

電氣火災 豫知原理 및 徵候檢出 시스템 構造

(Prediction Principle and System Structure for the Detection of Incipient Electrical Fire)

金 昌 鍾*
(Chang-Jong Kim)

요 약

주거지 및 상공업지역에서의 전기화재가 1994년의 경우, 전체 화재의 약 40%를 차지하고 있다. 본 논문에서는 전기화재의 원인을 조사하여 전기화재의 징후를 사전에 검출하는 예지원리를 제시하고 있다. 전기화재 예지의 기본원리는 접촉불량 및 절연열화 또는 파괴에 의한 아크와 스파크의 조기검출에 그 근간을 두고 있다. 이러한 원리에 따라 마이크로컨트롤러를 위한 전기화재예지 시스템을 구성하였다.

Abstract

Electrical fire in residential, commercial, and industrial areas occupies 40 percent of overall fire accidents as of the year of 1994. The causes of most electrical fires were studied and, based on this investigation, the principle of the early detection or prediction of the electrical fires is developed. The basic principle is to early detect electrical arcs or sparks caused by faulty connections and insulation failures. The structure of the prediction system based on microcontroller technique is presented.

1. 서 론

전기 화재는 여러 화재 중에서 큰 비중을 차지해 온 전기재해이다. 이로 인해 인명 및 재산의 피해는 물론 국가경제에도 큰 피해를 줄 수가 있다. 1994년에 일어난 광통신구 화재사고, 유흥업소 화재사고 등의 일련의 전기 화재 사고는 많은 인명(人命)적, 경제적 문제를 야기시켰다. 이에 따라 이러한 대형사고와 함께 주택 및 공장에서의 전기화재사고를 미연에 방지하는 대책이 요

구되고 있다. 전기화재란 전기설비의 누전이나 합선에 의해 다른 설비나 건물에 화재를 일으키는 사고를 말하는 것으로서, 선로(線路), 전기기계기구, 배선(配線) 등에서 누전(漏電), 단락(斷落), 섬락(閃落) 등의 전기적 이상(異狀)상태가 발생하여 그때의 열과 불꽃이 원인이 되어 화재를 일으키는 것이다. 전기 재해 중 많은 사고가 접촉 불량 등의 원인으로 일어나고 있음은 많이 알려져 있으나 현재 가능한 대책은 시간을 정하여 취하는 예방보전과 사고가 일어난 후에 취하는 사후보전 조치에 머물고 있다. 그러므로 전기화재의 요인을 분석하여 전기화재 예방 및 예지 대

*正會員: 水原大 工大 電氣工學科 教授
接受日字: 1995年 3月 30日

책을 세우는 일이 필요하다. 본 논문에서는 전기 화재의 현황 및 분석에 근거하여 전기화재의 예지원리를 제시하고 이 원리에 따른 전기화재 징후 검출 시스템을 구성하고 소개하는데 그 목적이 있다.

2. 전기화재 요인과 메카니즘

전기고장의 대부분을 차지하는 전선의 고장은 이락 또는 용량초과 혹은 타 물건 접촉 등에 의하여 전선에 과전류가 흐르고 과열이 생겨서 이로 인해 전선이 늘어지거나 떨어지거나 또는 다른 물체에 붙게 된다. 이렇게 되면 고장 부위에서는 선이 끊어져 차단되거나 혹은 부분 접촉으로 인하여 반복적으로 아크가 발생한다. 이 전기 아크는 비선형적(非線形的)인 저항성을 가지고 있어서 고장 전류를 차단하는 작용을 하여 보호기기의 동작을 막는 역할을 한다. 그러므로 반복되는 고장, 아크발생 등에도 불구하고, 전기 화재의 가능성을 지닌 채, 전기가 여전히 공급된다.¹⁾

전기화재가 자주 일어나는 발화개소를 보면 다음과 같다. 즉, 전기난로, 전기 장판, 전기다리미, 전기담요, 커피포트, 헤어 드라이어 등의 이동식 전열기(移動式電熱器), 제빵기, 건조기, 전기 밥솥, 온풍기, 냉각기, 온수기 등의 고정식전열기(固定式電熱器), 라디오, TV, 전축, 백열전등, 형광등, 네온등, 냉장고, 선풍기, 세척기 등의 전기기기(電氣機器), 배전용 변압기, 모터, 발전기, 정류기, 계량기, 차단기, 변압기등의 전기장치, 송배전선, 인입선, 옥내선, 코드, 배선 접촉부 등의 배선(配線), 그리고 스위치, 자동개폐기 등의 배선기구(配線器具) 등이 있다. 위의 발화 개소 중 배선부분에서 가장 많은 전기화재가 발생하며 그 중에서도 옥내배선(屋內配線)에서 가장 많이 발생하고 있다.²⁾³⁾

그리하여 현재의 전기화재 상황을 분석해 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.⁴⁾ 즉,

(1) 전기화재가 전체 화재의 약 40%를 차지하고 있으며 증가 추세에 있다.

(2) 주거지 및 작업장에서의 전기화재가 많다.

(3) 과거에는 겨울철이 화재 다발계절이었으나 이러한 계절 변수가 점점 희박해지고 있다.

(4) 전기화재의 발화 개소로는 전기 배선이 가장 큰 점유율을 보이고 있고 그 중에서도 옥내 배선이 가장 큰 발화개소이다.

(5) 전기화재 발화원인으로는 합선과 과전류, 누전 및 스파크, 접촉불량의 순서를 보이고 있다.

3. 전기화재 예지원리

앞에서 언급한 바와 같이 전기화재의 발생요인으로는 합선이 가장 큰 부분을 차지하고 있고 누전, 과전류, 스파크 등이 그 뒤를 따르고 있다. 그러므로 전기화재에서의 고장요인과 발화과정(發火過程)을 보면 첫째, 부하용량 초과에 의한 과부하로 인한 전기화재, 둘째, 접촉불량 또는 타물건과의 접촉에 의한 스파크 현상과 이로 인한 과열 및 불똥에 의한 전기화재, 셋째, 기타 제품불량 등에 의한 전기화재로 구분할 수 있다. 그러므로 위의 요인을 사전에 감시하고 검출할 수 있다면 많은 전기화재를 미연(未然)에 방지하고 사전점검을 통한 예지보전(豫知保全)이 가능하다. 즉, 현재 사용하는 부하전류량을 감시하고, 전기시스템 및 회로에서 접촉불량이나 절연파괴 등을 미리 감지하여 전기화재를 예지할 수 있는 것이다. 그러므로 전기화재의 예지원리는 첫째, 용량 초과 사용의 감시, 둘째, 스파크 또는 아크 현상에 의한 접촉불량 등의 사전 검출에 있다.

3.1 용량초과의 검출

용량초과 즉 과부하가 전기화재의 많은 요인이 되고 있음은 널리 알려진 사실이다. 그러므로 정격용량에 맞게 사용되고 있는지 여부를 감시해야 한다. 이러한 용량초과 유무를 감시하기 위해서는 전류의 실효치를 주어진 시간 간격마다 계산하여 정격용량과 비교한다.

3.2 접촉불량 및 절연파괴의 검출

접촉불량 및 절연파괴 또는 절연열화를 전기적

신호에 의해 검출하는 것은 상당히 어려운 분야이다. 하지만 지난 10여년에 걸친 스파크및 아크 현상의 연구에 의해 그 검출가능성을 보여왔다.⁵ ~⁸) 접촉불량 또는 절연에 문제가 생겨서 스파크(spark)나 아크(arc)가 접촉면에서 발생하는 경우, 이 아크와 스파크는 전기 신호적으로 고주파를 생산하는 고주파원(高周波原)이 된다. 그러므로 전류의 신호를 주파수 영역에서 분석하면 1~10(kHz)사이의 주파수대에서 이러한 아크나 스파크의 특성을 발견할 수 있다. 하지만 정상적인 스위치 동작에서도 이러한 스파크현상에 의한 고주파가 발생되므로 이를 구별해야한다. 그림 1(a)에 지속적 아크가 수 사이클(cycle) 진행되는 경우의 부하전류와 고주파 성분을 나타내었고, 그림 1(b)에 스위치의 동작(ON-OFF)을 반복한 경우의 고주파성분의 변화를 나타내었다.

3.3 예지 변수 및 상태 분류

용량초과와 접촉불량외에도 전기화재의 요인은 다양하므로 분전반이나 판넬 내부의 온도를 측정하면 다른 원인에 의한 화재까지도 조기 경보해 줄 수 있다. 이러한 예지원리의 배경 하에서 다음과 같이 세 개의 예지 변수를 정하였다. 즉 용량초과 여부를 밝혀 줄 실효치 부하전류, 스파크를 수반하는 절연 불량 및 절연파괴를 설명해주는 스파크 현상, 분전반 또는 판넬의 온도가 예지변수를 구성한다. 이러한 예지원리에 따라 전기회로 시스템을 3상태(mode)로 분류하고 이에 따라 감시및 경보 결정을 내린다.

정상상태(normal mode)는 모든 예지변수가 정상인 경우를 말한다. 대비상태(alert mode)는 우선 스파크현상 변수가 검출된 경우이다. 이 경우는 두가지의 사건을 예상할 수 있다. 즉 정상적으로 전기제품을 가동시키거나 사용을 중지할 때 생기는 스파크현상인 경우와 전기 고장으로서의 스파크및 아크가 생긴 경우이다. 이 두 가지를 구별하기 위해서는 스파크나 아크현상 전후의 부하전류를 비교해야 한다. 스파크 전후의 부하전류에 변화가 있으면 제품의 사용 또는 중지에 의한 정상적 현상이므로 정상상태로 돌아가고, 스파크 전후의 부하전류에 차이가 없으면 고장으

로서의 아크현상이 일어나고 있으므로 경보상태(alarm mode)로 가서 스파크현상 경보를 발생해야 한다.

부하가 정격을 넘어서면 용량초과의 과부하경보를 발생한다. 부하전류나 스파크현상에서 아무런 이상이 없으면서 분전반이나 판넬의 온도가

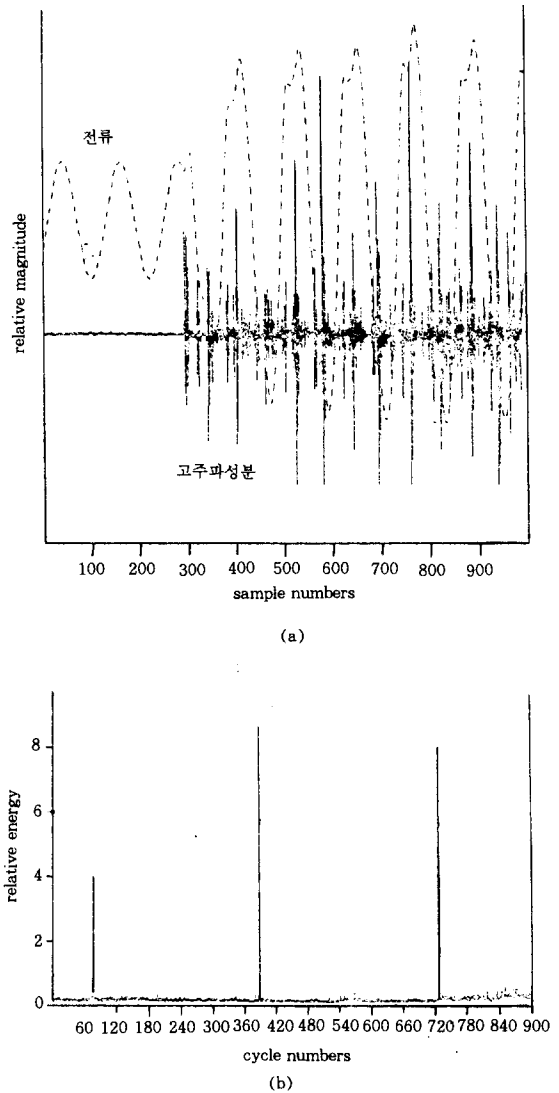


그림 1. (a) 지속적 아크와 (b) 스위치 동작 (on-off) 시의 고주파 성분의 변화
 Fig. 1. Behaviors of the high frequency component of (a) consistent arc process and (b) normal on-off operation of switch.

규정온도 이상으로 상승하면 온도상승경보를 발생하여 현장을 점검하도록 한다.

3.4 전기화재 징후 검출 상태도

예지원리와 3 상태를 결합하여 그림 2와 같이 상태변화 및 상태변화시의 예지변수의 현황과 발생하는 경보에 대한 상태도를 완성할 수 있다.

그림 2에서 처럼 정상상태에서 부하용량이 초과되면 경보상태로 이동하여 과부하 경보를 발생한다. 정상상태에서 부하전류가 정격 용량 이하이고 스파크 현상이 감지되면 대비상태로 이동한다. 정상상태에서 온도 상승이 생기면 대비 상태로 이동한다. 대비상태에서 계속적인 온도 상승이 생기면 경보상태로 이동하여 원인미상(原因未詳)의 온도상승경보를 발생한다. 대비상태에서 스파크 현상을 전후로 부하 전류에 변화가 있으면 정상상태로 돌아간다. 대비상태에서 스파크 현상을 전후로 부하전류에 변화가 없는 경우 경보상태로 이동하여 스파크 경보를 발생한다. 경보상태에서는 외부의 입력 즉 키를 눌러서 경보를 인지(認知)했다는 신호가 있으면 정상상태로 돌아간다.

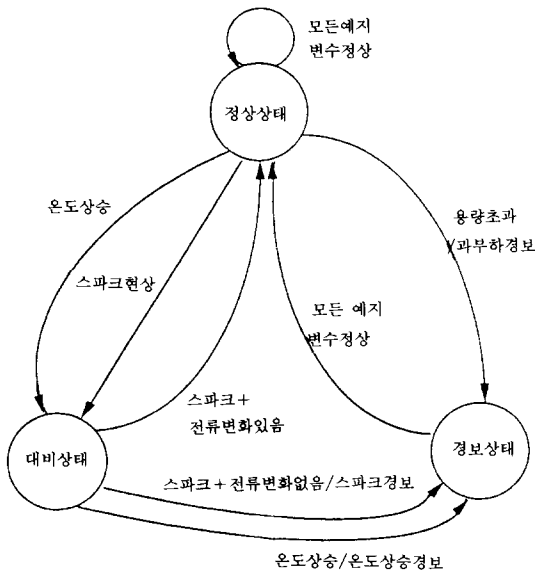


그림 2. 예지변수와 경보출력의 상태도
Fig. 2. State Diagram of the Prediction Parameters and Alarm Outputs.

4. 마이크로콘트롤러를 이용한 징후검출 시스템 구성

지금까지 제시한 예지원리에 의하여 전기화재 징후를 검출하는 시스템을 마이크로콘트롤러를 이용하여 구성하였다. 이러한 구성의 목적과 배경은 다음과 같다.

(1) 부하용량에 따라 전기기기 또는 전기제품을 사용하고 있는가의 여부를 파악하고 그 용량 초과시에는 즉각적으로 경보를 발생하기 위하여 부하전류의 실효치를 감시한다.

(2) 접속불량, 타물건 간헐적 접촉, 또는 접촉 불량에 의한 초기 스파크 현상이 고장 및 과열에 의한 전기화재로 발전하기 전에 감지하기 위하여 부하전류의 고주파성분을 필터링(filtering)하여 감시한다.

(3) 분배전반 및 전선의 온도가 급격히 올라가는 경우를 감지하여 화재(전기 또는 다른 원인에 의한 화재)가능성을 통보하기 위하여 온도센서를 분전반이나 판넬내부에 설치하고 그 온도를 감시한다.

4.1 하드웨어(hardware)

전기화재 징후 검출 시스템은 모토로라(Motorola)사의 8-비트 마이크로콘트롤러인 68HC11A8을 사용하였다. 마이크로콘트롤러 68HC11은 256바이트의 RAM과 512바이트의 EEPROM으로 구성되어 있으며 4개 채널의 8비트 A/D 변환기가 내장되어 있으며 PC와 통신이 가능한 시리얼통신 인터페이스도 내장되어 있다. 이 68HC11A8에 키보드와 LCD를 붙이고 상태표시를 위한 LED를 부착하였다. 키보드는 12-key의 키패드를 사용하였으며 키패드 엔코더(keypad encoder)를 사용하여 키의 값이 바로 이진수로 바뀌어 마이크로콘트롤러의 입력포트로 들어가게 하였다. 숫자를 표시하기 위한 LCD는 16 Character X 1 line으로 5 X 8 dots의 모듈을 사용하였다.

전류와 온도의 값을 위해서 CT와 저항치변화(RTD) 온도센서를 이용하였다. CT에서 나오는 전류치는 실효치로 최대 5V로 하였고, common

-mode 노이즈를 제거하기 위하여 differential mode로 필터와 앰프에 공급되도록 하였다. 온도 센서의 값도 0에서 5V의 값을 나타낼 수 있도록 조정하였다. 마이크로컨트롤러와 주위의 하드웨어 구성을 그림 3에 나타내었다.

4.2 동작원리

전기화재 징후검출시스템은 마이크로컨트롤러에 근거한 전류및 온도감시, 그리고 징후발견정보를 목적으로하는 시스템이다. 이 시스템은 아래와 같은 원리와 기능으로 동작한다.

(1) 입력감시(monitring) : 우선 CT에서 나온 전류는 노이즈를 없애기 위하여 differential amplifier를 통하여 두 갈래로 나누어진다. 한 갈래에서는 low-pass filter를 지나 60Hz만을 받아 실효치를 계산하는 것이고, 다른 한 갈래는 high-pass filter를 지나 1000Hz이상의 고주파 성분을 받기 위한 것이다. 두 성분은 마이크로컨트롤러의 아날로그 포트(analog port)로 들어간다. 실효치로는 부하를 감시하고 고주파성분으로는 아크나 스파크의 발생을 감시하기 위함이다. 온도센서 입력도 온도의 변화가 센서의 저항을 변화시키는 것을 이용하여 그 값을 amplifier를 통하여 마이크로컨트롤러의 A/D 변환기로 공급한다.

(2) 실효치계산(rms calculation) : 위의 입력감시에 의해 마이크로컨트롤러로 들어간 60Hz 성분이 샘플링(sampling)된다. 즉, 1사이클

(cycle)당 4샘플을 아날로그 포트(port)로 읽게 된다. 실효치 계산은 1초에 10회 행해지는데 실효치 계산에는 24 샘플이 사용된다.

(3) 실효치전류저장(rms update) : 스파크를 검출하게되면 스파크 전후의 실효치전류를 비교하여 경보상태로 갈 것인지 아니면 정상상태로 복귀할 것인지를 구분한다. 그러므로 시스템은 항상 어느 정도의 실효치 전류를 저장하고 있어야 한다. 이러한 실효치의 가장 최근 값 저장을 위하여 FIFO(First In First Out)방식 또는 Moving Window방식에 의하여 실효치를 계산하여 저장한다. 스파크가 검출되면 이 실효치를 저장해 놓고, 스파크 이후부터 다시 실효치를 20초간 계산하여 이 두 값을 비교하는 것이다.

(4) 경보발생(alarm processing) : 경보에는 세가지 경보가 있는데 이것을 buzzer와 LED로 동시에 표시하여 어떤 원인에 의한 경보인지를 알린다.

그림 4에 위의 경보동작을 플로우차트로 나타내었다. 이 플로우차트를 따라 다음과 같이 경보를 발행하게된다. 즉,

- a. 과부하경보(노란색 LED)-부하용량이 초과되었을 때 발행한다.
- b. 스파크경보(빨간색 LED)-다음의 경로를 거쳐 스파크경보를 발행또는 정상상태로 돌아간다. 고주파성분이 검출되면 20 사이클의 시간을 기다린다. 이 후에 고주파성분이 검출된 이전과 이후의 실효치를 비교한다. 부하변화여부를 체크하는 것이다. 변화가 없으면 경보를 발행하고 변화가 있으면 정상상태로 돌아간다.
- c. 온도상승경보(주황색 LED)-위의 어느 경보이유도 없이 분전반이나 판넬의 온도가 계속 상승하여 규정온도 이상이면 이 온도상승카운트(count)를 증가시키고 이 카운트가 5가 되면 온도상승경보를 발행하여 즉시 체크하도록 한다. 이 과정중 온도가 규정이하로 내려가면 카운트를 리셋한다.

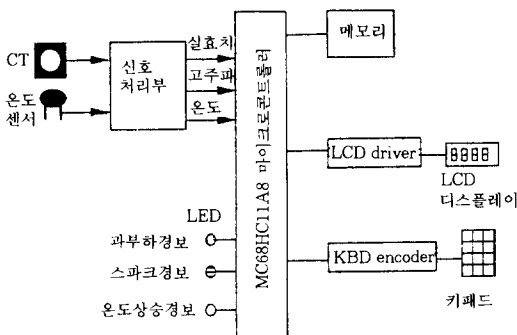


그림 3. 전기화재 징후 검출 시스템 하드웨어 구성
Fig 3. Hardware Structure for the Incipient Electrical Fire Detection System.

5. 결 론

주거지, 작업장, 빌딩 등에서 발생하는 전기화

재를 예지하기 위한 원리를 전기화재 발생요인에서 구하였고 이를 이용하여 전기화재 징후를 검출하는 시스템을 제시하였다. 이 원리는 과부하 검출, 스파크 및 아크검출에 의한 접촉불량 및 절연문제 검출, 그리고 분전반이나 판넬의 온도상승을 감시하고 주어진 동작원리에 따라 경보를 발행하는 시스템이다. 이 시스템 실현을 위해 마이크로콘트롤러와 주위 신호처리 회로를 추가하

였으며 이 시스템의 동작원리와 경보과정을 나타내었다. 현재 이 시스템을 실험실에서 테스트하고 있으며 과부하에 의한 국부적인 접촉단자 등에서의 과열등을 검출할수있는 방법을 보완하기 위한 연구를 계속할 예정이다.

참 고 문 헌

- 1) T. E. Eaton, "Electric Services and Building Fires,"

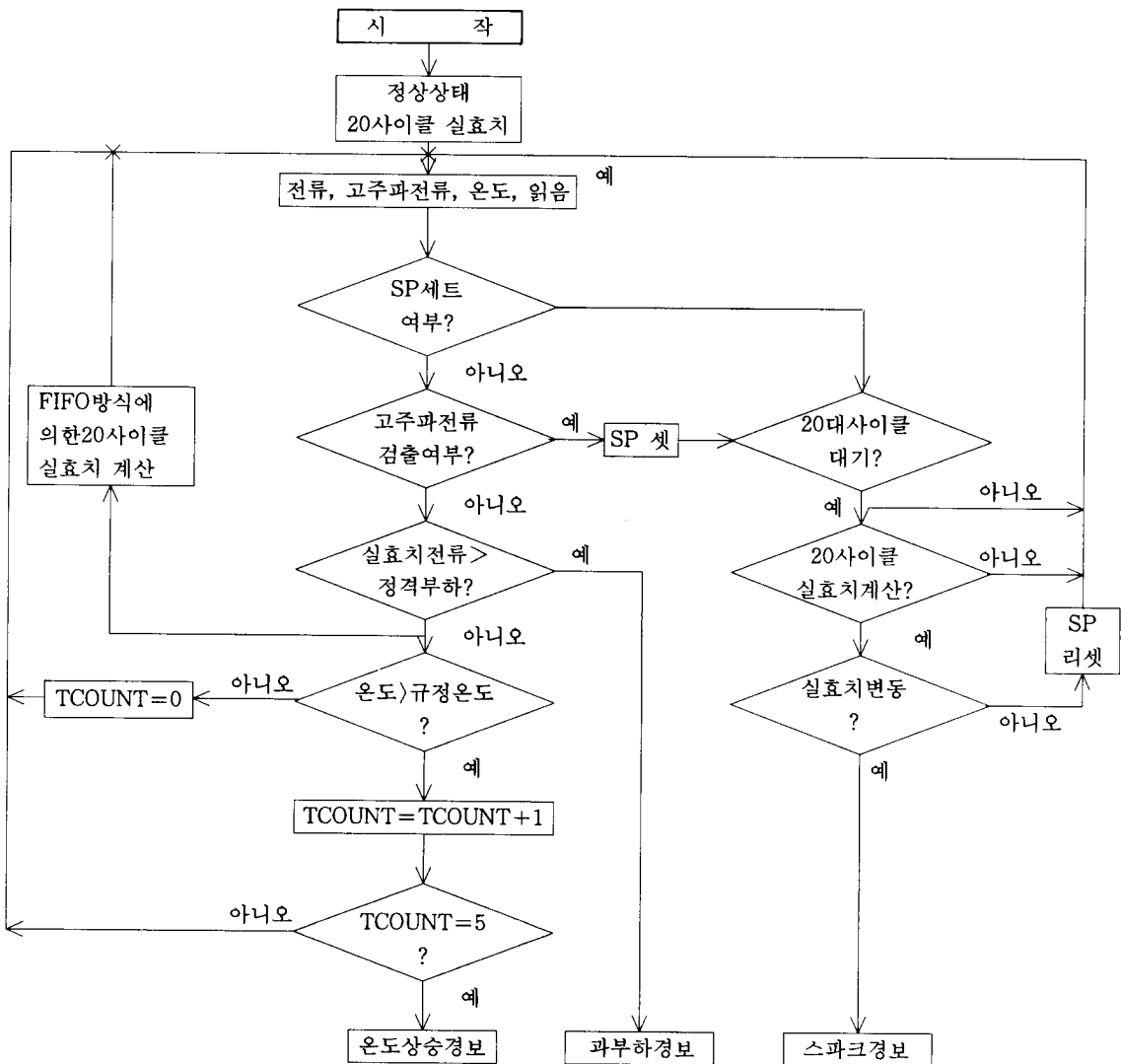


그림 4. 경보 발생 플로우차트
Fig. 4. Flowchart for Alarm Processing

- Fire Technology, pp. 70~86, February 1992.
- 2) '81-'90년도 전기재해통계분석, 한국전기안전공사, 1992.
 - 3) L.E. Smith, D. McCoskrie, "What Causes Wiring Fires in Residences?" FIRE Journal, pp. 19~24, Jan/Feb. 1990
 - 4) 김창중, "전기화재 현황과 조기 검출을 위한 대책," 한국조명전기설비학회, 추계학술대회논문집, pp. 77~82, 1994.
 - 5) B.M.Aucoin, B.D.Russell, "Distribution High Impedance Fault Detection Utilizing High Impedance Frequency Current Component," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 101, no. 6, pp. 1596~1606, June 1982.
 - 6) C.J.Kim, B.D.Russell, "Harmonic Behavior during Arcing Faults on Power Distribution Feeders," Electric Power Systems Research, vol. 14, no. 3, pp. 219~225, June 1988.
 - 7) C.J.Kim, B.D.Russell, "Classification of Faults and Switching Events by Inductive Reasoning and Expert System Methodology," IEEE Transactions on Power Delivery, vol.4, no.3, pp. 1631~1637, July 1989.
 - 8) C.J.Kim, B.D.Russell, "A High Impedance Fault Detection System using an Adaptive Element Model," IEE-Proceedings-C, vol. 140, no.2, pp. 153~159, March 1993.

◇ 著者紹介 ◇



김 창 중(金昌鍾)

1957년 4월 8일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1982년 서울대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1983년~1985 LG산전 연구소 연구원. 1989년 TEXAS A & M 대학 전기과 졸업(박사). 1990~1992 TEXAS A & M 대학 POST-DOC연구원. 1992~1994 TEXAS A & M 대학 및 TEES(텍사스주립연구소)연구교수. 현재 수원대 전기과 교수. 당학회편수위원.