

차 영상을 통한 퍼지 추론 기반 열화 진단 시스템 설계

Design of Fuzzy Inference-based Deterioration Diagnosis System through Different Image

김종범* · 최우용* · 오성권** · 김영일**

Jong-Bum Kim*, Woo-Yong Choi*, Sung-Kwun** Oh, and Young-Il Kim**

*수원대학교 전기공학과, **대림대학교 전기공학과

† Department of Electrical Engineering, The University of Suwon
Department of Electrical Engineering, Daelim University College

요 약

본 논문에서는 전기설비들의 신속하고 효율적인 진단을 위해 차 영상을 통한 퍼지 추론 기반 열화 진단 시스템을 설계한다. 전기 기기의 열화 진단이 시작 되면 처음 정상 상태의 온도와 비교하여 이상 영역을 검출한다. 검출된 영역은 퍼지 추론 알고리즘을 사용하여 열화를 진단한다. 퍼지 추론 알고리즘에서, 퍼지 규칙은 If-then 형식으로 정의되고, look-up 테이블로 규칙을 표현한다. 온도와 온도의 변화량을 입력 변수로 사용한다. 입력변수의 퍼지수를 표현하기 위해 삼각형 멤버십 함수를 사용하였으며, 출력변수에는 singleton 멤버십 함수를 사용하였다. 최종 출력은 퍼지 추론 방법의 무게 중심법을 사용하여 계산한다. 전기 설비로부터 취득한 실험 데이터는 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 사용한다.

키워드 : 퍼지 추론, 차 영상 기법, 무게 중심법

Abstract

In this paper, we design fuzzy inference-based deterioration diagnosis system through different image for rapid as well as efficient diagnosis of electrical equipments. When the deterioration diagnosis of the electrical equipment starts, abnormal state of assigned area is detected by comparing with the temperature of the first normal state of the area. Deterioration state of detected area is diagnosed by using fuzzy inference algorithm. In the fuzzy inference algorithm, fuzzy rules are defined by If-then form and are described as look-up table. Both temperature and its ensuing variation are used as input variables. While triangular membership function is used for the fuzzy input variables of fuzzy rules, singleton membership function is used for the output variable of fuzzy rules. The final output is calculated by using the center of gravity of fuzzy inference method. Experimental data acquired from individual electrical equipments is used in order to evaluate the output performance of the proposed system

Key Words : Fuzzy inference, Difference-image technique, Center of gravity

1. 서 론

Received: Sep. 14, 2014

Revised : Sep. 28, 2014

Accepted: Dec. 5, 2014

† Corresponding author(ohsk@suwon.ac.kr)

감사의 글 : 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음[GRRRC 수원2014-B2, U-city 보안감시 기술협력센터] 그리고 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2012R1A1B3003568)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

현재 전기 설비는 모든 산업분야에서 없어서는 안 될 정도로 많이 사용 하고 있다. 따라서 정전사고가 발생하면 경제적인 피해 및 화재까지도 발생한다. 그래서 많은 국가들은 이러한 사고를 예방하고자 중요부분은 4~5년, 교통량이 많거나 해풍, 매연 등 오염 물질에 노출된 시설은 매년 정기적으로 검사를 하고 있다. 그러나 이렇게 정기적으로 검사를 하는 노력에도 불구하고 사고 발생건수는 매년 지속적으로 증가 하고 있다. 이로 인해 전기기기의 장기간에 걸친 원활한 운용과 신뢰성 확보는 매우 중요한 문제이다.

본 논문은 이러한 문제를 해결하고자 적외선 열화상 카메라를 이용한 전기설비의 열화를 지속적으로 감시하는 시스템을 개발한다. 온도를 측정하기위한 열화상 카메라는 32×31의 해상도를 갖지만 가까운 거리에서 물체의 구별이 가능하고 저가형으로 제작 할 수 있으며 수배전반 내부에 부착을 하여 실시간으로 감시가 가능한 2D 서모파일 어레이 센서를 이용한다. 그리고 열화의 정도는 정상 일 때의

온도와 비교를 통해 일정 온도 값 이상 상승한 영역에 한해 퍼지 추론을 이용하여 열화를 진단한다.

본 논문의 순서로는 2장에서 차 영상 기법을 응용한 이상 영역의 검출방법과 퍼지 추론의 입력 데이터 생성 방법, 그리고 열화진단 시스템[8][9][10]에 이용된 퍼지 추론 알고리즘에 대하여 설명한다. 3장에서는 실험 방법과 결과에 대하여 설명하고 마지막 4장에서 결론에 대하여 설명한다.

2. 본 론

2.1 차 영상을 통한 진단 영역의 검출

기존 퍼지 추론을 이용한 열화 진단 방법[4]은 시간이 지날 때 마다 모든 영역의 열화를 진단하기 때문에 비효율적이고 진단하고 싶은 영역이 넓어짐에 따라 시간이 더 오래 걸린다는 단점이 있다.

이와 같은 단점을 보완하고자 차 영상 기법[3]을 응용하여 열화 진단이 필요한 영역을 검출한다. 검출 방법으로는 기기의 열화 진단이 시작 되면 처음 정상 일 때의 온도와 비교를 통해 일정 온도값 이상 차이가 날 경우 열화 진단이 필요한 영역이라 판단하여 해당 영역을 검출한다.

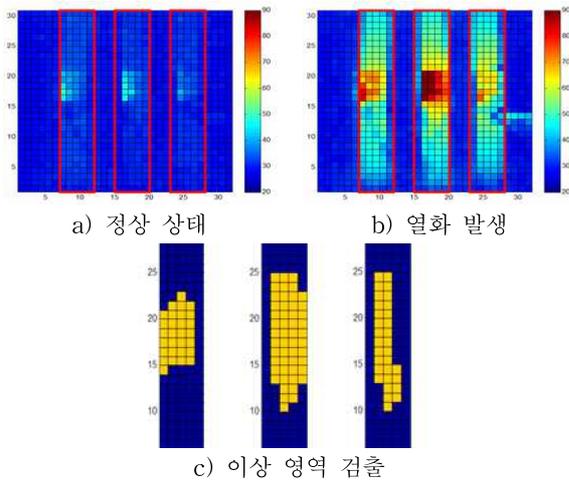


그림 1. 이상 영역의 검출
Fig. 1. Detection of abnormal area

2.2 입력 데이터 생성

적외선 열화상 카메라[5][6][7]를 이용하여 각 좌표에 해당하는 온도를 구한다. 그리고 시간이 지남에 따라 변하는 온도의 정도를 고려하기위해 이전시간에 해당하는 각 픽셀의 온도와 현재시간에 해당하는 각 픽셀의 차를 이용한 변화분을 입력변수로 추가한다.

온도의 변화분은 식1을 통해 구해진다.

$$x_2(t) = x_1(t) - x_1(t-n) \quad (1)$$

2.3 퍼지 추론 기반 열화진단 시스템

퍼지 추론[1][2]이란 논리 추론과 달리 완전히 일치하지 않을 경우라도 그 일치하는 정도에 따라 근사하게 결론을 도출 할 수 있다.

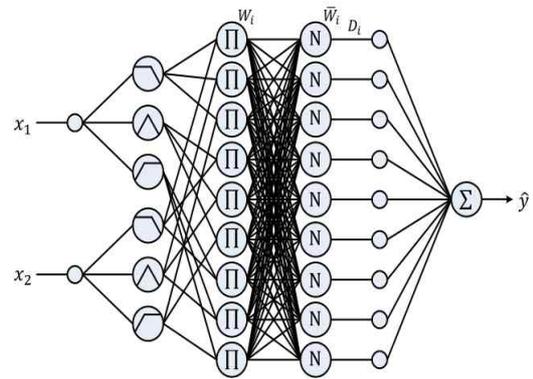


그림 2. 퍼지 추론 시스템의 구조
Fig. 2. Structure of fuzzy inference system

그림2는 퍼지 추론 시스템의 구조를 보여준다. 여기서, W_i 는 i 번째 규칙의 적합도($i = 1, 2, \dots, 9$), \bar{W} 는 표준화된 적합도를 나타낸다. 그리고 D 는 singleton이다.

퍼지 추론의 구성순서는 If-Then형식으로 규칙을 세운다. If-절은 전반부, 전제부 등으로 불리고, Then절은 후반부, 결론부 등으로 불린다. 그 후 퍼지 규칙 테이블을 형성한다. 전반부 입력변수의 멤버쉽 함수형태는 삼각형 형태로 형성하였고, 후반부 출력변수의 멤버쉽 함수는 상수 변수형태로 형성하였다. 이후 각 퍼지 규칙의 출력값은 비 퍼지화 공식 중 하나인 무게 중심법을 사용하여 추론결과 값을 얻는다. 전반부 및 후반부 멤버쉽 함수는 다음 그림 2과 같다.

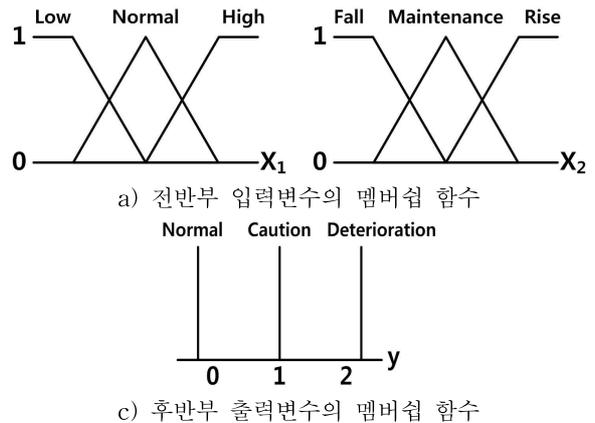


그림 3. 퍼지 추론의 멤버쉽 함수
Fig. 3. Membership function of fuzzy inference

그림 3의 전반부 멤버쉽 함수 값에 따른 출력 멤버쉽 함수 값을 결정하는 규칙은 다음 식 2와 같다.

$$R^k : \text{IF } x_1 \text{ is } A_i \text{ and } x_2 \text{ is } B_i \text{ THEN } y_k \text{ is } D \quad (2)$$

여기서, R^k 는 k 번째의 퍼지 규칙, A_i , B_i 는 각 입력의 퍼지 멤버쉽 함수 값, y_k 는 규칙의 출력, D 는 x_1, x_2 가 전반부를 만족할 때 y 의 값을 의미하는 함수이다. 본 논문의 함수 형태는 상수항을 사용했다. 전반부 입력변수의 멤버쉽 함수에 따른 각 규칙의 후반부 입력변수 관계를 나타내는 퍼지 규칙은 다음 표 1과 같다.

표 1. look-up 테이블
Table 1. look-up table

		Variation of temperature(x_2)		
		Fall	Maintenance	Rise
Temperature (x_1)	Low	Normal	Normal	Normal
	Normal	Normal	Caution	Deterioration
	High	Deterioration	Deterioration	Deterioration

각각의 규칙에 있어 전반부의 추론 결과는 다음 식을 통해 구해진다.

$$W_i = \text{Procut}\{\mu_{A_i}(x_1), \mu_{B_i}(x_2)\} \quad (3)$$

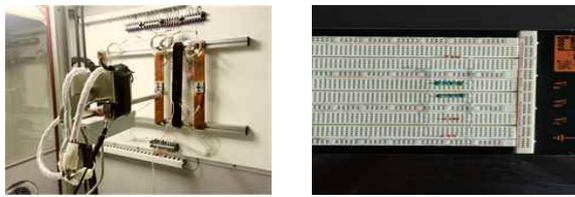
여기서, W_i 는 퍼지 규칙의 적합도 값이라 하고, 두 입력인 x_1, x_2 의 멤버십 함수값 $\mu_{A_i}(x_1), \mu_{B_i}(x_2)$ 의 곱 연산으로 계산한다. 이 후 비 퍼지화 연산 중 무게 중심법(Center of gravity)을 사용하여 추론 결과를 얻는다. 무게 중심법 식은 다음과 같다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^r W_i \cdot D_i}{\sum_{j=1}^r W_j} \quad (4)$$

여기서, W_i 는 각 규칙의 적합도 값이고 D_i 는 퍼지 규칙 테이블에 의한 후반부 멤버십 값이다. 이 후 후반부 출력 변수인 정상(0), 주의(1), 열화(2)중 가까운 값을 선택하여 열화의 정도를 판단 한다

3. 실험 및 결과고찰

본 논문에서 설계한 시스템을 실험하기 위해 그림 4에서 보여주는 기기에서 취득한 온도 데이터를 사용하였다.



a) Case1 & Case2 b) Case3

그림 4. Data 취득을 위한 기기

Fig. 4. Machinery for obtain data

Case1은 열화 발생 장치를 사용하여 초기 30도에서 70도 600초간 상승하는 온도 데이터이고 Case2는 온도가 감소할 때의 열화 진단 결과를 확인하기 위해 초기 30도에서 70도 까지 490초 동안 상승하지만 두 번에 걸쳐 감소하다 상승하는 온도 데이터이다. Case3는 저항에 전압을 가하여 140초 동안 측정한 온도 데이터 이다. 실험에 사용한 각 Case의 퍼지 추론 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. 퍼지 추론에 사용된 파라미터 범위
Table 2. Parameters range used for fuzzy inference

Parameter	Case1	Case2	Case3
Membership of premise part	$x_1:[55 \ 65]$ $x_2:[-7 \ 7]$	$x_1:[55 \ 65]$ $x_2:[-7 \ 7]$	$x_1:[55 \ 65]$ $x_2:[-10 \ 10]$
Diagnosis cycle (sec)	10	10	10
Critical temperature ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	15

여기서, 임계 온도란 기기의 열화진단이 시작되면 각 좌표의 정상 온도일 때와 비교를 통해 일정 이상 값의 온도차이가 나면 열화 진단이 필요한 영역이라 판단하여 해당 영역을 검출한다. 여기서, 일정 이상 값의 온도를 임계온도라 정하였다.

각 좌표의 열화 정도를 구한 후, 선택된 영역의 열화 정도를 알기 위해 열화율을 구한다. 열화율은 설정된 각 영역에 대하여 식 5을 통해 계산된다.

$$TR_n = \frac{TA_n}{A_n \times 2} \times 100 \quad (5)$$

여기서, TR_n 은 영역의 열화율이고, TA_n 은 영역에 대한 추론 결과 값의 총합이다. A_n 은 영역의 총 픽셀 개수이다.

그림 5,6,7은 각 Case의 진단 결과 중 일부를 보여준다.

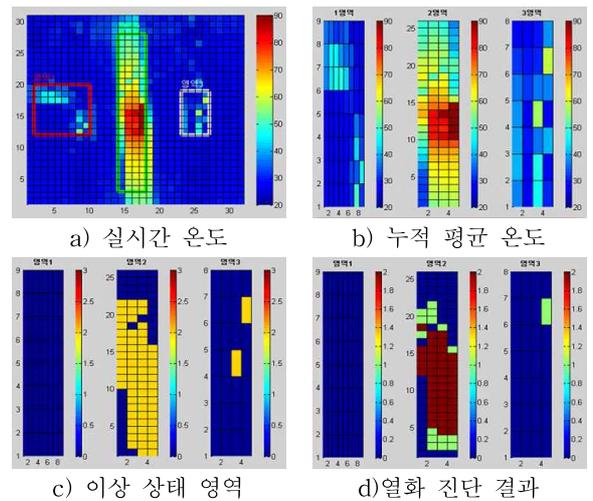


그림 5. Case1의 열화진단 결과

Fig. 5. Result of deterioration diagnosis in case1

그림 5는 Case1의 열화진단 결과 중 380초 때의 열화 진단 결과를 보여준다.

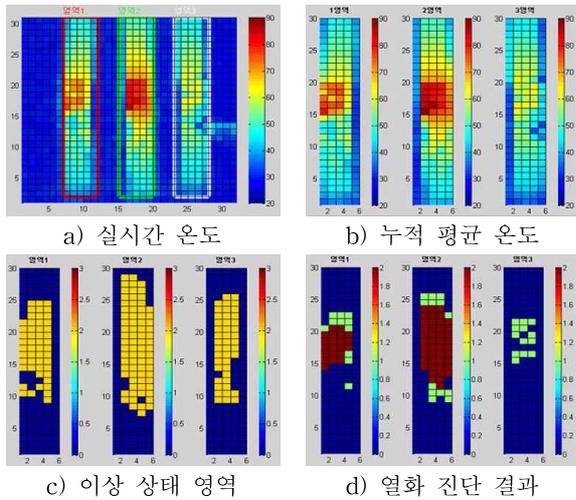


그림 6. Case2의 열화 진단
Fig. 6. Result of deterioration diagnosis in case2

그림 6은 Case2의 열화 진단 결과 중 310초 때의 열화 진단 결과를 보여준다.

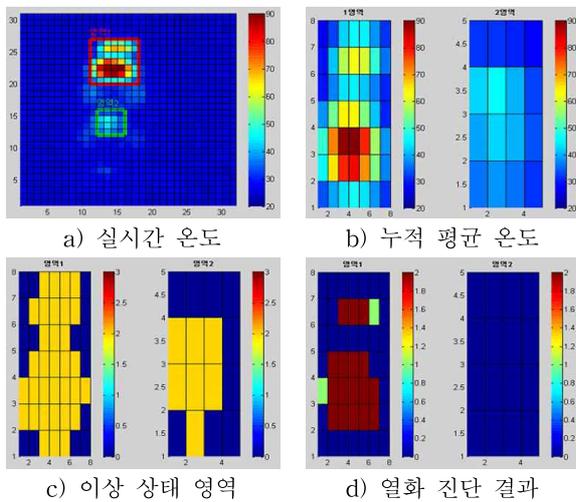


그림 7. Case3의 열화 진단
Fig. 7. Result of deterioration diagnosis in case3

그림 7은 Case3의 열화 진단 결과 중 60초 때의 열화 진단 결과를 보여준다.

그리고 각 Case의 열화 진단 결과 이미지 중 a)는 해당 시간의 실시간 온도 이미지이고, b)는 진단 간격 동안의 누적 평균 온도이다. 이때의 온도를 이용하여 열화 진단을 수행한다. c)는 정상 일 때의 온도와 차이가 나서 이상 상태라고 판단한 영역의 이미지를 보여준다. d)는 이상 상태라고 판단한 영역의 열화 진단을 수행 했을 때 나온 결과 이미지를 보여준다.

각 좌표의 열화 진단 결과를 통해 해당 영역의 열화율을 계산 할 수 있다. 각 Case의 열화율 변화는 그림 8,9,10을 통해 확인 할 수 있다.

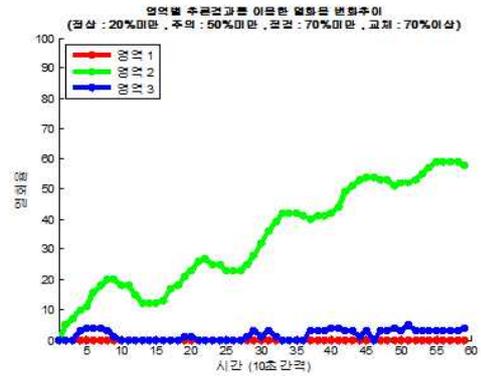


그림 8. Case1의 열화율 변화 추이
Fig. 8. change development of deterioration rate in case1

그림 8은 Case1의 시간이 지남에 따라 변하는 각 영역의 열화율 변화 추이를 보여준다.

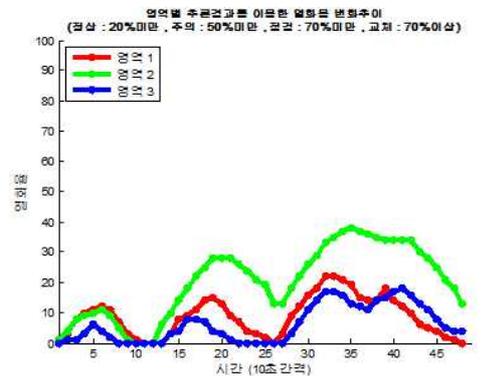


그림 9. Case2의 열화율 변화 추이
Fig. 9. change development of deterioration rate in case2

그림 9는 Case2의 시간이 지남에 따라 변하는 각 영역의 열화율 변화 추이를 보여준다.

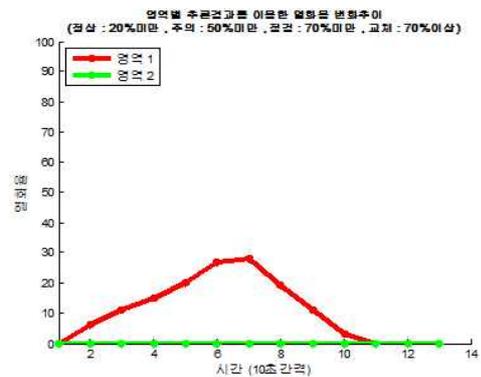


그림 10. Case3의 열화율 변화 추이
Fig. 10. change development of deterioration rate in case3

그림 10은 Case3의 시간이 지남에 따라 변하는 각 영역의 열화율 변화 추이를 보여준다.

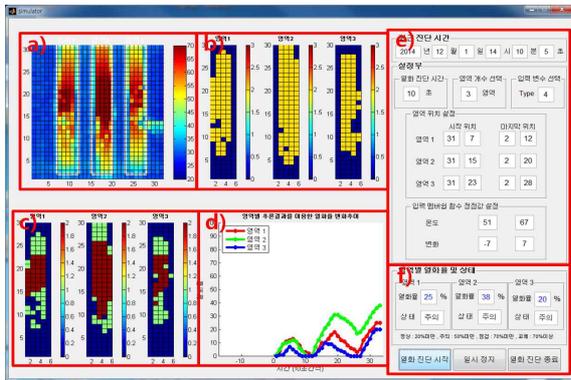


그림 11. 퍼지 추론 기반 열화진단 시뮬레이터
 Fig. 11. Simulator of fuzzy-inference-based deterioration diagnosis

그림 11은 퍼지 추론을 이용한 열화 진단 시뮬레이터이다. a)는 적외선 열화상 카메라를 통해 보이는 실시간 온도를 보여주는 화면이고 b)는 정상 상태의 온도에 비해 일정 온도 값 이상 차이가 발생하여 이상 상태 영역이라 판단한 영역의 픽셀을 보여주는 화면이다. c)는 이상 영역이라 판단한 영역의 열화 진단 결과를 보여주는 화면이다. d)는 각 영역의 열화율이 시간이 지남에 따라 변화하는데 그때 열화율의 변화 추이를 보여주는 화면이다. e)는 퍼지 추론을 실행하기 위해 앞서 진단하고자 하는 영역의 설정 및 파라미터를 설정하는 설정부이다. 마지막으로 f)는 영역별 열화율 및 상태를 보여주는 부분이다.

4. 결 론

본 논문에서는 차 영상을 통한 퍼지 추론 기반 열화 진단 시스템을 설계한다.

온도 데이터의 취득은 32×31의 해상도를 갖는 2D 서모파일 어레이 센서를 사용하여 취득한다. 취득 후 정상 상태의 각 픽셀 온도를 비교하여 일정 값 이상 차이가 발생하는 픽셀을 이상 영역으로 판단하여 검출하고 검출된 영역의 온도 값을 바탕으로 온도와 변화분을 고려한 2개의 입력 데이터를 생성한다. 그리고, 생성된 2개의 입력 데이터를 바탕으로 퍼지 추론 알고리즘을 수행하여 검출된 영역의 열화 정도를 진단한다.

이와 같이 제안된 방법은 온도만을 가지고 열화를 판단하는 기존 방법과 달리 변화분이란 입력 변수가 추가 되어 온도의 증가 및 감소하는 정도를 고려하여 열화를 진단 할 수 있다. 그리고 차 영상 기법을 응용하여 영역의 모든 픽셀에 대해 열화 진단을 하지 않고 정상 일 때 온도와 비교를 하여 이상 영역을 검출 후 검출된 영역만 열화를 진단하기 때문에 효과적이고 빠른 열화 진단을 할 수 있다.

마지막으로 시뮬레이터를 구성하여 전기 기기의 열화 상태를 실시간으로 확인이 용이하게 개발하였다.

References

[1] Oh, Sung-kwun, and Witold Pedrycz. "Identification of fuzzy systems by means of an auto-tuning algorithm

and its application to nonlinear systems." *Fuzzy sets and Systems* 115.2 (2000): 205-230.

[2] Pedrycz, Witold. "An identification algorithm in fuzzy relational systems." *Fuzzy sets and systems* 13.2 (1984): 153-167.

[3] Kurosawa, A. and Okamoto, N. "Automatic extraction method of facial regions for occlusion faces in moving pictures." *Electrical and Computer Engineering*, Vol. 1, PP. 329-334, 2001.

[4] Oh, Sung-Kwun, et al. "Parameter estimation of fuzzy controller and its application to inverted pendulum." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17.1 (2004): 37-60.

[5] Mofizul Islam, S., Tony Wu, and Gerard Ledwich. "A novel fuzzy logic approach to transformer fault diagnosis." *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* 7.2 (2000): 177-186.

[6] Malik, H, N. Kushwaha, and A. K. Yadav. "Paper insulation deterioration estimation of power transformer using fuzzy-logic." *India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE. IEEE*, 2011.

[7] Dhote, Nitin K., and J. B. Helonde. "Improvement in Transformer Diagnosis by DGA using Fuzzy Logic." *Journal of Electrical Engineering & Technology* 9.2 (2014): 615-621

[8] Pallavi, Patil, and Ingle Vikal. "Obtaining a high Accurate Fault Classification of Power Transformer based on Dissolved Gas Analysis using ANFIS." *Research Journal of Recent Sciences, ISSN 2271* (2012): 2502.

[9] Jadin, Mohd Shawal, and Soib Taib. "Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography." *Infrared Physics & Technology* 55.4 (2012): 236-245.

[10] Huda, A. S., and Soib Taib. "Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment." *Applied Thermal Engineering* 61.2 (2013): 220-227.

저 자 소 개



김종범(Jong-Bum Kim)

2014년 : 수원대학교 전기공학과 공학사
 2014년 ~ 현재 : 수원대학교 전기공학과 석사과정

관심분야 : 뉴럴 네트워크, 퍼지 추론 시스템, Patten분류 및 퍼지 모델링

Phone : +82-31-222-6544

E-mail : jongbum23@suwon.ac.kr



최우용(Woo-Yong Choi)

2013년 : 수원대학교 전기공학과 공학사
2013년 ~ 현재 : 수원대학교 전기공학과 석사과정

관심분야 : 뉴럴 네트워크, Granular Computing, 진화론적 최적화 알고리즘, 퍼지 추론 시스템 등.

Phone : +82-31-222-6544

E-mail : choiwy@suwon.ac.kr



오성권(Sung-Kwun Oh)

1981년 : 연세대학교 전기공학사 공학사
1983 ~ 1989년 : 금성산전연구소(선임 연구원)
1993년 : 연세대학교 전기공학과 공학박사

1996년 ~ 1997년 : 캐나다 Manitoba 대학 전기 및 컴퓨터 공학과 Post-Doc

1993년 ~ 2004년 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

2005년 ~ 현재 : 수원대학교 전기공학과 교수
2002년 ~ 현재 : 대한전기학회, 제어로봇시스템학회, 퍼지 및 지능시스템학회 편집위원

관심분야 : 퍼지 시스템, 퍼지-뉴럴 네트워크, 자동화 시스템, 고급 Computational Intelligence, 지능제어 등.

Phone : +82-31-229-8162

E-mail : ohsk@suwon.ac.kr



김영일(Young-II Kim)

1983년 : 숭실대학교 전기공학과 공학사
1985년 : 연세대학교 전기공학과 공학석사
1987 ~ 1989년 : 금성산전연구소(선임 연구원)
1989년 : 연세대학교 전기공학과 공학박사

1989년 ~ 1992년 : 동해중앙연구소 연구개발(연구 소장)

1992년 ~ 현재 : 대림대학교 전기공학과 교수

2010년 ~ 현재 : G2power(주) 연구개발 총괄(대표 이사)

관심분야 : 임베디드 시스템, 자동 제어 시스템, 신재생 에너지, 네트워크 보안 등.

Phone : +82-31-427-1261

E-mail : yikim@g2p.co.kr