

## 22.9kV 배전실증시험장

정영호

한국전력공사 전력연구원  
전력계통연구실 선임연구원

### 1. 머리말

배전분야의 기술은 현대사회의 고품질, 고신뢰성의 전력공급 요구에 따라 최신 배전계통의 구성 및 운용, 배전 자동화와 같은 배전 신기술의 정착, 고신뢰성 신기자재의 개발·활용 등의 분야에서 획기적인 발전이 요구되고 있다. 이러한 선진 배전기술의 정착을 위해서는 지금까지 수행해 온 이론적 방법을 중심으로 한 연구나 실험실 규모의 부분적 실험뿐만 아니라 실제 적용시험에 의해 검증된 연구결과를 획득하여 선진 신배전기술 개발기반을 조성할 필요가 있다. 이에 따라 배전실증시험장의 필요성이 오래 전부터 강조되어오던 차 한전 전력연구원에서는 연구과제의 일환으로 전북 고창군 상하면 소재 한전 고창 시험센터 부지 내에 22.9kV 배전실증시험장을 갖추게 되었다.

여기서는 배전실증시험장의 시설 내용을 개괄적으로 소개하고자 한다.

### 2. 배전실증시험장 기반시설 건설

배전시험동, 전력구, 옥외시험장 및 순시도로 등으로 구성되는 토건분야 기반시설 건설공사는 13개월의 공사 끝에 '99년 7월 완공되었다. 지하 1층, 지상 2층 약 250평 규모의 배전시험동을 건설하였고, 실증시험장 시험선로 순시 및 고창시험장 주도로로 사용하기 위한 도로를 건설하였으며, 각종 지중배전 실증시험을 위한 전력구 및 지중관로, 배전케이블 및 애자류 실증시험을 위한 옥외시험 Yard를 건설하였다.

실증시험장 외곽의 순시를 위한 폭 7m의 2차선 아스팔트도로를 건설하였으며, 이 순시도로는 시험선로인 지중배전선로와 가공배전선로를 따라 개설되어 있어 향후 다양한 시험설비, 장비, 계측기 등을 쉽게 이동 배치하여

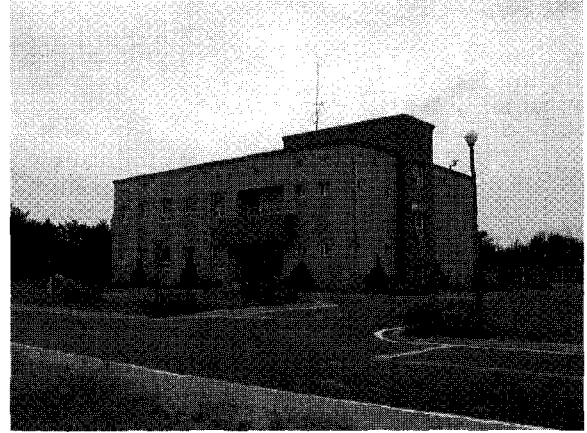
실증시험을 할 수 있도록 하였다. 배전시험동에는 배전자동화 시스템, 고전압 시험설비, 부분방전 측정설비 등의 시험설비를 설치하였으며, 각 실험실, 회의실 및 야간대기실에 소요되는 비품을 배치하여 시험장으로서의 기능을 갖추었다.

배전실증시험장의 수전설비는 각 실험실 공급용 변압기 600kVA×1대, 시험동내의 전열, 전등 공급용 변압기 150kVA×1대로 구성되어 있어 전체 수전용량은 750kVA이다. 구내선로의 구성은 고전압실 실험실, Shield Room, 자동화실험실, 옥외시험장 등 각 실험실에 공급되는 저압 구내선로를 별도의 선로로 구성하여 신뢰성이 확보되도록 하였으며, 전열 및 전등용 저압선로를 별도의 변압기에서 공급, 시험용전원과 분리하여 서로의 영향이 최소화되도록 구성하였다.

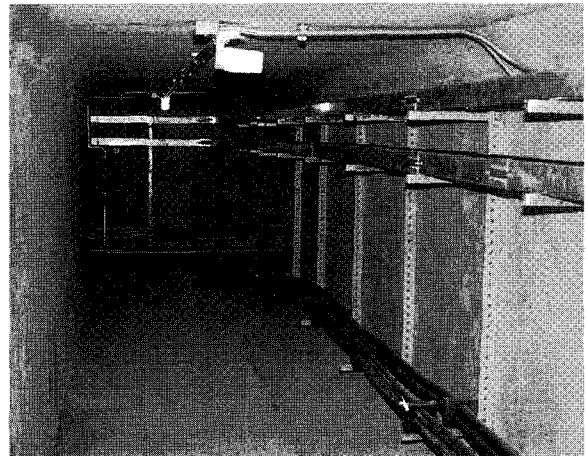
시험용 전력구는 다양한 실증시험과 실험장비의 설치 및 이동 등을 위하여 배전용으로는 각종 시험장비가 반입되어 사용되어야 하고 향후 가변성을 감안하여 폭 2.2m, 높이 2.1m, 길이는 배전시험동의 앞, 뒤의 공간과 케이블의 설치 및 시험공간 등을 종합 고려하여 총연장을 100m로 하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 배전시험동 전경과 건물내 전력구 사진이다.

### 3. 배전계통 실증 시험선로의 구성

배전실증시험장은 실제의 배전계통에서 발생하는 여러 가지 현상을 재현하여 실증적으로 규명하고, 앞으로 새로운 배전관련 기술과 기자재를 적용할 때 생길 수 있는 현상을 예측하기 위한 실험을 수행하는 곳이다. 따라서 배전 실증시험장은 가장 일반적인 배전계통을 정확히 모의할 수 있을 뿐만 아니라 실제계통에서 나타날 수 있는 여러 가지 실험환경을 조성할 수 있어야 한다. 이러한 목적에 부합하려면 시험용 전원과 선로는 전용의 변전소와 배전선로로 구성된 전형적인 배전시스템의 형태를 갖추



〈그림 1〉 배전시험동 전경



〈그림 2〉 전력구 사진

어, 각종 시험 수행시 인접한 상용 배전계통에 영향을 주거나 시험중 상용 배전계통으로부터 영향을 받지 않아야 한다.

또한 고장모의 실험시 발생할 수도 있는 충격으로 인하여 기존 상용선로에 영향을 미쳐 전압강하·정전 등이 발생할 우려가 있고, 이에 따른 지역주민의 민원발생과 보상요구 등 사회적 물의를 일으킬 우려가 있다. 따라서 민원발생을 사전에 방지하고 연구결과의 신뢰성을 높이기 위해 전용전원 확보방안을 강구하고자 영광원전 건설용

변전소에서 배전선로 1회선을 전용선로로 인출하여 고장 배전실증시험장 전용선로로 사용토록 하여 경제성과 활용효과를 제고하였다.

또한 이곳 변전소로부터 시험장 입구까지의 배전실증 시험장 전용배전선로(연구D/L)는 여러 가지 신개발 기재를 사용하여 시공함으로써 향후 필요시 이들을 시료로서 활용할 수 있도록 하였다. 애자류는 최근에 개발되거나 시사용단계에 있는 고분자 애자 등을 사용하였고, 일부구간에는 가공케이블(ABC)을 사용하여 시공함으로써 국내에서 제작한 가공케이블의 실증시험을 겸할 수 있게 하였다.

실증시험장 구내 배전시험선로는 가공선로와 지중선로의 혼합형태로 구성되어 있다. 시험장 외곽을 일주회하는 가공배전시험선로의 총 공장은 3.9km이며, 중하중용 16m CP에 수평 2단 장주로서 상단은 ALOC 160mm<sup>2</sup>, 하단은 ALOC 95mm<sup>2</sup> 전선을 사용하였다. 선종을 차별화하여 구성한 목적은 현장 적용 효과를 높이고 다양한 실증시험을 적용하기 위함이다. 시험장 52호와 86호에서 지중선로를 분기, 상호 연결하여 가공, 지중혼합선로를 구성하였다. 이는 대도시의 전형적인 선로형태를 축소한 것으로 배전자동화 시험시 현장조건에 맞는 선로구성으로 시험효과를 극대화하기 위함이다. 지중선로는 CNCV 325mm<sup>2</sup> 배전용케이블을 사용하였다.

우선, 영광 N/P 건설용 S/S에서 인출된 연구 D/L은 다음 계통도 및 그림 3에 나타난 바와 같이 고장 실증시험 센터 입구의 스위치하우스로 인입되고 여기서 집중정수회로와 2대의 다회로차단기를 경유하여 4개의 배전선로가 시험장 구내로 나가도록 하였다.

지중배전선로의 구성은 아스팔트도로 측면을 따라 구성하여 향후, 유지·보수가 용이하도록 하였다. 관로의 매설 깊이는 중량물이 통과하지 않는 장소이므로 0.6m로 시공하였다. 또한 관종은 대용량 전력공급용 케이블인 22.9kV CNCV 600mm<sup>2</sup>를 설치할 수 있도록 PE 파형관

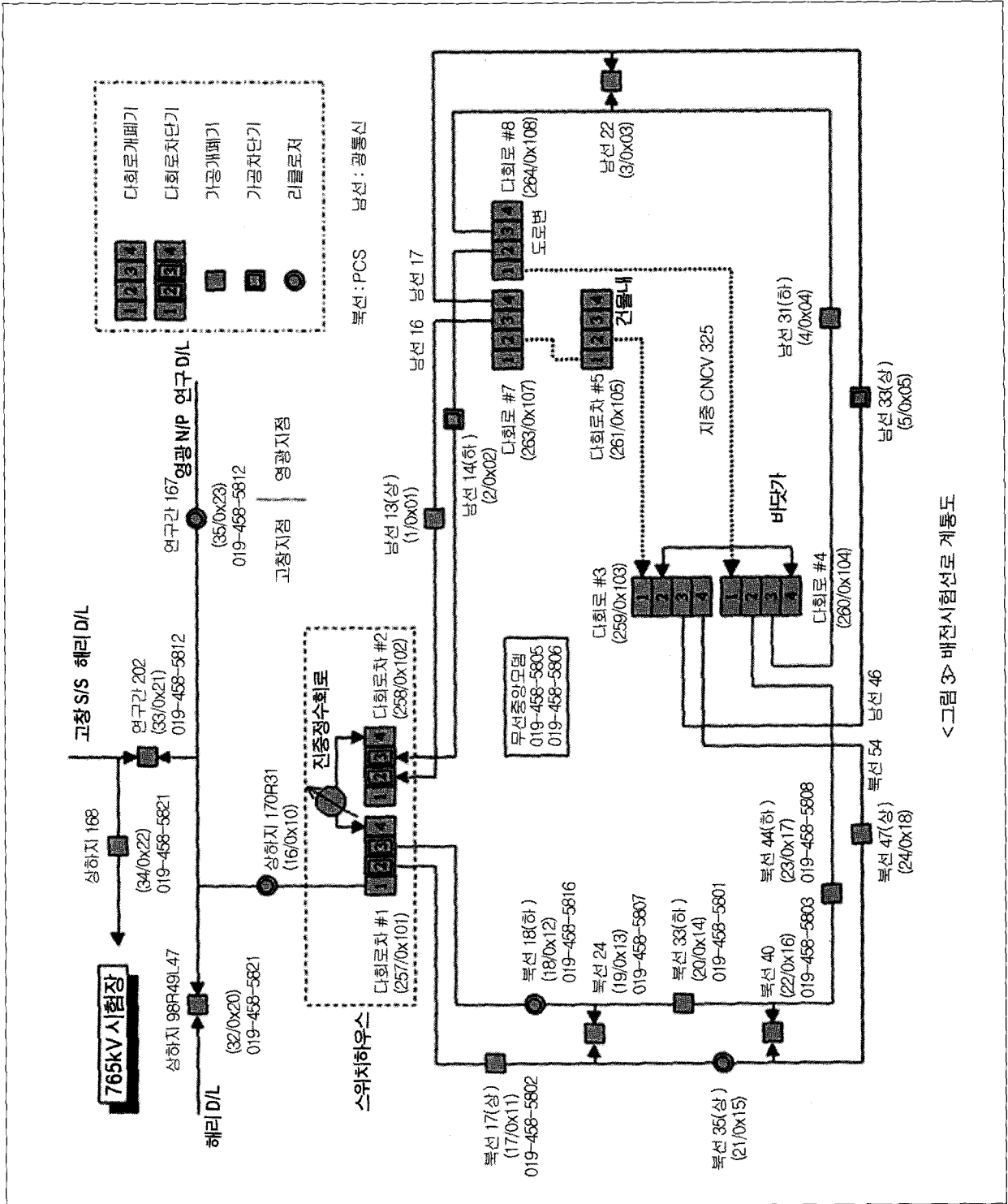
φ200mm를 사용하였으며, 광케이블을 설치할 수 있는 통신용 관로로 PE 파형관 φ100mm를 설치하였다. 전력구에서 맨홀 No.3까지의 구간은 파형관 φ200mm×9공을 포설하여 실 조건하에서 케이블의 허용전류 측정 등을 시행할 수 있도록 하였다. SW No.3, 4 및 SW No.7, 6은 SF<sub>6</sub> 가스절연 지상개폐기를 사용하여 시험선로인 가공선로와 지중선로를 구분하는 지점에 설치하여 자동화 시험용으로 이용토록 하였다.

#### 4. 집중정수회로의 개발 및 설치

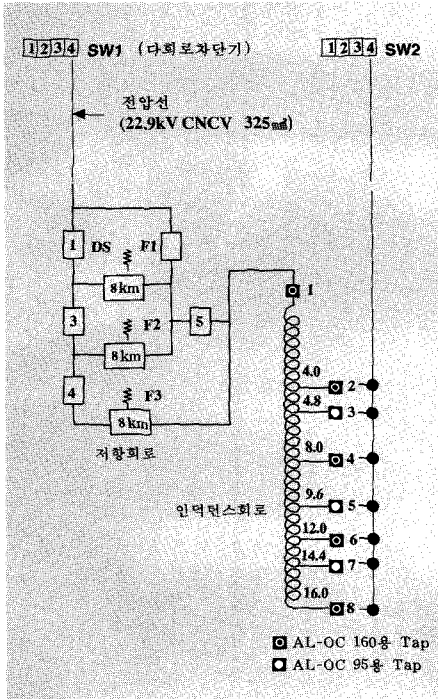
본 실증시험장의 경우 시험선로의 전선이 ACSR 160mm<sup>2</sup> 및 95mm<sup>2</sup>의 2종류이고 선로정수는 전선의 규격과 장주형태에 따라 다르기 때문에 집중정수회로도 여기에 맞추어 가변할 수 있도록 제작하였다.

본 집중정수회로는 저항회로와 인덕턴스회로로 구성되며, 전선규격 ACSR 160mm<sup>2</sup>, 완금 2,400mm를 수평장 주하였을 때 16km까지를 모으할 수 있도록 집중정수값을 설정하였고, 고장시험장 외곽을 1주회하여 건설하는 시험장내 시험선로 약 4km, 영광원전 건설용변전소에서 인출하는 전용배전선로 10km를 포함하여 모의 가능한 배전선로의 최대공장은 30km가 된다. 이 집중정수회로는 전선규격 ACSR 95mm<sup>2</sup> 선로에서도 공용할 수 있도록 제작하고, 이들은 4, 8, 12, 16km의 단계로 정수치 변화가 가능하도록 하였다. 이 집중정수회로는 영광원전에서 오는 전용배전선로와 시험장내 시험선로와 구분되는 지점인 시험선로 시작점에 설치하여 집중정수의 투입·개방에 따른 효과를 증대시키도록 배치하였다.

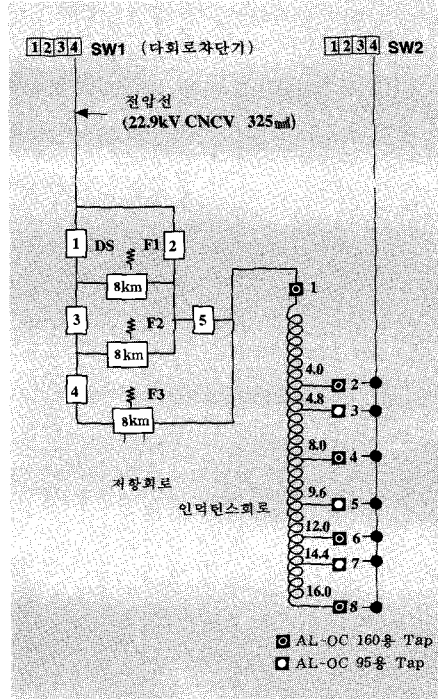
집중정수회로의 설치 위치는 배전시험선로 계통도에 나타난 것과 같이 전용배전선로와 시험장내 시험선로의 경계점인 지중개폐기 SW 1, 2 사이에 설치하여 집중정수의 투입, 개방이 용이하게 설계하였다. 그림 4, 5는 정상회로와 영상회로 종합결선도이다.



<그림 3> 배전시험실로 계통도



〈그림 4〉 집중정수회로 결선도(정상회로)



〈그림 5〉 집중정수회로 결선도(영상회로)

최초의 시험설비로서 전력 연구원의 구도설계를 바탕으로 제작되었다.

본 장치는 22.9kV-Y 배전선로에서 일어날 수 있는 단락 및 지락 등의 선로고장에 대한 현상을 규명하고 배전자동화 시스템의 보호협조 등의 실증 시험을 수행하기 위하여 임의조건외의 고장(고장위치, 고장종류, 고장전류, 고장위상 등)을 인위적으로 발생, 제거하며 시험중 고장현상의 측정, 기록이 가능하다. 시험대상 가공선로 또는 지중 배전선로와 AFG 내의 통전시험부를 연결할 수 있도록 선로 접속용 케이블을 갖추었

## 5. 배전선로 인공고장발생장치의 개발 및 활용방안

배전선로용 인공고장발생장치(AFG-Artificial Fault Generator)는 배전선로에서 발생하는 지락, 단락 등 여러 가지 고장현상을 규명하고 대책을 수립하는데 필수적인 장비로서 배전선로에서 임의조건외의 선로고장을 인위적으로 발생시킬 수 있는 장치이다. 이와 같은 장비는 일본 전력중앙연구소 등 선진외국의 전력회사 및 연구소에서 배전계통의 고장모의 뿐만 아니라 분산전원의 배전계통연계 연구 등 신배전방식 연구에도 사용되고 있으며, 우리의 경우도 여러 조건의 배전선로사고에 대한 현상규명, 보호협조시스템 동작시험, 배전자동화시스템 실증시험 등에 폭넓게 사용될 것이다. 본 장비는 국내는 물론 국외에서도 우리 계통에 적합한 것은 찾아볼 수 없는 국내

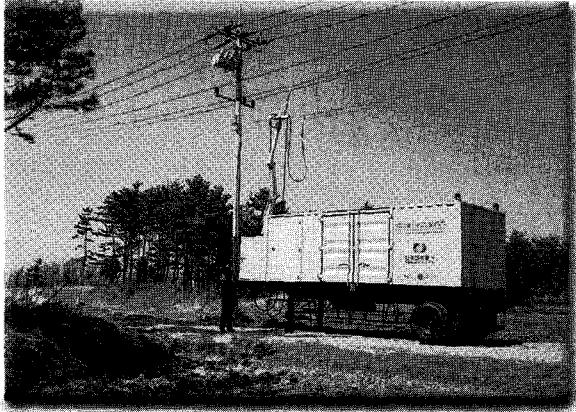
으며 이 접속케이블은 유압장치로 동작되는 지지대에 고정되도록 하였다. 또한 여러 장소로 이동사용이 가능하도록 트레일러에 탑재토록 하였다.

본 장치는 일종의 이동용 단락설비로 배전선로에서 일어나는 여러 가지 종류의 고장의 발생 및 제거는 물론 고장 파형의 획득과 측정 및 분석이 가능한 장비로서 고장시험장뿐 아니라 신설되는 배전선로 등에 대한 고장 실증시험과 이에 대한 분석이 가능하므로 지금까지 모의실험에 그쳤던 연구수준을 한층 높일 수 있을 것으로 기대된다.

그림 6은 제작이 완료되어 고장 배전실증시험장에 배치된 AFG이다.

### 가. 설비의 구성

본 장치의 Hardware는 고전압 설비부, 조작제어부, 데



〈그림 6〉 배전실증시험장에 배치된 인공고장발생장치

이터측정 및 분석장치, 감시운영 및 통신장치, 전원장치, 배전시험선로 연결용 케이블조작장치 등으로 구성된다.

고전압 설비부는 인입개폐기, 투입스위치(Make SW)와 백업차단기, 단로기, 피뢰기, 고장점 임피던스 조정기, 고장위상제어스위치, CT, PT 등으로 구성되며, 조작제어부는 조작제어 및 감시 패널로 구성되었다. 데이터측정 및 분석장치는 Fault Recorder, Shunt 및 측정분석 프로그램으로 구성되었으며, 또한 감시운영 및 통신장치는 Industrial PC, 감시운영 프로그램, GPIB Board 및 무선통신이 가능한 통신모듈로 구성되었다. 전원장치는 배터리 및 충전장치로 구성되었다.

#### 나. 기능 및 특징

고장의 발생 및 제거과정은 일반적으로, Back-up 차단기 투입→Making SW 투입→Back-up차단기 Trip→Making SW Open의 과정으로 이루어지며 이는 주로 시퀀스타이머에 의해 미리 입력된 프로그램에 따라 일련의 동작이 이루어진다. 또한 본 장치 내의 단로기를 조작(개폐)하여 발생시키고자 하는 고장을 임의로 선택할 수 있으며, 배전선로에서 발생할 수 있는 고장은 1선지락, 2선지락, 선간단락, 3상단락 등 4종류가 있으나 본 시스

템에서는 회로의 구성상 선간단락 회로와 기능이 동일한 2선지락 회로는 생략하였다.

지락고장이 발생한 지점의 임피던스가 다른 상황을 모의하여 실험이 가능하도록 건식 리액터에 의해 고장점의 임피던스를 10 Ohm에서 50 Ohm까지 다단계로 조절가능토록 하였으며, 배전선로의 지락고장전류를 억제할 필요가 있을 경우는 리액터의 임피던스를 100 Ohm까지 늘릴 수 있도록 하였다.

## 6. 시험선로 제어시스템 및 개폐장치

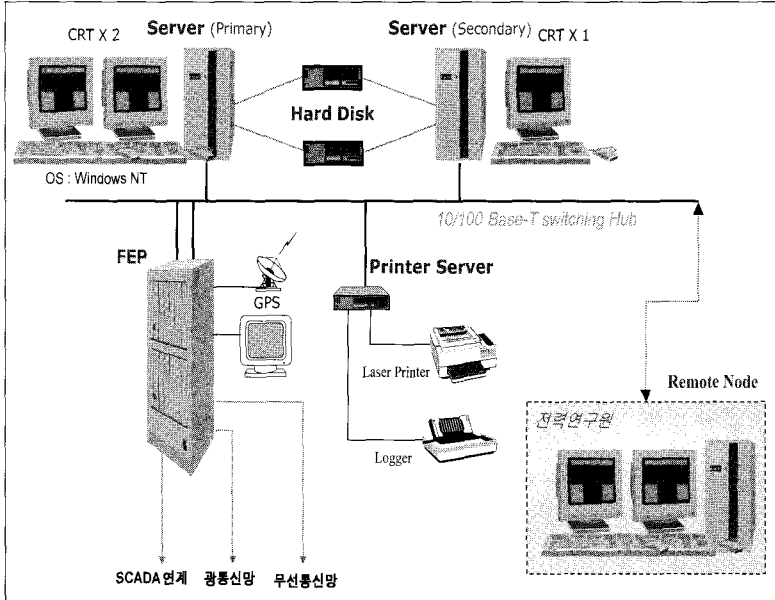
실증시험장의 시험선로에 설치되어 있는 개폐장치를 제어하는 시스템은 배전자동화 시스템이다. 이 시스템은 서버급 컴퓨터로 구성된 주장치와 정보를 주고받는 매체인 통신망, 단말장치(Remote Terminal Unit)를 제어함 내에 실장한 자동화개폐기로 구분된다.

제어시스템은 두 대의 컴퓨터가 평상시에는 분산된 기능을 수행하다가 한 대의 컴퓨터에 문제가 발생할 경우 나머지 한 대의 컴퓨터가 문제가 발생한 컴퓨터의 수행기능까지 처리할 수 있도록 Back-up시킬 수 있는 구조인 이중화 구성방식으로 설계하였다. 주장치는 응용프로그램이 탑재되어 돌아가는 마스터노드와 운용자의 명령이나 미리 지정된 스케줄에 따라 자동으로 현장기기의 상태를 감시하여 데이터를 수집하는 FEP노드로 나눌 수 있다.

그림 7에 주장치의 구성방안을 도시하였다.

## 7. 배전기자재 장기 열화 시험설비 구축

배전기자재의 품질 및 신뢰성은 기자재가 사용되는 실제 환경을 기준으로 설계되나 기자재가 사용되는 실제 환경에는 매우 다양한 열적·기계적·화학적·환경적 열화 요인들이 존재하며 이러한 환경에서 기자재의 품질과 신뢰성을 자체적으로 제고하는 방안의 일환으로 배전기자재



〈그림 7〉 주장치 구성도

장기 열화시험설비를 갖추고 실증시험을 통하여 기자재의 품질 제고방안을 강구할 필요성이 있다고 할 것이다.

### 가. 부분방전시험설비 및 전자파 차폐실

RIV 측정이 아닌 부분방전특성은 기본적으로 교체절연을 사용하는 기자재를 대상으로 하는 시험항목이다. 건식 변압기, 부상, 회전기 등 많은 기자재가 시험대상이 되나 그 가운데 가장 낮은 특성치를 갖도록 규정된 기자재가 전력케이블이다. 여기서 시설한 부분방전시험설비의 주요 규격은 다음과 같다.

- ① 최고시험전압 : 75kV
- ② 최저 측정 방전량 : 1pC
- ④ 측정시료 : 325mm<sup>2</sup> 100m CN-CV 케이블

또한 배전실증시험장에 시설된 전자파차폐실은 규격이 7.8m(L)×9.0m(W)×6.0m(H)의 것이다.

### 나. 옥외 과통전 열화시험설비의 규격 및 설치

전력케이블의 Load Cycle Test를 장기적으로 실시하

기 위한 옥외 과통전시험설비의 정격 및 기본 설비구성은 다음과 같다.

- 최대 시험용량 : 50kV, 3000A
- 최대 시험가능 시료 : 22.9kV XLPE Cable Cu 600mm<sup>2</sup> 1C 184m
- 기본 설비구성 :
  - 1) 50kV 100kVA 고전압 발생설비
  - 2) 3,000A 660kVA 대전류 발생설비
  - 3) 옥외용 전원반

### 다. 침수 과통전설비 및 수조의 규격 및 설치

침수 과통전시험설비는 XLPE 절연 전력케이블의 취약특성으로 지적되고 있는 Water Tree 현상에 대한 장기열화특성을 집중적으로 시험하기 위한 설비이다.

기본적인 시험전압 인가 및 시험전류에 의한 도체발열로 도체온도를 유지시키는 회로는 Load Cycle Tester로서 옥외 과통전시험설비와 같다. 다른 점은 시료 케이블을 온도조절이 가능한 수조 내에 설치한다는 점이다.

- 최대 시험용량 : 100/50kV, 2,000A
- 최대 시험가능 시료 : 22.9kV XLPE Cable Cu 325mm<sup>2</sup> 1C 90m
- 기본 시험회로 특징 : 과통전시험설비에 온도조절이 가능한 수조 추가
- 기본 설비구성

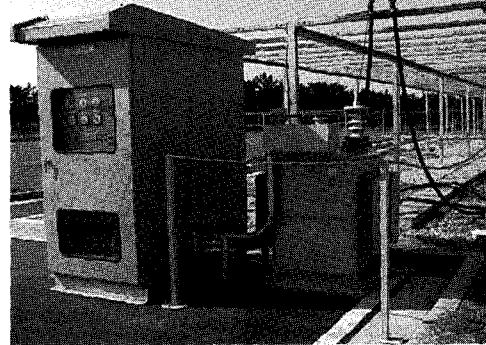
- 1) 100/50kV 100kVA 고전압 발생설비
- 2) 2000A 120kVA 대전류 발생설비

### 라. 옥외 과전설비의 정격 및 설치

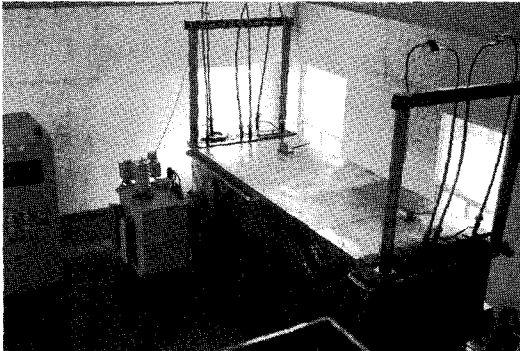
과전열화설비는 고분자 현수애자, 지지애자, 전력케이블 단말용 애관 등 신개발 애자와 내열해특성을 강화시킨



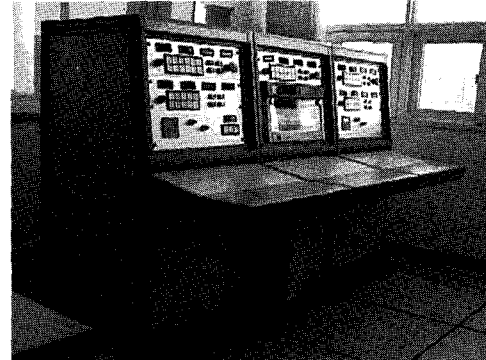
〈그림 8〉 옥외 과동전열화시험설비 부하용 변류기 및 고전압변압기



〈그림 10〉 옥외 과전열화시험설비 Local Control Panel 및 고전압변압기



〈그림 9〉 옥내 침수과동전열화시험설비 수조 및 고전압변압기



〈그림 11〉 원격제어반

내염애자 등 품질개선 제품들에 대한 장기열화특성시험 또는 실증시험을 실시하기 위한 설비이다. 애자류의 전압 과전을 위한 옥외 과전시험설비의 기본 설비구성은 다음과 같다.

- 최대 시험용량 : 50kV, 2A
  - 기본 설비구성 : 50kV 100kVA 고전압 발생설비
- 본 배전실증시험장에 시설한 열화시험설비의 실물 사진을 다음의 그림 8~11에 나타낸다.

## 8. 맺음말

국내 최초의 “22.9kV 배전실증시험장 건설” 과제를 진행하는 동안 선진외국에서 갖춘 여러 가지 시험설비를

갖춰달라는 의견이 있어 과제 여건 내에서 가급적 수용토록 노력하였으나 선진외국 수준의 모든 시험설비를 일시에 갖추 수는 없었다. 그것은 과제기간·예산과 같은 과제환경의 제한뿐만 아니라 시험설비 구축의 경제성과 활용측면에서의 효용성의 문제를 충분히 고려해야 하기 때문이다. 따라서 우선 우리의 배전실증시험장을 선진외국의 그것과 동등 이상의 것으로 향후 확대·발전시켜 가기 위한 토대를 갖추 수 있도록 기본설비를 갖추었다.

한전 뿐만 아니라 학계, 관련연구소 및 제조업체에서 배전실증시험장에 대한 관심을 가지고 실증시험장을 적극 활용할 때 배전신기술 개발, 배전기자재 성능 향상, 전력계통 신뢰도 향상으로 선진 신배전기술 개발기반이 확보되어 국제경쟁력 제고에 기여할 것으로 생각된다. ■