

# 전기 화재 요인으로서의 스파크 신호 특성 분석

## Characterization of Spark Signal of Electric Fire

김창중\*

수원대학교 전기전자정보통신공학부

노용호

현대자동차 연구소

### 요약

전기로 인한 재해의 가장 큰 비중을 차지하는 것이 전기 화재이다. 전기화재는 점점 증가하고 있는 추세이므로 이러한 전기 화재의 징후 검출이 가능하다면 늘어만 가는 전기재해의 피해를 줄일 수 있게 된다. 이러한 전기화재는 전기 설비의 누전과 합선 및 과부하로 발생하며 이러한 현상으로 스파크를 수반하게 된다. 따라서 이러한 스파크 신호의 특성을 분석하여 전기설비의 이상현상 검출을 통하여 전기화재의 징후를 검출할 수 있게 되는 것이다. 본 논문에서는 FFT(Fast Fourier Transformation)와 DWT(Digital Wavelet Transformation)을 이용하여 전기화재 요인으로서의 스파크 신호 특성을 분석 방법을 제시하였다.

### 1. 서론

전기로 인한 재해의 가장 큰 비중을 차지하는 것이 전기 화재이다. 이러한 전기화재는 전기기기나 전기설비 사용의 증가와 함께 점점 증가하고 있는 추세이며 이로 인하여 인명피해와 재산피해는 물론 국가 경제에도 큰 피해를 주고 있으므로 이러한 전기화재 징후의 조기 발견에 의한 화재의 미연 방지에 대한 필요성이 대두되고 있다. 따라서 이러한 필요성에 의하여 전기화재의 현상과 조기 검출을 위한 원리가 제시되었다[1]. 전기화재의 전형적인 발화 모습을 조사해 보면 지락 또는 용량초과, 혹은 타물건 접촉등에 의해 전류가 흐르게 되어 전선에 과열이 생기고 이로 인하여 전선이 늘어지거나 떨어져 다른 물체에 접촉하게 되면 고장 부위에서는 선이 절단되어 차단되거나 부분적인 접촉으로 인하여 지속적인 반복적 아크를 발생시키게 된다. 이러한 아크는 아크열을 수반하게 되며 결국 화재로 발전하게 되는 것이다.

이러한 전기화재의 원인을 분석해 보면 공통적인 현상으로써 아크나 스파크의 현상을 들 수 있다. 대부분의 화재에는 이러한 스파크 현상이 수반된다. 그러므로 이러한 스파크 현상을 이용하면 화재로 발전할 수 있는 여러 이상 현상들을 미연에 찾을 수 있게 되는 것이다.

위에 열거한 원인과 대책을 바탕으로 세부적인 방법론이 제시된 바 있으며[2] 이러한 방법들을 바탕으로 실질적인 테스트와 실험적 접근으로써 전기기기에 대하여 Filter를 이용한 고주파 검출과 실효치 변화에 의한 부하 전류의 변동 유무를 바탕으로 전기화재 징후의 조기 검출을 위한 이상 신호와 정상 부하 동작의 구분에 대한 연구가 진행되었다.[3] 본 논문에서는 이러한 Filter를 이용한 고주파 성분 검출 방법외에 부하전류 파형의 FFT(Fast Fourier Transformation)를 이용한 주파수 성분 분석 방법과, 주파수 성분의 국부화(localization)가 가능한 DWT(Digital Wavelet Transformation)를 활용하여 전기화재로 진행될 수 있는 이상 현상 신호인 스파크 신호의 특성을 분석하려 한다.

### 2. 전기신호 데이터 수집

전기화재로의 진전될 이상 현상의 신호를 감시하고 검출하기 위해서는 그 신호 데이터를 직접 얻고 분석하는 일이 중요하다. 전기화재 이상 현상의 공통된 신호인 spark를 검출하여 전기화재 예측 및 진단의 가능 여부를 위하여 그리고 진단 알고리즘의 기본 개발을 위하여 실험실 환경에서 주요 부하기기 및 스위칭 그리고 인위적으로 발생시킨 스파크 현상에 대한 데이터를 수집하였다.

실험적 조건에서 데이터를 수집하기 위하여 목재보드(board)에 부하와 스위치 및 스파크를 일으킬 수 있는 회

로를 구성하였다. 부하기기의 데이터 분석에는 기본 부하(base load)를 전등(lamp)으로 하고 여기에 부하기기를 병렬로 연결하였으며 스위칭과 스파크의 경우에는 base load에 스위치에 의하여 lamp를 추가하여 점등하는 것으로 하였으며, 스파크의 현상에서는 스파크를 일으키면 이것이 lamp를 순간적으로 점등(on)/소등(off) 시키도록 하였다. 이러한 기본 전기회로의 한 전선을 CT를 통하게 하여 전류를 수집하였다.

시간에 따른 부하의 변동과 또한 스위칭(switcing)이 일어날 때의 현상을 비교하기 위하여 샘플링 하는 입구단에 필터를 붙이고 또한 신호컨디셔닝(Signal Conditioning)을 위하여 0 - 10 KHz 대역의 bandpass filter와 2 - 10KHz의 High pass filter를 붙였다. 그리하여 CT를 통하여 들어오는 전류를 두 성분, 즉 UFC 성분 (bandpass filter를 통과한 성분) 과 고주파(HFC) 성분 (bandpass filter를 통과한 후 다시 highpass filter를 통과한 성분)을 샘플링 하였다. 샘플링은 샘플링 주파수 3840 Hz로 하였고 각 부하 및 스파크 현상을 실험실에서 테스트하고 수집하였다. 데이터 수집 구조는 그림 1에 나타내었다. 데이터 샘플용 인터페이스(interface)는 Advantech사의 PCL-812PG Enhanced multi-lab card를 사용하였다

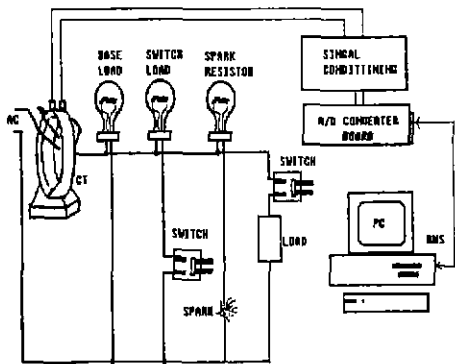


그림 1. 데이터 샘플링 구조

### 3. 일반 전기기기 부하 전류 신호 데이터

일반 전기기기 부하 전류 신호 데이터로는 가전제품의 온/오프, 전등부하의 온/오프, 커피포트의 온/오프에 대한 데이터를 측정하였다. 선풍기를 온(on)/오프(off) 시킨

파형은 그림 2에 나타내 있다. 고주파 성분을 보면 1회의 스파크가 나타나며 이 순간에 전류의 파형을 보면 부하 전류가 증가하여 그대로 유지되고 있음을 보이고 있다.

전등부하의 오프(off) 순간을 측정한 그래프는 그림 3에 나타나 있다. 여기에서도 고주파 성분은 짧은 시간 동안의 1회 현상에 그치고 있으며 이 현상과 동시에 전류파형 크기의 감소가 있음을 볼 수 있다.

가정과 사무실에서 사용하는 커피포트(coffee pot)의 온(on)되는 순간을 측정한 그래프는 그림 4에 나타내었다. 전열기의 부하는 다른 두 부하와 다르게 고주파 성분을 보면 온(on)되는 순간 1회의 큰 스파크(spark) 현상을 보이고 이후 매 사이클(cycle)마다 작지만 지속적으로 그 성분이 존재하고 있음을 볼 수 있다. 즉 이 전열기는 고주파 성분을 계속 발생시키는 부하인 것이다. 전류 파형을 보면 전열기가 사용되고 있으므로 부하전류가 증가하여 유지되고 있음을 보이고 있다.

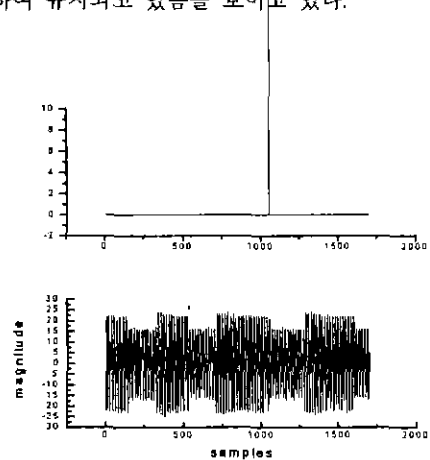


그림 2. 선풍기의 ON/OFF에 따른 전류파형 및 고주파형

위의 부하기기들에서 보면 부하기에 의한 고주파 성분은 커피포트 또는 다른 전력 전자 부하의 경우를 제외하면 1-2 사이클(cycle)에 국한되며 전열기의 경우에는 지속적인 고주파 성분이 발생함을 알 수 있다. 위의 데이터 수집에 대한 고주파 성분과 시간 함수 성분에 대한 데이터 분석을 다음 표 1에 나타내었다.

#### 4. 스위칭 및 전기 스파크 데이터

##### A. FFT 에 의한 분석

전기화재로 요인으로써의 스파크 현상과 일반 전기기기의 통상적인 사용에서 발생하는 스위칭을 구분하기 위하여 위에서 설명한 테스트 조건에서 스위칭과 스파크에 대하여 몇 가지의 테스트를 실시하였다. 스위칭과 스파크의 테스트에는 부하기기의 경우와는 다르게 sampling rate를 두 배로 올려서 측정하였다. 그 이유는 3840Hz의 sampling rate로는 약 2000Hz 이상의 주파수 성분을 볼 수 없기 때문이다. 그리하여 새로운 sampling rate로 7680Hz로 하여 약 4000 Hz까지의 주파수 성분이 보일 수 있도록 하였다. 하지만 고주파 성분을 위한 Highpass filter는 여전히 2000Hz의 cut-off frequency를 그대로 유지하였다.

스위칭 현상과 스파크 현상을 그림 5와 6에 각각 나타내었다. 그림 5는 전동 부하 스위치를 ON/OFF한 것이며 그림 6은 그림 1에 보인 데이터 수집 구조에서처럼 전동 부하와 직렬로 연결된 전선을 순간적으로 붙였다 떨어뜨렸다 하여 얻어진 신호이다. 각각의 그림 (a) 부하전류의 FFT(Fast Fourier Transformation)의 그림이며 (b)는 Filtering 의한 고주파 성분만을 (c)는 부하전류 파형을 나타내고 있다.

스위칭 현상의 신호 그림 5를 보면 스위치 온/오프의 경우에는 스위치의 온 또는 오프 순간에 spike가 발생하여 이것이 고주파 성분에 나타나고 있음을 볼 수 있다. FFT의 결과를 보면 1000Hz까지의 주파수 성분은 스파크 신호의 그림 6과 비슷하지만 1000Hz 이상에서는 일정한 간격의 주파수 성분들이 관찰됨을 볼 수 있다.

스파크 현상을 나타낸 그림 6의 경우를 보면 그림 6(b)의 고주파 파형에서 random한 spike가 보이며 이것을 통해 그림 5의 (b)와 비교해 보면 주파수에 따른 크기가 10배 정도 차이가 남을 볼 수 있고 360Hz, 540Hz 성분과 함께 1000Hz 부근의 주파수 성분도 있으며 그 보다 높은 주파수 성분들이 미약하기는 하지만 조금씩 나타나고 있음을 관찰할 수 있었다.

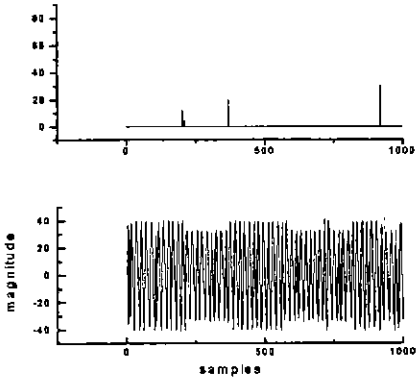


그림 3. 전동부하의 ON/OFF에 따른 부하전류 및 고주파

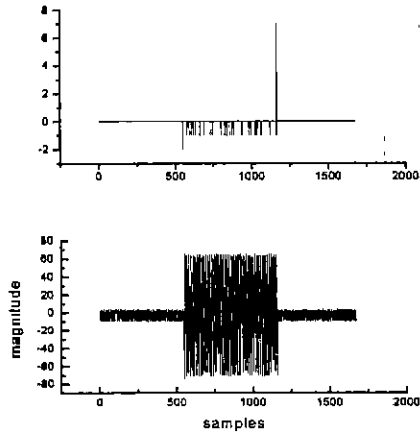


그림 4. 커피포트 부하의 ON/OFF에 따른 전류파형 및 고주파

표 1. 각 부하의 특성 비교

| 구분   | 고주파<br>{ON/OFF시} | 고주파<br>(정상운전시) | 부하전류 |
|------|------------------|----------------|------|
| 선종기  | 1-2회             | 없음             | 변화   |
| 전동   | 1-2회             | 없음             | 변화   |
| 커피포트 | 1-2회             | 일정주기 반복        | 변화   |

## B. WAVELET 에 의한 분석

FFT 에 의한 스파크 신호 특성 분석보다 더욱 뚜렷한 특징을 알아보기 위하여 주파수 성분 분석과 그 주파수 성분의 발생시간을 알아볼 수 있는 DWT(Digital Wavelet Transformation)을 이용한 분석을 시도하였다. 이러한 DWT 는 전력 분야에서의 과도 분석(Transient Analysis)에 이용되고 있으며 신호의 불연속성이나 과도 성분을 효과적으로 분석할 수 있는 방법으로 알려져 있다[4].

스위칭 및 스파크 신호 파형의 DWT 의 그래프는 그림 7과 그림 8이며 두 신호 사이의 가장 명확한 차이를 발견할 수 있는 1920-3840Hz 사이의 주파수 대역의 성분만을 나타내었다. X축은 대역 신호의 발생시간의 전후를 나타내며 Y축은 이 대역 주파수 성분의 크기를 나타낸다. 두 그래프의 파형을 관찰해 보면 그림 8의 스파크 신호에 대한 DWT 의 결과는 1920-3840Hz 대역의 신호들이 샘플링 과정의 시간 동안 계속적으로 발생함을 알 수 있으나 그림 7 스위칭 신호의 DWT 분석결과 이 대역 주파수 성분은 샘플링 시간 동안 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

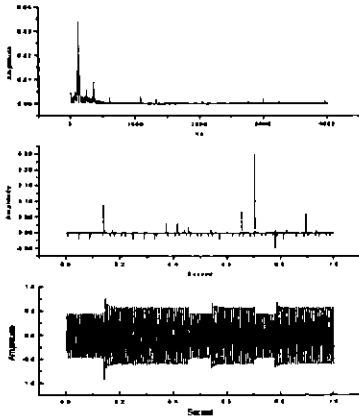


그림 5. 스위칭 현상의 부하전류, 고주파 전류성분, 및 FFT 결과

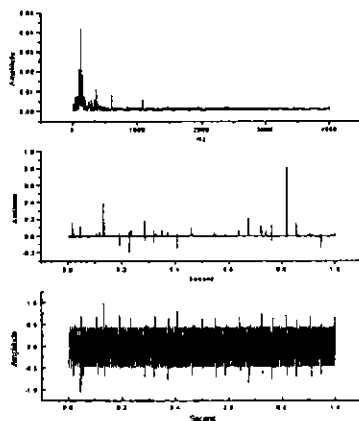


그림 6. 스파크 현상의 부하전류, 고주파 전류성분, 및 FFT 결과

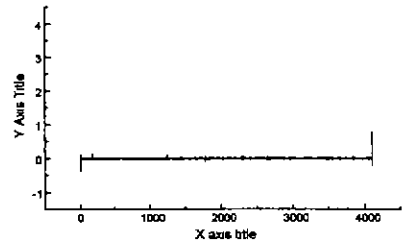


그림 7. 스위칭 신호의 DWT 결과

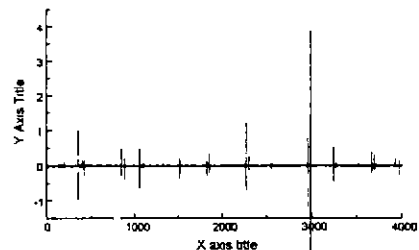


그림 8. 스파크 신호의 DWT 결과

## 5. 결론

## 참고문헌

본 논문에서는 전기화재 요인으로써의 스파크 신호 특성 분석을 위하여 종래의 하드웨어 Filter를 이용한 고주파 성분 분석방법 이외에 FFT와 DWT를 이용한 주파수 성분 분석방법을 제시하였다. 스위칭 신호와 스파크 신호 모두 일정 대역 이상의 고주파가 랜덤하게 발생하는 유사한 특성으로 인해 종래의 고주파 성분 분석만을 이용한 스파크 신호의 특성 분석에는 어려움이 있었다. 그러나 본 논문에서 제시한 FFT를 이용한 주파수 대역의 성분 분석 방법을 통하여 스위칭 신호의 경우 스파크 신호의 FFT 파형에서는 발견할 수 없었던 일정 주파수 간격의 주파수 성분이 존재함을 알 수 있었다. 또한 스파크 신호의 DWT의 경우 스위칭 신호의 DWT에서 발견할 수 없었던 일정 주파수 대역에서의 주파수 성분이 샘플링 시간의 전 과정동안 발생함을 보임으로써 스위칭 신호에 대비한 전기화재 요인으로써의 스파크 신호 특성 분석에 대한 결론을 얻을 수 있었다.

- [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 9권, 제 4호, PP.375-381, 1995년 8월
- [3] 김창중, "전기화재의 징후검출 및 정상부하 특성과의 구분", 한국조명·전기설비 학회, 추계학술대회 논문집, PP.75-79, 1995.
- [4] D. C. Robertson et al. "Wavelets and Electromagnetic Power System Transients", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.11, NO. 2. PP.1050-1056, April 1996.