

저압 배전선의 전기화재 징후 및 검출 방안에 관한 연구

이종주, 김창중, 차인호, 신명철, 이복규  
 성균관대학교, 하워드대학교, 새턴정보통신(주), 명지전문대학

A Study of Electrical Fire Symptoms and Detection Algorithms in Low-Voltage Distribution System

J. J. Lee, C. J. Kim, I. H. Cha, M. C. Shin, B. K. Lee  
 SungKyunKwan University, Howard University, Saturn I&C Corp, MyongJi College

**Abstract** - 강제 발전에 따른 생활 수준의 향상과 수송가 부하용량의 증가로 인하여, 다양한 부하가 사용되고 있다. 반면, 전기사용으로 인한 안전사고와 전기화재로 인한 피해가 증가하고 있으며, 이에 대한 대처방안이 요구된다. 특히 전기화재중 인명과 재산에 피해를 주는 전기화재가 대표적 피해 중 하나 일 것이다.

본 논문에서는 저압배전선 시스템에서 발생하는 전기화재 징후들에 관하여 조사하고 이를 모의, 검출하는 방안들에 관하여 제시한다. 전기화재의 두 가지 요인인 아크와 스파크의 전기적 특성에 관하여 조사하고 이들 현상이 수송가에서 사용하는 부하의 동작으로 인한 현상들과 구분되는 특징과 이들 전기화재 징후를 검출하는 방법에 대하여 제시하고자 한다.

배전선로 등에서 누전, 단락, 섬락 등의 전기적 과도상태시에 발생하는 열과 불꽃이 원인이 되어 시설물에 화재 를 일으키는 것이다.

일반적인 화재는 그림 1에서와 같이 열원(heat), 공기(산소), 연료(물질)의 3가지 요인으로 인하여 발생된다. 3가지 요인 중에서 공기와 연료는 주변에 상시 존재하는 요인이며, 전기설비 사고시에 발생하는 아크와 스파크의 열이 발화하기에 충분한 열원으로 화재의 요인을 제공한다[1,9].

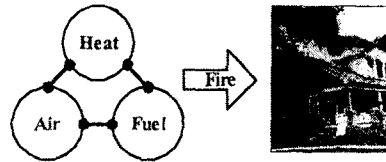


그림 1 화재의 요인

1. 서 론

최근 들어 다양한 부하의 사용과 수송가의 소비 전력량 증가로 인하여 이에 대응하는 안정적인 전력공급과 운용이 요구되고 있다. 한편, 부하의 대용량화와 복잡화로 인하여 수송가의 전기적 사고가 점차 증가하고 있는 추세이다. 수송가측에서 발생하는 전기적 사고는 안정적인 전력계통 운용의 저해 요인일 뿐만 아니라, 인명과 재산상의 피해 그리고 경제적 손실을 일으킨다. 이와 같은 전기 화재로 인한 피해를 줄이고 방지하기 위하여, 전기화재의 요인을 규명하고 이를 사전에 검출할 수 있는 방안과 그 대책이 요구되고 있다[1-8].

전기화재는 그 발생 가능성과 진행 정도, 위험성의 정도를 수치적으로 나타내거나 각 상황에 대하여 모의하기가 어렵다. 따라서 전기화재에 대한 대책 마련과 원인 분석을 위해서는 다양한 환경에서의 사고 모의와 수차례의 반복적인 실험이 필요하다. 이러한 모의 실험을 통하여 데이터를 수집함으로써 결과를 분석하고, 분석 결과를 사용하여 전기화재의 원인을 규명해야 한다.

본 논문에서는 저압 배전선에서 발생하는 사고 중 전기화재의 요인이 되는 전기화재징후인 아크(arc)와 스파크(spark)를 모의하는 방안과 이들 사고의 신호를 계측하여 분석함으로써, 그 분석 결과를 사용하여 이들 전기화재 요인을 검출하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 전기화재 및 징후

2.1 전기화재

전기화재는 전기설비의 절연파괴로 인한 누전이나 단락 등의 사고에 의하여 다른 설비나 주변의 물질에 화재의 요인을 제공하는 것을 말한다. 즉, 전선, 전기기기,

2.2 전기화재 징후

전기화재 징후란, 전기설비의 열화, 노후 그리고 외부의 작용으로 인하여 전기적 절연이 파괴되어 발생하는 전기적 사고 중에서 화재의 원인으로 제공될 수 있는 현상을 말한다. 전기화재의 원인이 되는 사고회로는 아래의 그림 2와 같은 회로를 형성한다. 그림 2 (a) 직렬 사고, (b) 병렬 사고, (c) 지락 사고의 3가지 유형의 회로에서 사고가 발생하며, 사고 발생시 전기화재의 징후인 아크와 스파크가 발생된다[1,2].

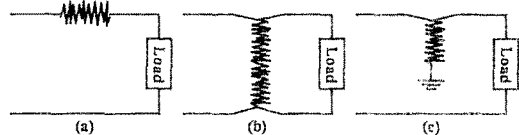


그림 2 전기화재 사고 회로

전기화재의 징후인 아크는 양 전극 사이의 절연파괴로 인하여 나타나는 방전 현상으로 고열(5,000~15,000°C)과 이온화된 가스를 발생하며 불꽃 방전현상을 동반한다[1]. 그리고 스파크는 스위칭 현상으로 인한 일시적인 절연파괴 현상으로 고주파·임펄스형 노이즈와 불꽃 방전을 동반하는 현상으로 정의 할 수 있다.

전기화재에 대비하기 위하여 전기화재 징후를 다양한 환경에서 모의·실험하여 그 결과를 분석하여야 하며, 본 논문에서는 아크와 스파크 사고를 모의하여 신호를 계측, 분석하여 그 특징을 유도하고 징후 검출방안을 제

시하고자 한다.

### 3. 전기화재 모의 및 징후검출방안

#### 3.1 전기화재 모의

본 논문에서는 전기화재를 모의하기 위하여 전기화재 징후인 아크와 스파크를 발생하는 장치를 그림 3에서와 같이 제작하였다. 아크 발생기는 UL-1699의 자료를 참고하여 구성하였으며, 양 전극의 간격을 미세 조정이 가능하도록 하고, 강한 아크열에 대비하기 위하여 세라믹 재료로 전극을 지지하였다. 또한, 스파크 발생기는 전동기를 사용하여, 가변속으로 스위칭 현상을 일으킴으로서 불규칙적으로 스파크를 발생하도록 구성하였다. 그림 3의 (a) 아크 발생장치, (b) 스파크 발생 장치이다.

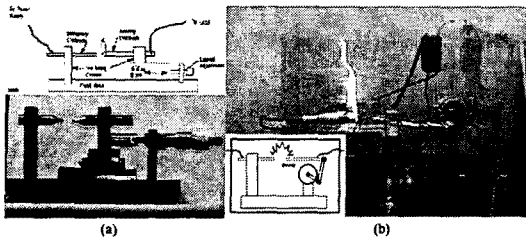


그림 3 전기화재 모의 장비

이론적인 정상상태와 아크상태의 전류 파형들은 그림 4와 같으며[10-12], 아크상태의 실효값이 정상상태의 실효값 보다 작으며, 홀수 고조파가 포함된 파형이 발생된다.

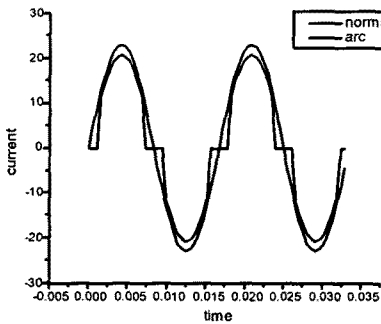


그림 4 정상·아크 상태 전류

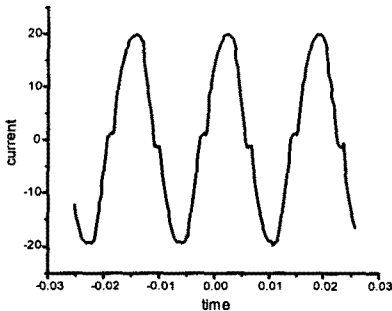


그림 5 아크 전류

또한, 그림 5는 사고를 모의하여 실측한 아크 전류 파형이다[4].

이론적으로 아크 상태가 지속되는 경우 아크 발생 지점의 전압과 전류 파형은 그림 6과 같이 전류의 경우 홀수 고조파가 포함되며, 영점교차(zero crossing) 지점에서 지연(shoulder)이 되는 파형을 발생하고, 전압 성분은 구형파 형태의 신호를 나타낸다[1,2,10-12].

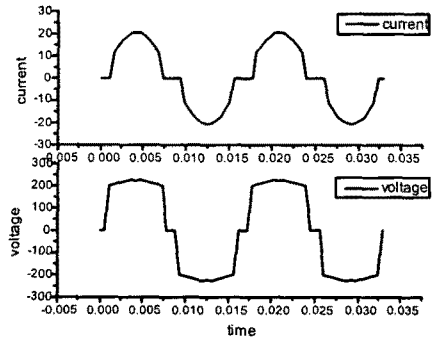


그림 6 아크 상태 전류·전압

그림 7은 그림 6에서 나타난 각 아크 상태의 전류·전압 신호를 주파수 분석한 결과이다.

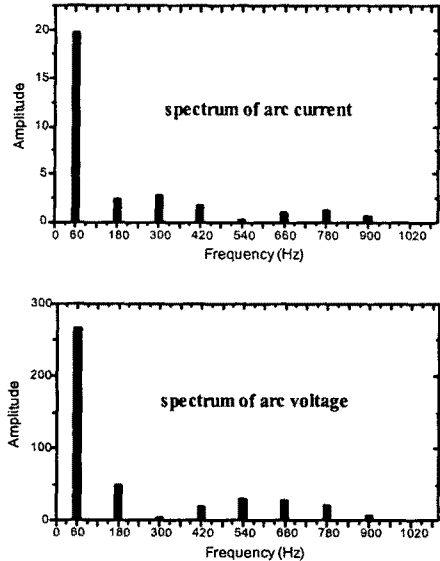


그림 7 아크 전류·전압 주파수 분석

아크 사고를 모의한 결과 아크 발생시 전류 실효값이 감소하고, 홀수 고조파(odd harmonics)성분이 발생하며, 실험적으로 아크 발생 전후 고주파(high frequency)성분이 발생함을 알 수 있다. 또한 아크 파형에 영향을 주는 요인은 양 전극간의 간격과 전극의 단면적으로 인한 아크 저항값임을 알 수 있다.

그림 8과 9는 각각 스파크 발생시 나타나는 전압과 전류의 파형을 실측한 데이터이다. 스파크는 후단의 부하 용량에 따라 과도상태가 비례적으로 증가하며, 일반적으로 고주파 성분의 임펄스 노이즈 신호의 형태를 나타낸다. 스파크 사고시 과도신호의 특징은 부하의 임피

던스 비율(R-X ratio)에 따라 결정되며, 임피던스 비율은 스파크 파형을 분석하는 중요한 요인중 하나이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전기화재의 징후인 아크와 스파크 현상을 모의하기 위하여 아크, 스파크 발생장치를 제작하여 사고를 모의하는 방안을 제시하였으며, 모의한 사고 신호를 계측, 분석함으로써 전기화재 징후를 검출하는 방안을 제시하였다.

보다 정확한 사고의 검출을 위하여 다양한 환경에서의 사고 모의가 필요하며, 사고 데이터의 통계적 분석을 위한 데이터 베이스 구성이 필요하다. 뿐만 아니라 실제 수용가에 적용하기 위하여 수용가의 임피던스 변동과 부하로 인한 전원노이즈에 대한 대책과 유연한 신호처리 알고리즘 등의 보완이 필요하다.

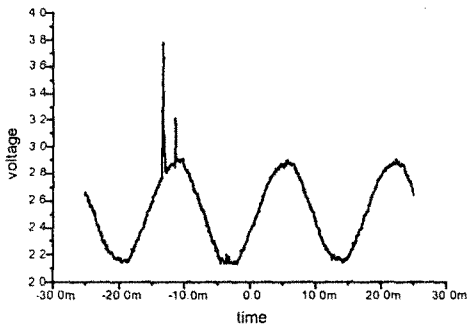


그림 8 스파크 전압 파형

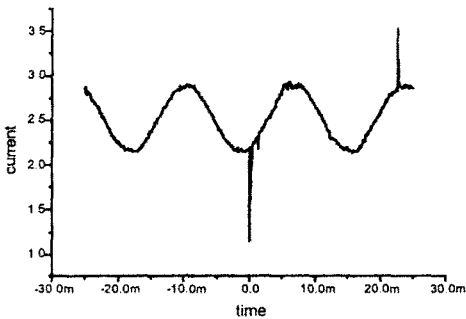


그림 9 스파크 전류 파형

사고를 모의한 결과 아크와 스파크 발생시 나타나는 불꽃방전 현상, 선로상에 흐르는 전류량과 사고 지점의 저항값으로 인하여 발생하는 온도( $I^2R$ )가 화재로 전이되기에 충분한 발화 온도를 제공함을 알 수 있다. 아크, 스파크 사고 신호를 분석한 결과 전압과 전류의 특징은 표 1에 나타난 것과 같다.

표 1 아크·스파크 사고의 전압·전류 특징

전력신호	특징
전압	아크 발생지점 구형파 발생 아크·스파크 발생 전후 고주파성분 발생 스파크 발생시 임펄스형 노이즈 발생
전류	아크 지속시 실효값 감소 아크 지속시 홀수 고조파 성분 발생 아크·스파크 발생 전후 고주파 성분 발생 스파크 발생시 임펄스형 노이즈 발생

#### 3.2 징후검출방안

모의한 사고 데이터 분석 결과와 사고시 전기적 특성을 사용하여 전기화재 징후를 검출하기 위해 아크와 스파크 발생시 공통적으로 나타나는 고주파 성분의 검출, 전압·전류 주파수 분석, 전압·전류 실효값 변동 등을 감시함으로써 전기화재 징후를 검출할 수 있다. 즉, 전력신호를 계측하여 고주파 성분 검출, 비정규적 임펄스 신호 검출, 전류 실효값 감소, 홀수 고조파 증가 등을 전기화재 징후검출방안의 입력 변수로 사용할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Gregory, G.D.; Scott, G.W., "The arc-fault circuit interrupter: an emerging product", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 34 Issue: 5, Page(s): 928 -933, Sept.-Oct. 1998  
 [2] Parise, G.; Martirano, L.; Grasselli, U.; Benetti, L., "The arc-fault circuit protection", Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, Volume: 3, Page(s): 1817 -1822, 2001  
 [3] 김창중, "전기화재 징후검출장치(EFSI)의 적용 및 테스트회로의 구성", 한국조명·전기설비학회, 제 15 권 제 6 호, pp21-28, 2001년 12월  
 [4] 새턴정보통신연구소, "아크, 스파크 측정보고서", 새턴정보통신(주) 부설 정보통신연구소, 2001.  
 [5] 김창중, "전기화재 현황과 조기검출을 위한 대책", 한국조명·전기설비학회, 추계학술대회 논문집, pp77-82, 1994년 11월 12일  
 [6] 김창중, "전기화재 예지원리 및 징후검출시스템 구조", 한국조명·전기설비학회논문지, 논문 9-4-4, 제 4 호, pp375-381, 1995년 8월  
 [7] 김창중, "전기화재의 분석과 규명", 한국조명·전기설비학회 논문지, 제 9 권 제 2 호, pp10(98)-16(104), 1995년 4월  
 [8] 김창중, "전기화재의 징후검출 및 정상부하 특성파의 구분", 한국조명·전기설비학회 학술발표회 논문집, pp75-79, 1995년 11월  
 [9] McMenamin, D., "Electrical fires and the power disconnect issue [telecom facilities]", Telecommunications Energy Conference, 1997. INTELEC 97., 19th International, Page(s): 454 -461, 1997  
 [10] Gammon, T.; Matthews, J., "Instantaneous arcing-fault models developed for building system analysis", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol 37 Issue 1, Page(s): 197-203, Jan.-Feb. 2001  
 [11] Gammon, T.; Matthews, J., "The historical evolution of arcing-fault models for low-voltage systems" Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference, 1999 IEEE, Page(s): 1-6, 1999  
 [12] Gammon, T.; Matthews, J., "Arcing-fault models for low-voltage power systems", Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2000. Conference Record, Papers Presented at the 2000 Annual Meeting, 2000 IEEE, Page(s): 119 -126, 2000