



# 전기화재 징후검출장치(EFSI)의 적용 및 테스트 회로의 구성

김창종 <미국 하워드 대학 전기과 교수>

## 1. 머리말

본 자료는 새턴정보통신의 전기화재 징후검출장치(가칭 EFSI ; Electric Fire Symptom Indicator)는 전선의 아크 및 스파크 발생시 선로의 이상 유·무를 탐지하여 전기화재의 징후를 사전에 예측하여 경보하여 주는 장치입니다.

EFSI는 세대분전반에서 적용되고 있는 기존의 과전류 차단기(CB, OCR)와 누전차단기(ELB)가 감지하지 못하는 아크(arc)와 스파크(spark) 현상을 감지하며, 또한 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)의 동작 특성보다 민감하게 동작하며, 아크의 발생 정도에 따라 단계적으로 경보하여 주는 장치입니다.

본고에서는 새턴정보통신 부설 연구소에서 실행한 아크 발생 및 측정 방법 그리고 EFSI의 성능 시험을 위한 테스트, 실험 방법에 대해 기술하고자 한다.

국내에서는 아직 아크의 발생 방법과 측정 방법 그리고 시험에 대한 자료가 부족한 상황이다. 따라서 본 문서에 포함된 모든 자료는 새턴정보통신의 EFSI에 제한적으로 적용되는 사항이며 자료에 대한 권리는 새턴정보통신이 소유한다.

## 2. 전기화재징후검출장치(EFSI) 개요

새턴정보통신의 전기화재징후검출장치(이하 EFSI : Electric Fire Symptom Indicator)의 적용 선로(전력선 배선도) 및 적용 예는 다음과 같다.

그림 1은 일반적인 수용가의 전력배선도를 나타내는 것이다. 일반적인 가정 부하를 기준으로 고려할 경우 Power Source는 AC 220[V](rms), 60[Hz]의 전력을 약(20~25A)의 전류로 공급한다. 또한 일반적인 환경에서는 20[A]의 과전류 차단기와 30[mA]의 누전 차단기의 기능을 하는 차단기가 보호설비로 시설되어 있다(이하 그림에서 CB/ELB 제외). 전원설비에서 보호설비를 거친 선로는 부하단으로 나누어져서 전원을 공급한다.

새턴정보통신의 EFSI는 2가지의 Type으로 그 종류가 분류된다. 종류의 분류는 EFSI의 감시 대상에

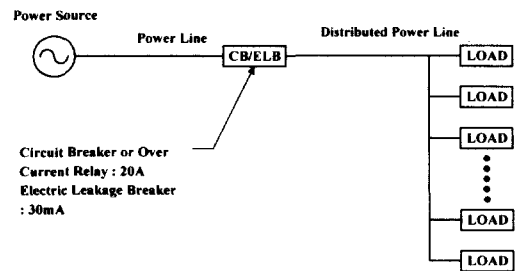


그림 1. 전력선로 구성 예

따라 분류가 되며, 감시대상은 전압(Voltage), 전류(Current)로 구분된다. 이에 따라 PT(Potential Transducer) 혹은 VT(Voltage Transducer) 그리고 CT(Current Transducer) Type으로 구분된다. 제품의 구분은 표 1과 같다.

표 1. EFSI 제품 분류

제품형	PT Type	CT Type
감시대상	전압	전류
정격	교류 220/380[V]	교류 25[A]
적용시설	단상(3상)	단상
접속방법	병렬접속	직렬접속

PT Type은 선로에 병렬로 접속하여 선로의 전압을 측정함으로써 선로상에서 발생하는 아크(arc) 및 스파크(spark) 현상을 감지한다. 이론적으로 동일한 선로상에서 병렬로 접속된 지점의 전위(전압)가 동일하다는 전제하에 동일 선로라면 1개의 EFSI의 PT Type으로 아크와 스파크 현상의 감지가 가능하다. 하지만 부하에 따른 고주파 신호의 감쇠 혹은 선로에 연계된 부하와 부하의 기동, 정지시 발생하는 고주파(high frequency) 노이즈 현상이 빈번히 발생되므로 전력선상의 부하 및 상황은 시변(time variant)한다. 따라서 적용될 PT Type의 개수는 적용(보호) 대상에 따라서 그 범위와 개수가 달라져야 한다.

CT Type은 선로에 직렬로 접속하여 선로의 전류를 측정함으로써 선로상(CT Type이 시설된 지점의 후단(down-stream) 부하)에서 발생하는 아크(arc) 및 스파크(spark) 현상을 감지한다. 이론적으로 CT는 선로상에서 직렬로 접속되어 접속된 지점 후단의 전류를 감지한다는 전제하에 동일 선로가 20A(정격 25[A])의 용량을 초과하지 않는다면 1개의 EFSI의 CT Type으로 아크와 스파크 현상의 감지가 가능하다. 그림 2는 기본적인 방법으로 EFSI를 기존의 전선로에 적용한 방식이다.

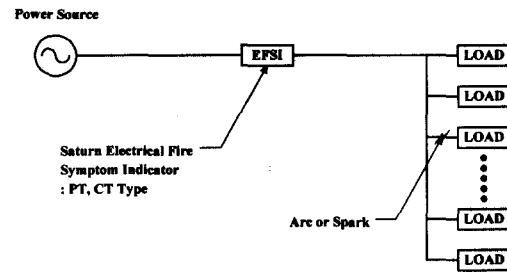


그림 2. EFSI 적용 예 : CASE 1

그림 2와 같이 CB/ELB가 위치한 지점의 후단(권장 ; 후단에 시설할 수 없는 경우 전단)에 시설하여 후단에 연계된 부하로 인한 아크 현상을 감지한다(단, CT Type의 경우 정격전류 25[A]를 넘지 않을 것). 그림 2와 같이 연계될 경우 후단에 위치한 부하에서 발생하는 고장으로 인한 아크, 스파크 현상(그림 2에서 3번째 부하단)은 전단(up-stream)에 위치한 EFSI에서 이를 감지한다. 하지만 후단(down-stream)에 연계된 부하 중 어떠한 부하 혹은 어떠한 분기선로에서 이상이 발생하였는지는 알 수가 없다. 즉, 전단(up-stream)에 위치한 EFSI는 아크와 스파크 현상을 감지는 하나 분기된 선로상에서 정확히 3번째 부하단에서 이상이 발생하였는지는 알지 못한다.

따라서 분기된 선로상에서 부하별로 아크나 스파크 현상을 감지하고 보호하기 위해서는 부하별 입력단에 EFSI CT Type을 시설하여야 한다. 그 적용예는 그림 3과 같다.

그림 3과 같이 각 분기회로에 연계된 부하 별로 EFSI CT Type을 시설할 경우 부하로 공급되는 전류량을 EFSI CT Type이 측정하여 감시함으로써 부하의 이상으로 인한 아크나 스파크 발생 시 이를 감지할 수 있다. 즉, 분기회로에 연계된 부하선로 중 3번째 부하 선로에서 이상이 발생할 경우 사고 전류를 3번째 EFSI CT Type에서 감지함으로써 3번째 부하선로에서 이상이 발생하였음을 알 수 있다. 또한 분기회로에 연계된 다른 EFSI CT Type에서는 3번째 부하선로에서 발생한 사고를 감지하지 못한다. 따라서 부하 별로 분기된 회로에 EFSI CT Type을 시

설할 경우 전체 회로에서 부하단 별로 그 사고와 이상을 감지하며 보호할 수 있다.

그림 3의 경우 EFSI PT Type을 사용할 경우 분기회로에서 사고가 발생한 경우 이를 감지한다. 하지만 분기된 회로의 부하 중 어느 분기회로에서 아크나 스파크가 발생하였는지 정확한 발생 분기회로를 구분할 수 없다. 그 이유는 동일선로 상에서 병렬로 연계된 회로 양단의 전위(전압)는 동일하다는 이론 때문이다. 따라서 전압을 측정하는 EFSI PT Type은 아크나 스파크가 발생한 정확한 분기회로를 구분 할 수 없다.

그림 4는 그림 3의 확장된 형태로 전선로에 적용할 수 있는 방식이다. 그림 5는 분기된 선로 상에 연계된 각각의 부하를 감시하기 위한 형태로서 각 부하의 위치한 선로에 EFSI를 연계하여 부하를 감시하는 방법이다.

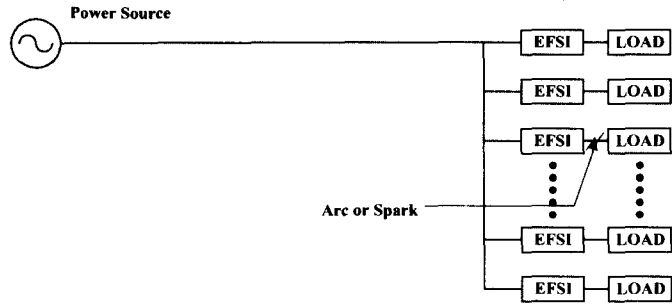


그림 3. EFSI 적용 예 : CASE II

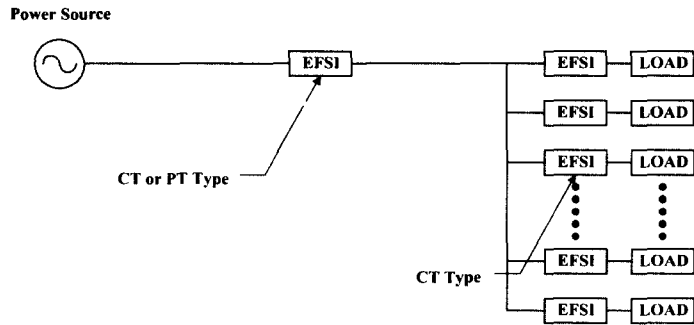


그림 4. EFSI 적용 예 : CASE III

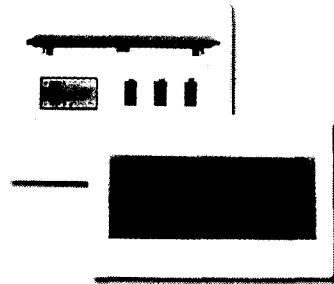


그림 5. 세대분전반

### 3. 세대분전반 적용사례

EFSI의 종류는 표 1에서 나타낸 것과 같이 PT와 CT Type의 제품으로 분류가 된다. 각 제품은 감시하고자 하는 대상과 선로 상황 그리고 설치 지점의 환경적 요인에 따라 그 적용 형태가 달라진다.

일반 주거형태에 적용되는 세대분전반(그림 5)을 예로 EFSI를 적용할 경우 EFSI PT, CT Type의 적용방법은 다음과 같이 적용할 수 있다.

세대분전반은 주로 그림 6과 같은 형태로 시설되어 있으며 내부의 회로는 아래의 그림 6과 같다.

세대분전반은 전원으로부터 ELB/CB 회로를 거쳐 각각의 CB로 분기되어 세대 부하로 나뉘어 전원을 공급한다. 일반적인 세대분전반은 분기된 CB의 개수 혹은 연계된 회로의 분기수에 따라서 7, 6, 5, 3의 분

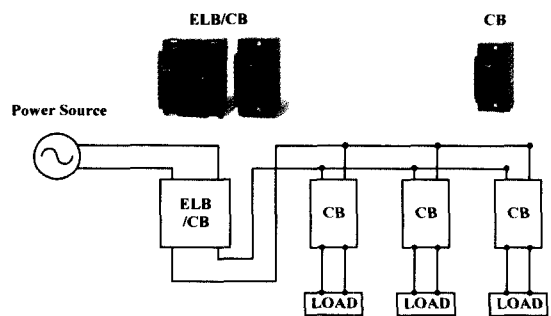


그림 6. 세대분전반 구성회로

Power Source

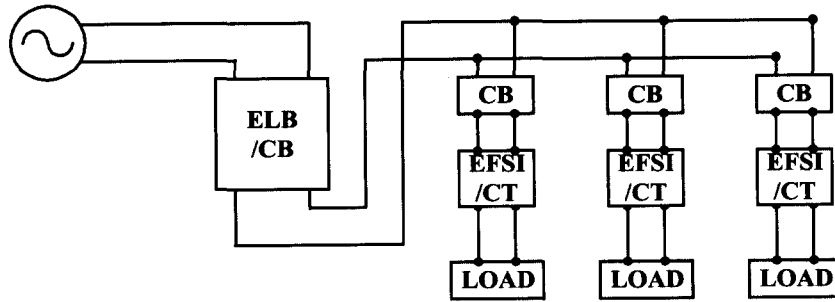


그림 7. 세대분전반과 EFSI CT Type 연계회로

기회로로 구분된다. 그림 6은 3회로 세대분전반을 나타낸 그림이다. 세대분전반에 사용되는 각 ELB/CB와 CB의 일반적인 사양은 표 2와 같다.

표 2. 배선용차단기 사양 및 구분

구분	ELB/CB	CB
정격전류 Ampere rating	15, 20, 30[A]	15, 20, 30[A]
극수 Poles(P)	2P	2P
상선수 Phase · wire · system	1φ2[W], 110/220[V]	1φ2[W], 110/220[V]
동작시간 Max operating time	0.03초 이하	-
감도전류 Rated current sensitivity	30[mA]	-
표준트립방식 Over current tripping device	열동식 (Thermal)	열동식 (Thermal)

세대분전반은 동일한 선로로 구성된다. 즉, 단상 2선식의 회로가 공급된다. 선로의 입력단에 ELB/CB가 연계되어 기본적인 전체 선로의 부하를 감시하며, 감시 범위는 일반적으로 전류 과전류 20[A](혹은 30A), 누전량 30[mA]를 감시한다. ELB/CB에서 분기된 선로는 분기회로에 따라 각각의 CB에 연결된다. 일반적으로 분기회로와 연계된 CB는 과전류 차단기능을 가지며 감시범위는 10[A] 혹은 15[A]이다. 따라서 기존의 설비들은 과전류와 전체 선로에서 분기된

회로의 총 누전량 30[mA]만을 감지한다. 따라서 기존의 전력부하 설비의 아크나 스파크를 감시하는 장치는 전문한 상황이다.

ESFI를 기존의 세대분전반과 연계하여 시설할 경우 전압을 감시하는 PT Type은 선로와 연계된 회로에 병렬로 연결하여 선로에서 발생하는 아크와 스파크를 감지한다. PT Type의 경우 선로와 병렬로 연결하여야 함으로 설치점이나 위치의 제약을 받지 않는다. 따라서 플러그형식의 EFSI PT Type을 선로에 접속하여 시설한다. 하지만 전류를 감시하는 CT Type의 경우 선로와 직렬로 연결되어야 함으로 권장하는 설치지점은 세대분전반의 분기 차단설비(CB ; Circuit Breaker 혹은 OCR ; Over Current Relay)의 후단에 시설하는 것이 바람직하다. EFSI를 세대분전반에 시설한 회로는 그림 7과 같다.

그림 7과 같이 연계될 경우 세대분전반의 분기회로별로 감시가 가능하며, 세대분전반의 CB가 보호하지 못하는 부분(Blind Region)과 현상을 EFSI가 감시 보호할 수 있으며, 사고 발생시 분기된 회로별로 사고 회로와 건전(무사고) 회로를 구분할 수 있다.

#### 4. EFSI 동작 테스트 및 시험방법

EFSI의 동작 테스트 및 시험방법은 EFSI의 종류별로 그 시험 방법이 다르다. EFSI의 동작 및 시험

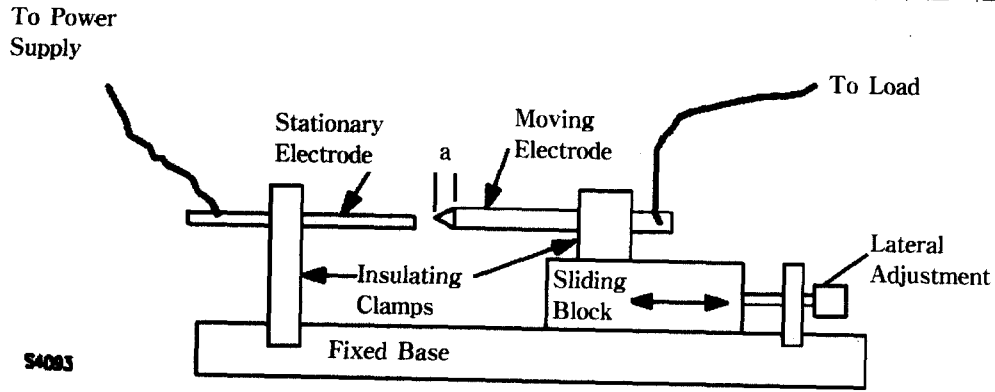


그림 8. 아크 발생 장치 - A Type

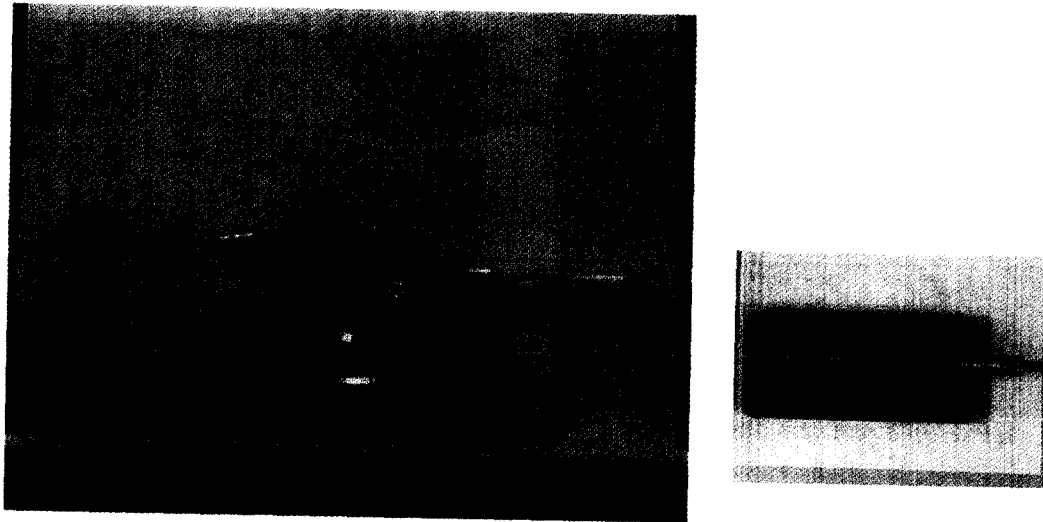


그림 9. 아크 발생 장치 실물 - A Type

방법은 UL1699의 아크 발생 방법과 새턴정보통신의 아크 스파크 발생으로 인한 두 종류의 방법 중 국내 (한국)의 전력 실정과 전기로 인한 화재의 징후정도 판별의 실험적 기준으로 이루어진다.

1) 장치 1. 아크 발생기 - A Type

그림 8은 UL 1699의 Fig 58.3의 Arc Generator을 참조한 아크 발생기이다. 실제 제작 모델은 그림 9와 같으며, 개요는 다음과 같다.

a) ARC GENERATOR는 정지전극(stationary electrode)과 이동전극(moving electrode)으로 구성된다.

b) 정지전극은 약 5[mm]정도의 탄소봉(carbon graphite)으로 구성되어 있고 이동전극은 구리로 되어 있다.

c) 두 전극을 붙여서 회로가 연결되게 한 다음에 조정나사를 돌려서 아크가 일어날 때까지 서로 천천히 떨어트려 아크를 발생시킨다.

d) 양전극은 탄소봉을 사용할 것을 권장한다. 하지만 탄소봉을 사용하지 못할 경우 탄소로 구성된 소재(재료 ; 탄소 흑연 심)의 사용도 허용한다.

e) 실험 시 아크로 인한 강한 빛과 열이 발생하기 때문에 반드시 보호장비를 착용하여야 한다.

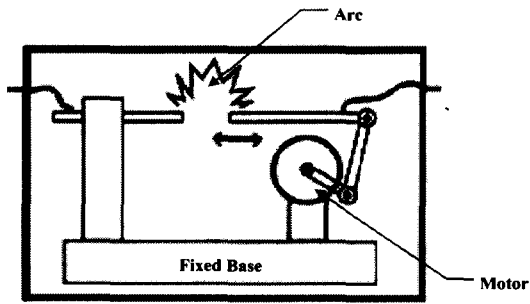


그림 10. 아크 발생 장치 - B Type

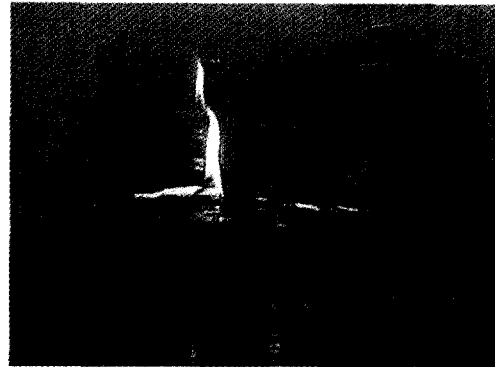


그림 11. 아크 발생 장치 실물 - B Type

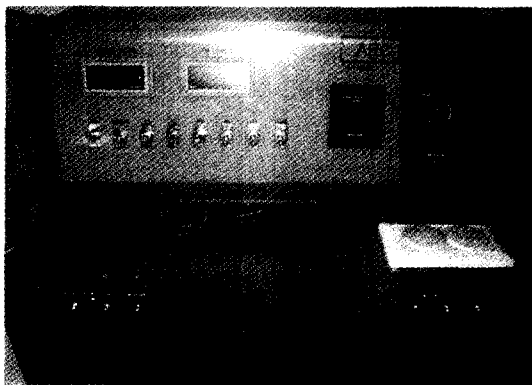


그림 12. 아크 발생 장치 실물 - C Type

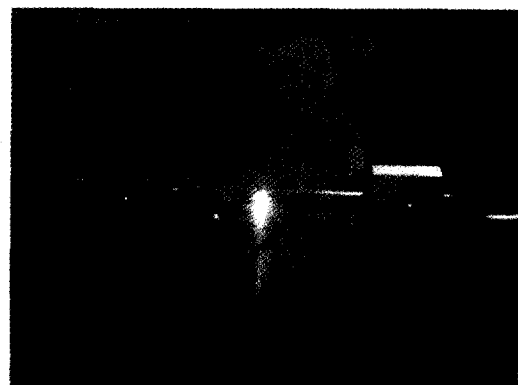


그림 13. 아크 발생 - C Type

f) AC 110[V] 환경에서 테스트하기 위해서는 정격이 220/120[V]인 다운(step-down) 변압기의 사용을 허용한다.

## 2) 장치 2. 아크 발생기 - B Type

그림 10과 11은 전동 모터의 등속도 운동을 이용한 아크 발생 장치이다. 그림 11은 실험 1의 아크 발생장치의 확장된 형태로서 일정 주기로 아크나 스파크를 발생시키기 위한 장치이다.

본 장치는 입력에 전원을 인가하고 출력에 부하단을 연결하여 모터 동작에 따라 일정한 주기로 부하의 On/Off 스위칭(switcing) 현상을 발생시키는 장치이다.

## 3) 장치 3. 아크 발생기 - C Type

그림 13은 '부하별 전류량을 조절하여 아크와 스파크를 발생시키는 장치이다. 또한 본 장치는 장치 2의 기능을 확장한 형태이다.

장치 3은 아크의 발생 주기를 가변 모터로 조절하여 사용자가 정의한 다양한 형태의 전류량과 주기로 아크를 발생 할 수 있다. 그림 13은 아크 발생을 재현한 상황을 나타낸다. 또한 장치 3은 확장된 분기회로를 제공함으로써 부하와 연계하여 부하 특성에 따른 아크 현상을 재현 할 수 있다.

## 4) 실험 1. 무부하 아크, 스파크 실험

실험 1은 무부하 아크, 스파크 실험으로 선로상에 아크 혹은 스파크를 발생하는 부하 외에 다른 별도

의 부하를 연결하지 않는다.

EFSI의 설치 지점은 PT와 CT Type에 따라 그 설치 위치가 구분된다. PT Type의 경우 아크, 스파크 발생 지점의 전후 즉, 그림 14에서 지점 (a)와 (b)에 위치 할 수 있다. 하지만 CT Type의 경우 아크, 스파크 발생 지점의 전단(up-stream)에 시설하여야 한다, 이유는 CT Type은 전류의 량을 감시하여 아크, 스파크의 유무를 진단하기 때문이다. 따라서 EFSI CT Type은 아크, 스파크의 발생지점의 전단인 지점(a)에 시설하여 실험한다.

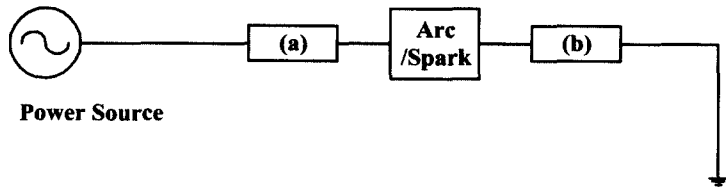


그림 14. 무부하 아크, 스파크 실험

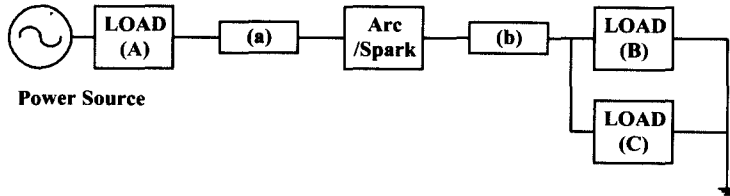
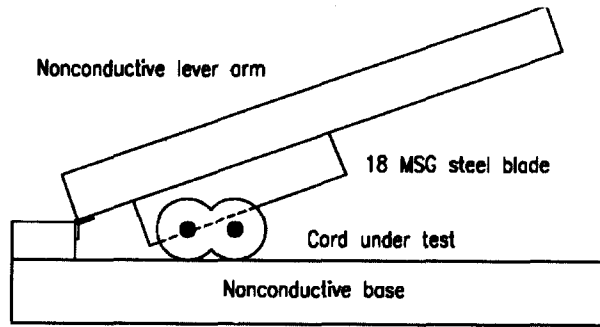


그림 15. 부하 아크, 스파크 실험

5) 실험 2. 부하 아크, 스파크 실험

실험 1의 확장 형태로서 선로상의 각 지점에 부하를 연결한 뒤 아크, 스파크를 발생시켜 부하의 동작 시에도 아크나 스파크의 발생을 EFSI가 감지하는지 여부를 판단하는 실험이다. 본 실험은 EFSI가 적용될 장소의 시설되어 있는 다양한 부하를 연계하여 실험하여야 한다. 실험 1과 동일하게 PT Type은 지점 (a)와 (b)에 설치하며, CT Type은 아크 발생지점의 전단인 지점 (a)에 설치하여 실험한다.



Angle of blade adjusted such that blade makes solid contact with conductor nearest the hinge, and point contact with the other conductor.

그림 16. 절단 실험(점 접촉 실험)

6) 실험 3. 선로구분 실험

본 실험은 선로상에서 사고가 발생한 선로 혹은 전기화재징후가 검출된 선로를 건전 선로와 구분하는지 여부를 판별하는 실험이다. 선로구분 실험에서 동일 선로상일 경우 EFSI PT Type은 제외된다.(1 page 참조)

본 실험에서는 부하에 전력을 공급하는 선로의 양측을 철제(도체)절단기를 이용하여 서서히 자르며 선로의 도체(전선)의 두 지점이 단락(short) 회로를 구성할 경우에 발생하는 아크, 스파크 현상의 EFSI 감지여부를 판단하는 실험이다.

7) 실험 4. 절단 실험(점 접촉 실험)

아래의 그림 16은 UL 1699의 Fig 56.4의 Point contact arc test apparatus를 참조한 실험 방법이다.

▶ 새턴정보통신의 EFSI 기본 모델은 아크와 스파크의 정도에 따라 강·중·약으로 구분하여 LED (적·녹·황)으로 구분하여 단계적 경보한다. 또한

강의 경우 별도의 부저(buzzer)와 외부통신(RS232, RS485, PLC(Power Line Communication) Modem, Relay Circuit 등) 모듈로 신호를 출력한다. 따라서 상기 실험시 EFSI의 LED 점등 또는 외부통신 상황을 확인하여 EFSI의 동작여부를 확인 할 수 있다.

▶ EFSI의 추가적인 기능(전력선 통신, 전화 연결 기능, RS232, RS485 등의 외부 통신)은 별도의 시험 방법을 참고한다.

◇ 著 者 紹 介 ◇

김 창 종(金昌鍾)



1957년 4월 8일생. 1980년 서울대학교 전기과 졸업. 1982년 동대학원 전기과 졸업. 1989년 미국 텍사스 A&M대 전기과 졸업(석사). 1982~1998 LG산전 연구소 연구원, 미국 텍사스 A&M 전기과 연구원 및 연구교수, 수원대 전기과 교수. 현재 미국 하워드 대학 전기과 교수.