

# UL1699 기반 아크모의발생장치에 관한 연구

권완성, 김영식, 이영진, 최종목, 유재근\*, 최명일\*, 최규하  
건국대학교, 한국전기안전공사

## A Study on the UL1699 based on Arc Generator

Wan-Sung Kwon, Young-Sik Kim, Young-Jin Lee, Jung-Muk Choi, Jae-Geun Yoo\*,  
Myeong-Il Choe\*, Gyu-Ha Choe  
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University, KESCO\*

### ABSTRACT

전기로 인한 화재의 주요원인 중 하나는 전기회로에서 발생하는 아크이며, 기존 사용되고 있는 보호장치인 휴즈나 배선용 차단기가 제공하는 과부하, 누전, 단락뿐만 아니라 아크현상에 대한 보호기능을 갖춘 통합 전기화재 감시 및 보호장치의 필요성과 이에 대한 효율적인 운용시스템이 요구된다.

이처럼 다양한 전기화재 사고 중에서 주요 사고 사례 중의 하나가 선로 혹은 전선의 절열 파괴로 일어나는 직렬아크, 스파크(series arc, spark) 현상(누전차단기 혹은 과전류차단기가 동작하지 않는 범위의 아크사고 모의)이다. 이러한 사고를 모의하기 위한 아크발생장치를 설계하여 UL-1699에서 규정하는 아크의 발생여부를 확인할 수 있다.

### 1. 서론

현재 정기점검 대상 수용가는 600V 이하의 전압, 75kW 미만의 일반주택 및 소규모 빌딩 등의 전기설비, 100kW 미만의 심야전력 전기설비 등으로서 약 1,700만호에 이르고 있다. 또한 정기점검 주기는 각 시설마다 1년~3년을 주기로 간헐적으로 시행하고 있어 상시 사용하고 있는 전기설비에 대한 고장 및 위험요소를 방지하기에는 많은 어려움이 있다. 행정자치부 '02년 화재통계의 경우, 전기화재는 전체화재 원인 중 34%를 점유하고 있어 주요화재 원인이 되고 있으며, 특히 전기화재 원인의 91%는 합선, 과부하, 누전 등이 점유하고 있어, 이에 대한 상시감시 시스템의 구축으로 전기화재 위험요소를 제거할 필요성이 각별히 필요하다. 최근 들어서 미국에서는 아크로 인한 전기화재 및 사고를 대비하기 위한 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)라는 차단기 형태의 아크차단 장치가 소규모 수용가의 저전류 분기회로에 적용되고 있다. 이러한 전기화재의 징후인 아크와 스파크가 발생하는 조건은 주변환경과 설비의 노후 및 절연내력의 약화, 외부적인 충격이나 물리적 요인을 비롯한 다양한 요인으로 인하여 발생되며, 사고가 발생하는 전기적 회로 유형도 다양하다. 이처럼 다양한 전기화재 사고 중에서 주요 사고 사례 중의 하나가 선로 혹은 전선의 절연 파괴로 일어나는 직렬아크, 스파크(series arc, spark) 현상(누전차단기 혹은 과전류차단기가 동작하지 않는 범위의 아크사고 모의)이다. 이러한 사고를 모의하기 위한 장치는 UL-1699에 기반을 둔 아크발생장치로 모의할 수 있다.

### 2. 아크모의발생장치 설계

#### 2.1 아크 분석

##### 2.1.1 아크 특성

아크는 일반적으로 정상상태의 전기적 특징이 아니므로 아크 발생시 전기적인 특징이 변하게 된다. 아크 현상을 검출하기 위한 전기적 환경변수 중에서 주파수 성분을 분석하는 것은 아크의 발생 징후와 특성을 파악하는데 가장 중요한 방법 중 하나이다. 아크의 전류나 전압 파형은 일반적인 사인파가 아니다. 아크는 일정한 주파수를 가지는 것이 아니라 수Hz에서 수 MHz에 이르기까지 다양한 형태의 주파수를 가진다. 그러나 대부분의 아크 주파수는 고주파를 형성한다. 또한 일정한 전류와 전압을 가지지 않는다. 아크의 발생이 지속적으로 발생하면 전압과 전류의 형태는 많은 변화가 없다. 그러나 아크가 발생하는 부분에서는 고열(불꽃 방전)이 발생할 것이다. 물론 부하를 어떤 부하를 사용하느냐에 따라 차이가 있을 수 있다. 아크에 대해 명확하게 정의할 수는 없지만 순간적인 임펄스 파형이 크며 다양한 형태의 주파수 중에서도 고주파에 의해 고열을 발생시킬 수 있으므로 전선의 열화에 큰 영향을 미치며 전압과 전류특성에서 높은 주파수의 잡음을 볼 수 있고 아크에 걸친 전압 강하가 존재하며 이 전압 강하로 인해 아크 전류는 장비가 차이를 보상 할 것을 시도하는 경우를 제외하면 동일한 회로의 아크가 없는 전류보다 작은 특성을 갖는다. 전형적인 아크의 파형은 그림 1과 같이 나타나며 전압파형은 직사각형의 형태를 띠고 전류파형은 거의 평탄한 0전류 구간(shoulder영역)이 생기는 것을 볼 수 있다<sup>[1]</sup>.

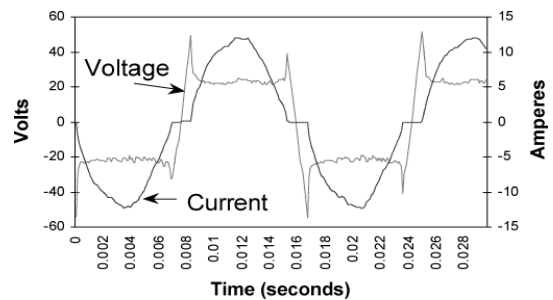


그림 1 전형적인 아크 전압·전류의 파형  
Fig. 1 Generalized arc characteristics

### 2.1.2 아크 분류

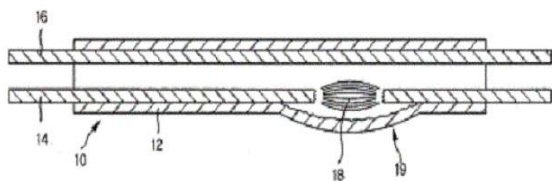
아크란 절연체 사이의 전기적인 방전으로서 이 때 두 절연체 사이에는 수천도(°C)에 가까운 줄(Joul)열이 발생하게 된다. 일반적으로 아크는 다음과 같이 비접촉성 아크와 접촉성 아크 두 가지로 분류 될 수 있다. 비접촉성 아크(non-contact arc)는 아크가 발생하는 도체 사이에서 직접적으로 물리적인 접촉에 상관없이 발생한다. 절연되어 있는 도체 사이에서 발생하는 아크는 도체의 종류, 기하학적 위치, 절연물 등에 의해 영향을 받는다. 접촉성 아크(contact arc)는 아크가 발생하는 도체 사이나 전극 사이의 직·간접적인 물리적인 접촉에 의해서 발생한다. 이러한 아크는 보통 차단기를 개로하거나 폐로할 때 발생하는 아크를 말한다.

아크 결함이 발생하는 원인은 노화, 절연 및 배선 파괴, 과사용 또는 과전류에 의한 기계적 및 전기적 스트레스, 연결 결함 및 절연과 배선에 대한 과도한 기계적 손상 등 매우 다양하다. 일반적으로 주거용 건물 또는 상업용 건물에서 발생하는 아크 결함은 세 가지로 분류할 수 있다.

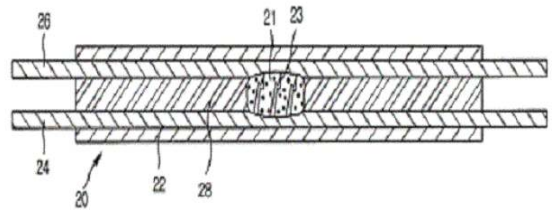
첫째는 부하와 직렬로 연결된 도전선 사이에서 발생하는 직렬 아크(접촉성 아크)로서 직렬아크가 발생한 경우를 아래 그림 2(a)에 도시하였다. 케이블(10)을 구성하는 도전선(14, 16)은 절연체(12)로 분리되고 둘러싸여 있어서 절연된다. 그림에서 상부 도전선(14)은 소정부 부분이 파열되어 직렬 간극(18)이 발생하였다. 상기 상태에서 아크가 발생하면 케이블에 국부적으로 많은 열이 발생하고 아크 발생 지점에 인접한 절연체(19)가 파열되거나 탄화(carbonized)될 정도로 열이 계속 발생하면 화재가 발생하게 된다. 상기와 같은 직렬 아크는 부하에 의하여 아크에 흐르는 전류의 크기가 조절된다.

둘째는 도전선 사이에서 발생하는 병렬 아크(라인 아크)로서 병렬 아크가 발생한 경우를 그림 2(b)에 도시하였다. 케이블(20) 내부의 도전선(24, 26)은 외부 절연체(22)로 둘러싸이고 내부 절연체(28)에 의하여 절연되어 있다. 상기 내부 절연체(28)가 열화되거나 손상이 발생하면(21) 상부 도전선(24)과 하부 도전선(26) 사이에 아크 결함(23)이 발생하게 된다. 상기 내부 절연체의 열화 또는 손상은 과도한 직사광선의 노출과 같이 배선 시스템에서 영향을 주는 번개에 의하여 탄화됨으로써 나타날 수도 있고 의자 등의 가구류에 눌러 케이블 확장 코드 부분이 절단되는 기계적 작용에 의하여 발생 할 수도 있다.

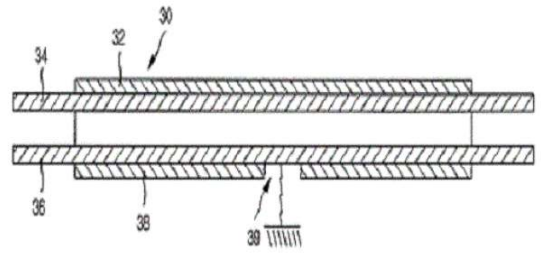
셋째는 도전선과 접지 사이에서 발생하는 접지 아크로서 접지 아크가 발생하는 경우를 그림 2(c)에 도시하였다. 상기 병렬 아크와 같이 도전선(34, 36)을 보호하고 있는 케이블(30)의 절연체(38)가 파손되어 상기 파손된 부분(39)을 통하여 도전선(36)이 접지되는 경우에 접지 아크가 발생한다. 특히 병렬 아크와 접지 아크는 부하와 병렬로 발생하기 때문에 아크에 흐르는 전류는 전원의 임피던스에 의해 변화된다.



(a) 직렬 아크



(b) 병렬 아크



(c) 접지에 의한 아크

그림 2 아크의 종류  
Fig. 2 Type of arc

이와 같이 케이블의 열화 현상이 장시간 지속되면 케이블의 탄화로 인하여 피복이 손상되고 아크 전류에 의한 줄(Joul)열이 발생하여 상기 케이블은 더욱 열화된다. 이 때 발생하는 줄열은 식(1)과 같이 되고 그에 따라 케이블의 탄화로 인한 아크가 발생하게 된다.

$$J = (\text{아크 전류})^2 \times \text{시간} \quad (1)$$

### 2.2 아크모의발생장치 개요

UL-1699상의 4가지 시험을 수행하기 위하여 UL-1699 규격에 맞는 3가지의 실험장치가 필요하다. 현재 3가지의 시험 장치를 설계 제작하여 최종 검토 중에 있다.

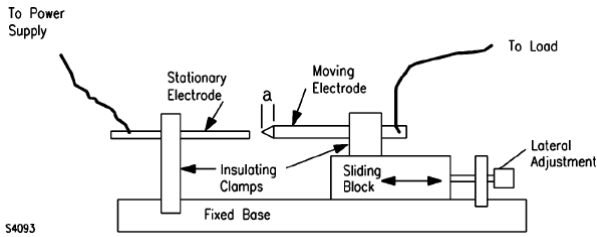
#### 2.2.1 직렬 아크 발생 장치

그림 3(a)는 UL-1699상의 아크 발생장치로서 정지전극(stationary electrode)과 이동전극(moving electrode)으로 구성되는데 정지전극은 약 5mm 정도의 탄소봉(carbon graphite)으로 구성되어 있고 이동전극은 구리로 되어있다.

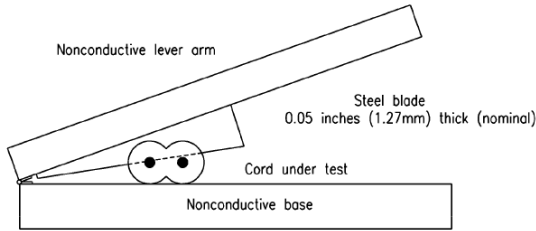
두 전극을 붙여서 회로가 연결되게 한 다음 조정나사를 돌려서 아크가 일어날 때까지 서로 천천히 떨어뜨려 아크를 발생시킨다.

#### 2.2.2 포인트 접촉 아크 시험 장치

시험 장치는 UL-1699의 56.5항인 포인트 접촉 아크 시험을 하기 위한 장치로서 사용되는 강철 칼날의 두께는 0.05 inch여야 하고 대략적인 크기는 1-1/4 inch x 5-1/2 inch 정도여야 한다. 칼날은 필요하면 대체가 가능하며 절단 각도를 유지하기 레버 암(lever arm)에 부착해야 한다. 그림 3(b)는 UL-1699에서 권장하는 시험 장치의 그림이다. 회로는 단함 상태에서 천천히 수직방향으로 힘을 가해서 건본을 자른다. 칼날은 한 도체와는 solid contact를 다른 한 도체와는 point contact를 하게 된다.



(a) 아크 발생 장치



(b) 포인트 접촉 아크 발생 장치

그림 3 아크모의발생장치  
Fig. 3 Arc generator

### 2.3 아크발생장치 모의 실험

#### 2.3.1 아크발생장치 사양 정의

- 1) 직렬 아크 테스트 : 정지전극과 이동전극간에 공극거리와 공극 접촉 단면적등에 따라 아크를 발생시켜야 한다.
- 2) 병렬 아크 테스트 : 75A ~ 500A까지의 아크 전류에서 수행되며 0.5초 주기 안에 8과 1/2 사이클의 아크가 발생하면 아크사고를 제거해야 한다.

#### 2.3.2 아크발생장치 모의실험 결과

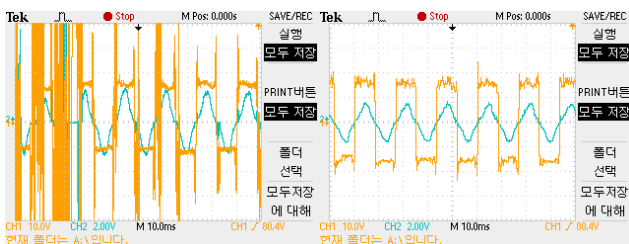
그림 4에서와 같이 직렬·병렬 아크발생장치를 제작하여 성능 테스트를 하였다. 병렬 아크의 경우 피복을 벗긴 상태에서 칼날의 하강속도를 조절하면서 실험하였다.



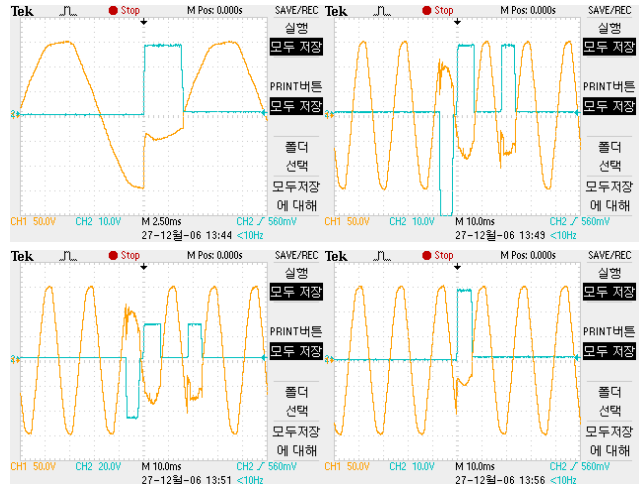
(a) 직렬 아크

(a) 병렬 아크

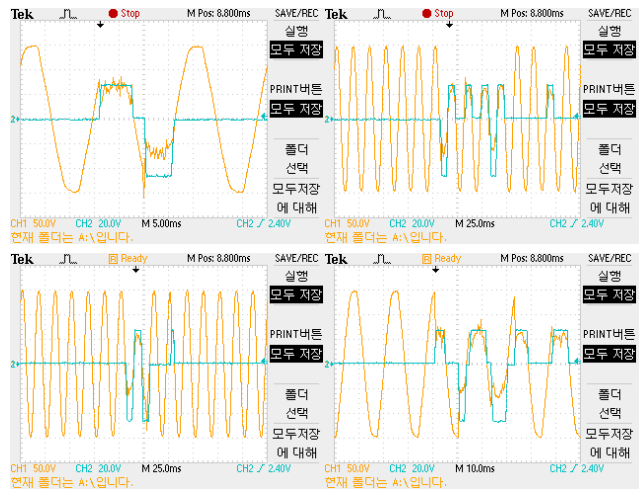
그림 4 아크 실험  
Fig. 4 Arc experiment



(a) 직렬 아크



(b) 병렬 아크 (피복 덮인 상태)



(c) 병렬 아크 (피복 벗긴 상태)

그림 5 실험 결과  
Fig. 5 Experiment Result

### 3. 결론

직렬아크 테스트장비와 병렬아크 테스트장비를 구현하여 UL-1699에서 규정하는 아크의 발생여부를 확인할 수 있었다. 이렇게 구현된 아크모의발생장치는 아크로 인한 전기화재 및 사고를 대비하기 위한 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)라는 차단기 형태의 아크차단 장치에 적용될 수 있다.

이 논문은 지식경제부 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 지원으로 연구되었음

### 참고 문헌

[1] Gregory, G.D., Kon Wong, Dvorak, R.F., "More about arc-fault circuit interrupters", Proceedings of the IEEE, Vol. 40, Issue 4, pp. 1006-1011, 2004, July-Aug..