 부분방전 유무 진단에 대한 연구결과가 발표되고 있어 컴퓨터 진단에 대한 가능성을 보여주고 있다. [2]하지만 현재의 컴퓨터 계측 기술이나 장비의 성능으로 볼 때에 부분 방전 신호를 완벽하게 진단한다는 것은 아직까지 불가능에 가깝다고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 부분방전신호를 완벽 진단하는 것 보다는 이산적인 사료를 할 수 있는 알고리즘을 통하여 부분방전 신호에 대한 좀 더 많은 정보를 획득할 수 있는 퍼지 알고리즘을 개발하는데 중점을 두었으며, 이러한 알고리즘을 이용하여 모호함을 수치로 표현 가능한 방법으로 뉴로-퍼지 기법을 사용하였다.[3,4] 현재 공학계열에서 많이 사용되고 있는 Labview를 이용하여 부분방전 신호를 PRPDA법으로 누적 검출하고 검출된 신호를 뉴로-퍼지 알고리즘으로 해석함으로써 부분방전 신호의 누적 패턴모양과 해석된 수치를 같이 비교 분석하여 부분방전 진단을 하고자 한다.



〈그림 1〉 PD 신호를 측정하기 위한 시스템 인터페이스

2. 본 론

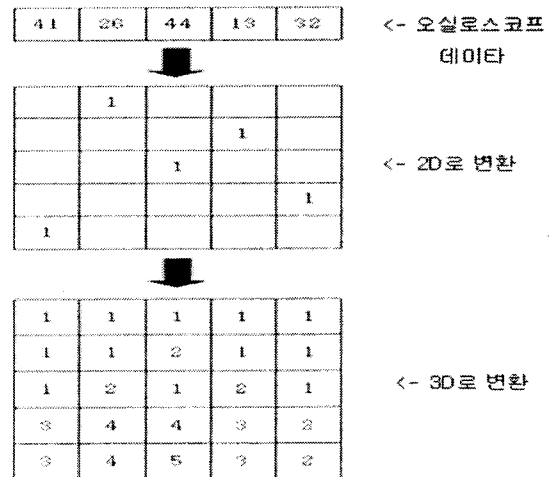
2.1 본론

2.1.1 시스템 구성

전력 케이블에서의 부분방전은 주로 케이블 내의 골기나 공극 등의 결함에 의해 발생하며 그 원인과 상황에 따라 여러 가지 형태의 유형을 가지고 있다. 또한 한 주기내의 정극성과 부극성의 반주에 나타난다는 특성을 가지고 있다. PRPDA기법으로 수치적으로 분석하여, 측정할 수 있는 방법으로 프로그램 하였다. 방전크기(q)는 시간에 따른 방전전류 $i_f(t)$ 에 의한 변위전하의 양은 결보기 전하량 q 로 정의되며 이 양은

$$q = C_0 \delta V_0 / pC$$

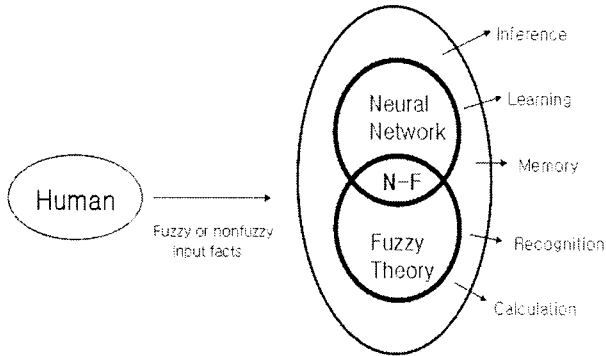
연구를 통해 구축한 Labview 프로그램의 PRPDA기법 표현 방식을 한마디로 표현하면, 일차원 배열을 삼차원 배열로 변형시켜 화면에 표현한 것이라고 할 수 있다. 그림2와 같이 일차원 배열로써 전송되는 오실로스코프(Oscilloscope)의 데이터를 컴퓨터로 받아 누적된 정도에 따라 색을 다르게 하여 3차원 데이터로 표현하였다. 이를 이용하여 방전량, 방전횟수에 따라 부분방전의 누적 패턴을 형성하고자 하였다. 연구를 통해 구축한 Labview 프로그램의 PRPDA기법 표현 방식을 한마디로 표현하면, 일차원 배열을 삼차원 배열로 변형시켜 화면에 표현한 것이라고 할 수 있다. 그림1과 같이 일차원 배열로써 전송되는 오실로스코프(Oscilloscope)의 데이터를 컴퓨터로 받아 누적된 정도에 따라 색을 다르게 하여 3차원 데이터로 표현하였다.[4]



〈그림 2〉 1차원 배열의 3차원배열로 변환

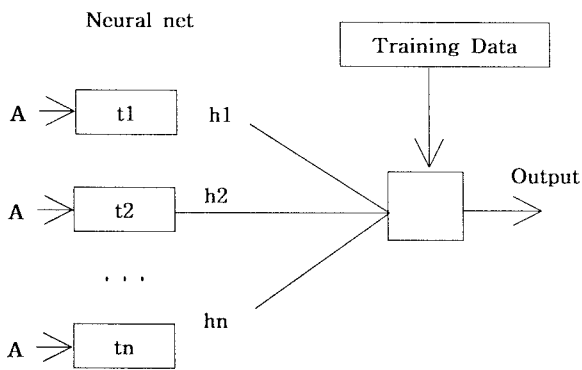
2.1.2 뉴로-퍼지 알고리즘 구현

PD신호를 진단하기 위한 뉴로-퍼지 알고리즘의 개발 툴로는 MATLAB을 이용하였으며 개발 언어로는 C언어를 이용하여 프로그래밍(Programming)을 하였다. 뉴로-퍼지시스템 모델의 개념적 구조는 그림3과 같다. 인공지능을 기반으로 추론하며 기억하고 인식하는 보다 지능적인 시스템이다. 인간의 뇌의 구조를 이용하여 사실과 논리를 바탕으로 단계별 학습하여 추론하는 시스템을 지향함으로써 광범위한 범위를 함축하여 결론에 빨리 도달하는 기법이다.



<그림 3> 뉴로-퍼지시스템 개념적 구조도

임의의 입력을 가지고 각 노드를 지나면서 멤버십 함수를 만든다. 그리고 노드간 추론을 거쳐 결론을 도출하는 뉴럴-퍼지 알고리즘을 적용한 (그림4) 실험을 진행하였다. [7,8]



<그림 4> 시뮬레이션 데이터와 입력 데이터를 비교

임의의 상수를 퍼지법칙을 적용하여 레이어별 분류로 변환하는 방식

$R_i : \text{If } X_1 \text{ is } A'_{1i}(\alpha_1) \text{ and } \dots$
 $\text{and } X_m \text{ is } A'_{mi}(\alpha_m) \text{ THEN } Y \text{ is } B'_i(\beta_i)$

Layer1 : 뉴런에 상응하고 임의의 데이터가 입력이 될 때 다음과 같이 작성한다.

$$f_n(x_n) = x_n$$

$$a_m(f_m) = f_m$$

Layer2 : L1과 L2사이에 멤버십함수를 적용하여 다시 L1로 적용시킨다. 파라미터를 퍼지세트하여 계산식을 추론한다.

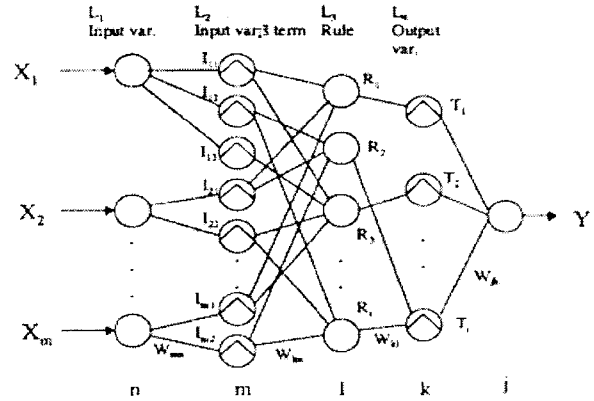
$$f_m(x_m) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_{im}}(x_m)$$

$$a_m(f_m) = f_m$$

Layer3 : 각각의 뉴런규칙에 연결하여 L2의 법칙을 적용 입력값을 뉴런규칙에 적용하여 시스템에서 분석하고 비교 패턴을 가지고 다음 뉴런에 적용시킨다. L2에서 최소 연산과 총 사용된 출력값을 가지고 L3에 적용시킨다. [7]

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_p) = \min_j (x_j)$$

$a_i(f_i) = f_i$
 -> 최소한으로 사용된 수
 -> 총 사용된 수



<그림 4> 뉴럴-퍼지 법칙

Layer4 : L3에서 나온 데이터를 가지고 각각의 계산된 값을 정의하여 규칙적인 법칙을 이용하여 임의의 값을 정의된 값으로 학습을 하여 체계적인 법칙에 의해 계산되어진다.

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_q) = \max(x_1, x_2, \dots, x_q) = \alpha_k$$

$$a^1(\alpha_k) = C^u(B_k^{\alpha k})$$

$$a^2(\alpha_k) = \text{Area}(B_k^{\alpha k})$$

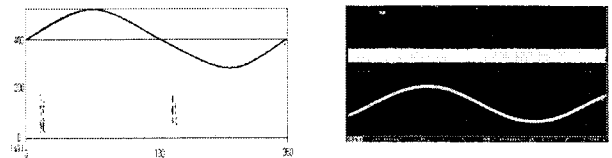
Layer5 : L4에서 만들어진 값을 가지고 뉴런에서 출력된 값을 법칙에 맞게 연산하여 실행한다.

$$f_j = \frac{\sum_k C^u(B_k^{\alpha k}) \text{Area}(B_k^{\alpha k})}{\sum_k \text{Area}(B_k^{\alpha k})} = \frac{\sum_k a_k^1(\alpha_k) a_k^2(\alpha_k)}{\sum_k a_k^2(\alpha_k)}$$

$$a_j(f_j) = f_j$$

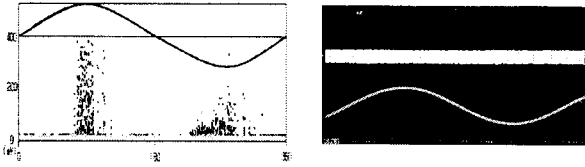
2.2.1 실험 결과 및 고찰

구축된 Labview 프로그램이 제대로 구동되는지 확인하기 위해 내 전압기에 장착되어있는 부분방전 발생기로 부분방전 신호를 발생시켜 구축된 Labview 프로그램으로 누적 신호를 검출하였다. 그림 5는 그 결과물 나타낸 그림인데, 오실로스코프로부터 전송된 값들이 정확한 위상에 모여 매우 정석적인 부분방전 신호의 패턴을 형성한 것을 볼 수 있다. 그림 5의 결과로 보아서 구축된 Labview 프로그램이 제대로 구동한다는 사실을 알 수 있었다.



<그림 5> 부분방전 발생기로 부분방전 신호 발생 후 누적

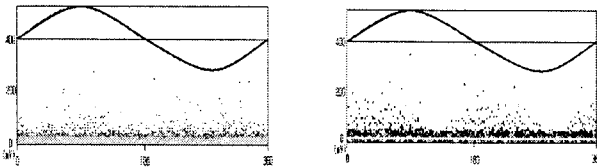
프로그램이 정상적으로 구동 된다는 걸 확인한 뒤 본격적으로 0.27mm LDPE sheet(Scratch 오차 0.05mm)를 구 전극으로 압착 고정시켜 내전압기로 18kV까지 천천히 전압을 올려 인가한 뒤 발생되는 신호를 Labview 프로그램으로 누적시켜 그림 6과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림6 을 보면 주로 90° 위상과 180° 위상에 신호가 몰려서 발생하였고 특히 왼쪽 신호의 경우 균일한 형태를 보이며 발생한 것으로 보아 외부 코로나에 의한 노이즈로 추정하였으나 부분방전 신호가 위상 적으로 약간 밀려서 나타나 노이즈에 묻혔을 가능성을 간파할 수 없어서 같은 조건에서 구 전극이 달린 기름통에 기름을 채워 코로나 방전을 방지한 후 다시 18kV를 인가하여 누적시켜 보았다.[3] 그 결과 별 잡음이 없는 매우 깨끗한 누적 결과물 얻어 그림6 의 누적 신호가 주로 기체 중에서 발생하는 코로나 방전 신호임을 확인 하였다.



<그림 6> 15kV 인가하여 계면방전 발생

그림7 를 보면 주로 90° 위상과 180° 위상에 신호가 몰려서 발생하였고 특히 왼쪽 신호의 경우 균일한 형태를 보이며 발생한 것으로 보아 외부 코로나에 의한 노이즈로 추정하였으나 부분방전 신호가 위상 적으로 약간 밀려서 나타나 노이즈에 묻혔을 가능성을 간과할 수 없어서 같은 조건에서 구 전극이 달린 기름통에 기름을 채워 코로나 방전을 방지한 후 다시 18kV를 인가하여 누적시켜 보았다. 그 결과 별 잡음이 없는 매우 깨끗한 누적 결과를 얻어 그림 6.18 의 누적 신호가 주로 기체 중에서 발생하는 코로나 방전 신호임을 확인 하였다.

그 상태에서 다시 5분간 더 누적시켜 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7의 경우 실험에 사용된 시료의 두께가 매우 얇고 누적 시간이 길었던 점을 감안하였을 때, 시료가 열화하면서 부분방전이 발생하였을 것으로 추정되나 그 발생횟수와 방전량이 미약하고 외부 잡음과 섞여 뚜렷한 패턴을 형성하지 못한 것으로 판단하였다.



<그림 7> 18kV 와 20kV인가시의 유증 방전 신호 검출

그림 7의 결과를 확인한 뒤 방전량과 방전 횟수를 높이기 위해 같은 조건에서 전압을 18kV에서 20kV로 올려 다시 실험을 한 결과 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7의 경우 위상에 따라 규칙적인 패턴을 형성한 것을 볼 수 있는데, 패턴은 전동기나 발전기의 계면 부분에서 많이 나타나는 부분방전 패턴형태와 매우 유사한 형태이므로 부분방전 신호의 패턴을 형성한 것으로 판단하였다. 이번 실험을 통하여 Labview로 PRPDA 알고리즘을 3차원으로 표현할 수 있으며 부분방전 신호 역시도 검출해 낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 Labview를 이용하여 부분방전을 누적 검출하는 시스템을 구현하였으며, Labview로 검출된 신호에 뉴로-퍼지 알고리즘을 적용하여 평가해 보았다. 부분방전 발생기로 정확한 PD 신호를 발생시켜본 결과 Labview시스템과 뉴로-퍼지 알고리즘이 정확하게 구동한다는 사실을 확인하였다. 또한 뉴로-퍼지 알고리즘을 부분방전 신호의 분석에 적용 하였을 때 방전량 과 방전횟수가 많을수록 좋은 학습지수와 테스트 지수를 나타내었으며, 규칙적이지 않고 반복적이지 않은 신호일수록 테스트 결과가 좋지 않다는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과를 통하여 뉴로-퍼지 알고리즘이 부분방전 신호의 분석 알고리즘으로써 적합한 알고리즘임을 확인하였고, Labview 시스템을 통해 검출된 누적 패턴 모양과, 뉴로-퍼지 알고리즘을 통해 해석된 결과를 같이 비교 분석함으로써 부분방전 신호를 좀 더 편리하게 진단 할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 KESRI (R-2005-7-047), 주관으로 수행된 과제에 의한 것입니다.

[1]Y. S. Lim and J. Y. Koo, "Comparative Analysis of Partial Discharge Patterns form Different Artificial Defects by Means of Conventional Phase-Resolved Partial Discharge Analysis and a Novel Chaotic Analysis of Partial Discharge", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 42, No. 6, p. 755, 2003.

[2] 김진수, 박재완, 박건준, 오성권, 김용갑, "퍼지 알고리즘을 이용한 부분방전 신호의 진단에 관한 연구", 2005년도 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 추계학술대회 논문집, Vol. 15, No. 2, p. 440, 2005

[3]F.H.Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment". Butterworth, p.1.1989.

[4]김진수, 박건준, 오성권, 김용갑, "부분방전 신호의 PRPDA누적 검출과 퍼지 알고리즘을 이용한 컴퓨터 진단에 관한 연구", 2005년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, Vol. 28, No. 2, p. 1015, 2005.

[5]김진수, 김용갑, "지중전선선로 PD신호 분석을 위한 퍼지 알고리즘 적용 및 평가에 관한 연구",원광대학교 석사 학위 논문, 2005

[4]Hyung Lee-Kwang, Jee-Hyong Lee, "Fuzzy systems, neural networks and genetic algorithms", 1999년 한국정보과학회 가을 학술발표논문집Vol.2 6.No.2

[6]Keon-Myung Lee, Dong-Hoon Kwak, Hyung LeeKwang' "Tuning of f uuzzy models by fuzzy neural networks", Fuzzy Set and Systems 76(1995) 47-61.

[7]A.S.; Basu, S.K.; Majumdar, K.L, "Robust classification of multispectral data using multiple neural networks and fuzzy integral", Kumar, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on On page(s): 787-790, Volume: 35, Issue: 3, May 1997

[8] H.Ishibuchi, R. Fujioka and H. Tanaka, "Neural networks that learn from fuzzy if-then rules, IEEE Trans. Fuzzy System 1(2)(1993) 85-97