

## 퍼지 분류기 기반 지능형 차단 시스템

# Intelligent Diagnosis System Based on Fuzzy Classifier

성화장\*, 박진배\*, 소제윤\*\*, 주영훈\*\*

Hwa Chang Sung\*, Jin Bae Park\*, Jea Yun So\*\*, and Young Hoon Joo\*\*

\* 연세대학교 전기전자공학과

\*\* 군산대학교 전자정보공학부

### 요 약

본 논문에서는 저압 배선 진단 시스템 개발을 위한 지능형 차단 시스템을 제안한다. 제안된 배선 진단 시스템은 TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry) 알고리즘을 통해 배선이 어떤 상태인지를 보여 주는 시스템이다. 그리고 제안된 진단 시스템으로 부터 얻은 신호를 분석하여 이상 종류에 따라 분류하는 시스템을 통해 지능형 차단 시스템을 제안한다. 일반적으로, TFDR을 통해 알아 낼 수 있는 이상의 종류는 damage, open 그리고 short 이다, 각 상황에 대한 효율적인 분류를 위하여 IF-THEN 규칙에 기반 한 분류기가 사용된다. 기존 TFDR이 수행 되었던 통신선 케이블의 실험 데이터에 기반 한 실험을 통해 본 제안 내용의 우수성을 보이게 된다.

### Abstract

In this paper, we present the development of an intelligent diagnosis system for detecting faults of the low voltage wires. The wire detecting system based on the Time-Frequency Domain Reflectometry (TFDR) algorithm shows the condition of the wires. We analyze the reflected signal which is sent from the wire detecting system and classify the fault type of the wires by using the intelligent diagnosis system. Through the TFDR, generally, the conditions of the wires are classified into the three types - damage, open and short. In order to classify the fault type efficiently, we use the fuzzy classifier which is represented as IF-THEN rules. Finally, we show the utility of the proposed algorithm by performing the simulation which is based on the data of the coaxial cable.

Key Words : Wire detecting system, Time-frequency domain reflectometry, fuzzy classifier, intelligent diagnosis.

## 1. 서 론

차단기는 합선, 누선, 과전류 등의 상황이 발생할 때 전류를 차단시켜 감전, 화재, 부하손상 등 여러 전기 안전사고를 미리 예방하는 중요한 장치이며, 전력 수송의 범위가 큰 전력 계통에서부터 가정용 차단기 까지 그 범위 역시 막대하다. 그중에서 배선용 차단기의 경우 배선의 이상 상태가 감지되었을 경우 어떤 상황인지에 대한 판단과는 별개로 이상 자체에 초점을 맞추어 동작하게 된다. 일반적인 상황에서 있어서 배선이 어떤 이상 상태를 가지고 있는지를 파악하는 것 보다는, 이상이 발생했을 경우 재빨리 대처하는 것이 더욱 중요하기 때문에, 차단기 역시 후자에 초점을 맞추어 설계된다. 그러나 본 논문에서 소개하고자 하는 최신 배선 진단 알고리즘인 시간 주파수 영역 반사파 처리 방법 (Time-Frequency Domain Reflectometry : TFDR)과의 연계성을 고려해 볼 때, 어떠한 이상상황인지에 대한 파악도 중요하다. 실제로, 미국을 비롯한 많은 선진국에서는 이미 전력 설비의 감시 진단과 같은 지능화, 정보화를 접목하는 선도 기술 개발에 몰두하고 있으며, 그로 인해 시간 개념의 유지 보수방

법을 상태 개념으로 전환 시킬 수 있게 함으로써 시간, 경제적 이득을 노리고 있다. 이는 이상 발생 유무와 더불어 이상 상황에 대한 파악에 기인하고 있다.

제안된 배선 진단 시스템 구축에 있어 핵심 개념으로 자리매김 한 TFDR이란, 일정한 신호를 도선에 전송한 후, 반사되는 신호를 측정하는 반사파 계측법의 한 종류로써, 반사파를 시간 및 주파수 영역에서 동시에 해석함으로써, 배선 이상의 발생 지점을 도출해내는 알고리즘이다 [1]. 그림 1에서 보여 지는 블록도가 TFDR의 핵심 부분이며, 기타 시간 축에서의 해석 (TDR), 주파수 축에서의 해석 (FDR) 등에 비해 우수한 성능을 지니고 있다 [2]. 본 논문에서는 TFDR을 통한 배선 이상 진단 알고리즘의 효율적인 활용을 위하여, 차단기와 연계성을 고민하였으며, 그로 인해 지능형 차단 시스템이라는 연계 시스템을 제안하게 되었다.

TFDR의 경우 그 자체로 매우 민감한 알고리즘이기 때문에, 배선에 대한 수많은 정보를 우리에게 알려줄 수 있으며, 심지어는 도선이 가지는 작은 오류 (도선이 뒤틀린 정도) 도 발견할 수 있다. 알고리즘 적으로 본다면 최상이지만, 실제 적용을 생각해 본다면 대부분의 이상 상황에 대하여 반응을 보이게 될 것이므로, 이에 대한 적절한 기준 마련이 필요하다. 즉, 배선의 이상 검출에 있어서 실제 차단해야 할 상황과 이상은 있지만 굳이 차단하지 않아도 될 상황에 대한 분류가 필요하다.

접수일자 : 2007년 4월 1일

완료일자 : 2007년 8월 2일

감사의 글 : 본 연구는 전력 산업 연구 개발 사업으로 수행되었습니다(과제번호: R-2006-1-229).

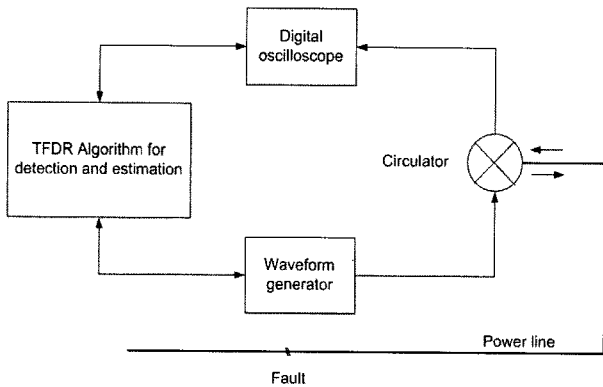


그림 1. TFDR system 구성도  
Fig. 1. The block diagram for TFDR system

또한, TFDR을 통해 얻어낸 도선의 이상 정보는 크게 open, short, damage 세 가지로 분류될 수 있으며 [2], 문제는 TFDR을 통해 얻어진 반사파의 크기에 따라 세 가지 상태를 구분하게 된다는 것이다. 일반적으로는 단일 배선에서의 파악은 큰 문제가 없겠지만, 데이터가 많아지고 단순히 반사파의 크기에 따라 이상 정보를 파악하게 된다면, 그 기준 자체가 모호해 질 수 있다. 즉, 각 이상에 대한 누적 데이터 활용을 통한 분류 기준이 마련된다면, 판단하기 애매한 상황에서도 쉽게 이상 상태에 대한 해석을 할 수 있게 된다. 이상 상태의 경우 나누어지는 지점이 비선형이며 이에 대한 대표적인 연구가 퍼지 분류기이다 [3-14].

본 논문에서 연구하고자 하는 주된 목표는 TFDR을 통한 저압 배선 이상 진단으로 얻어진 정보를 통해 실제 배선의 상태를 실시간으로 감시하며, 이상이 발생했을 경우 그 이상의 종류를 파악하고 대책 마련을 위한 시스템을 개발하는 것이다. 이 시스템을 '지능형 차단 시스템'으로 명명하며, 그 핵심에는 분류 알고리즘을 통한 이상 상태 파악 및 분류이다. 제안되는 알고리즘은 퍼지 분류기를 바탕으로 개발되며, 이전의 통신선 상에서 이루어졌던 TFDR 실험을 토대로 각 상황에 따른 분류 알고리즘을 마련하는 것이 우선 목표이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지능형 차단 시스템에 대한 개요를 간략히 살펴볼게 된다. 그리고 3장에서는 지능형 차단 알고리즘 구성을 위한 퍼지분류기를 설계하게 된다. 4장에서는 설계된 분류기에 대한 실험을 기존의 TFDR이 진행되었던 통신 케이블 상의 데이터를 바탕으로 수행하게 되며, 5장에서 결론 및 향후 계획을 제시하게 된다.

## 2. 지능형 차단 시스템

본 과제에서 구현하고자 하는 지능형 차단 시스템은 진단 부분에서 서버를 중심으로 받은 정보를 능동적으로 해석하고 이상 유무에 따른 차단 역할 수행하도록 하는 알고리즘을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 제안하고자 하는 알고리즘은 저압 배선에서 받은 신호에 대한 해석과 더불어 이를 각 이상 정도에 따라 분류하는 것을 의미한다. 그림 2는 본 과제에서 구성하고자 하는 지능형 차단 시스템의 대략적인 개요이다. 일단 전체 시스템은 크게 두 가지로 나누어 질 수 있다. 하나는 배선 진단에 관계된 부분으로, TFDR을 이용한 저압 배선 이상 진단을 위한 PXI 모듈이다. 그리고 다른 하나는 패턴 분류 파트로, 진단된 배선 이상 정보를 통해 이상

에 대한 특성을 파악하는 부분이다. 그림에서 알 수 있듯이, 대상 도선에 대한 신호가 메인 컴퓨터에 저장되며, 이는 데이터베이스 형태로 구축된다. 구축된 신호를 바탕으로 하여 각 상황 별 신호 패턴 분석이 이루어지며, 패턴 분석 결과에 따른 지능형 차단 기준을 마련하게 된다. 마련된 차단기준을 바탕으로 하여 차단기를 통한 차단여부를 수행을 통해 지능형 차단 시스템은 완성된다.

기존에 연구된 TFDR은 다음과 같은 도선의 이상 유무를 생성한다.

- 1) Open: 도선의 결함 부를 잘라서 생성
- 2) Short: 결함 부를 자르고 절연체와 내부 도체를 연결하여 생성
- 3) Damage: 1cm로 결함 부를 벗기고 약간의 열을 가하여 생성

그림 3에서 보여 지는 그룹들이 바로 배선 이상 진단 시스템으로부터 받은 이상 정보를 바탕으로 하여 분류되어진 예이다. 앞서 언급되었던 이상 종류에 의거하여 크게 세 가지 형태로 분류되어 있으며, 각 이상 종류에 해당하는 응답신호의 경우 특정 차이를 보여주기 때문에 이를 기준으로 분류가 수행된다.

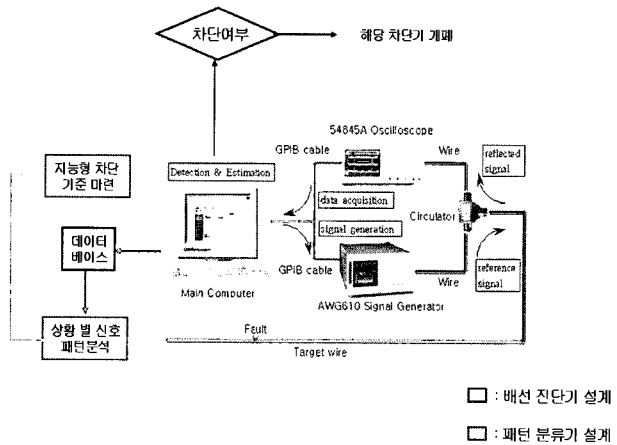


그림 2. 지능형 차단 시스템 개요  
Fig. 2. Intelligent diagnosis system

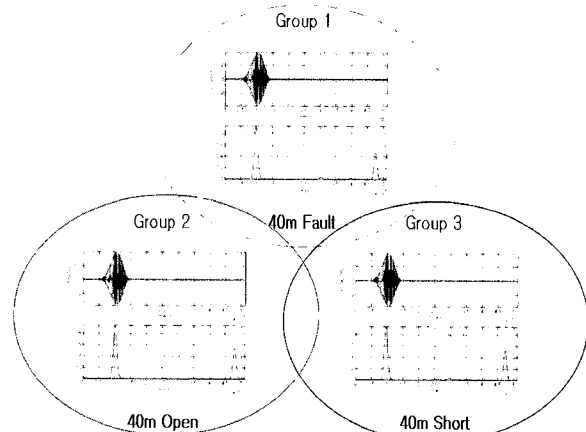


그림 3. 이상 별 분류 예  
Fig. 3. The classified examples

그러나 실험에서는 도선의 이상 종류를 가정하고 직접 도선에 대한 작업을 통해 이상을 생성하여 수행되지만, 일반 도선을 가정하였을 때는 얘기가 달라진다. 예를 들어 임의의 도선에 TFDR을 적용했을 때를 생각해 보자. 우리가 파악할 수 있는 내용은 특정 지점에서 이상이 발생했다는 사실을 알 수 있지만, 그 이상의 종류가 무엇인지 파악하는 것은 쉽지 않다. 이를 보완하기 위하여, 본 과제에서는 각 이상 별 패턴에 대한 분류를 통해 얻어낸 신호를 통한 이상 종류를 판단하게 되는 분류 알고리즘을 개발하고자 한다. 사용될 알고리즘은 외란 및 불확실성에 강인한 퍼지 기법이 도입된 퍼지 분류기(fuzzy classifier)이며, 자세한 내용은 다음 장에서 설명하고자 한다.

### 3. 퍼지 분류 알고리즘

일반 적으로 패턴 분류 문제의 경우, 미리 정해진 클래스들의 집합관계  $\Omega = C_1, C_2, \dots, C_n$  와 데이터 간의 분류 관계를 정의 하는 것으로 요약될 수 있다. 즉, 분류기를 설계하는 문제는 최적의 분류 관계를 찾아내는 문제로 변환 될 수 있으며, 그 방향은 분류기의 성능을 최대로 하는 것이다. 많은 분류기에 대한 응용 분야들 중, 퍼지 분류기는 데이터들과 해당 클래스 간의 분류 관계를 구현한다는 점에서 다른 여타 지능적 분류 방법들과 유사하다. 다만, 퍼지 분류기는 퍼지 집합과 퍼지 if-then 규칙을 사용하여 최적의 분류 관계를 구현한다는 점에서 다른 분류기들과 차이가 있다. 그중에서도 결론부를 선형화시킴으로써 비선형성을 효율적으로 다룰 수 있는 Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델을 이용한 퍼지 분류기는 현재 가장 많이 사용되는 분류기 중 하나이다. 일반적으로 T-S 퍼지 분류기는 다음과 같은 규칙으로 구성된다 [4-9].

$$R_i : IF x_i \text{ is } M_{i1} \text{ and } \dots \text{ and } x_m \text{ is } M_{im} \quad (1)$$

$$THEN y_i = z_i.$$

여기서,  $y_i$ 는 규칙  $R_i$  에 해당되는 판단 함수이며,  $M_{i1}$ 는 전반부 퍼지 집합이다. 변수  $n$ 은 클래스의 수를 나타내며  $m$ 은 입력 특징의 수를 나타낸다. 후반부 파라미터  $z_i$ 는 전반부 출력에 따른 규칙  $R_i$  의 클래스  $C_i$  에 대한 지지도를 나타낸다. 후반부 파라미터  $z_i$ 는 입력 변수로 이루어진 선형 다항식으로도 표현 가능하다. 분류기의 최종 출력은 각 규칙의 출력을 반영함으로써 다음과 같이 계산 가능하다.

$$Y(\vec{x}) = \frac{\sum_{i=1}^l h_i(\vec{x})y_i}{\sum_{i=1}^l h_i(\vec{x})}. \quad (2)$$

여기서,  $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$  는 입력벡터를 의미하고  $h_j(\vec{x})$ 는 다음과 같이 계산되는 규칙  $R_j$  의 전반부 출력을 나타낸다.

$$h_i(\vec{x}) = \prod_{j=1}^m \mu_{M_j}(x_j). \quad (3)$$

여기서,  $\mu_{M_j} \in [0, 1]$  는  $j$  번째 멤버십 함수값을 나타낸다, 이상적으로 T-S 퍼지 분류기의 최종 출력  $Y(\vec{x})$  는 데이터

$\vec{x}$  가 해당되는 클래스  $C_k \in \Omega$  를 나타낸다. 그러나 일반적으로 T-S 퍼지 분류기의 최종 출력과 데이터  $\vec{x}$  사이에 에러가 존재하기 때문에 데이터  $\vec{x}$  의 최종 클래스  $\Psi$ 는 T-S 퍼지 최종 출력 값과 최소 에러를 가지는 클래스  $C_k$  로 결정된다.

$$\Psi = \arg_i \min |i - Y(\vec{x})|, \quad i \in \Omega. \quad (4)$$

본 논문에서는 배선 이상 분류를 크게 세 가지로 설정하였으며, 따라서 다음과 같은 데이터  $\vec{x}$  가 해당되는 클래스는 다음 세 가지로 나타내어진다.

$$C_1 : Falut, \quad C_2 : Open, \quad C_3 : Short. \quad (5)$$

그리고 데이터  $\vec{x}$ 로 설정되는 해당 입력 변수는 TFDR의 응답신호의 특징에 따라 분류되게 되며, 1차적으로 반사파의 평균값 및 분산 값의 설정을 통한 분류를 수행하고자 한다. 즉, 본 논문에서는 해당 목표를 수행하기 위해 다음의 규칙을 생성하게 된다.

$$R_i : IF x_1 \text{ is } M_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } M_{i2} \quad (6)$$

$$THEN y_i = C_i.$$

여기서,  $\Omega = C_1, C_2, C_3, i \in I_3, m = 2$  이다. 즉, 각각의 규칙은 하나의 클래스를 나타낸다. 규칙의 전반부는 다음과 같은 3개의 가우시안 멤버십 함수로 구성된다.

$$\mu_{A_{ij}} = e^{-\frac{(x_j - m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} \quad (7)$$

후반부의 경우 입력변수와의 선형 함수로 이루어진 다항식으로 나타내어진다. 본 논문에서 사용되는 퍼지 분류기의 최종 출력은 다음과 같이 계산된다.

$$Y(\vec{x}_k) = \frac{\sum_{j=1}^l h_j(\vec{x}_k) (\sum_{i=1}^m a_{ji} x_i(k) + b_j)}{\sum_{j=1}^l h_j(\vec{x}_k)} \quad (8)$$

주어진 데이터의 최종 클래스 값은 최종 출력과의 최소 에러를 갖는 클래스 값으로 결정되며, 최종 출력 (8)은 계산의 편의를 위해 다음과 같은 행렬 등식으로 나타낼 수 있다 [3].

$$Y(\vec{x}_k) = H_k^T (A \vec{x}_k + B) \quad (9)$$

여기서,

$$H_k = \begin{bmatrix} h_1(\vec{x}_k) \\ \vdots \\ h_i(\vec{x}_k) \\ \vdots \\ h_l(\vec{x}_k) \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{l1} & \cdots & a_{lm} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \\ \vdots \\ b_l \end{bmatrix}.$$

일반적으로 퍼지 분류기에서의 후반부 변수 동정은 전반부의 출력이 주어졌을 때, 분류기의 분류 에러를 최소화 시키는 후반부 변수를 찾아내는 것이 최대 관건이다. 분류기의 분류 에러의 경우 T-S 퍼지 분류기의 목표 값인 해당 데이터의 클래스 값과 T-S 퍼지 분류기의 최종 출력의 차로 계

산이 된다. 이를 좀 더 효율 적으로 계산하기 위하여 분류기 에러를 최소화 하는 볼록 최적화 문제로 근사화 시킴으로써 T-S 퍼지 분류기의 후반부 변수와 분류기의 목표값으로 이루어진 선형 행렬 부등식으로 표현하게 된다. 이를 위해 우리는 다음의 보조 정리를 이용하게 된다.

보조정리 1 (GEVP를 통한 최적화 T-S 퍼지 분류기 설계) [3]: 데이터  $\vec{x}(k)$ 의 목표 값  $Y_d^k$ 가 주어지고 전반부 출력  $H_k$ 이 주어졌을 때, 제안된 T-S 퍼지 분류기의 분류 에러를 최소화시키는 최적의 후반부 변수 행렬  $A, B$ 는 다음과 같은 일반 고유값 문제(Generalized eigenvalue problem: GEVP)로 나타내어진다.

$$L_k = \begin{bmatrix} Y_d^k - H_k^T(Ax_k + B) & * \\ \gamma & I \end{bmatrix}, \quad k=1, \dots, p \quad (10)$$

참고 1 보조정리 1에서의 일반 고유값 문제는  $p$ 개의 선형 행렬 부등식을 가지는 문제이며, 따라서 이를 풀기 위해서는  $p$ 개의 데이터에 대한 목표 값인  $Y_d^k$ 와 전반부 출력값  $H_k$ 가 정의되어 있어야 한다 [3]. 본 논문에서는 정해진 목표 값이 신호의 평균과 분산들의 통계적 형태로 나타나게 된다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 통신선 상에서 실험된 데이터 값을 기준으로 하여, 퍼지 분류기를 설계하게 된다. 오실로스코프에서 획득한 신호의 데이터 값들은 각각 \*.csv파일 형태로 시간 값과 전압 값을 나타내는 두 개의 열벡터로 저장되어 있으며, 이를 입력 값으로 하여 분류기를 설계 하게 된다. 통신선의 종류 및 결합 위치 그리고 다음 조건을 만족하는 파라미터들을 바탕으로 하여 데이터 분석 및 분류를 시도하게 된다. 실험 데이터 추출을 위해 사용된 통신선의 종류, 입력된 신호 유형, 실험 데이터 수, 결합 위치등은 다음과 같다:

표 1. 실험 사양  
Table 1. Experimental specifications

통신선 종류	RG 400 Type
입력된 신호	선형적으로 증가하는 가우시안 포락선형태의 처프 신호 (중심주파수: 450 MHz, 주파수밴드: 100MHz, 시간간격: 50ns)
실험 데이터 수	24 (1type cable * 1 fault distance * 3 types of faults * 8 experimental result)
Fault Location	30m
구분되는 위치	$3.5 \cdot 10^{-7} \sim 4 \cdot 10^{-7}$ (s)

그림 4는 실제 통신선 상에서 실험된 그래프이며, 시간과 전압과의 관계 및 시간에 따른 주파수 분포도를 보여준다. 여기서 우리는 open, short 그리고 damage에 따른 그래프의

특징 추출을 통해 각 클래스 별로 구분하게 되며, 그 특징은 신호의 크기와 분산 값에 근거 한다. 주어진 자료와 관련된 기준을 바탕으로 하여 아래의 요약 표1을 작성 할 수 있다.

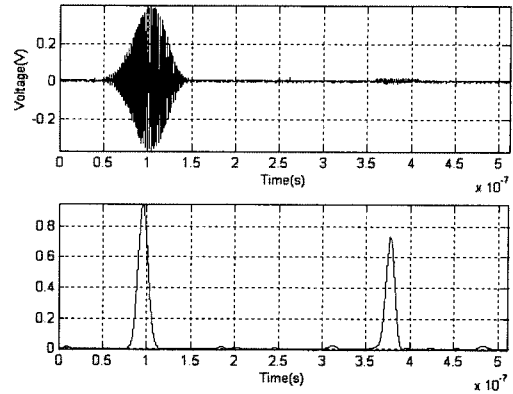


그림 4. 시간-주파수 상호상관관계 (30m지점)  
Fig. 4. The relation of time and frequency (at 30m)

여기서 우리가 사용하는 분류 기준은 신호의 max 크기 값, min 크기 값, 그리고 각 신호 별 분산 값이다. 전체적인 퍼지 분류 알고리즘은 다음과 같이 진행된다.

Step 1 전건부 에서 TFDR을 통한 도선이 이상에 따른 반사파 값의 평균 및 분산 값을 도출해 낼 수 있다. 얻어진 파라미터를 활용하기 위하여 그림 4와 같은 가우시안 멤버쉽 함수를 나타내게 된다.

Step 2 분류 에러를 최소화 하는 후반부 파라미터 값을 결정하기 위한 일반 고유값 문제가 보조정리 1에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$block-diag[T_1, \dots, T_{24}] > 0 \quad (11)$$

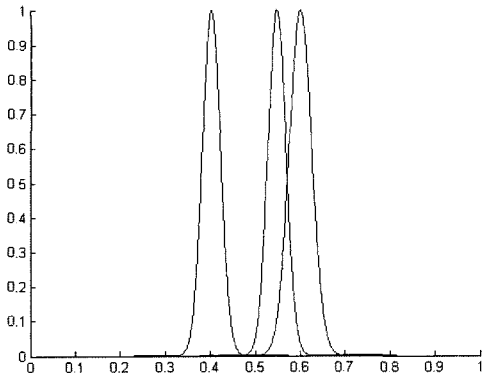
Step 3 일반 고유값 문제를 풀었을 때 분류 에러가 최소인 최적의 후반부 변수 행렬  $A$ 와  $B$ 는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0.0074 & 0.0038 & -0.0290 \\ -0.4575 & -0.2325 & -0.1257 \\ -0.1237 & -0.2474 & -0.0545 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0.9969 \\ 4.6012 \\ 7.7101 \end{bmatrix}$$

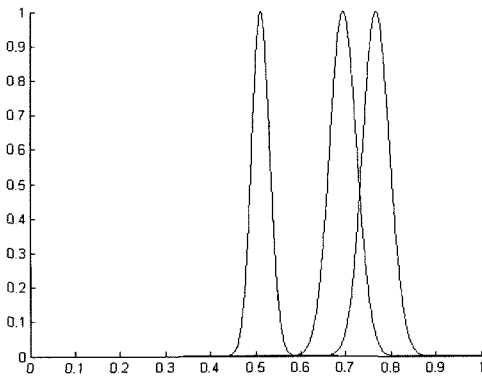
표 2. 30m 도선에 대한 정보  
Table 2. Summary statistics on TFDR

분류	Min	Max	Mean	derivation
fault	0.4031	0.5122	0.4601	37.17
open	0.5489	0.6954	0.6284	30.25
short	0.6012	0.7648	0.6715	29.28

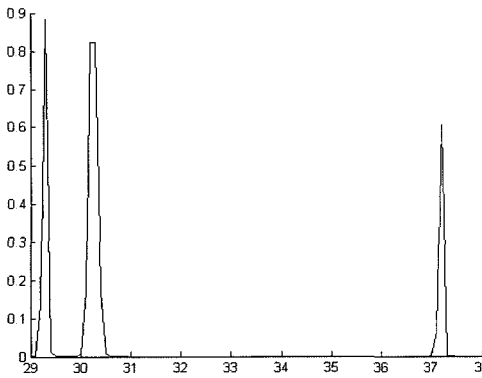
그림 5.(a)는 신호의 min 크기에 따른 멤버쉽 함수, 5.(b)는 신호의 max 크기에 따른 멤버쉽 함수를 나타내며, 5.(c)는 각 신호별 분산에 대한 멤버쉽 함수이다. 마련된 분류기를 통해 각 신호의 패턴을 분석해보면 다음의 결과를 얻을 수 있다.



(a) 규칙  $R_1$ 의 멤버쉽 함수

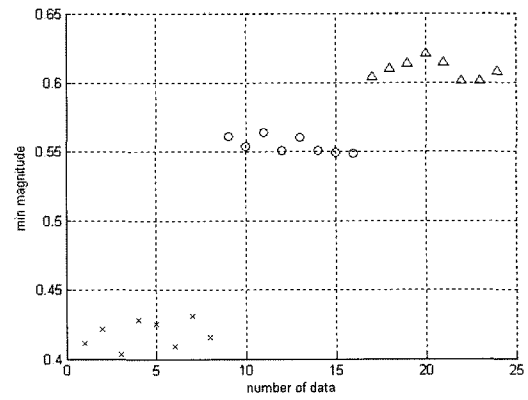


(b) 규칙  $R_2$ 의 멤버쉽 함수

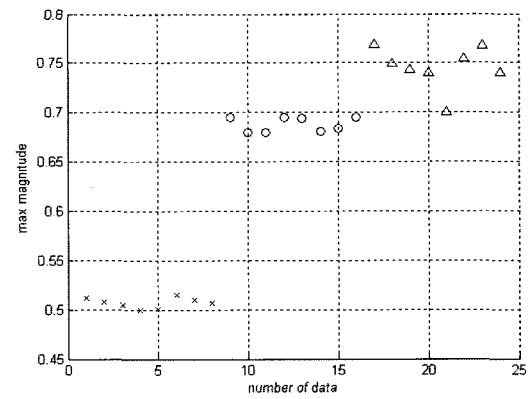


(c) 규칙  $R_3$ 의 멤버쉽 함수

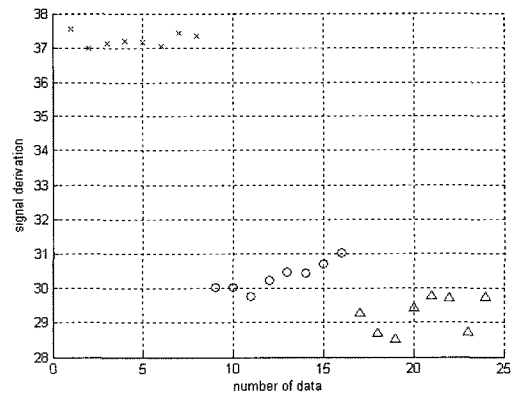
그림 5. 도선 이상 분류를 위한 멤버쉽 함수  
Fig. 5. Membership function for classification



(a) 신호의 min 크기 값에 따른 패턴



(b) 신호의 max 크기 값에 따른 패턴



(c) 신호의 분산 값에 따른 패턴

그림 6. 신호 데이터의 패턴  
Fig. 6. Pattern of signal data  
( 'x': damage, 'O': open 'Δ': short)

### 5. 결 론

본 논문에선 지능형 차단 시스템에 관련된 내용으로 다음 두 가지가 수행 되었다. 우선, 구현하고자 하는 지능형 차단 시스템에 대한 개요를 진단 시스템과의 연계 하에 마련하였

다는 것이다. 기존의 TFDR의 활용을 통해 구축될 지능형 차단 시스템의 개발을 위하여, 퍼지 분류알고리즘에 바탕 한 분류기 수행을 하였다. 기존의 통신선 케이블을 통한 실험 데이터를 바탕으로 분류 알고리즘의 적용이 이루어 졌다. 소개된 분류기 알고리즘은 차후 저압 배선 실험을 통해 나오게 될 신호 패턴 분류에 사용된다. 즉, TFDR의 저압 배선 적용을 통한 데이터 분석을 위해 마련 된 퍼지 분류기가 사용될 예정이다. 또한 퍼지 모델링을 통한 비선형성 해결을 통해 기존의 TFDR 거리 계산 알고리즘의 개선 방안 역시 앞으로 연구될 예정이다.

### Reference

[1] Y. J. Shin, T. S. Choe, C. Y. Hong, E. S. Song, J. G. Yook, and J. B. Park, "Application of time-frequency domain reflectometry for detection and localization fault on a coaxial cable," IEEE Trans. Instrumentation and measurement, vol 54, no. 6, Dec. 2005.

[2] 최덕선, 광기석, 윤태성, 박진배, "시간-주파수 반사파 제측 방법을 이용한 전송선로의 결함 위치 추정," 대한전기학회 논문지 9월호, pp. 521-530, 2005.

[3] M. H. Kim, J. B. Park, W. G. Kim, and Y. H. Joo, "Identification of T-S fuzzy classifier via linear matrix inequalities," LNAI 3809, pp. 1134-1137, 2005.

[4] M. Setnes, and H. Roubos "GA fuzzy modeling and classification: complexity and performance," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 8, pp. 509-522, 2000.

[5] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim, and K. B. Woo, "Linguistic model identification for fuzzy system," Electron. Letter. vol. 31, pp. 330-331, 1995.

[6] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim, and K. B. Woo, "Fuzzy system modeling by fuzzy partition and GA hybrid schemes," Fuzzy Set and Syst. vol. 86, pp. 279-288, 1997.

[7] Y. H. Joo, L. S. Shieh, and G. Chen, "Hybrid state-space fuzzy model-based controller with dual-rate sampling for digital control of chaotic systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 7, no. 4, pp. 394-408, 1999

[8] L. S. Shieh, X. M. ZHAO, and J. W. SUNKE, "Hybrid state-space self-tuning control using dual-rate sampling". IEE Proc, Control Theory Appl, 1991, 138, (1), pp. 50-58.

[9] T. P. Wu and S. M. Chen, "A new method for constructing membership functions and fuzzy rules from training examples," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B., vol. 29, pp. 25-40, 1999.

[10] H. Roubos and M. Setnes, "Compact transparent fuzzy models and classifiers through iterative complexity reduction," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 9, no. 4, pp. 516-524, 2001.

[11] Y. Shi, R. Eberhart, and Y. Chen, "Implementation

of evolutionary fuzzy systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 7, pp. 109-119, 1999.

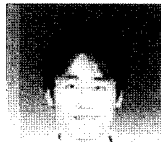
[12] G. Castellano, A. M. Fanelli, and C. Mencar, "An empirical risk functional to improve learning in a neuro-fuzzy Classifier," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B., vol. 34, pp. 725-731, 2004.

[13] L. I. Kuncheva, J. C. Bezdek, and R. P. W. Duin, "Decision templates for multiple classifier fusion: an experimental comparison," Pattern Recognition, vol. 34, pp. 299-314, 2001.

[14] S. Paul and S. Kumar, "Subsethood based adaptive linguistic networks for pattern classification," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 33, pp. 248-258, 2003.

[15] D. Chakraborty and N. R. Pal, "A neuro-fuzzy scheme for simultaneous featur selection and fuzzy rule-based classification," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 15, pp.110 -123, 2004.

### 저 자 소 개



성화창(Hwa Chang Sung)  
 2005년 8월 : 연세대학교 공학사  
 2007년 2월 : 연세대학교 공학석사  
 2007년 3월~현재 : 연세대학교  
 전기전자공학과 박사과정

Phone : 02-2123-2773  
 Fax : 02-362-4539  
 E-mail : casfirspear@control.yonsei.ac.kr

박진배(Jin Bae Park)

제 17권 3호(2007년 6월호) 참조



소제윤(Yun Jea So)  
 2006년 2월 : 군산대학교 공학사  
 2006년 3월~현재 : 군산대학교  
 전자정보공학부 석사과정

Phone : 063-469-4706  
 Fax : 063-469-4706  
 E-mail : ifuloveme@kunsan.ac.kr

주영훈(Young Hoon Joo)

제 17권 3호(2007년 6월호) 참조