

## 절연체의 내아크성 평가를 위한 안테나 기법의 적용에 관한 연구

이 강 원\*, 김 명 룡\*, 강 성 화\*\*, 임 기 조\*\*\*  
한국철도기술연구원\*, 충청대학\*\*, 충북대학교\*\*\*

### Study on the application of antenna method for the criterion test of insulator arc resistance

K. W. LEE\*, M. Y. KIM\*, S. H. KANG\*\*, K. J. LIM\*\*\*  
Korea Railroad Research Institute\*, Chungcheong University\*\*, Chungbuk University\*\*\*

#### Abstract

Electrical arc is the final stage of insulation breakdown and has high current density which cause heat and light in insulator. Insulator under electrical arc lost its insulating strength and eternal damages. Conventional criterion of electrical arc resistance in Standards have depended on the change of sound pressure and light color after damages on insulator by electrical arc. The recognition of these changes is done by human himself which was very subjective and resulted in some error to judge whether insulator has damages or not. This paper has shown that antenna method is the appropriate measure to judge electrical arc resistance for insulator. Antenna measures the electromagnetic waves radiated from tungsten electrodes with 6mm gap regulated by KSC2130. Applied voltage cross two tungsten electrodes have two different methods such as 1/8 10 and continuous 10mA. Signal amplitudes obtained by antenna has diminished after the damage of insulator, which will provide objective and good way to judge the electrical arc resistance.

**Key Words** : Arc resistance, tungsten electrode, antenna

#### 1. 서 론

아크방전은 자속방전의 일종이며, 방전형식 중 최종단계이다. 최종단계라는 의미는 어떤 방전형식에서도 방전전류를 충분히 크게 하여가면, 결국 아크로 이행되므로, 더욱 방전전류를 증가시켜도 아크방전과 다른 방전형식으로 이행하는 것은 없다는 것을 의미한다. 아크방전에 공통적인 성질로서는 음극강하는 글로방전의 1/10정도 혹은 그 이하이고, 전류가 많이 흘러 1A정도부터 위로는 한계가 없고 음극표면의 전류밀도가 훨씬 높다. 아크는 고열과 빛을 내는 현상으로서 아크의 고열을 이용한 용접, 빛을 이용한 전등 등에 이롭게 사용되는 측면도 있으나 차단기 등에서 발생하는 아크는 적

절히 방호하지 않으면 주변에 나쁜 영향을 줄 수 있으므로 아크를 차단하며, 절연성을 가진 재료가 차단기 등의 아크방호를 위하여 사용된다. 기존에는 석면을 포함한 재료가 주로 사용되었으나 환경 규제 등에 의해 현재는 비석면으로 된 재료를 사용하여 아크를 방호하고 있다. 아크에 견디는 정도는 내아크성으로써 표시되며 아크가 절연재료에서 사라지는 시간을 내아크시간으로 규정하고 있고, 내아크시험에 관한 기준은 KSC2130에서 규정하고 있다. 아크에 의한 파괴를 유전체를 따라 도전경로가 형성되고 아크가 재료안으로 사라지며 소리의 변화가 일어나는 것으로 판단한다고 정의 되어 있으나, 명확하게 판단되지 않는 경우도 기술하고 있다. 실질적으로 아크의 빛과 소리에 의한 아크소멸의 판단은 시험자의 주관과 시험환경에 의해 정확

도가 좌우되므로, 이러한 주관적인 판단에 의하지 않는 아크소멸시점의 객관적 판단기준이 필요하다.

본 연구에서는 아크발생 시 발생하는 전자기파를 안테나를 이용하여 측정하였다. 안테나를 이용한 측정방법은 비접촉식으로 설치가 간단하고, 안테나의 출력전압은 아크의 큰 전류변화에 의해 외부노이즈에 의한 영향에 둔감하다. 이러한 특징을 이용하여 간헐적인 아크주기로 동작 시 아크의 발생과 발생과형에 대해 관찰하고, 10mA의 연속 아크 시 아크의 발생과 발생과형 및 주파수분포에 대해 관찰하며, 아크의 소멸 시 안테나의 측정과형의 변화를 관찰한다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험방법 및 구성

실험에 사용된 내아크시험기의 내부 구성은 그림1과 같으며, 표1에서 보여진 바와 같은 여러 가지 아크인가방법의 사용이 가능하다. 아크를 발생시키는 전극은 텅스텐제이며, 전극간의 거리는 6mm를 유지하였다. 가해진 전압은 3,600kV이며, 전극의 세부구성은 KS규격에 규정된 방법에 따랐다.

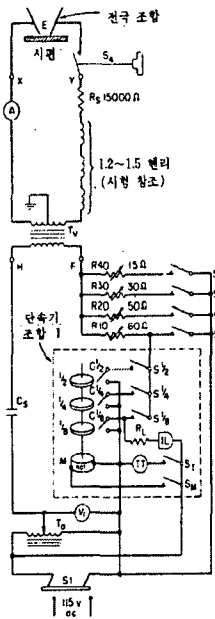


그림 1. 내아크 시험회로

표 1. 각 단계별 적용방법 및 적용시간

단계	전류(mA)	주기	총시간(s)
1/8 10	10	1/4 S on, 1 3/4 S off	60
1/4 10	10	1/4 S on, 3/4 S off	120
1/2 10	10	1/4 S on, 1/4 S off	180
10	10	연속	240
20	20	연속	300
30	30	연속	360
40	40	연속	420

아크의 발생에 의한 전자기파는 1미터정도 떨어진 위치에서 30kHz - 2GHz의 범위를 갖는 모노폴 안테나를 이용하여 측정하였고, 안테나에서 인출된 동축케이블선을 통하여 디지털 오실로스코프(5GS/s, Tektronix)에서 파형을 관찰하였다. 내아크성의 측정을 위한 재료는 일반적으로 애자갯에 사용되는 실리콘고무로서 두께 1cm이며, 한번의 길이가 각각 5cm와 10cm의 직사각형의 형태를 가졌고, 한번 아크가 가해진 시료는 가해진 부위로부터 10cm이고 모서리로부터 각각 1cm라는 기준에 맞지않아 새로운 시료로서 실험하였다.

### 2.2 결과 및 고찰

실리콘 고무시료의 내아크시간이 짧아 KS규격 중 1/8 10의 경우와 10mA 연속인 경우 두 가지에 대해 아크의 발생과 소멸에 대한 파형을 관측하였다. 먼저 1/8 10으로 간헐적으로 모터의 회전과 함께 접촉 캠에 의하여 아크가 단락시간이 조정되는 경우 캠의 접촉에 의한 노이즈와 아크의 발생신호가 함께 관찰되었다.

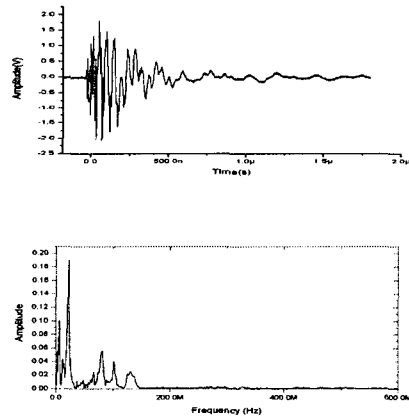


그림 2. Motor cam 접촉펄스파형 및 주파수분포

그림 2는 모터캠의 접촉에 의한 펄스파형과 주파수분포를 보여주고 있는데 초기 불규칙적인 짧은 주기의 진동을 보인후 점점 그 주기가 길고 안정적인 진동을 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 캠의 접촉시 순간적인 스파크의 발생과 접촉 또는 분리후 스파크가 사라지는 현상에 대한 물리적인 변화에 대한 예측을 가능하게 한다. 그림 3은 아크방전의 경우 발생된 펄스파형과 주파수분포로서 그림에서 보여준 모터캠측 파형과는 달리 초기 파형의 약간의 왜곡이 생긴후 일정한 주기로 감쇠되는 형태를 나타내고 있다. 이러한 현상은 아크방전으로

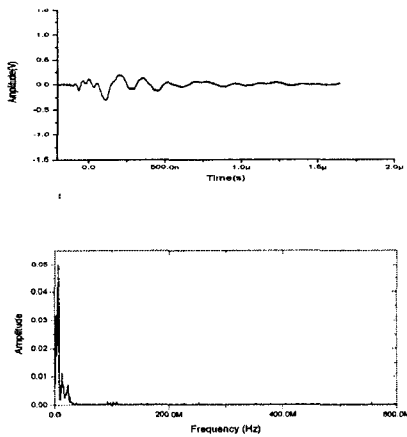


그림 3. 아크방전파형 및 주파수분포

생성된 공간전하의 발생과 소멸 그리고 이러한 공간전하에 의한 전계로 인해 발생한 전자의 발생과 소멸의 상호 관계에 의한 것으로 해석할 수 있다.

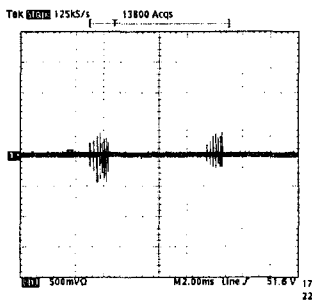
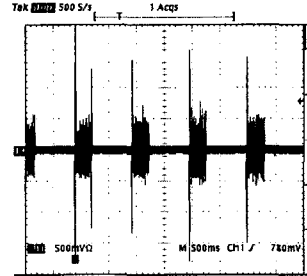


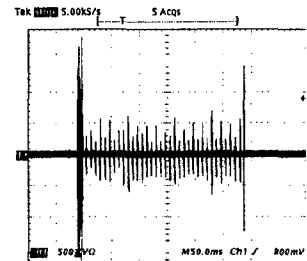
그림 4. 1/60(s)간 펄스파형(500mV/div, 2ms/div)

그림 4는 한주기(1/60초)에서 오실로스코프의 진원

주파수와 동기되어 트리거한 경우 측정된 펄스파형으로 정주기와 부주기의 최대값 부근에서 펄스 열이 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다.



(a) 5주기(500mV/div, 500ms/div)



(b) 1주기(500mV/div, 50ms/div)

그림 5. 1/8 10의 경우 1, 5주기 펄스파형

그림 5는 1/8 10의 간헐적인 아크발생 시이며, 눈으로 관찰된 그룹 형태의 아크가 실질적으로는 단속적으로 연이어진 아크다발형태를 가지며, 짧은 시간간격으로 관찰시 펄스파형으로서 보여진다는 것을 확인하였다. 그림 5는 모터캠이 동작하며 주기적으로 아크가 발생되고 소멸되는 펄스파형의 형태를 관찰한 것으로 캠의 접촉과정에서 발생된 양 펄스 내에 아크방전 펄스 열이 끼여 존재하는 모습을 보여주고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 시료에 간헐적으로 가해진 아크에 의해 시료의 표면은 점점 손상되고 결국 아크음의 변화와 아크빛의 변화를 보여주며 아크에 의해 형성된 시료의 탄화료가 형성되며 붉은 빛을 발하여 시료는 계속적으로 불꽃을 발생시킨다. 이때 안테나에 측정되는 펄스의 크기는 시료손상이전에 발생된 펄스크기가 약 1/5이하로 감소하며, 이 때의 파형은 그림 6과 같다. 손상된 후의 펄스열은 정주기보다 부주기에서 발생량 및 크기가 더 크게 나타나며 이것은 손상전 정주기와 부주기의 펄스가 유사한

것과 구별되는 사실이다. 시료가 손상된 후에 안테나에서 측정된 파형은 손상전의 아크방전시 발생된 파형보다 약간 안정된 형태의 펄스를 나타내고 있으나, 상당히 유사한 형태를 보여준다.

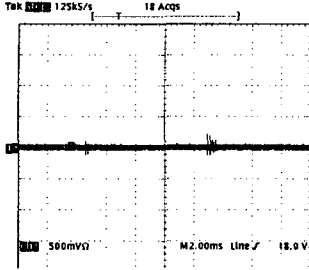


그림 6. 재료손상 후의 펄스파형  
(500mV/div, 2ms/div)

그림 7은 10mA를 연속적으로 가한 경우의 한주기간의 펄스열에 대한 모습을 나타낸 것으로 한주기간 정주기와 부주기의 최대전압부근에서 펄스열의 중심간이 180°의 위상차를 나타낸다는 것은 1/8 10의 경우와 유사하나 펄스열의 분포가 더 넓은 차이가 발생하며 이것은 연속적으로 10mA가 흐르는 경우 양전극간에는 1/8 10보다 더 높은 전압이 인가되므로써 발생하는 현상으로 보여진다. 1/8 10의 경우 모터캠의 접촉부분에서의 전압강하에 의해 실제 양전극간에 가해지는 전압은 10mA를 연속적으로 흘리는 경우의 전압보다 낮게 걸리므로 펄스가 발생하는 부분에서 차이를 보여주는 것이다.

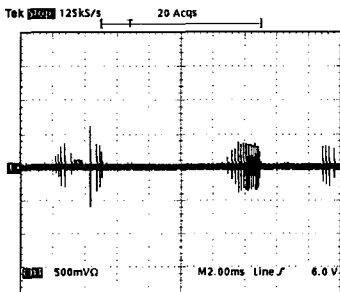


그림 7. 연속 10mA시 1/60(s)간 펄스파형  
(500mV/div, 2ms/div)

그림 8은 10mA를 연속적으로 흘리며 시료가 손상되는 시점을 오실로스코프의 시간폭을 길게 잡

아 관찰한 모습이며, 아크가 시료에 손상을 가하여 아크음이 변하고, 아크의 빛깔이 변하는 순간 안테나에 잡힌 아크파형도 그크기가 상당히 감소하여 매우 뚜렷한 대조를 보여주고 있다.

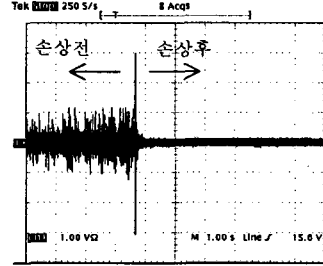


그림 8. 재료손상전과 후의 비교펄스파형  
(1V/div, 1s/div)

### 3. 결 론

본 논문은 고체절연재료의 내아크성을 판단하는 기준으로서 기존의 단순한 아크음의 변화, 빛의 차이 등에 의한 방법외에 안테나를 이용한 방법을 제시하였다. 아크발생에 의한 전자기파의 안테나에 의한 측정은 아크의 발생양상이 연속적이지 않고, 펄스열의 형태로 정주기와 부주기에서 약 180°의 위상차로서 발생하며, 펄스파형은 공간전하와 전자의 발생과 소멸의 과정 중에서 형성된 감쇠진동한다는 것을 확인하였으며, 이러한 사실로부터 내아크시험기의 전극간 발생된 아크는 연속적인 전류의 흐름이 아닌 단속적으로 교락되는 전류펄스군의 형태를 지니고 있다는 것을 관찰하였다. 1/8 10의 경우와 10mA 연속전류인가의 두가지 경우 모두 실리콘고무시료의 손상전과 후에서 안테나로 측정된 펄스파형의 크기가 매우 감소하는 공통점을 보였으며, 특히 10mA 연속전류인가의 경우, 손상전과 후의 안테나 측정값의 대조적인 값의 차이는 내아크성을 판단하기 위한 객관적인 기준인 동시에 보다 정확한 결과를 줄 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] KSC2130, "고체전기절연재료의 고전압, 저전류, 아크에 대한 저항 시험방법, 1996.
- [2] "電離氣體論", 일본전기학회, p199-208
- [3] 철도차량-5925-02-0771-0, Nov, 2002