

# 부분방전 신호 분석을 위한 퍼지 알고리즘 적용 및 평가에 관한 연구

論 文
55C-4-2

## A Study on the PD Signal Analysis with Applied Fuzzy Algorithm

金 珍 洙<sup>†</sup> · 金 鎔 甲<sup>\*</sup>  
(JinSu Kim · Yong K. Kim)

**Abstract** - In this paper, we have studied for analysis of the partial discharge(PD) signal in underground transmission line. The PD signal has estimated as detected signal accumulation of a PRPDA method by using Labview, and analyzed with fuzzy algorithm. In our algorithm, we developed system configuration that detected accumulating PD signal using by Labview and programmed fuzzy algorithm can be analyzed the PD signal using with Matlab. With practical PD logic implementation of theoretical detected system and hardware implementation, the device for Hipotronics Company's 50kV setup has generated and then has applied with 15k~17kV with 1:1 time probe. It's also used the LDPE 0.27mmt (scratch error 0.05mmt) to sample for making PD. In conclusion, 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.

**Key Words** : Partial Discharge(PD), Fuzzy, Labview

### 1. 서 론

부분방전(Partial Discharge: PD) 유무의 검출은 전력 케이블의 열화 진행 상태를 조기 진단하는데 있어서 매우 중요한 부분이다[1-3]. 그러나 부분방전은 시간적 측면에서 매우 비주기적인 신호일 뿐만 아니라 현장 실측 데이터의 경우 주변의 여러 가지 노이즈의 영향으로 부분방전 유무의 판별이 어려운 실정이다[2,4]. 때문에 부분방전을 주변의 노이즈들과 구분해내는 일은 매우 어려운 일일뿐 아니라 부분방전 진단이라는 분야에서 커다란 숙제라고 할 수 있다. 이러한 이유로 부분방전 신호를 누적시켜 패턴을 형성하여 진단하는 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis,  $\phi-q-n$ )기법으로 부분방전 신호를 검출할 필요성을 느끼게 되었다[2-7]. 또한 최근 컴퓨터를 이용한 계측 기술이 비약적으로 발전함에 따라 국내외에서 인공지능 알고리즘을 이용하여 부분방전을 진단하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다[5,9]. 국내에서는 특히 신경망 알고리즘을 이용한 부분방전 유무 진단에 대한 연구결과가 주로 발표되고 있으며, 최근에는 카오스 이론을 도입하여 새로운 측면에서 부분방전 신호를 해석하려는 연구도 이루어지고 있어 컴퓨터 진단에 대한 가능성을 보여주고 있다[6,9,10]. 하지만 현재의 컴퓨터 계측 기술로 부분방전 신호를 완벽하게 진단한다는 것은 거의 불

가능에 가깝다고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 부분방전 신호를 완벽하게 진단하는 알고리즘보다는 부분방전 신호에 대한 좀 더 많은 정보를 획득할 수 있는 분석 알고리즘을 개발하는데 중점을 두었으며, 이러한 알고리즘으로써 애매함을 수치로 표현 가능한 퍼지 모델을 사용하였다. 그리하여 현재 공학계열에서 많이 사용되고 있는 Labview를 이용하여 부분방전 신호를 PRPDA법으로 누적 검출하고 검출된 신호를 퍼지 알고리즘으로 해석함으로써 부분방전 신호의 누적 패턴 모양과 해석된 수치를 같이 비교 분석하여 부분방전 진단을 좀 더 편리하게 하고자 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 시스템 구현

##### 2.1.1. Labview PRPDA누적 프로그램 구현

전력 케이블에서의 부분방전은 주로 케이블 내의 돌기나 공극 등의 결함에 의해 발생하며 그 원인과 상황에 따라 여러 가지 형태의 유형을 가지고 있다[1]. 또한 한 주기내의 정극성과 부극성의 반주에 나타난다는 특성을 가지고 있다[2]. 따라서 본 연구는 위와 같은 부분방전의 특성을 나타낼 수 있도록 부분방전 신호를 누적시켜 검출하는 PRPDA기법을 Labview로써 표현하여 부분방전 검출 시스템을 구축하였으며, 이를 이용하여 한주기의 누적된 부분방전 신호를 검출해서 위상특성과 방전 량, 방전횟수에 따라 부분방전의 누적 패턴을 형성하고자 하였다.

본 연구를 통해 구축한 Labview 프로그램의 PRPDA기법

<sup>†</sup> 교신저자, 學生會員 : 圓光大學 電子材料工學科 碩士課程  
E-mail : januskid@wonkwang.ac.kr

<sup>\*</sup> 正 會 員 : 圓光大學 電氣電子 및 情報工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2005年 12月 16日  
最終完了 : 2006年 2月 4日

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. 그림1의 데이터수치는 임의로 표시한 수치이다.

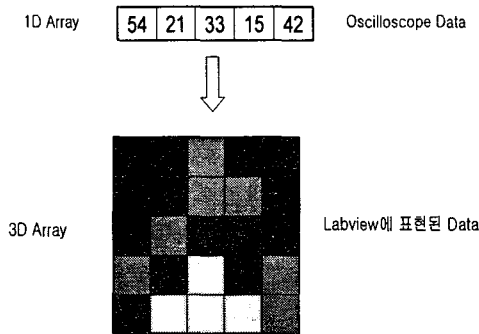


그림 1. 1차원 배열의 3차원 배열로의 변환  
 Fig. 1. Converts into 3D array data of 1D array data

2.1.2. 퍼지 알고리즘 구현

현재의 계측 시스템 기술로는 부분방전신호의 완벽한 컴퓨터 진단은 불가능하다고 판단되어진다. 따라서 본 연구에서는 부분방전이나, 아니냐하는 Yes 또는 NO 라는 확정된 결과보다는 검출된 신호에 대한 좀 더 많은 정보를 제공할 수 있는 알고리즘을 구현하는데 중점을 두었다. 현장에서 수년 이상씩 근무해온 노련한 오퍼레이터(Operator)가 아닌 이상 패턴 모양만을 보고 판단하기 어려운 부분방전 신호를 Labview로 검출된 패턴 모양과 퍼지 알고리즘으로 해석된 수치를 함께 비교 분석하여 부분방전 신호의 진단을 좀 더 편리하게 하고자 하였다. PD신호를 진단하기 위한 퍼지 알고리즘의 개발 툴로는 매트랩(Matlab)을 이용하였으며 개발 언어로는 C언어를 이용하여 프로그래밍(Programming) 하였다.

퍼지 규칙은 다음과 같은 퍼지 규칙을 적용하였다[11].

(1) 간략 퍼지 추론

- $R^1$  : If  $x$  is Small then  $y = a_{10}$
- $R^2$  : If  $x$  is Big then  $y = a_{20}$
- 멤버쉽 함수 2, 3, 4, 5개 사용

(2) 선형 퍼지 추론

- $R^1$  : If  $x$  is Small then  $y = a_{10} + a_{11}x$
- $R^2$  : If  $x$  is Big then  $y = a_{20} + a_{21}x$
- 멤버쉽 함수 2, 3, 4, 5개 사용

간략 퍼지 추론은 후반부 변수로 실상수를 사용하고 추론 기구가 간단하며 추론시간이 빠르다는 장점을 가지고 있다. 선형 퍼지 추론은 후반부 변수로 선형식을 사용하고 인과관계 획득의 어려움을 해결할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 두 퍼지 추론은 모두 대표적인 직접추론법으로써 비선형적인 신호에 적합한 추론법이다[11]. 이 두 퍼지 추론법에 멤버쉽

함수 2, 3, 4, 5개를 각각 적용 시켜본 뒤 가장 좋은 성능을 나타내는 퍼지 규칙을 도출하였다.

신호 적용 방법은 실험을 통해 검출된 데이터 값 중 두주기 신호를 데이터베이스(Database)로 구축하여 전반부 한주기 신호를 입력 값으로 적용시키고 부분방전 발생기(Calibrator)로 발생시킨 정서적인 부분방전 신호를 출력 값으로 적용시켜, 실험값을 넣어 정서적인 부분방전 신호 값으로 출력이 되도록 퍼지 알고리즘을 학습(Training) 시켜 퍼지 모델을 형성한 뒤, 형성된 퍼지 모델에 다시 후반부 한주기 신호를 테스트(Test)하도록 프로그래밍 하였다. 즉, 실험을 통해 검출된 신호가 부분방전 발생기로 발생시킨 신호와 비슷할수록 좋은 학습 결과를, 신호가 주기적으로 반복될수록 좋은 테스트 결과를 나타내도록 프로그래밍 하였다. 입력 값은 퍼지 추론의  $x$ 값, 출력 값은  $y$ 값에 해당한다. 컴퓨터의 프로세서 속도가 매우 빠르기 때문에 학습과 테스트가 거의 동시에 일어나는 것처럼 보이며, 결과로써 학습지수와 테스트지수, 그리고 학습의 결과 그래프와 테스트의 결과 그래프를 화면에 나타내도록 프로그래밍 하였다.

2.2. 실험장치 및 방법

부분방전 신호를 유도하기 위한 실험 장치로 내 전압기(Hipotronics)를 사용하여 15kV~17kV를 인가하여 부분방전 신호를 유도하였다. 이때 신호 검출 센서는 내 전압기의 내부 센서를 사용하였다. 시료는 전력 케이블의 피복 절연체의 재료로 쓰이는 LDPE를 필름(Sheet)형태(0.27mm -scratch 오차 0.05mm-)로 가공하여 사용하였다. 전압을 인가하는 방식은 시료를 구 전극이 달린 절연 오일 챔버(oil chamber)에 넣어 구 전극으로 고정시켜 전압을 인가하는 방식을 취하였다. 실험에 들어가기 전에 내전압기안에 장착된 부분방전 발생기(Calibrator)로 부분방전 신호를 발생시켜 프로그램이 제대로 동작하는지 확인 하였으며, 그 뒤에 시료에 전압을 인가하여 유도한 부분방전 신호를 구축된 Labview프로그램으로 누적 검출 하였다. 구축된 Labview프로그램은 노트북용 GPIB카드(National Instruments)를 통해 오실로스코프와 Data 통신을 하였다.

검출된 신호의 퍼지 알고리즘에의 적용 방법은, 앞의 2.1.2에서 기술한바와 같이 시료에 전압을 인가하여 검출된 신호와 부분방전 발생기로 발생시킨 부분방전 신호로 데이터베이스를 구축한 뒤 학습시켜 퍼지 모델을 형성하고 실험을 통하여 Labview프로그램으로 검출된 데이터 값을 다시 형성된 퍼지 모델에 적용시켜 테스트하였다. 이때 검출된 데이터에서 두주기 신호로 데이터베이스를 구축하여 첫 번째 한주기 신호로 학습시키고 두 번째 한주기 신호로 테스트하였다. 이러한 방법으로 도출되어진 학습데이터와 테스트데이터로 부분방전 신호를 분석하였다. 신호의 분석은 가장 좋은 성능을 나타내는 퍼지 규칙을 적용 시켰을 때의 학습지수, 테스트지수 값을 취하여 분석하였다.

2.3. 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. 그림2는 그 결과를 나타낸 그림인데, 오실로스코프로부터 전송된 값들이 정확한 위상에 모여 매우 정석적인 부분방전 신호의 패턴을 형성한 것을 볼 수 있다. 그림2의 결과로 보아서 구축된 Labview 프로그램이 제대로 구동한다는 사실을 알 수 있었다.

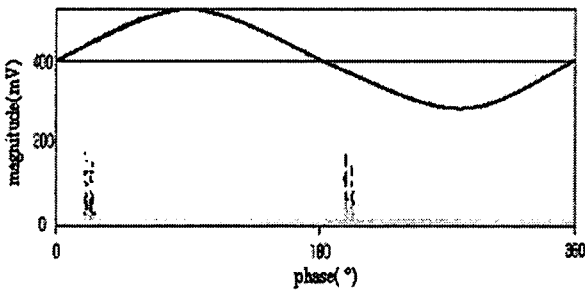
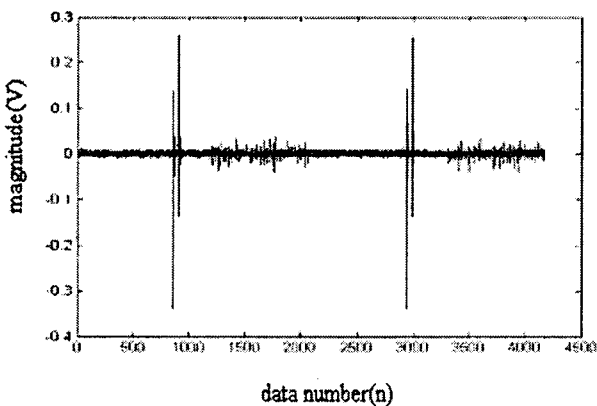
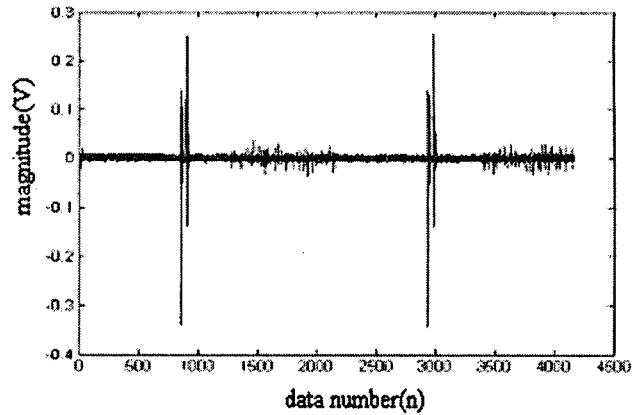


그림 2 부분방전 발생기로 부분방전 신호 발생 후 누적  
Fig. 2. Accumulates after having generated a PD signal with Calibrator

그림3은 그림2에서 검출된 데이터로 데이터베이스를 구축하여 퍼지 알고리즘을 적용시킨 결과이다. 퍼지 모델에 어떤 신호를 적용시켜 학습(Training)을 시키고, 테스트(Testing)하여보았을 때 그 지수가 낮을수록 좋은 성능을 나타내는데, 그림2에서 검출된 Data의 경우 적용된 모든 퍼지 규칙에서 학습지수와 테스트지수 모두 0을 나타내어 매우 정확한 부분방전 신호임을 확인 할 수 있었다. 그림3의 그래프는 데이터의 개수와 신호의 크기를 나타낸 그래프이다. 학습지수는 Labview 프로그램으로 검출된 신호를 입력 값으로 넣었을 때 부분방전 발생기로 발생시킨 정석적인 부분방전 신호가 출력 값이 되도록 한 학습의 성능을 나타내며, (a)는 그 결과를 그래프로 표현한 것이다. 테스트지수는 테스트과정을 거치면서 형성된 퍼지 모델에 다시 Labview 프로그램으로 검출된 신호를 적용시켰을 때의 성능을 나타내며, (b)는 그 결과를 그래프로 표현한 것이다



(a) Training graph



(b) Testing graph

그림 3. 부분방전 발생기로 발생시킨 부분방전 신호의 학습 데이터와 테스트 데이터

Fig. 3. Fuzzy model's Training, Testing data of a PD signal that generated by Calibrator

Labview 프로그램이 정상적으로 구동 된다는 걸 확인한 뒤 0.27mm LDPE(Scratch 오차 0.05mm)를 구 전극으로 압착 고정시켜 내전압기로 15kV까지 천천히 전압을 올려 인가한 뒤 발생하는 신호를 Labview 프로그램으로 누적시켜 그림4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림4를 보면 주로 90° 위상과 180° 위상에 신호가 몰려서 발생하였고 특히 왼쪽 신호의 경우 균일한 막대 모양의 형태를 보이며 발생한 것으로 보아 외부 코로나에 의한 노이즈로 추정하였다.

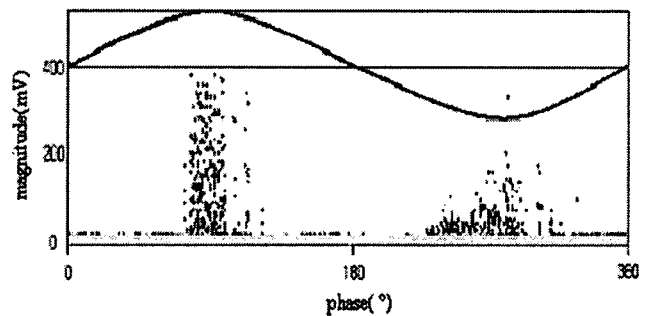


그림 4. 15kV 전압 인가하여 계면방전 발생  
Fig. 4. Applied 15kV and generate face discharge

하지만 부분방전 신호가 위상 적으로 약간 밀려서 나타나 노이즈에 묻혔을 가능성을 간과할 수 없어서 같은 조건에서 구 전극이 달린 절연 오일 챔버에 오일을 채워 코로나 방전을 방지한 후 다시 15kV를 인가하여 누적시켜 보았다.[2] 그 결과 별 잡음이 없는 매우 깨끗한 누적 결과를 얻어 그림4의 누적 신호가 주로 기체 중에서 발생하는 코로나 방전 신호임을 확인 하였으며, 그 상태에서 다시 5분간 더 누적시켜 그림5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림5의 경우 실험에 사용

된 시료의 두께가 매우 얇고 누적 시간이 길었던 점을 감안 하였을 때, 시료가 열화하면서 PD가 발생하였을 것으로 추정되나 그 발생횟수와 방전 량이 미약하고 외부 잡음과 섞여 뚜렷한 패턴을 형성하지 못한 것으로 판단하였다.

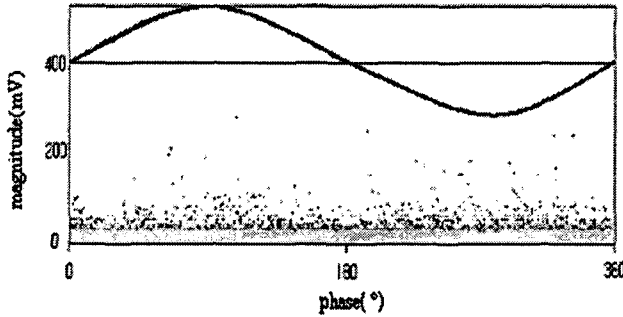
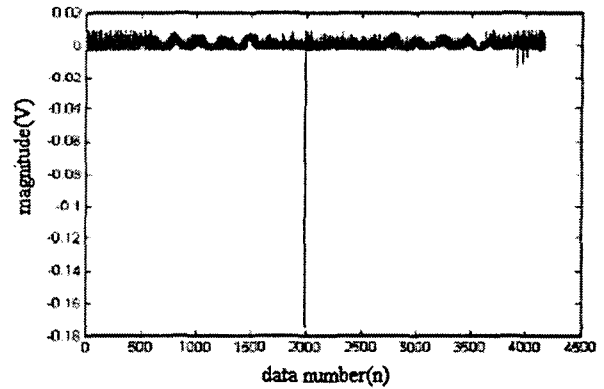


그림 5. 15kV 인가 후 유중 방전 신호 검출  
Fig. 5. Applied 15kV and Discharge signal detection in ole

그림 6은 그림5의 신호를 데이터베이스로 구축하여 퍼지 알고리즘에 적용시킨 결과이다. 선형 퍼지 추론과 멤버쉽 함수 4개를 적용 시켰을 때 가장 좋은 성능을 나타내었으며 학습지수는 0.004265, 테스트지수는 0.004273의 수치를 나타내었다. 학습과정을 나타낸 그래프는 시료에 15kV를 인가하여 얻은 신호를 넣었을 때 부분방전 발생기로부터 얻은 정석적인 부분방전 신호가 출력되도록 학습시킨 결과를 그래프로 표현한 것이다. 테스트데이터를 나타낸 그래프는 학습과정을 통하여 형성된 퍼지 모델에 다시 실험을 통하여 얻은 신호를 넣어 테스트한 결과를 그래프로 표현한 것이다. 결과의 내용을 고찰해보면 학습지수와 테스트지수가 별로 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 또한 그림6의 학습데이터 그래프와 테스트 데이터 그래프가 서로 매우 다른 것처럼 보이지만 자세히 살펴보면 x축의 2000부근의 길게 늘어진 데이터 때문에 축약된 테스트데이터 그래프의 y축 수치를 학습데이터 그래프만큼 확대시킨다면 거의 비슷한 모양을 하고 있음을 알 수 있다. 이는 학습에서 사용된 실험데이터와 테스트에서 사용된 실험 데이터가 거의 비슷한 신호라는 즉, 비슷한 신호가 반복되었다는 것을 나타낸다. 따라서 그림5의 경우 부분방전 신호 패턴을 형성하진 못했지만, 주기적으로 반복되는 미약한 부분방전 신호를 발생시킨 것으로 판단하였다.



(b) Testing graph

그림 6. 시료에 15kV 전압 인가 시 획득된 Data에 퍼지모델 적용 결과  
Fig. 6. Fuzzy model application results to data that is applied at 15kV in sample LDPE

그림 5, 그림 6의 결과를 확인한 뒤 방전량과 방전 횟수를 높이기 위해 같은 조건에서 15kV에서 17kV로 올려 다시 실험을 한 결과 그림7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7의 경우 위상에 따라 규칙적인 패턴을 형성한 것을 볼 수 있는데, 그림 7과 같은 패턴은 전동기나 발전기의 계면 부분에서 많이 나타나는 부분방전 패턴형태와 매우 유사한 형태이므로 부분방전 신호의 패턴을 형성한 것으로 판단하였다[2].

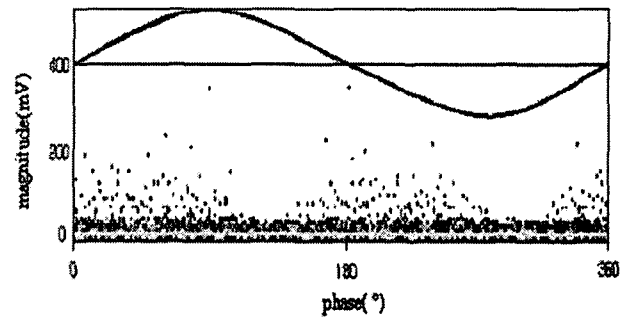
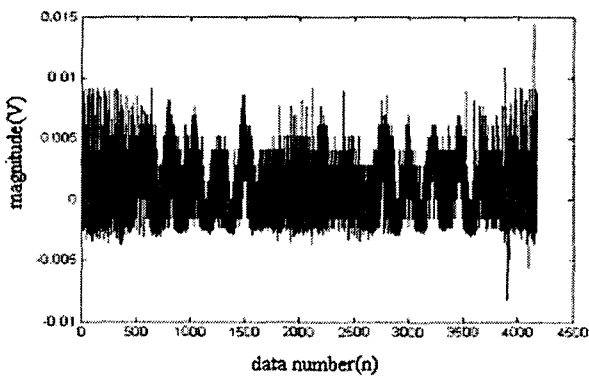


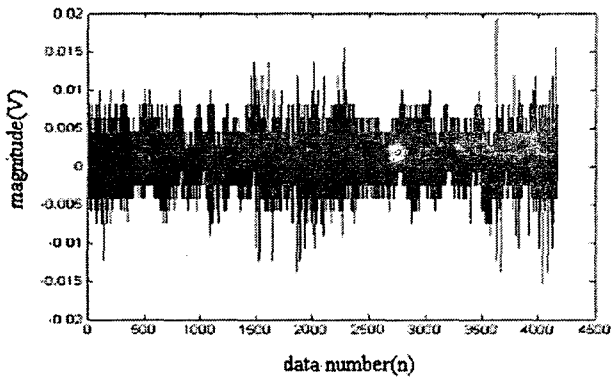
그림 7. 17kV 인가하여 계면방전 발생  
Fig. 7. Applied 17kV and generate interface discharge



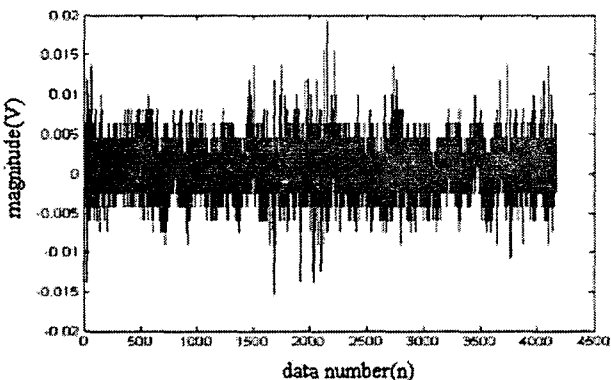
(a) Training graph

그림 8은 그림7에서 검출된 데이터를 퍼지 알고리즘에 적용시킨 결과이다. 선형 퍼지 추론과 멤버쉽 함수 5개를 적용 시켰을 때 가장 좋은 성능을 나타내었으며, 학습지수는 0.003904을, 테스트지수는 0.003907을 출력하였다. 학습지수와 테스트지수 값을 보면 그림6의 결과와 비교하여 상당히 낮은 수치를 기록한 것을 알 수 있으며, 두 지수의 차이도 더욱 근소한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 그림7에서 검출된 신호가 앞의 그림5에서 검출된 신호보다 더 확실한 부분방전의 양상을 보였다는 것을 나타낸다. 하지만 수치가 크고 빈번하게 발생하는 신호를 적용하면 무조건 낮은 수치가 출력될 수 있음을 간과할 수 없어서 수치가 크고 빈번하게 발생하지만 규칙적이지 않은 외부 잡음신호를 적용시켜본 결과

두 지수 값 모두 0.006에서 0.01까지의, 그림6의 결과 값의 두 배 이상의 높은 수치를 나타내었다. 또한 테스트지수가 학습지수에 비해 현격하게 크게 나타나는 결과를 보였다. 이는 학습에 사용되는 실험데이터가 출력 값으로 입력시킨, 부분방전 발생기로 발생시킨 부분방전 신호와 비슷할수록 낮은 수치를 나타내도록 프로그래밍 하였고, 학습과정을 거쳐 형성된 퍼지 모델에 학습에 사용된 실험데이터와 전혀 다른 신호로 테스트하면 당연히 테스트지수가 좋지 않게 나타나기 때문이다. 따라서 입력되는 실험데이터가 부분방전 신호와 다를수록 학습지수는 높게 나타나게 되며 신호가 주기적으로 반복되지 않을수록 테스트지수는 높게 나타나게 되는 것이다.



(a) Training graph



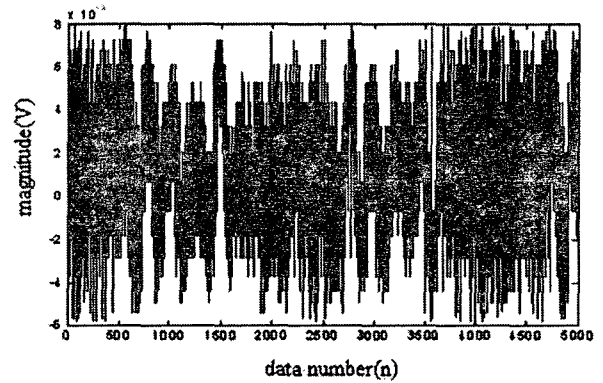
(b) Testing graph

그림 8. 시료에 17kV 인가 시 획득된 Data에 퍼지모델 적용 결과

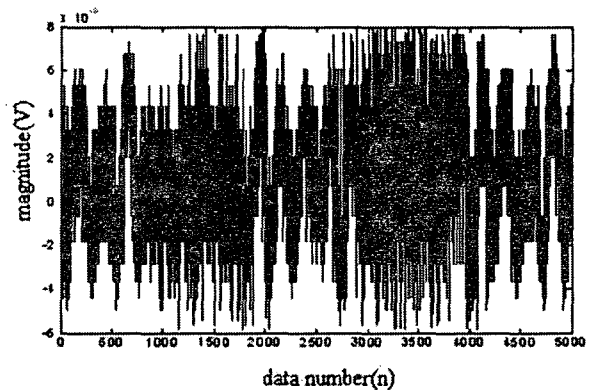
Fig. 8. Fuzzy model application results to data that is applied at 17kV in sample LDPE

그림9는 앞의 규칙적으로 반복되지 않는 신호의 결과를 알아보기 위한 실험의 일환으로 그림7에서 검출된 데이터를 정확한 위상을 구분하지 않고 임의로 10000개의 데이터를 5000개씩 나누어 두 개의 데이터베이스를 구축하여 퍼지 알고리즘에 적용한 결과이다. 선형 퍼지 규칙과 멤버쉽 함수를 5개 사용한 퍼지 모델에 적용시켰을 때의 가장 좋은 성능을 나타내었으며, 학습지수는 0.004003을, 테스트지수는 0.004521을 나타내었다. 두 지수를 살펴보면 학습지수는 비교적 양호한 수치를 출력하였으나 학습지수에 비해 테스트지수는 현격하게 높은 수치를 나타낸 것 알 수 있다. 데이터베이스를 구축

할 때 부분방전 발생기로 발생시킨 부분방전 신호도 5000개의 데이터로 데이터베이스를 구축하여, 입력 값과 출력 값이 앞의 그림8만큼은 아니어도 비교적 비슷하였기 때문에 양호한 학습지수를 나타내었고, 후반부 5000개 데이터의 경우 위상이 많이 틀어졌기 때문에 테스트지수가 학습지수에 비해 높은 수치를 나타낸 것으로 판단하였다.



(a) Training graph



(b) Testing graph

그림 11. 17kV를 인가했을 때의 비주기적인 신호의 진단 결과  
Fig. 11. The diagnosis results of PD signal that cross path of applied 17kV

### 3. 결 론

본 연구에서는 Labview를 이용하여 부분방전을 누적 검출하는 시스템을 구현하였으며, Labview로 검출된 신호에 퍼지 알고리즘을 적용하여 평가해 보았다. 부분방전 발생기로 정확한 PD 신호를 발생시켜본 결과 Labview시스템과 퍼지 알고리즘이 정확하게 구동한다는 사실을 확인하였다. 또한 퍼지 알고리즘을 부분방전 신호의 분석에 적용하였을 때 방전량과 방전 횟수가 많을수록 좋은 학습지수와 테스트 지수를 나타내었으며, 규칙적이지 않고 반복적이지 않은 신호일수록 테스트 결과가 좋지 않다는 것을 확인 하였다. 이와 같은 결과를 통하여 퍼지 알고리즘이 부분방전 신호의 분석 알고리즘으로써 적합한 알고리즘임을 확인하였고, Labview 시스템을 통해 검출된 누적 패턴 모양과, 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(R-2003-B-274) 주관으로 수행된 과제에 의한 것입니다.

**참 고 문 헌**

- [1] 소순열, 홍경진, 정우성, 임장섭, 이진, 이준용, 김태성, "전력 케이블에서 발생하는 방전 신호의 분포패턴에 관한 특성 분석" 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 11, pp. 1035-1042, November 1998.
- [2] F.H.Kreuger "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment" Butterworth, pp. 1-152, 1989.
- [3] Jeon-Seon Lee and Ja-Yoon Koo, "An Analysis of the artial Discharge Pattern Related to the Artificial Defects Introduced at the Interface in an XLPE Cable Joint using a Laboratory Model" KIEE international Transactions on EA, Vol. 2-C, No. 5, pp. 239-245, 2002.
- [4] 이진선 "HFPD 부분방전 검출을 이용한 XLPE 전력 케이블 시스템 진단 기술 개발 연구", 한양대학교 박사 학위 논문, 2003.
- [5] 김경화, 이동준, 박희로, "GIS내 파티클의 상태에 따른 부분 방전 신호의 분석" Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 67-74, January 2000.
- [6] Kai Wu, Toshiro Ijichi, Akira Kojima, Fumitaka Komori, Yasuo Suzuoki, "Influence of PD rest time on  $\phi$ -q-n patterns from voids" IEEE 7th International Conference on solid Dielectrics, pp. 93-96, June 2001.
- [7] 김종서, 이은석, 천종철, "신경회로망을 이용한 GIS용 단로기의 이상신호 패턴분석" 전기전자재료학회논문지, Vol. 16, No. 12S, pp. 1310-1315, December 2003.
- [8] Toshihiro Takahashi, Tatsuji Yamada, Naoki Hayakawa, and Hitoshi Okubo, "Space Charge Behavi or in SF6 Gas and Sequential Generation of PD Pulses" IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp. 141-145, February 2000.
- [9] Kang-Won Lee, Dong-Uk Jang, Jae-Yeol Park, Seong-Hwa Kang, and Kee-Joe Lim "Artificial Neural Network Discrimination of Multi-PD Sources Detected by UHF Sensor" KIEE International Transactions on EA, Vol. 3C, No. 1, pp. 5-9, 2003.
- [10] 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, pp. 755-764, June 2003.
- [11] 오성권 "프로그래밍에 의한 컴퓨터지능" 내하출판사, pp. 7-222, 2002.

**저 자 소 개**



**김진수(金珍洙)**

1976년 5월 21일생.  
 2004년 원광대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
 현재 원광대학교 전자재료 공학과 석사과정.  
 Tel : 063-850-6695  
 E-mail : januskid@wonkwang.ac.kr



**김용갑(金鎔甲)**

He received his Ph.D degree in Electrical Engineering in Noth Carolina State University. His research interests are Fiber Optics Sensing, Photorefractive Fiber and Crystal Devices.  
 Tel : 063-850-6695  
 E-mail : ykim@wonkwang.ac.kr