

## 배전 실증시험장 시스템 현황 소개

(Introduction of the field-test evaluation system in KEPCO)

김동명\* · 최선규 · 장상옥 · 오재형

(Dong-Myung Kim\* · Sun-Kyu Choi · Sang-Ok Jang · Jae-Hyoung Oh)

### Abstract

This paper describes the testing facility to demonstrate the performance of the distribution class circuit breakers and switchgears and the testing methods.

The field-test evaluation system consists of two parts. One is the distribution system for simulation of the condition on interruption mode of switches which are installed in the system and tested by the AFG(Artificial Fault Generator) and the thunderbolt generator just like in the real field. The other is a laboratory for confirmation of the important characteristics regarding to the insulation, gas, environment durability of equipment. For the fatal failure mode, a FMEA(Failure Modes and Effects Analysis) technique which is a kind of a structural analysis to consider a counter-plan was employed.

## 1. 서 론

배전설비의 효율적인 운용을 위하여 설비의 성능 저하 및 고장 원인을 정확히 분석하고, 분석결과를 토대로 현재 운용중인 설비의 상태를 진단할 수 있는 진단기법의 개발이 필요하다.

따라서, 고객에게 고품질의 전력을 판매하기 위해서는 실계통의 선로와 같은 조건에서 실증시험을 통해 설비의 성능을 시험하고 분석하는 방법이 가장 이상적이라 하겠다. 그 이유는, 공인 시험기관의 개발시험을 합격한 기기의 경우에도 현장의 운용 과정에서 기기의 결함, 내구성 미흡, 운전 환경에 대한 미적응 등으로 예측 불가능한 오동작 또는 고장으로 선로사고를 유발 하는 경우가 있으므로 전력공급 신뢰도 향상을 위해서는 실제 선로와 동일한 환경조건 하에서 검증시험을 실시하여 유사사례의 재발 방지 수단 강구가 필요하다.[1]

한국전력공사는 아래의 목적으로 공인시험기관의 규격시험과는 차별되는 장기신뢰성 시험이 가능한 국내 유일한 배전급 실증 평가시스템을 구축하여 운영하고, 개폐장치와 배전기자재의 성능 진단 및 특성평가 결과를 배전기자재 제작업체에 제공함으로써 제품 품질향상에 도움을 주고자 한다.

- ① 기사용 배전기자재 경년 열화시험
- ② 신개발 배전기자재 성능확인
- ③ 사용 배전기자재의 제작업체별 성능비교
- ④ 신·구 규격에 의한 배전기자재 성능비교

## 2. 시험 항목 및 장비

개폐장치의 규격 시험은 절연성능 시험, 차단·개폐 특성 시험, 내 환경시험으로 나눌 수 있다. 개폐장치의 성능과 전기품질을 실증 평가하기 위해 위에서 언급한 3가지 규격시험을 할 수 있는 기본 시험설비를 갖추는 것이 실증 평가시스템 구축을 위한 필수 조건이다. 이와 동시에 기본 시험설비뿐만 아니라 장기간의 실계통 환경과 유사한 시험선로 구성과 특성 평가 분석 기술의 개발이 필요하다.

### 2.1 절연성능 시험장비

절연성능 시험은 상용주파전압과 충격전압 시험으로 분류된다. 상용주파전압 시험 장비는 전압 조정 장치, 전압인가 시의 안전장치인 단로기 및 차단기, 전압측정 시스템 등의 설비가 필요하다. 측정 장치로는 라디오 전파 장해 전압 측정 장치, EMC측정 장치를 필요로 한다. 각 시험장비의 규격은 다음과 같다.

#### 1) 상용주파 시험장비

- 출력전압 : 100 kV AC
- 출력전류 : 1 A max
- Duty cycle : 1 h ON / 1 h OFF, 8회/일

#### 2) EMC 시험장치

- ① Burst Generator (적용규격 : IEC 61000-4-4 )
  - 출력전압 : 200 V to 8 kV, step 10 V
  - Burst 주파수 : Up to 500 kHz 2% Accuracy
  - Pulse 형식 : 5 / 50 ns ( rising time / duration )
  - Burst repetition : 100 ms to 10 s 2% Accuracy

② Surge Simulator (적용규격 : IEC 61000-4-5 )

- Pulse form 0.5 s/100kHz
- Pulse form 75 ns/100 kHz; 75 ns/1 MHz

충격전압 장치는 충격전압 발생기 및 측정 장치를 필요로 한다.

- 1) 충격전압 시험장치
  - 정격전압 : 600 kV
  - Energy : 30 kJ
  - 뇌 충격전압 : up to 600 kV, 1.2/50 s
  - 개폐충격전압 : up to 500 kV, 250/2500 s
  - 시스템 구성
    - Impulse Generator with resistor sets
    - Charging Rectifier and Multiple chopping gap 600kV
    - Control Unit
    - Divider and measuring system

또한, 부분방전특성은 절연물에 대한 비파괴 특성 평가를 할 수 있는 우수한 방법이므로, 이에 대한 향후 자료 획득 및 분석 연구가 필요하다.

**2.2 차단·개폐 특성 시험장비**

차단 및 개폐 특성시험 중 단시간 전류시험 등은 고가의 단락발전기 및 단락변압기가 필요하기 때문에 공인 시험기관인 한국전기연구원의 시험설비를 이용, 개발시험을 통해 취득된 특성 평가 자료를 활용할 예정이다. 소전류 개폐 특성시험은 시험선로에 대상기기를 설치한 상태에서 기기의 성능을 평가할 필요가 있다. 소전류 특성 평가를 실시하기 위하여 실증 시험선로와 배전계통의 환경을 모의할 수 있는 등가적 부하를 설치 운영할 것이다. 소전류 특성시험을 위한 개폐 시험용 콘덴서와 등가적 부하의 규격은 다음과 같다.

- 1) 개폐 시험용 콘덴서
  - 콘덴서 공차 : +5, -5 %
  - 출력전압 : 35 kV DC, 25 kV AC
  - 설계수명 : 100,000 회
  - 손실 : ≤ 10 %
- 2) 부하 회로용 저항
  - ① 40 Ω ( 5 % )
    - Tap 위치 : 2 Ω 10 %
    - 통전전류 : 1000 A
    - 크기 : 1500(W)×1000(L)×1800(H)
  - ② 40 Ω ( 5 % )
    - Tap 위치 : 2 Ω 10 %
    - 통전전류 : 600 A
    - 크기 : 1000(W)×650(L)×1900(H)
  - ③ 80 Ω ( 5 % )
    - Tap 위치 : 4 Ω 10 %

- 통전전류 : 300 A
- 크기 : 1000(W)×650(L)×1900(H)
- ④ 1000 Ω ( 5 % )
  - Tap 위치 : 50 Ω 10 %
  - 통전전류 : 50 A
  - 크기 : 1500(W)×700(L)×1600(H)

**2.3 내 환경 시험장비**

내 환경시험은 배전계통에서 개폐장치가 운용될 수 있는 여러 조건의 환경을 모의하므로 저·고온시험을 위한 챔버, 주수 시험설비가 필요하다. 장기간 실증 시험에 사용되는 시료 및 실제 현장에서 운용중인 제품의 특성평가 측정 장치인 가스 누설 측정 장치, 가스 순도 측정 장치, 가스 중의 수분량 측정 장치, 개폐시간 측정 장치가 필요하다.

- 1) 저·고온 챔버
  - 온도범위 : -60 ℃ ~ 150 ℃
  - 온도증감 : 0.5 ℃/분 ~ 1.0 ℃/분
  - 크기 : 2500(W)×1500(L)×1500(H)

- 2) 주수 시험장치
  - 분사면적 : 3 m × 3 m 이상
  - 주수량 : 1 ~ 5.09 mm/min
  - 전도도 : 100 Ω · m

- 3) 개폐시간 측정장치
  - 채널 수 : 3 이상
  - 분해능 : 1 ms
  - 불확도 : 0.01 % of reading 1 ms
  - 모드 : 전압 및 접점 모드

2.1 ~ 2.3절에 설명된 시험장치와 측정장치를 설치하게 될 차단기 시험동은 안전을 위한 접지공사와 전원설비를 갖추고, 시험항목에 따라 시험장소를 구분하였다. 각각의 시험실의 구성은 그림 1과 같다.

고전압 시험장	EMC시험장	주수 시험장
control room 및 수전반	특성 평가실	저·고온 시험장

그림 1 차단기 시험동 구성도  
Fig. 1. Testing Sections

**2.4 실증 시험선로**

옥외의 실증 시험선로는 시험대상 기기를 설치하고, 장기간 운용을 통해 제품의 특성을 평가하기 위해 98본의 전주로 구성된 8km(4km, 2단선로)의 기존 선로를 사용하여 그림 2와 같이 회빈도 시험 및 장기 과전 시

험을 행하는 장소와 소전류 개폐시험을 하는 장소를 별도로 구성한다. 소전류 개폐시험은 현장에서 있을 수 있는 여러 가지 부하를 등가적으로 표현하는 등가부하를 병렬로 접속한 시험회로를 사용한다.

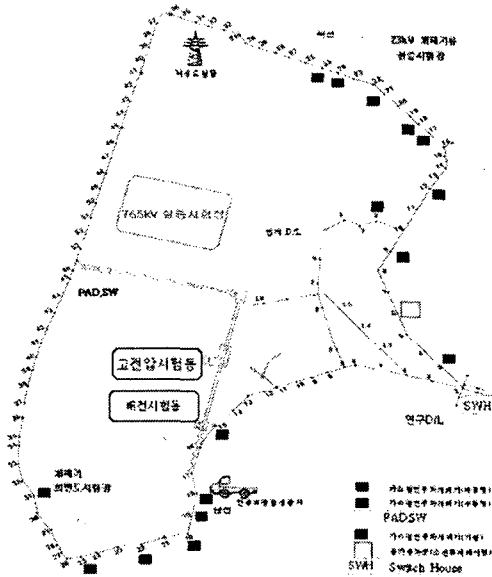


그림 2 옥외 실증시험 선로 구성  
Fig. 2. The outdoor test lines

### 2.5 기타 설비

시험선로는 실험실의 경우 전동용 및 특성 평가실의 계측기기용 전원은 독립된 절연 변압기를 사용하며, 고전압이 사용되는 전압인가용 전원은 별도로 하여 공급한다. 상용주파 시험설비 및 충격전압 시험용으로 고전압이 사용되는 전압인가용 전원은 안전을 위한 단로기, 전압조정기, 차단기가 구비되고 케이블을 통해 상용주파 전압이 시험용 변압기 입력단 및 충격전압 입력단에 전압이 인가된다. 충격전압의 입력단에서는 상용주파 전압파형을 직류전압으로 바꾸어 충전부를 충전하고, 시동 잭에 의하여 trigger시켜서 원하는 충격 파형과 전압을 만들어낸다. 접지 저항은 가능한 낮도록 구성하며, 시험시의 접지회로는 면적이 넓은 동판 등을 사용한다. 부분방전 및 EMC 시험용 전원은 noise filter 및 독립된 절연 변압기를 사용한 회로를 사용한다.

풍우시험의 내 환경시험장 및 저·고온 시험장의 전원은 안정된 전압을 공급하기 위하여 별도의 변압기를 설치한다.

## 3 실증 성능평가를 위한 시험방안

국내의 시험기관에서는 규격시험으로 정해진 항목에

대한 성능을 평가를 하고 있으며, 특수시험 항목은 제작자와 사용자간의 합의에 의해 행하도록 규격에 명기되어 있으므로 행하지 않고 있는 실정이다.[2]

또한, 배전급 개폐장치는 수량이 많고, 여러 가지 환경조건 하에 운용되는 특수한 상황으로 인해 운용되고 있는 설비 전체를 조사하고, 정량화하여 관리하는 것은 많은 비용과 노력을 투자해야하므로 현실적으로 불가능하다.

따라서, 표본 관리 및 sampling 조사 기법을 적용하여 설계동의 다양한 운용환경을 반영할 수 있는 시험방안의 모색이 필요하다. 본 장에서는 2장에서 소개한 시험설비를 활용하는 실증 시험방법에 대하여 논하였다.

### 3.1 고려사항

SF6가스절연 개폐기는 아래와 같은 특징이 있다.

- ① 가스절연 된 충전부가 접지 탱크 내에 있음
- ② 각 부분이 소형화
- ③ 3상 일괄형도 있음
- ④ 기기로 구성되는 복합 장치임

①의 항목에 있어서는 개폐기의 동상 주회로 단자간의 내전압 시험법 및 진상 소전류 개폐시의 대기 절연 성능이 문제로 된다. 따라서 실증 시험장에 있어서는 3상 시험을 원칙으로 한 전류 개폐시험을 하도록 선정하였다.

①, ②의 항목에 있어서는 외함인 탱크에 흐르는 전류에 의한 온도상승을 고려해야 한다. 이는 실험실에서 평가로 충분히 가능하다. 또한 ②의 항목에 있어서는 개폐기의 loop전류 및 유도전류 개폐시험을 고려해야 한다. ③의 항목에 있어서는 서로 다른 상의 주회로간 내전압 시험법을 고려해야 하며, ④의 항목에 있어서는 시험전압 인가회수의 증가 및 충격시험파형의 변화됨을 고려해야 한다. ③, ④의 항목은 실험실에서의 평가로 가능하다.

내환경 성능시험에 관해서 서술된 규격은 적은 편이나, 옥외에서의 사용상태를 고려하면 중요한 시험항목이기 때문에 실증 시험 항목으로 선정을 하였다. 특히 고창 실증시험장은 지역 특성상 오손지역에 해당하므로 자연폭로 환경을 제공한다.

### 3.2 실증시험장의 시험항목

SF6 가스 개폐장치는 충전부가 밀폐되어 있기 때문에 외부에서 고장발생의 우려가 있는 부분 및 그 징후를 예측하는 것이 쉽지않다. 이러한 이유로 개폐장치의 이상(고장)을 효율적, 경제적으로 감시하고, 진단하는 기술의 개발이 가장 중요하다. 진단 기술 개발을 위해서는 실제 운용현장과 유사한 환경에서 대상기기를 운

용하면서 기기의 상태를 측정하고, AFG(Artificial Fault Generator)나 낙뢰시험 설비를 이용하여 차단·투입 동작 과정에서 발생할 수 있는 기기의 동작특성 자료의 축적이 선행되어야 한다.

시험 기술은 현재 일반적으로 시행되는 규격시험이 아니라 자연적인 환경특성을 고려하여 평가할 수 있는 합리적인 시험 방법을 개발하고자 실증시험을 통해 기기의 잠재적인 고장 모드를 찾아내고, 기기의 운전중에 이와 같은 고장이 발생하였을 경우 임무 수행에 미치는 영향을 조사·평가한다. 영향이 큰 고장 모드에 대하여는 적절한 대책을 수립하는 구조적 기술분석 방법인 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis) 기법을 도입하였다.[3]

현장에서의 이상 현상은 각 중 요인이 복합적으로 작용하여 진전된다고 여겨지며, 열화 시 나타나는 배전설비의 대표적인 현상을 측정하여 조사 및 분석한다.

### 3.2.1 전류개폐 성능시험

개폐기류는 loop전류, 진상 소전류, 지상 소전류의 전류 개폐성능을 평가한다. 3상 일괄형 등에 있어서 상간의 과도회복전압 및 3상 상태에서의 개폐전류가 다른 상의 성능에 영향을 미칠 수 있으므로 3상 회로에서 시험을 행한다.

#### ① loop전류 개폐성능시험

복모선의 모선 절체 또는 2회선 선로의 선로 절체시의 loop전류 개폐능력을 검증한다.

#### ② 진상 소전류 개폐성능시험

무부하의 선로 및 콘덴서 등의 충전전류 개폐능력을 검증한다.

#### ③ 지상 소전류 개폐성능시험

무부하 변압기 여자전류 등의 지상전류 개폐능력을 검증한다.

### 3.2.2 내환경 성능 시험

우리나라에 있어서 배전급 개폐기류에 있어서의 환경으로 작용하는 요소는 고저온, 비, 오존, 빙설, 등이 있다. 빙설 특성 평가는 특수 환경으로 별도로 취급을 하고, 실증시험장에서는 고저온, 비, 오존에 대한 성능평가를 행한다.

#### ① 저·고온 성능 평가

개폐기류의 사용온도는 -20[°C] 에서 +40[°C]로 규정되어 있다. 고온 성능 평가에 있어서는 동작시간, 가스 압력, 가스 누설 특성을 평가하고, 저온에 있어서는 가스의 액화, gasket류의 특성, 윤활특성에 대하여 평가한다.

#### ② 주수 성능 평가

개폐기류의 전체 면에 인공강우를 주수하여 기기내의 어떠한 부분에 물이 보여지지 않는지를 검증하며, 물이 피는 부분이 존재하지 않는지(부식을 최소로 하기 위한)를 평가한다.

#### ③ 오존 평가 (폭로 성능 평가)

외부의 도장 및 도금부 등이 오존 등에 내성이 있는지를 검증한다.

### 3.2.3 특성 평가 설비

#### 가) 가스누설 측정

가스 개폐기의 가스 누출은 외함의 부식에 의한 가스 누설과 gasket의 열화에 의한 가스 누출로 생각할 수 있다.

##### ① 외함에 의한 가스 누설

가스 누설은 외함의 용접부 부근의 용력이 걸리는 곳에 염분, 수분 등이 축적되어 용력부식으로 미소 크랙이 발생하기 때문이다.

##### ② gasket(o-ring)에 의한 가스 누설

gasket은 오존 열화, 고저온 열화 등에 의해 물성이 변화를 일으켜, seal성능이 나빠져서 발생한다.

##### 나) 가스 순도 측정

SF6 가스의 순도를 측정하여 절연 및 소화성능상 문제가 없는지를 평가한다.

##### 다) 가스중 수분량 측정

SF6 가스중의 수분량을 측정하여 절연성능상 문제가 없는지를 평가한다.

##### 라) 부분방전 특성 평가

개폐기류의 장시간 사용 및 운전전압에 충분히 견딜 수 있는 가를 확인하며, 제품의 결함 유무를 평가한다.

##### 마) 개폐시간 측정

개폐기류의 주접점 및 보조접점의 개폐시간을 측정하여 초기치와 비교하여 판정한다.

##### 바) EMC 특성 평가

개폐기류의 2차 회로에 대한 EMC 특성을 평가하여 초기치와 비교하여 판정한다.

## 4 배전기자재 열화진단 기술개발을 위한 시험 설비

### 4.1 배전기자재(폴리머절연) 복합열화 장치

복합가속열화 시험장치는 폴리머절연 기자재(애자, 피뢰기, LP 등)가 사용되는 현장의 환경을 모의할 수 있도록 설계되었으며, 여기에 인가되는 환경요소는 자외선(UV), 온도, 습도, 고전압 인가, 염무, 강우 등이 있으며 태양광의 자외선을 모의할 수 있도록 설계되었다

[그림 3]. 또한, 기자재의 누설전류 측정방식은 복합열화 가속 시험 중 기자재의 열화상태 감시를 위하여 누설전류 측정시스템을 설치하였고, 특히 피뢰기는 애관을 통한 누설전류와 내부를 통한 누설전류를 구분하여 측정할 수 있도록 하였다. 내부 누설전류 중에 포함된 저항분 누설전류도 분석이 가능하도록 구성하였다.

챔버 내에서 열화 된 배전기자재 시료에 대해 시험기간동안 측정된 내부 누설전류 변화량을 분석하고, 하우징 표면의 트래킹이나 침식상태를 관찰하여 열화상태를 평가할 수 있으며, 또한 필요시 동작개시전압 및 미세구조 분석 등과 같은 화학분석 시험도 병행하였다

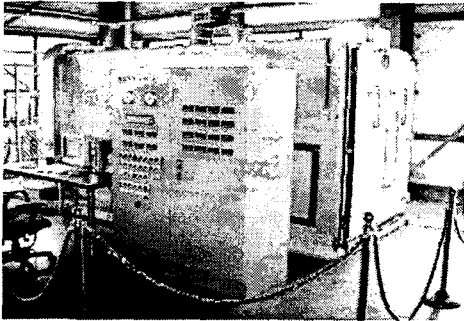


그림 3. 복합 열화 시험 장치  
Fig. 3. Multi-stress accelerated aging test chamber

#### 4.2 옥외 열화 시험장

폴리머절연 기자재의 열화과정을 관찰하기 위해 옥외 열화 시험장을 전북 고창 실증시험장에 건설하였다. 본 설비의 목적은 옥외 열화 테스트 결과와 복합가속열화 시험장치의 결과를 비교하기 위해서 설치하였다. 이 결과를 통해 옥외 조건보다 복합가속열화 챔버에서 어느 정도 가속되는지 결정할 것이다. 인가전압은 13.2[kV]이고, 기후 상태와 누설전류의 관찰을 통해 기상조건이 폴리머절연 기자재의 열화에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것이다.

1) 측정된 기후조건은 다음과 같다.

- 풍속과 풍향
- 상대 습도
- 기온
- 이슬점 온도
- 기압
- 강수량
- UV-B(280~315[nm])방사

2) 누설전류에 관한 측정요소들은 다음과 같다.

- 누설전류 피크
- 누설전류 펄스 수
- 평균누설전류
- RMS 누설전류

옥외 열화 시험장은 그림 4와 같다.

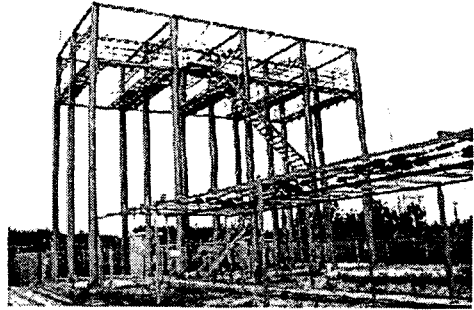


그림 4 옥외 열화 시험장  
Fig. 4. Outdoor aging test station

### 5 결 론

우리나라 유일한 배전급 실증시험장이 있는 전북 고창에 배전급 개폐기류의 성능을 실증 평가할 수 있는 기본 시험 시스템의 구축을 위하여, 현재 국제규격 및 국내규격 등에 따라 시험할 수 있는 항목, 즉, 시험설비가 구축된 한국전기연구원에서 수행할 수 있는 시험 항목과 중복을 피하고, 실증 시험장에서 직접 시험을 수행하는 시험방법은 자연적인 특성의 평가를 가장 합리적으로 나타내는 방법이므로 큰 의의를 가진다. 실증 시험장의 시험 시스템은 아래와 같이 구성하고자 한다.

- ① 고전압 시험설비
- ② 소전류 개폐시험(3상 시험) 설비
- ③ 내환경 시험 설비
- ④ 각종 특성평가 설비

실증 평가시스템을 적용한 개폐기류의 실증성능평가 기술 향상에 따라 제품의 성능향상은 물론, 전기의 안정적 공급에 크게 이바지하리라 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) KBPCO, KEPCO, Construction of Field-Test Evaluation system for 23kV switchgear, Technical Memo, 2003.
- (2) IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear Part 100 : High-voltage alternating-current circuit-breaker, 2001
- (3) SAE J-1739, Potential Failure Modes and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Modes and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly (Process FMEA) Reference Manual, 3rd ed., SAE (Society of Automotive Engineers), 2000.