

전기재해의 징후검출 및 정상부하 특성과의 구분 Detection and Discrimination of the Prognostics of Electrical Failures from Normal Load Characteristics

金昌鍾 丘在昇 姜景勳
水原大學校 電氣工學科

요약

전기재해(電氣災害)라 함은 전력 계통의 이상이나 또는 전기 설비의 누전과 합선 및 과부하나 스파크 등에 의해서 전기 화재를 유발시키거나 전기기기에 이상을 주는 것을 말한다. 그러나 전기재해의 징후를 검출할 수 있다면 최근 들어 계속 늘어만 가는 전기재해의 피해를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 전기재해 징후로서의 스파크 현상 검출과 이와 유사한 현상을 보이는 정상 부하의 동작 현상을 비교하고 구분하는 법을 제시하고 있다. 이를 바탕으로 스파크를 수반하는 전기화재의 조기 검출 알고리즘을 소개하였다.

1. 서론

전기로 인한 재해의 가장 큰 비중을 차지하는 것이 전기 화재이다. 이러한 전기화재는 전기기구나 전기설비 사용의 증가와 함께 점점 증가하고 있는 추세이며 이로 인하여 인명(人命)피해와 재산(財産)피해는 물론 국가경제에도 큰 피해를 주고 있다. 최근들어 전기화재의 비중이 전체 화재 중에서 점점 증가하고 있어서 전기화재의 탐지는 물론 전기화재의 조기 발견 및 징후 발견에 의한 화재 미연 방지의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 전기화재의 현상과 조기 검출을 위한 원리가 제시되었고[1] 또한 이러한 원리에 의한 세부적인 방법론이 제시된 바 있다[2]. 하지만 이러한 원리와 방법에 따른 실질적인 테스트가 없어서 그 방법과 원리에 대한 실험적인 접근이 필요했었다. 이 논문은 이러한 배경에서 전기화재 징후와 그 검출 그리고 정상 부하 동작과의 구분을 위한 방법을 제시하고 이에 따른 화재 징후 검출 실험 결과를 제시하는 데 그 목적이 있다.

2. 전기화재 징후의 규정

전기화재의 전형적인 발화 모습을 보면 다음과 같다. 지락 또는 용량초과, 혹은 타물건(他物件) 접촉 등에 의해 전류가 흐르게 되어 전선에 과열이 생기고 이로 인해 전선이 늘어지거나 떨어져 다른 물체에 붙게 된다. 이렇게 되면 고장 부위에서는 선이 끊어져 차단되거나 부분적인 접촉으로 인한 반복적 아크를 발생시킨다. 이 아크열에 의하여 인화(引火)가 되고 화재로 발전하게 된다.

전기화재의 원인을 분석해 보면 공통적인 현상으로서 이러한 아크나 스파크의 현상을 들 수 있다. 모든 화재에 이러한 스파크나 아크의 현상이 있다고 할 수는 없지만 대부분의 화재에는 이 스파크를 배놓을 수가 없다. 그러므로 이 현상을 이용하면 많은 화재를 미연에 방지(防備)할 수 있을 것이다.

전기화재의 원인으로는 이 외에도 합선, 과전류, 누전, 접촉불량 등인데 이러한 원인을 모니터링(monitoring)하기 위해서는 이런 원인의 공통 현상을 발견하고 그것을 변수화함으로써 전기화재 징후로 이용할 수 있다.

그러므로, 스파크 및 아크를 전기화재의 징후로 이용할 수 있다. 스파크를 주파수(周波數)영역에서 분석하면 1~10kHz 사이의 주파수 특성을 발견할 수가 있고, 이는 접촉불량이나 절연 파괴의 징후로 해석 될 수 있다. 그러나 부하의 정상적인 스위치 동작에서도 이러한 주파수 특성을 보이고 있고 또한 부하의 정상적인 동작시에도 지속적인 고주파(高周波)를 발생시키므로 이를 구별하여 부하에 의한 스파크인지 고장원인으로서의 스파크인지를 판단해야 한다. 그러므로 제2의 구분 변수가 필요한데, 어떤 스파크 현상의 전후에 있는 실효치의 변동을 변수로 이용한다. 즉, 스파크 현상과 실효치의 변화 유무로 전기화재의 징후를 정하고 이것을 시험하기 위하여 실험실 환경에서 다음의 각 경우에 대한 실험을 행하였다.

3. 전기화재 정후의 실험적 분석

전기화재 정후를 실험적으로 분석하기 위하여 다음과 같은 여러 경우의 조건에서 IBM PC를 이용하여 데이터를 샘플링 하였다. 이 데이터 샘플링을 위하여 신호처리 회로를 구성했고 PCL-812PG 인터페이스 카드를 사용했다. 부하전류의 전류파형과 고주파성분은 신호처리를 통해 인터페이스 카드로 입력했고, 데이터는 1920Hz의 주기로 30초 동안 샘플링하였고 기본 부하로서 백열전구 60W 2개를 사용했다. 데이터를 샘플링하는 30초 중, 처음 10초 동안은 측정 부하를 OFF상태로, 다음 10초 동안은 ON상태로, 마지막 10초동안은 OFF상태로 바꾸면서 데이터의 변화를 측정하였으며 측정 대상 부하를 다음과 같이 분류하여 실험을 하였다.

부하그룹1 : Switching시 실효치 변화가 뚜렷한 부하. 선풍기, 컴퓨터, TV, VIDEO, 냉장고, 세탁기 등의 부하가 여기에 속한다.

부하그룹2 : Switching시 실효치의 미세한 변화를 갖는 부하. 백열전등, 형광등 부하가 속한다.

부하그룹3 : 정상(Normal) 상태시 지속적인 고주파를 내는 부하. 전기난로, 전기장판, 커피포트, 헤어드라이어 등의 전열기(電熱器) 부하와 3파장 형광등이 여기에 속한다.

3.1 스파크 현상

스파크 현상을 만들기 위해서는 전선의 가닥을 적게 하고 스파크를 인위적으로 일으키므로 실험을 하였다. 그림1에 스파크 현상이 일어날 때의 상황을 필터링하지 않는 전류파형과 고주파 데이터를 표시하였다. 그림에서 보면 전류 크기의 변화는 거의 없고 고주파가 랜덤(Random)하게 나타남을 알 수가 있다.

3.2 부하그룹 1의 실험

그림 2의 경우는 선풍기 부하를 실험한 결과의 데이터로서 스파크가 검출된 후 부하 전류의 값이 뚜렷이 상승함을 알 수가 있다. 즉, 스위칭 작용시 고주파 크게 나타나고 이후 사이클에 부하전류의 변화가 뚜렷이 있다.

3.3 부하그룹 2의 실험

그림 3은 백열전등의 OFF동작시를 나타나는 현상을 나타낸다. 스파크 현상이 검출될 때 전류의 값이 약간 변함을 알 수가 있다. 그러나 이런 부하들은 최초 고주파 이후 새로운 고주파성분이 나오지 않음을 알 수가 있다. 스위칭 작용시 고주파가 나타나지만 실효치의 확실한 변화가 없다.

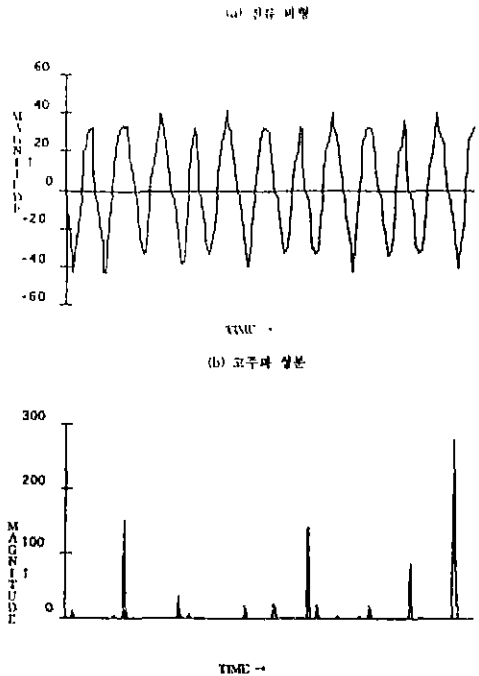


그림 1. Spark시 전류파형과 고주파 성분

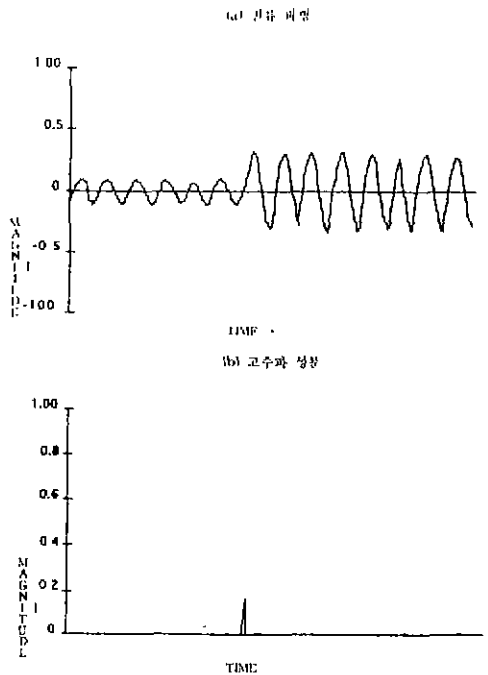


그림 2. 부하그룹 1의 전류파형과 고주파 성분

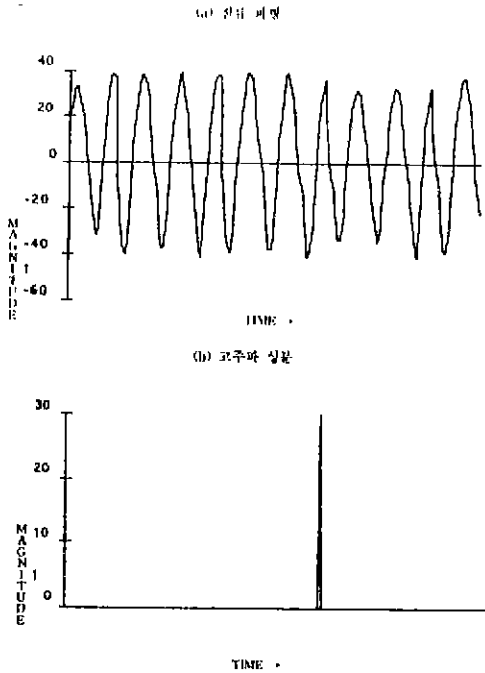


그림 3. 부하그룹 2의 전류파형과 고주파 성분

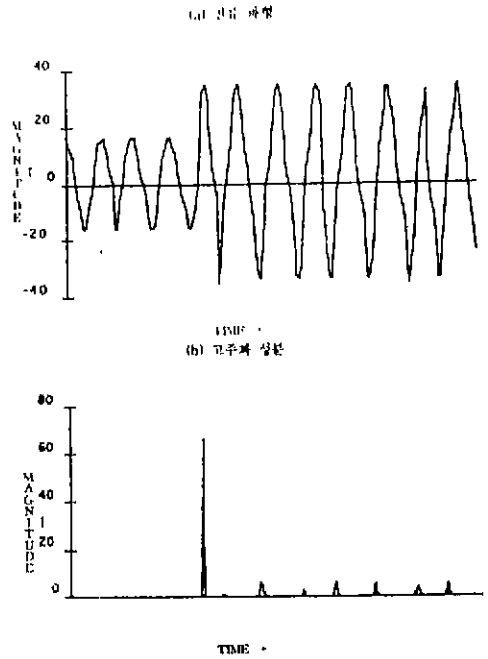


그림 4. 부하그룹 3의 전류파형과 고주파 성분

3.4 부하그룹 3의 실험

그림 4는 커피포트 부하를 ON했을 때 나타나는 현상을 나타낸다. 이는 최초 고주파 발생시 전류의 값의 차이가 확실히 나타나므로 스위칭 작용으로 인한 스파크 현상임을 알 수가 있다. 그러나 정상상태의 부하 동작시에도 고주파가 발생하고 그 발생주기와 크기가 거의 일정함을 알 수가 있다. 그림 5와 같이 3파장 형광등 같은 경우도 상당한 고주파를 발생하지만 고주파 발생 주기가 어느 정도 일정함을 알 수가 있다. 표 1에 각 부하그룹의 특징과 스파크와의 특성 비교를 했다.

표 1 각 부하그룹의 특징과 스파크의 특성

부하종류 \ 변수	고주파 성분		전류변화
	과도상태 (ON/OFF)	정상상태	
부하그룹1	있음	없음	크다
부하그룹2	있음	없음	작다
부하그룹3	있음	일정주기	크다
SPARK	Random		없다

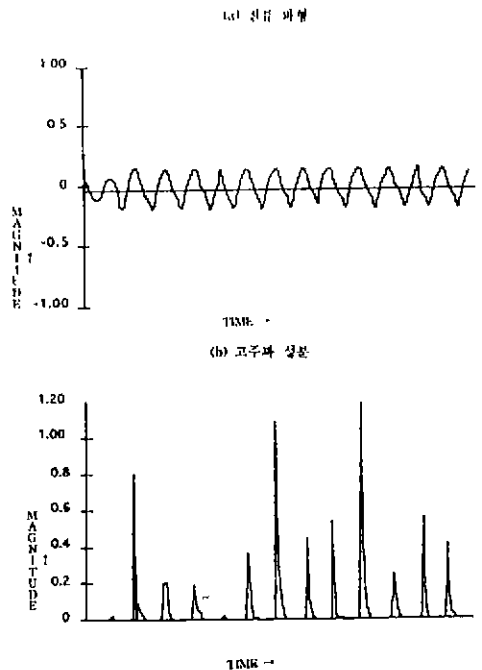


그림 5. 3파장 형광등의 전류 파형과 고주파 성분

4. 전기화재 징후의 분석과 조기 검출 및 구분

앞에서 분석한 데이터를 기본으로 전기화재의 징후 검출 변수로서 실효치 변동과 스파크를 정하고 이를 검출함으로써 전기화재의 징후를 검출하고자 다음의 알고리즘을 고안했다. 스파크의 검출은 여러 부하특성과 구분되어야 하므로 징후 검출 시스템의 기본 알고리즘과 고주파로부터 스파크 현상의 판단 여부를 결정하는 것에 대하여 설명하고자 한다.

징후 검출 시스템의 기본 알고리즘은 정상상태(Normal mode)와 대비상태(Alert mode), 경보상태(warning mode)를 구분한다. 정상상태에서는 6 사이클의 실효치 평균값과 고주파 평균값을 계산한다. 일정한 사이클마다 새로운 고주파 데이터 값이 고주파 평균값보다 클 경우 5 사이클을 기다린 후 부하 전류의 크기를 비교하여 변화가 있으면 부하로 인한 스파크임을 판단하여 정상상태로 가고 그렇지 않고 변화가 작으면 대비상태(Alert mode)로 된다. 대비상태에서는 20 사이클 동안 고주파 성분의 평균값을 구하여 고주파[N]과 고주파[N-1]의 크기를 비교함으로써 고주파 성분의 변화(UP-DOWN)를 조사한다. 이를 통해 고주파의 주기를 추정(推定)할 수 있다. 만약 UP-DOWN 값이 스파크로 판단할 수 있을 정도의 값이 나오면 스파크 경보를 주고 그 값이 일정한 수준에 미치지 못하면 정상상태로 간다. 그림 6에 알고리즘을 순서도로 나타내었다.

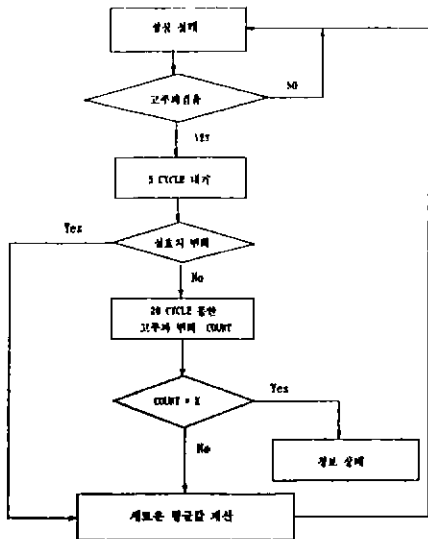


그림 6. 징후 검출 알고리즘 순서도

부하그룹 3에 속하는 부하 중 그림 5에 있듯이 3파장 형광등이 동작시에 높은 고주파를 내므로 만약 전기 화재 징

후 스파크가 발생하면 이것을 구분하기가 어렵다. 그러나 3파장 형광등의 경우 고주파가 일정한 주기를 가지고 나타나므로 전기 화재 징후 스파크 현상과 구분되어질 수 있을 것이다. 즉 그림1과 그림5에서 고주파의 주기를 관찰하면 비주기성과 주기성이 명확히 들어난다.

5. 알고리즘의 적용예

검출 알고리즘을 각 부하그룹의 샘플 데이터에 적용해 보았다. 이 알고리즘은 각 부하의 데이터에 대하여 변수를 검출한 후 해당 메시지(message)를 주고 끝나게 된다.

다음은 부하그룹1에서 선풍기 데이터에 알고리즘을 적용한 예로서 그 결과는 아래와 같다.

```

*****Detect High frequency*****
Cycle   Message      Action
# 18    Spark Detect    5 cycle deadband
# 24    RMS Changed by 13 Normal Mode
Not Spark Check Count
    
```

즉, 최초 고주파 검출은 18 사이클 번째 생겼고 이후 5 사이클을 기다린 후 24번째 전류의 실효치를 비교하니 13만큼의 변화가 생겼으므로 정상상태로 돌아간다.

다음은 부하그룹2에서 백열전등을 적용한 예이다.

```

*****Detect High frequency*****
Cycle   Message      Action
# 23    Spark Detect    5 cycle deadband
# 28    RMS Noisy Changed Alert Mode
# 48    Not Spark      Normal Mode
Spark Check Count : 0
    
```

처음 고주파 검출이 23번째 사이클에서 검출되어 5사이클 동안 기다린 후 전류의 실효치 변화를 비교하였고 그 차가 적어 20 사이클 동안 고주파변화를 카운트한다. 20 사이클이 지난 후 Spark Check Count의 값을 보니 0임을 알 수가 있고 이는 처음 검출된 고주파 이후 새로운 고주파의 출현이 없는 것으로 보아 스위칭으로 인한 고주파임을 알 수가 있어 정상상태로 돌아간다.

다음은 부하그룹 3에서 커피포트의 데이터를 알고리즘에 적용한 예이다.

```

*****Detect High frequency*****
Cycle   Message      Action
# 22    Spark Detect    5 cycle deadband
# 28    RMS Changed by 11 Normal Mode
Not Spark Check Count
    
```

최초 22번째 사이클에서 스파크가 검출되어 5 사이클을 기다린 후 28번째 사이클에 전류의 실효치 변화를 읽어 스위칭 작용으로 인한 고주파로 판단하여 새로운 평균값을 구하여 정상상태로 돌아간다. 그러나 이후에 고주파는 새로운 고주파 평균값이 상승하여 지속적인 고주파는 검출되지 않는다.

SPARK 데이터에 적용한 예는 다음과 같다.

```
*****Detect High frequency*****
Cycle      Message      Action
# 7        Spark Detect   5 cycle deadband
# 12       RMS Not Changed  Alert Mode
# 32       SPARK           Warning
Spark Check Count 6
```

처음 고주파 검출은 7번째 사이클에서 검출되어 5사이클 동안 기다린 후 전류의 실효치 변화를 비교한 후 그 차이가 20 사이클 동안 고주파의 변화를 카운트한다. 20 사이클이 지난 후 Spark Check Count의 값을 보면 6번의 고주파가 생겼음을 알 수가 있고 이는 어떤 이상현상에 의해 나타나는 스파크로 판단하여 경고를 해 준다.

6. 결론

전기재해의 징후로서의 스파크와 정상부하 현상으로서 스파크현상을 구분하는 방법을 논의하였다. 각종 특수 부하에 대한 분석이 더 필요하고 보다 효율적인 알고리즘의 개발이 요구된다. 앞으로의 전기재해의 규모는 더욱 커질 것이고 이를 미연에 방지하는 징후 검출 시스템의 개발은 시대의 요구인 바 전기 화재에 대한 더 많은 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 김창중, "전기화재 현황과 조기검출을 위한 대책", 한국조명·전기설비 학회, 추계학술대회 논문집, PP. 77 - 82, 1994.
- [2] 김창중, "전기화재 예지원리 및 징후검출 시스템 구조", 한국조명·전기설비 학회 논문지, 논문 9-4-4, 제 9 권, 제 4호, PP. 375 - 381, 1995년 8월.
- [3] 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.