

논문 2013-50-9-22

# 계측된 전력정보를 이용한 전기화재 경보 퍼지 시스템 (Electrical Fire Warning Fuzzy System for Measured Power Informations)

조도현\*

(Do-Hyeoun Cho<sup>Ⓢ</sup>)

## 요약

이본 논문은 전력시스템에서 발생하는 전기화재를 예측하고 예방하기 위하여, 전력정보를 계측하고, 이 정보를 활용하여 전기화재를 예측하는 시스템을 제안하였다. 이를 위하여 과전류, 과부하와 과열에 대한 상관관계를 분석하였다. 이러한 상태들은 지락전류와 누설전류에 의하여 발생하고, 전기화재의 주요 원인이기 때문이다. 이 관계를 이용하여 퍼지 규칙을 위한 소속도함수를 도출하였다. 또한 설계된 알고리즘에 수배전반의 실측된 전력정보를 활용하여 시뮬레이션 하였다.

## Abstract

In this paper, in order to predict and prevent electrical fires that occur in the power system, we measured the informations of electric power, and then proposed a system to predict the electrical fire using these informations. To this end, we analyzed the correlations for over-current, overload and overheating. These states are caused by the grounding current and the leakage current, and are the main causes of an electrical fire. Use these correlations to derive the derivative of the fuzzy rules for membership function. The designed algorithm was simulated by utilizing the informations of the actual power of the switchgear-panel.)

**Keywords** : electrical fires, grounding current, leakage current, switchgear-panel

## I. 서론

전기화재는 최근 많은 화재의 주요 원인으로 지난 10년 간 화재 발생원인의 1순위를 차지하고 있어서, 전기화재의 원인이나 예방을 위하여 많은 연구가 되고 있다.<sup>[1]</sup> 반도체, 화학 플랜트, 대형빌딩 및 데이터 센터 등은 사고 파급효과가 매우 큰 영역이기 때문에 변압기의 부부방전, 온도, 습도 감시하고 진단하는 장치를 개발하여 사용하고 있으나 수입의존도가 높은 편이다. 현재 국내에서는 Siemens, ABB, Toshiba등에서 수입하여 사용하고 있으며, KELVATEK, KELMA, AMETEK사는 부분방전 전용 센서와 단말기를 판매하며 세계 시장

을 주도하고 있고, Siemens, ABB, GE, Toshiba, Arcon사는 온·습도, 부분방전 및 수분함유 센서 등을 이용한 전력설비 진단시스템을 개발 출시하여 세계시장 확대하고 있다. 특히 수배전반의 안정성에 대한 관심이 높아지고 있어서, 2010년부터 배전반 내의 온도나 아크 센서를 개발하여 열화를 진단하거나 전력품질을 비롯한 수배전반내의 통합 컨디션 모니터링 시스템의 개발이 활발해지고 있다. 온도 및 부분방전 등의 검출센서를 포함한 다수의 전력설비 진단시스템 관련 논문이 발표되고 있으며, 최근 이를 실용화한 제품의 출시 단계이고, DSP 및 임베디드 프로세서를 내장한 PQ 시스템 개발, 전력설비 열화진단을 위한 각종 알고리즘 및 S/W 등이 개발되고 있다.<sup>[2]</sup>

전기화재를 예방하기 위하여 전기설비에서 전기화재를 발생시키는 원인과 정확한 상관관계가 있는 이상신호의 검출, 분석 및 판단이 필요하며, 이 이상신호의 규

\* 정회원, 인하공업전문대학 디지털전자과  
(Dept. of Digital Electronics, Inha Tech. Col.)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: dhcho@inhac.ac.kr)

접수일자: 2013년5월15일, 수정완료일: 2013년8월19일

명을 통하여 예방시스템의 성능과 신뢰성을 가지게 된다.<sup>[3]</sup> 또한 전기화재를 분석하고 예측하기 위하여 전기화재 원인들의 상관관계를 근본원인(root cause)과 화재 근접원인(proximate cause) 그리고 직접화재를 발생시키는 열원(heat source)으로 분류하는 접근이 시도되었다.<sup>[4]</sup>

본 논문에서는 수배전반에서 과도한 누설전류나 지락전류에 의하여 과전류, 과부하, 과열과 ARC발생 등의 상태가 되어 전기화재가 발생하는 것을 예측하기 위하여, 단락으로 인한 과전류와 과열에 대한 상관관계를 분석하고 퍼지알고리즘을 적용하여 전기화재를 예측하는 시스템을 제안하고자 한다. 특히 수배전반 내의 이상 징후를 실시간 감시하여 전력설비의 사고 예방과 인명 및 화재 피해 등을 대폭 축소할 수 있는 전기화재 경보 시스템을 제안한다.

## II. 본 론

전기화재를 예측하고 예방하려면 전기화재의 원인으로 예상되는 신호들을 검출 및 저장하고 전기화재와의 상관관계를 분석하는 것이 필요하다.<sup>[5,6]</sup> 이를 위하여 전류, 전압, 전력, 전력량, 주파수, 역률, 부하율, 고조파, 불평형, VTHD, ITHD 등과 같은 전력정보를 실시간으로 계측하고 분석하여 전기화재의 주된 직접원인과 과열현상을 분석할 필요가 있다. 더욱이 전기화재의 직접적인 원인이 되는 아크 발생과 과열 현상 등은 단락, 과부하와 기기과열, 누전, 접촉불량 등은 전기선로의 이상으로 발생한다.<sup>[7]</sup> 그러나 이러한 전기화재의 원인들은 중복 작용하는 경우가 많아 정확히 전기화재의 직접 원인으로 추론하는 것은 쉽지 않다.<sup>[8-9]</sup>

전선피복, 전기전자기기 절연유, 전기와 전자기기 케이스, 기관, 전자기기 부속품, 콘센트, 스위치 등에서 발생하는 전기적 아크, 스파크, 정전기, 기기전도나 복사열, 열화 등은 과열을 발생시키며, 누전과 지락, 접촉 불량에 의한 단락, 절연열화에 의한 단락, 압착손상에 의한 단락, 층간단락, 트래킹에 의한 단락, 반단선, 미확인 단락 등은 과부하나 과전류를 발생시켜 과열되어 전기화재의 원인이 된다.<sup>[10]</sup>

일반적으로 과전류는 전기선로 노후화로 절연이 열화되거나 허용전류가 감소하게 되면 발생할 수 있고, 무부하 상태에서 전선 간의 접촉으로 단락현상이 발생하면 전선이나 전기기기에 허용전류를 초과하는 전류가 급격히 증가하여 발생할 수도 있다. 그러나 과부하와

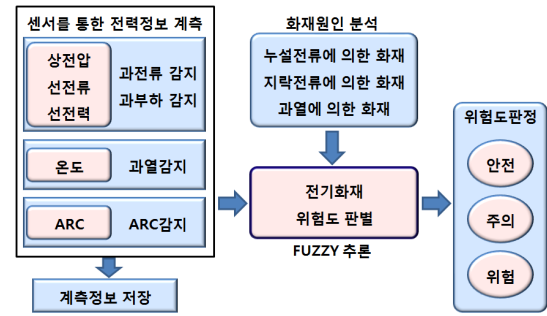


그림 1. 전기화재 예측 시스템  
Fig. 1. Electrical fires prediction system.

과전류는 상호작용에 의하여 함께 나타나게 되므로 분리하지 않고 함께 고려하게 된다.

본 논문에서는 전력정보를 실시간으로 계측 저장하고, 이를 이용하여 지락과 누설전류로 인한 과전류, 과부하와 과열에 대한 상관관계를 분석하고 퍼지알고리즘을 적용하여 전기화재를 예측하는 시스템을 그림 1과 같이 제안하고자 한다. 특히 수배전반 내의 전력정보를 실시간 감시하여 이상 징후로 인한 전력설비의 사고 예방과 인명 및 화재 피해 등을 대폭 축소할 수 있는 전기화재 경보 시스템을 제안한다.

그림 1은 전기화재를 예방하기 위한 시스템으로, 선간전압 $v_{ab}, v_{bc}, v_{ca}$ , 상전압 $v_a, v_b, v_c$ , 선전류 $i_a, i_b, i_c$ , 유효전력, 무효전력, 피상전력, 유효전력량, 무효전력량, 주파수, 총 역률(PF), 고조파량인 VTHD, ITHD등의 전력정보를 계측하여 전기화재 분석을 위한 기초 데이터로 과전류나 과부하로 인한 전기화재 발생과 과열현상이나 절연과피에 의한 아크 검출을 포함하여 전기화재 위험도를 판단하여 제공한다.

또한 계측된 선간전압 및 선전류의 상태를 실시간 감시하여 전력의 불평형 상태, 과전류 상태 및 과부하 상태를 예측하고, 과열현상과 아크발생의 상태와 함께 퍼지 알고리즘에 적용하여 화재발생 위험도를 판별 한다.

### 1. 전력 정보와 화재원인의 인과관계

절연되어 있는 전기선로에서 발생할 수 있는 누설전류는 정상 상태에서는 매우 적지만 선로의 노후화 등으로 절연이 열화 되면 나타날 수 있다. 각 상의 전류  $i_a, i_b, i_c$ 가 누설로 인하여 과도하게 증가하면 온도가 급격하게 증가되지는 않으나 부하전력이 증가하기 시작하는데 누설전류의 상황이 지속되면 ARC가 발생하며 화재에 이르게 된다. 그림 2는 이러한 관계를 실험 데이터를 통하여 보여 준다.

전기선로와 접지사이에 절연성이 낮아져서 흐르게

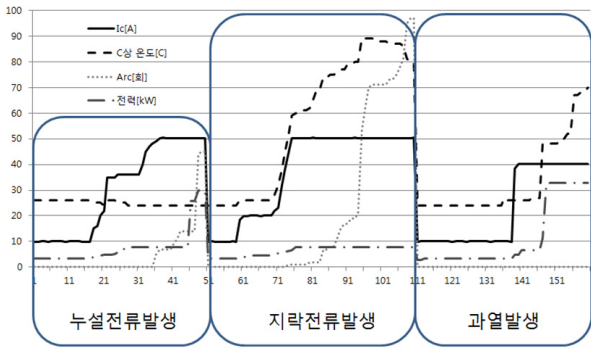


그림 2. 전력정보와 화재발생 원인 분석  
Fig. 2. Cause Analysis of electrical fires for electric power informations.

되는 지락전류는 초기에 상전류의 변화나 온도변화를 일으키지 않고 전력의 이상 증가로만 나타나는 경향이 있지만 지락전류의 상황이 지속되면 상전류와 온도 및 전력이 급격히 증가하게 되고 ARC로 발생되며 화재로 이어지게 된다. 일반적으로 전기적 요인 없이 온도가 급격히 증가하여 화재가 발생하는 상황은 없다. 즉 전압이나 전류 등에서 발생한 문제로 온도 증가를 가져오게 되지만 전기적인 원인을 감지하기 전에 급격한 온도 증가를 보이는 경우가 많아 전력이상이나 전기화재를 감지하는 주요한 요소로 고려할 수 있다.

또한 ARC의 경우 선로의 노후화나 열화로 인하여 단락이 일어나면서 발생하는데 전기화재 발생의 가장 직접적인 원인이 된다.

2. 전력정보의 계측

전기화재의 원인이 되는 과전류, 과부하, 과전압, 단락전류를 예측하기 위하여 1%이하의 오차 범위로 전력 정보를 계측하여 저장한다. 온도에 따른 전기화재 분석을 위하여 전력케이블의 온도가 상승하는 경우를 고려

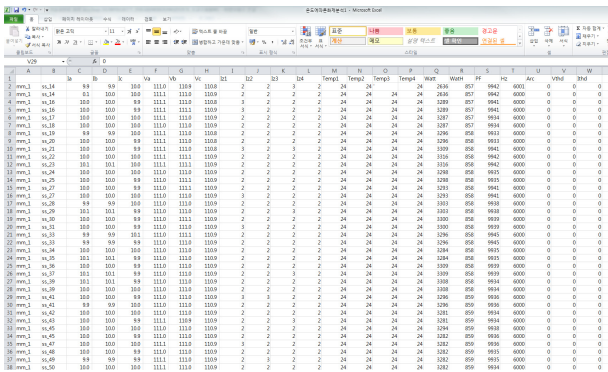


그림 3. 계측된 전력데이터  
Fig. 3. The measured data for power.

하기 위하여 전선의 표피 온도 또는 전선과 단자의 접속부분에 설치하여 실제 온도를 측정하며, 분전반 내부의 주위 온도를 측정할 수 있도록 주위 온도 측정 기능을 탑재 하여 과열감지에 사용한다. 또한 절연이 파괴되면서, 발생하는 아크를 감지하기 위하여 광학적 방식의 아크센서를 사용 한다.

그림 3은 계측된 데이터이다. 계측된 전력 계측 데이터의 상태를 표시하고, 그때 온도 변화와 아크 발생을 저장한다.

3. 전기화재 예측을 위한 퍼지 규칙 설계

계측된 정력정보를 분석하고 전기화재를 예측하기 위하여 상전류, 상온도, 전력과 ARC를 이용하여 퍼지 규칙을 설계하였다. 일반적으로 수배전반에서 상전류의

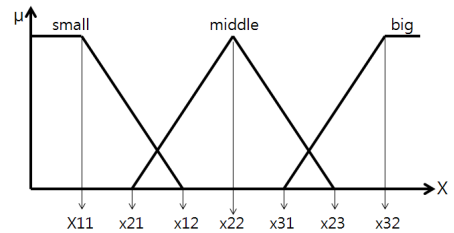


그림 4. 소속도함수  
Fig. 4. Membership functions.

표 1. 전력요소의 소속도함수 설정 값  
Table 1. Setting values of membership functions for power elements.

	x11	x12	x21	x22	x23	x31	x32
상전류	10	30	10	30	50	40	55
상온도	25	40	25	50	70	60	70
전력	2500	5000	4000	6000	8000	7000	9000
ARC	5	30				10	30

표 2. 퍼지 규칙  
Table 2. Fuzzy Rules.

		ARC			
		arc_S	arc_M	arc_B	arc_V
상전류	온도	pow_S	pow_M	pow_B	pow_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
cur_S	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
cur_M	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
cur_B	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V
	온도	st_S	st_M	st_B	st_V
	전력	st_S	st_M	st_B	st_V

정상상태에서 10A이고, 50A 이상이 되면, 화재가 발생하게 되는 위험 수준이 되며, 상온도의 정상상태에서 25℃이고, 70℃ 이상이 되면, 화재가 발생하게 되는 위험 수준이 된다. 또한 전력의 정상상태에서 2500W이고, 9000W 이상이 되면, 화재가 발생하게 되는 위험 수준이 된다. 여러 가지 원인에 의하여 발생하게 되는 ARC는 30회 이상이면 위험 수준이 되었다.

이러한 데이터를 기준으로 소속도함수를 그림 4와 표 1과 같이 소속도함수를 설정하고 퍼지규칙을 표 2와 같이 설계하였다.

### III. 실험

실험을 위하여 그림 5와 같은 수배전반의 저압배전반, MCC와 분전반에서 정격전압과 전류는 a상, b상, c상을 각각 AC 110V, AC 10A로 하였고, 과전류 및 과부하 조건은 AC 40A 이상, 정상 누설전류는 2mA ~ 3mA, 사고 누설전류는 50mA 이상으로 입력 값의 정격을 정의 하였다.

Matlab의 Fuzzy Tool을 이용하여 상전류, 상온도, 전력과 ARC를 이용하여 적용한 퍼지규칙을 실험하였다. a상, b상, c상에 정상전류 10A를 가압하였으며, 1초 간격으로 계측하였다. 사고를 가정하여 c상에 40A를 인가하였다. 과전류와 과부하가 동시에 인가되면서, 그림 3과 같이 c상 전력케이블에 장착된 온도센서로부터 온도가 증가함을 알 수 있으며, 약 80℃ 이상으로 상승되었다. 이 정보를 이용하여 퍼지 알고리즘을 사용하여 과전류(과부하)와 온도센서의 실제 데이터의 관계를 분석하고, 전기화재의 가능성을 판단할 수 있었다.

그림 6은 상전류, 상온도와 부하전력 변화에 대하여 제안한 퍼지규칙을 적용하여 위험도를 예측한 것이다.

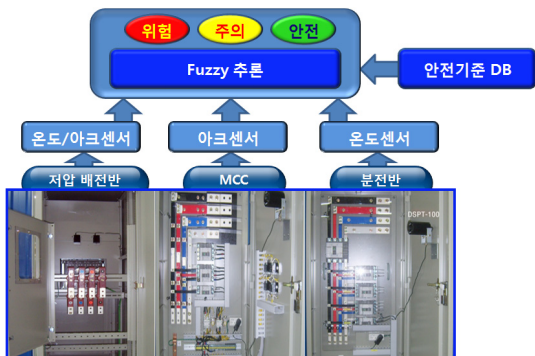
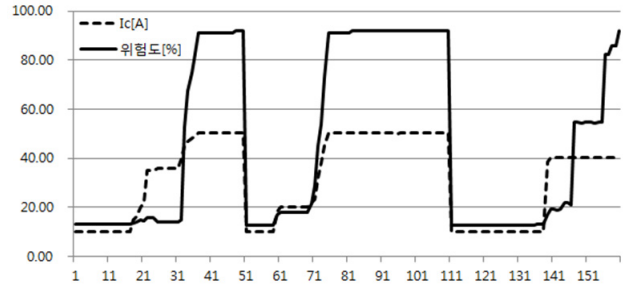
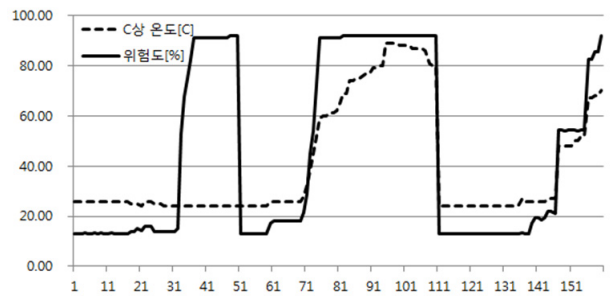


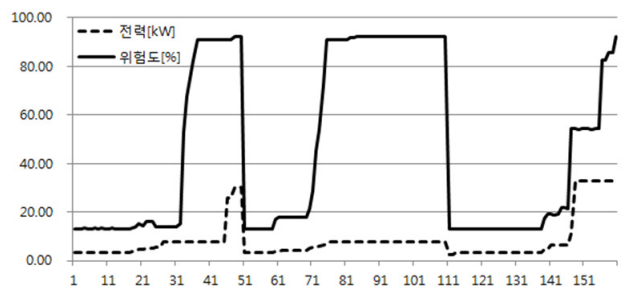
그림 5. 수배전반에 대한 위험도 판별 시스템  
Fig. 5. System to determine risk for switchgear-Panel.



(a) 상전류 변화에 대한 위험도 분석



(b) 상온도 변화에 대한 위험도 분석



(c) 부하전력 변화에 대한 위험도 분석

그림 6. 전력요소 변화에 대한 위험도 분석  
Fig. 6. Risk analysis for the change in the power factor.

표 3. 이상 상태에 대한 위험도 판별  
Table 3. Determine the risk for abnormal conditions.

상황	상전류	상온도	부하 전력	ARC 발생	defuzzy 값	화재 위험도
정상	10	24	3300	0	0.1394	0
누설전류1	50	24	7000	0	0.9091	3
누설전류발생2	50	24	8000	5	0.9091	3
누설전류발생3	50	28	25000	15	0.9200	3
지락전류(초기)	20	24	7000	0	0.3348	1
지락전류(중기)	20	45	4400	2	0.3500	1
지락전류(위험)	50	75	7700	11	0.9200	3
온도이상(초기)	40	30	6600	0	0.5364	2
온도이상(위험)	40	65	32000	0	0.9200	3

표 3은 수배전반에서 정상적인 상태와 누설이나 지락 전류가 발생하거나 이상 과열발생 시에 상전류와 상온도, 부하전력, ARC들의 발생을 가정할 경우 퍼지 알

고리즘을 통하여 특별한 화재 위험도를 나타낸 것이다. 화재 위험도 0은 안전 상태이고, 위험도 1이나 2는 주의가 필요한 상태로 안전을 위한 조치가 필요함을 나타낸다. 위험도 3은 전기화재 발생 가능성이 매우 높은 상태로 즉각적인 조치가 필요한 상태임을 나타내며, 경보발생이나 전력 차단 조치 등을 취해야 함을 의미한다. 이러한 위험도 정보를 기반으로 하여 전기화재를 예방할 수 있는 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 전기화재를 예측하기 위하여 수배전반의 전력정보를 센서 등을 활용하여 계측하고 저장하고 계측된 정보를 이용하여 전기화재의 원인인 과전류, 과부하, 열발생과 전기화재의 상관관계를 퍼지 알고리즘을 이용하여 분석하였다. 이것을 이용하여 전기화재 발생 위험도를 예측하여 전기화재의 가능성을 판단하고 대응할 수 있음을 보였다. 이를 활용하면 전기화재 예방진단이 가능함을 알 수 있다.

향후 특고압 기기의 부스바 및 부싱의 모선 접촉 온도의 원격감시, 부분 방전, 아크, Hot-spot 온도, igr 누설전류, 트래킹, 가스 검출, 불꽃 검출 및 전력품질 등의 원격감시를 위하여 다양한 스마트 센서 기술 개발을 통해 더 많은 전기화재의 직접정보를 활용하면 전기화재를 예측하고 예방 할 수 있을 것이다.

#### REFERENCES

[1] 장정태, “전기화재의 발생요인 분석과 경감대책”, 한국위기관리논집, 제7권 제2호, pp.157~168, 2011.  
[2] 조도현, 이보인, “전력정보 저장과 전기화재 예방 시스템”, 2012년 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, pp 884-886, 2012.  
[3] 유상옥, 김성철, “전기화재 전조신호 예측을 위한 전기화재방지시스템 개발”, 소방기술연구 소방연구 논문, pp.152-161, 2009.  
[4] 김두현, 김성철 이종호, “전기화재원인분류의 문제점 분석 및 개선안 제시”, 한국화재소방학회 논문지, 제23권 제1호, pp. 36-40, 2009년.  
[5] 김성철, 김두현, “과부하 및 물리적 손상(반단선)에 의한 전선의 열적특성 해석”, 한국산업안전학회, Vol22, No.4, 2007.  
[6] 김성철, “열과 전류신호에 의한 전기화재 전조 분석 및 DB 개발”, 충북대학교 박사학위논문, pp.1-5, 2008.  
[7] 광주광역시소방학교, 화재조사 실무(하), pp.

3-340, 2008.  
[8] 소방방재청, 2007-2009년 화재통계연감, 2010.  
[9] 전기안전공사, 전기재해통계분석, pp. 7-160, 2010.  
[10] 소방방재청, 2007-2009년 전국 화재발생 현황 분석, 2009.

#### 저 자 소 개



조 도 현(정회원)

1990년 광운대학교 전자공학과 석사 졸업.

1998년 광운대학교 제어계측 공학과 박사 졸업.

1991년 LG전자 중앙연구소 근무

1998년 삼성종합기술원 근무

현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수

<주관심분야 : 제어계측공학, 로봇제어, 회로 및 시스템 설계>