

## 웨이블릿을 이용한 직렬 아크고장 전압·전류 특성 분석

방선배, 송길목, 최원호\*, 박종연\*  
전기안전연구원, 강원대학교\*

### Series Arc-Fault Characteristics using Wavelet Transform

Sun-Bae Bang, Kil-Mok Shong, Won-Ho Choi\*, Chong-Yeun Park\*  
Electrical Safety Research Institute, Kangwon National Univ.\*

**Abstract** - 본 논문은 직렬 아크고장 신호분석과 관련된 연구로서, 정상상태와 아크고장 상태에서 발생하는 전압·전류를 검출하여 아크고장 전류의 특징을 분석하였다. 역률이 1인 저항성 부하와 L성 부하, C성 부하를 구성하고, 순시 임피던스 분석, FFT 분석, 웨이블릿 분석 방법을 사용하였다. 분석결과 순시 임피던스 분석방법과 FFT 분석방법에서는 직렬 아크고장 신호의 특징을 찾을 수 있었으나 정량화하기가 어렵고, 웨이블릿 분석방법으로는 직렬 아크고장 신호의 특징 검출 및 정량화 가능성을 발견할 수 있었다.

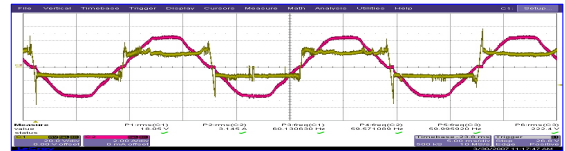
하는 접지 아크고장이며, 그림 1(d)은 부하가 다른 전원선과 전원선 사이에서 발생하는 cross-talk 아크고장이다.

본 논문에서는 가정 및 산업현장의 전선 접속점, 단선, 반단선 등에 의하여 많이 발생되고, 아크고장 전류가 부하전류와 동일하여 기존의 차단기로는 검출이 어려워 화재사고 발생 위험이 높은 직렬 아크고장 전류의 특성을 분석하였다.

그림 2는 전형적인 아크고장 전압·전류 파형이며, 직렬로 저항 부하를 연결하고 UL1699의 규정에 의한 아크방전 발생기에 의해 아크고장을 발생시켰을 경우 나타나는 직렬아크 전압·전류 파형이다.[2]

### 1. 서 론

전기에너지의 이용이 증가함에 따라 전기화재, 감전, 설비사고 등과 같은 전기화재도 증가하는 추세이다. 최근에는 화재, 감전 사고를 미연에 방지하기 위하여 GFCI(Ground Fault Circuit Interrupter)와 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter) 등과 같은 장치에 관한 연구와 개발이 진행되어 전기안전에 대비하고 있으나 계속적으로 전기화재는 발생되고 있다. 화재 접화를 가능하게 하거나 화재 접화 조건이 되는 아크는 절연 매질이 전기적으로 관통되어 발생하는 지속적인 발광방전 현상이다. 아크에 의해 발생하는 전기화재의 경우 미국 소비자제품안전위원회(Consumer Product Safety Commission)에 의하면 전체 전기화재의 40%를 차지하고 있다. 따라서 미국을 비롯한 북미지역에서는 가정용 전기사고 보호 장치로서 우선적으로 AFCI의 사용을 의무화하고 있으며 점차 사용범위를 확대하고 있으나 국내에서는 GFCI의 일종인 누전차단기(ELB)의 사용을 의무화하고 있으며 AFCI의 사용은 아직까지 도입되고 있지 않다. AFCI를 사용하기 위해서는 스위칭 아크, 기동·점등시 발생하는 신호 등 일반 부하에서 발생하는 아크와 유사한 정상 신호와 아크고장 신호의 구분이 중요하다. 최근에도 정확한 아크고장 신호 검출을 위한 알고리즘 개발, 특징점 검출방법과 관련된 연구가 지속적으로 진행되고 있으나, 실용화 단계에는 미치지 못하고 있다.[1]



〈그림 2〉 저항부하일때의 아크고장 전압·전류 특성

아크전압의 주기는 전원전압의 주기와는 관계없이 부하전류와 동일한 주기로 발생되며, 부하전류의 크기, 환경조건 등에 따라 크기가 변화한다. 아크고장 전류는 부하임피던스와 아크임피던스가 더해진 고장전류로 결정되고 정상적인 부하전류와 같거나 작으며, 아크전압의 극성이 변화되는 순간, 즉 영점에서 아크전류는 소멸되었다가 다시 나타나는 shoulder 현상이 발생하는 특징을 갖는다.

따라서 본 논문에서는 역률이 1인 저항성 부하(동상부하)와 L성 부하(지상부하), C성 부하(진상부하)를 구성하고, 정상상태와 아크고장 상태에서 발생하는 전압·전류를 검출하여 아크고장 전류의 특징 및 정량화 가능성을 분석하였으며, 분석방법으로 순시 임피던스 분석(Time varying resistance), FFT (Fast Fourier Transform) 분석, 웨이블릿 분석(Wavelet Transform) 방법을 사용하였다.

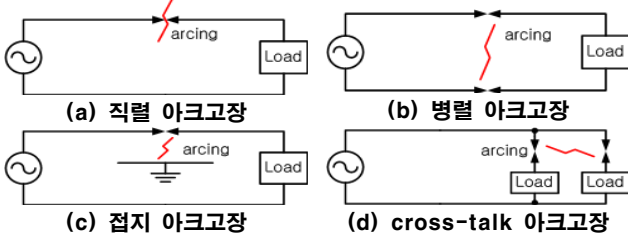
### 2.2 아크고장 신호 검출

일반적으로 직렬 아크고장 신호를 검출하기 위해 부하전류의 변화 추이, shoulder의 존재, 진폭의 변화, 전류 상승률의 변화 등을 이용하고 있으나, 전원전압의 변동, 부하상태의 변화, 아크환경 변화 등으로 인하여 아크고장 전류 검출에 어려움을 겪게 된다. 따라서 본 논문에서는 저항 부하로서 역률이 1인 부하와 L성 부하, C성 부하를 선택하여 그림 3과 같은 정상상태 전압·전류와 아크상태 전압·전류를 측정하여 분석하였다.

### 2. 본 론

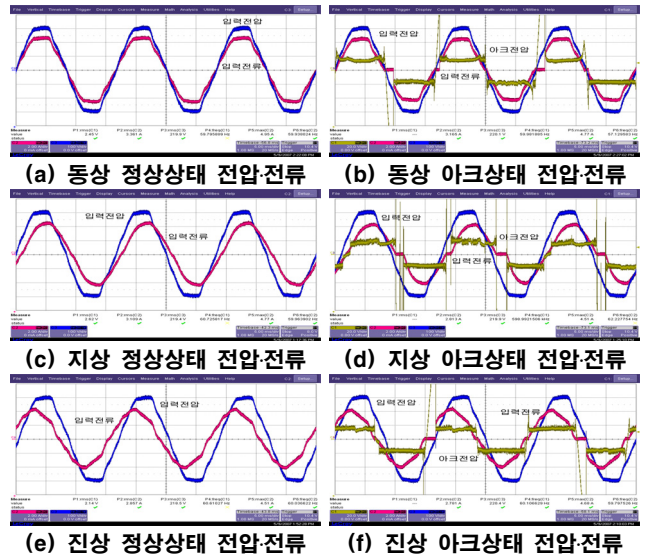
#### 2.1 아크고장의 종류 및 특성

가정 또는 산업현장의 저압 전선에서 발생하는 아크는 그림 1에서와 같이 일반적으로 4가지 형태로 구별할 수 있다.



〈그림 1〉 아크고장의 분류

그림 1(a)은 직렬 아크고장이며 부하와 직렬로 연결된 하나의 도선에서 발생하고, 전원선의 단선, 반단선, 접속 기구에서 느슨하게 전선이 연결될 경우 발생한다. 그림1(b)은 병렬 아크고장이며, 서로 다른 두 개의 극성을 갖는 전선에서 발생하고 대전류가 발생된다. 그림 1(c)은 도선을 보호하고 있는 전선의 절연체가 파손되어 전원선과 대지 사이에서 발생



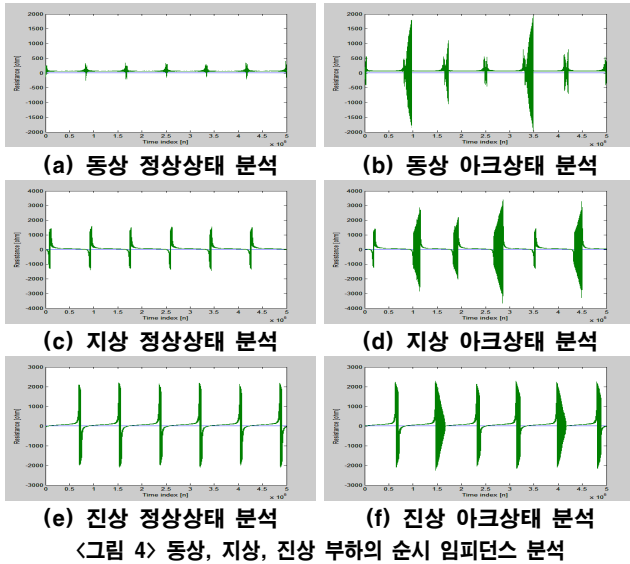
〈그림 3〉 동상, 지상, 진상 부하의 전압·전류 파형 (100V/div, 20V/div, 2A/div)

역률이 1인 저항성 부하는 전열기 800W를 사용하였고, L성 부하는 동상부하에 인덕터 80mH를 추가한 부하이며 C성 부하는 동상부하에 커패시터 30 $\mu$ F를 추가한 부하이다.

### 2.3. 직렬 아크고장 전압전류 특성 분석

#### 2.3.1 순시 임피던스 분석

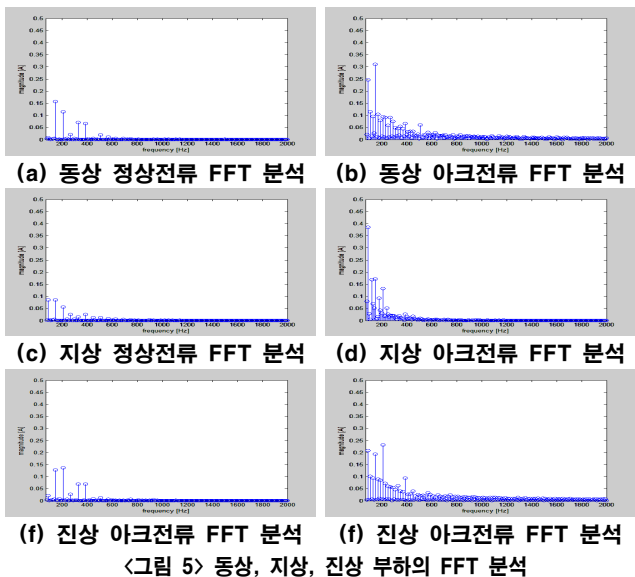
아크전압과 아크전류는 전원전압, 아크환경 등에 따라 변화가 많으며, 비선형성이기 때문에 순시적인 관점으로 계산할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 아크 발생시의 전압·전류 파형을 취득하여 Matlab 프로그램에 의하여 순시 임피던스를 계산하였으며, 그 결과를 그림 4와 같이 나타내었다.



순시 임피던스 분석결과 정상상태에서 아크가 발생하면 순시 임피던스 값의 크기가 커지고, 아크 전류에서 나타나는 shoulder로 인하여 임피던스 상승구간의 폭이 넓어지는 특징이 있다. 동상부하의 아크상태에서는 임피던스 값의 크기가 2~10배 정도 커지는 특징이 있으며, 지상, 진상의 아크상태에서는 shoulder의 형태에 따라 순시 임피던스의 형태가 변화하는 특징을 갖는다. 또한, 지상부하 아크상태에서는 임피던스 값의 차이가 크게 발생되고 있으나 진상부하 아크상태에서는 임피던스 값의 차이가 발생되지 않고 있다.

#### 2.3.2 FFT 분석

정상상태 전류와 아크 고장상태 전류의 특이점을 검출하기 위하여 FFT를 사용하여 주파수 분석을 하였고, 결과를 그림 5에 나타내었다. 주파수의 분석범위는 70~2,000[Hz]이며, 크기는 0~0.5[A]이다.

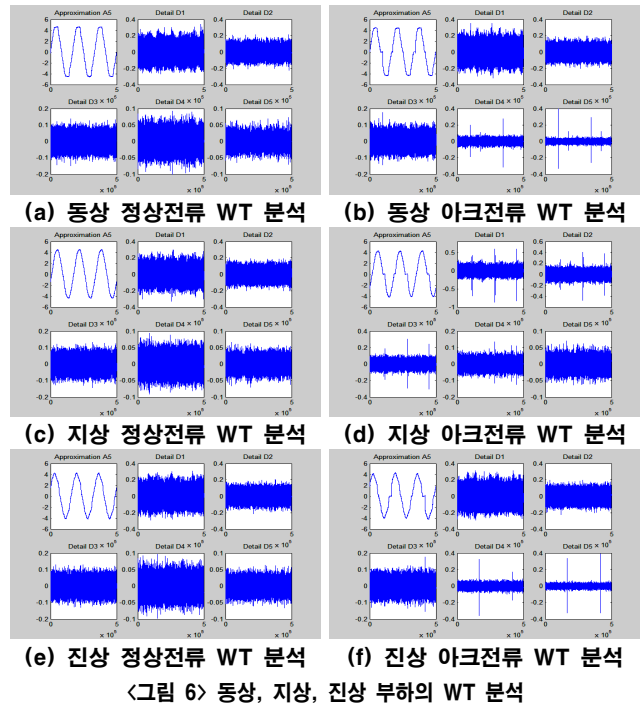


FFT 분석결과 아크 고장전류에서는 정상상태 전류에서보다 고조파

함유량이 전체적으로 높게 나타나고 있으며, 주파수의 분포가 고주파수로 넓게 퍼져있는 특징이 나타난다. 특히 600[Hz] 이하에서의 주파수 분포는 많은 차이를 보이고 있으며, 600[Hz] 이상에서는 차이를 구별하기가 어렵다. 이러한 주파수 분포 특징은 아크전류의 shoulder로 인하여 발생하는 것으로 판단된다. 1[kHz] 이하의 주파수가 많이 나타나고, 크기가 크게 나타난다.

#### 2.3.3 웨이블릿 분석

웨이블릿 변환은 아크 고장전류에서 나타나는 shoulder와 같은 특이점을 검출하는데 매우 유용하며, 웨이블릿 모함수, tree, level 등을 정확히 선택하여야만 정확한 분석이 가능하다.[3] 논문에서는 아크고장 신호 분석에 많이 사용되는 Daubechi 10을 선택하여 사용하였고 level 5까지 tree를 구성하여 분석하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다.



웨이블릿 변환 방법을 이용하여 아크전류의 특이점을 분석한 결과 그림 3 (b), (d), (f)의 아크 발생 구간에서 정상상태 주파수보다 높은 주파수가 나타나는 특이점을 검출할 수가 있었으며, 저항성 부하와 C성 부하에서는 level 3 이후로 특이점이 발생되고, L성 부하에서는 level 3 이전에서 특이점이 나타나고 있다. 또한 저항성 부하와 C성 부하는 level이 높아질수록 최대값이 커지고 있으며, L성 부하에서는 level이 높아질수록 최대값이 작아지는 특징이 나타나고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 직렬 아크고장 전류의 특이점을 다양한 분석방법을 사용하여 분석하였다. 역률이 1인 저항성 부하와 L성 부하, C성 부하를 구성하고 정상상태와 아크고장 상태에서 발생하는 전압·전류를 검출하여 순시 임피던스 분석, FFT 분석, 웨이블릿 분석 방법을 사용하여 아크고장 전류의 특이점을 분석하였다.

분석결과 순시 임피던스 분석방법과 FFT 분석방법에서는 직렬 아크 고장 신호의 특이점을 찾을 수 있었으나 정량화하기가 어렵고, 웨이블릿 분석방법으로는 직렬 아크고장 신호의 특이점 검출 및 정량화 가능성을 발견할 수 있었다. 추후, 모 웨이블릿, level, tree 등의 정확한 선택 및 웨이블릿 패킷 변환 방식 등을 이용할 경우 아크 고장전류의 정확한 검출이 가능할 것으로 판단한다.

#### [참 고 문 헌]

[1] George D. Gregory, Kon Wong, Robert Dvorak, "More about Arc-Fault Circuit Interrupter", IEEE Transactions, Vol.40, No.4, 2004  
[2] Underwrites Laboratories Inc. UL1699, "Arc-Fault Circuit-interrupters", May 15, 2003  
[3] Wen-Jun Li, Yuan-Chun Li, "Arc Fault Detection based on Wavelet Packet", Proceedings of FICML, 2005.8