

스파크 신호검출에 의한 전기화재 예측

길경석¹⁾ · 김일권²⁾ · 송재용²⁾

Electric Fire Prediction by Detection of Spark Signals

Gyung-Suk Kil¹⁾ · Il-Kwon Kim²⁾ · Jae-Yong Song²⁾

ABSTRACT

This paper describes a technique that can predict electric fires by detecting a spark signal generated from operation of electric facilities. An electric fire lead a loss of life as well as huge property, therefore it is very important to predict an electric fire and eliminate the causes of it.

Electrical spark which is ranked as majority causes of electric fires has a characterized frequency bandwidth distinguished from power frequency.

In the experiment, various spark signals are simulated in a condition such as short circuit, flashover, and surface discharge. The results showed that the monitoring of spark signals can predict electric fires.

I. 서 론

현대 사회에서 전기에너지는 취급이 용이하기 때문에 가장 광범위하게 사용되고 있는 에너지원이다. 이러한 전기 사용의 편리성 때문에 공장, 빌딩뿐만 아니라 일반 가정에서도 전기 사용이 급증하였고, 이에 따라 전기로 인한 재해도 해마다 증가하고 있다. 특히 전기화재는 전체 화재중 30[%] 이상을 차지하며 수 백억원에 이르는 막대한 재산피해와 수많은 인명피해가 따르므로 전기에 의한 화재를 예측하고 화재발생요소를 사전에 제거하는 것은 대단히 중요하다.

전기화재란 전기에 의한 발열, 방전이 원인이 되어 발생하는 화재의 총칭을 말하며, 발생별 발화현상중에 상당수가 스파크(spark)에 의한 것으로 보고되고 있다.[1] 따라서 전원선의 노화, 파손으로 인한 절연파괴나 주위 물체와의 접촉으로 인한 단락사고를 사전에 검출하여 화재로 진행될 수 있는 상황을 파악할 수 있다면 전기로 인한 화재를 현저히 감소시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 전기화재의 원인이 되는 스파크의 발생을 모의하고, 그 특성을 분석하기 위하여 연면방전, 단락 등 여러 가지 상황에 대한 절연파괴 특성을 측정·분석하였으며, 주요 연구내용은 다음과 같다.

전기화재로 진행될 수 있는 상황을 모의하기 위하여 적절한 간격의 침전극을 설치하고, 방전이 더욱 용이하도록 전원전압 이상의 고전압을 인가하여 간헐적인, 연속적인 스파크를 발생시켰다.

1) 한국해양대학교 전기전자공학부

2) 한국해양대학교 대학원 전기공학과

또한 침전극 사이에 젖은 종이, 젖은 목재 등을 삽입하여 이에 대한 신호 특성을 분석하였으며 단락에 대한 영향을 평가하기 위하여 한류 리액턴스를 이용한 단락시험을 병행하였다.

스파크 발생에 의한 고주파 전압, 전류파형을 FFT(Fast Fourier Transformation) 분석을 통하여 상용주파수와 구별되는 고주파 대역을 확인하였으며, 실제 전기화재의 발생을 예측하는 수단으로 사용할 수 있도록 각각의 상황에 따른 주파수 대역을 제안하였다.

II. 실험장치 및 방법

전기화재의 발화현상중에 하나인 스파크 신호의 특성을 파악하기 위해서 공기중에서의 절연파괴, 젖은 종이와 젖은 목재에서의 연면방전 그리고 한류 리액턴스를 이용한 단락시험 등 스파크가 발생할 수 있는 여러 가지 상황에 따라 특징적인 전압, 전류파형을 측정·분석하였다. 또한 FFT를 이용하여 각 주파수별 스펙트럼을 분석하고, 각각의 상황에 따른 특징적인 고주파 대역을 결정하였다.[2]

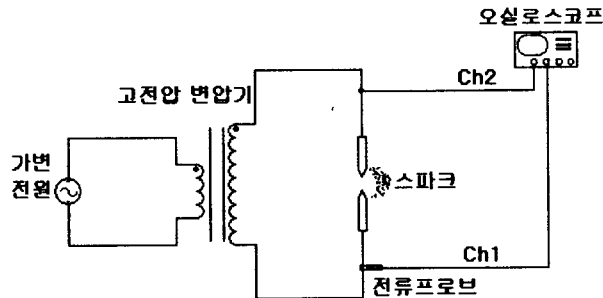


그림 1 스파크 발생 및 측정계

그림 1은 스파크 발생에 의한 전압, 전류파형 검출 및 특징적인 주파수 대역을 결정하기 위한 스파크 발생 및 측정계를 나타낸 것이다. 스파크를 발생시키기 위하여 최대 15[kV]의 2차 출력 전압을 갖는 고전압 변압기와 방전이 용이하도록 3[mm] 간격에 침전극을 사용하였다. 슬라이더를 통하여 서서히 증가된 1차측 전압은 2차측에 고전압을 발생시키고 방전개시전압 이상이 되면 침전극 부근에서 간헐적인 또는 연속적인 스파크가 발생한다. 측정된 전압, 전류파형을 오실로스코프 내의 FFT 기능을 이용하여 전대역에 걸친 주파수별 크기로 변환하였으며, 이를 비교·분석하여, 상용주파수와 구별되는 고주파 대역을 결정하였다.

실제 전기화재에 있어서 발화의 원인이 되는 스파크는 전원선의 노화, 파손로 인한 절연파괴에 의해 발생할 수도 있지만 회로상의 단락(short)에 의하여 발생할 수도 있다. 따라서 이러한 단락현상에 대한 특성을 파악하기 위하여 스위치를 이용한 강제 단락회로를 구성하였으며, 단락시 급격히 증가되는 전류를 제한하기 위하여 한류 리액턴스를 사용하였다. 그림 2는 단락시험에 대한 측정계를 나타낸 것이다.

스위치를 이용하여 전원전압이 인가된 한류 리액턴스의 출력을 강제 단락시켜 이 때의 전압, 전류파형을 측정하였으며, FFT에 의한 주파수 분석을 병행하였다.

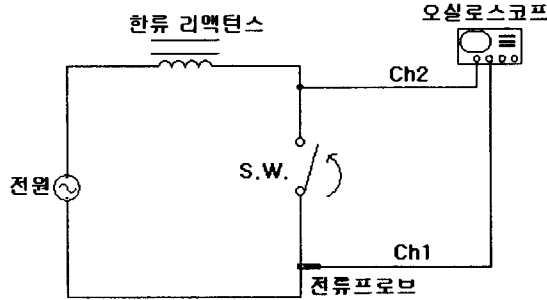
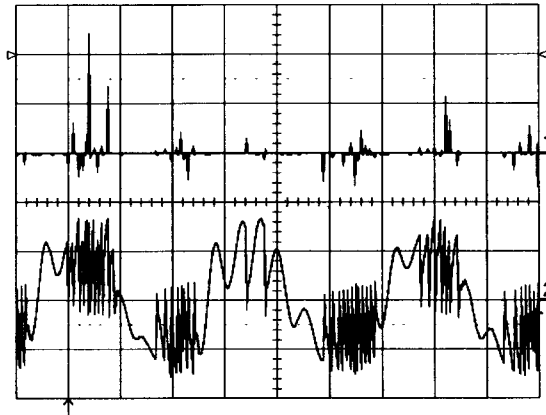


그림 2. 단락시험 측정계

III. 실험결과 및 고찰

전기화재를 예측하기 위해서는 화재의 징후로써 나타날 수 있는 이상신호의 유무를 판단하는 것이 중요하다. 따라서 본 실험에서는 일상생활에서 스파크가 발생할 수 있는 각각의 상황을 모의하였으며, 이에 따른 특징적인 신호를 측정·분석하였다.

그림 3은 침전극 양단에 스파크가 발생했을 때의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. 약 8[kV] 이상의 고전압이 인가되자 빛과 소리를 수반하는 스파크가 발생하였으며, 이 때 방전으로 인한 전류도 함께 검출되었다. 방전시의 전류는 최대 6[A]의 높은 침두치를 가지며 수 [MHz]의 주파수로 진동·감쇠하는 파형을 나타내었으며, 인가전압의 침두부분에서는 스파크 발생으로 인한 고주파 전압파형이 검출되었다.

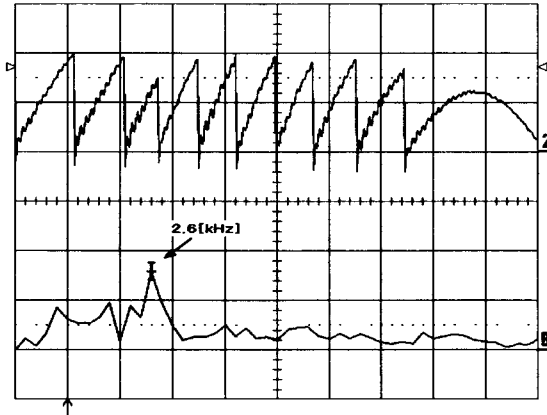


상 : 전류 [2A/div, 5ms/div] 하 : 전압 [5kV/div, 5ms/div]

그림 3 스파크 발생시 출력파형

그림 4는 스파크 발생에 의하여 나타나는 고주파 전압파형과 FFT 분석을 통하여 얻어진 각 주파수별 전압의 크기를 나타낸 것이다.

스파크 발생에 의한 고주파 전압은 2.6[kHz] 부근의 주파수 성분이 대부분을 차지하며, 수 차례의 실험을 통하여 대략 1 ~ 5[kHz] 대역의 주파수 성분이 우세함을 알 수 있었다.



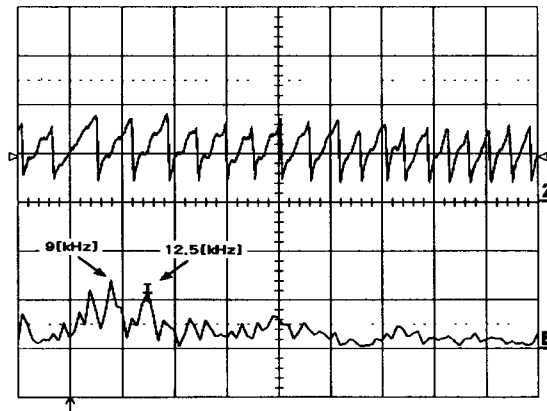
상 : 전압 [5kV/div, 0.5ms/div] 하 : FFT [1kV/div, 1kHz/div]

그림 4 스파크 발생시 고주파 전압파형 및 FFT 결과

그림 5는 침전극 사이에 젖은 종이를 삽입한 후 고전압을 인가하여 연면방전을 발생시키고, 이 때의 전압파형과 FFT 분석을 통하여 얻어진 각 주파수별 전압의 크기를 나타낸 것이다.

1.8[kV] 이상의 전압에서 종이의 표면을 따라 연면방전이 발생하였으며, 방전이 지속됨에 따라 스파크 발생부분에 부분적인 발화가 되면서 점차 방전개시전압이 높아졌다. 또한 FFT 분석에 의하여 얻어진 주파수와 각 주파수별 전압의 크기를 보면 초기에는 다소 높은 주파수 성분이 우세하게 나타나다가 부분적인 발화가 진행되면서 점차 공기중에서의 방전과 유사한 형태를 보였다.

수 차례의 반복적인 실험을 통하여 12.5[kHz] 부근의 주파수 성분이 대부분을 차지하였고, 젖은 종이를 통하여 연면방전이 발생하였을 때에는 8 ~ 15[kHz]의 주파수 성분이 우세함을 알 수 있었다.

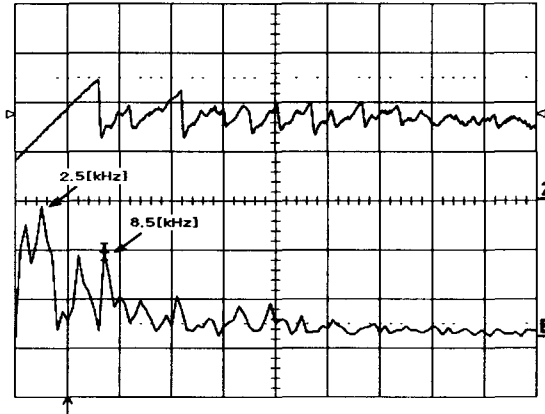


상 : 전압 [1kV/div, 0.2ms/div] 하 : FFT [100V/div, 5kHz/div]

그림 5 종이 삽입시 고주파 전압파형 및 FFT 결과

그림 6은 침전극 사이에 젖은 목재를 삽입한 후 인가 전압을 상승시켜 연면방전이 발생했을 때의 전압파형을 나타낸 것이다. 약 1.7[kV] 이상의 전압에서 목재의 표면을 따라 연면방전이 발생하였으

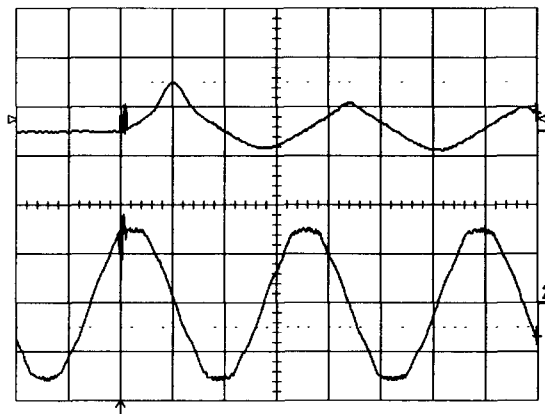
며, 젖은 종이를 이용한 실험과는 달리 스파크가 발생하는 이외의 부분에서도 빛과 소리를 동반하는 방전이 진행되면서 목재의 곳곳에서 발화가 진행되었다. 또한 초기에는 비교적 낮은 전압에서 방전이 발생하였으나, 방전이 지속되고 목재 곳곳에서 발화가 진행되면서 점차 방전개시전압이 상승하였다. FFT 분석에 의하여 얻어진 주파수와 각 주파수별 전압의 크기를 보면 약 8.5[kHz] 부근의 주파수 성분이 우세하게 나타났으며 이보다 높은 주파수 성분도 상당수 관찰되었다. 수 차례의 반복적인 실험을 통하여 젖은 목재에서의 방전은 6 ~ 19[kHz]의 주파수 성분이 우세함을 알 수 있었다.



상 : 전압 [1kV/div, 0.2ms/div] 하 : FFT [50V/div, 5kHz/div]

그림 6 목재 삼입시 고주파 전압파형 및 FFT 결과

그림 7은 스위치를 이용하여 회로상 강제 단락을 시켰을 때의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. 스위치를 on 했을 때, 스위치 접촉면에 빛과 소리를 동반하는 1회의 스파크가 발생하였으며 상용주파수와 구별되는 고주파 전압, 전류파형이 관찰되었다.

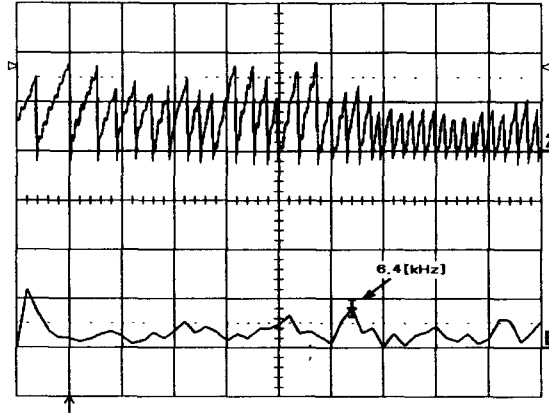


상 : 전류 [2A/div, 5ms/div] 하 : 전압 [200V/div, 5ms/div]

그림 7 단락시 출력 파형

그림 8은 스파크 발생으로 인하여 나타나는 고주파 전압파형을 FFT 분석을 통하여 각 주파수별 크기로 나타낸 것이다.

스파크 발생에 의한 고주파 전압파형의 주파수별 특징을 보면 대략 6.4[kHz] 부근의 주파수 성분이 대부분을 차지했으며 크기는 작지만 이보다 높은 주파수 성분이 부분적으로 관찰되었다. 수 차례의 반복적인 실험을 통하여 단락시 발생하는 스파크의 고주파 전압은 4 ~ 9[kHz] 대역의 주파수 성분이 우세함을 알 수 있었다.



상 : 전압 [100V/div, 0.5ms/div] 하 : FFT [50V/div, 1kHz/div]

그림 8 단락시 고주파 전압파형 및 FFT 결과

본 실험을 통하여 스파크 발생에 의한 전압의 특징적인 주파수 대역을 결정하였으며, 이를 표 1에 나타내었다.

스파크 발생시 고주파 전압, 전류의 검출방법을 이용한다면 전기화재로 진행될 수 있는 상황을 사전에 예측할 수 있을 것이다. 따라서 수 [kHz]의 고주파 전압을 검출할 수 있도록 간단한 수동소자로 구성된 대역통과 필터를 적용한다면 경제성 및 타당성이 있는 전기화재 예측시스템의 구성이 가능할 것이다.

표 1 스파크 발생시 전압 주파수 대역

구 분	주파수 대역
공 기	1~5[kHz]
젖은 종이	8~15[kHz]
젖은 목재	6~19[kHz]
단락시험	4~9[kHz]

IV. 결 론

본 연구에서는 전기화재를 예측할 수 있는 방법을 제안하기 위하여 발화현상중 상당수를 차지하는 스파크에 대한 특성을 파악하였다. 스파크가 발생할 수 있는 여러 가지 상황을 모의하여 상용주파수와 구별되는 고주파 신호의 특정한 대역을 결정하였으며, 여러 가지 상황에 따른 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대 15[kV]의 2차 전압 출력을 갖는 고전압 변압기와 3[mm] 간격에 침전극을 이용하여 인위적으로 스파크를 발생시켰으며, 고주파 전압파형을 FFT에 의한 분석결과 공기중에서의 방전은 1~5[kHz]의 주파수 성분이 우세하였다.
- 2) 침전극 사이에 젖은 종이와 젖은 목재를 삽입하여 인위적으로 연면방전을 발생시켰으며, 고주파 전압파형을 FFT에 의한 분석 결과 젖은 종이에서는 8~15[kHz], 젖은 목재에서는 6~19[kHz]의 주파수 성분이 우세하였다.
- 3) 한류 리액터를 이용한 단락시험에서는 스위치를 on하는 순간에 1회의 스파크가 발생하였으며, 고주파 전압파형을 FFT에 의한 분석결과 4~9[kHz]의 주파수 성분이 우세하였다.

전기화재의 발화원인이 되는 스파크는 여러 가지 상황에 따라서 상용주파수와 구별되는 고주파 신호 특성을 나타낸다. 그러므로 이에 상응하는 적절한 대역필터를 사용하여 고주파 신호를 검출한다면 스파크의 발생을 감지하여 화재로 이어질 수 있는 상황에 대처할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김창중, “전기화재의 분석과 규명”, 한국조명·전기설비학회, 제 9권, 제 2호, 1995년 4월
- [2] 김창중, “전기화재 예지원리 및 징후검출 시스템 구조”, 한국조명·전기설비 학회 논문지, 제 9권, 제 4호, pp.375-381, 1995년 8월