

## 대전력 시험 시스템 구축에 관한 연구

**정흥수, 박정수, 성기욱, 손화영, 원호성, 채재석**  
한국전기연구원

### A Study on the Construction of High Power Testing System

Heung-Soo Jung, Joung-Soo Park, Ki-Wook Sung, Hwa-Young Shon, Ho-Sung Won, Jae-Seok Chae  
K E R I

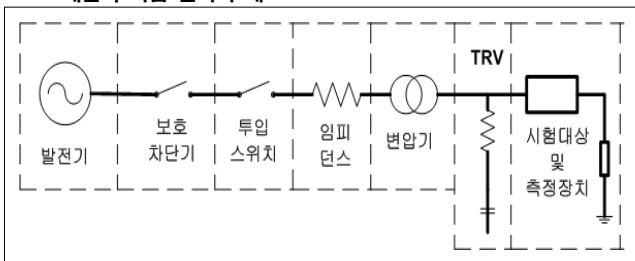
**Abstract** - 대전력 시험 시스템은 전력 계통의 지락 사고 및 단락 사고시 발생하는 사고 전류가 각종 전기 기기에 인가되었을 때 그 기기의 성능을 시험하는 설비로서 발전기, 보호 스위치, 투입 스위치, 임피던스, 변압기, 측정 시스템 및 보호 시스템 등으로 구성되어 있다. 이러한 설비는 계통의 상용 전원을 이용하는 방법과 발전기와 같은 별도의 전원 발생 장치를 이용하는 방법이 있다. 상용 전원을 이용한 방법은 저전압 소전류의 설비에 적용하고, 발전기를 이용한 방법은 배전급 기기를 포함한 고전압 대전류의 설비에 적용하며, 보통 대전력 시험 설비라고 하면 발전기를 이용한 시험 설비를 말한다. 본 논문에서는 국내에서 배전급 기기에 대하여 단락 발전기를 이용한 대전력 시험 시스템 국산화 추진시 발전기, 보호 차단기 및 투입 스위치의 요건과 용량을 산정하는 방법을 살펴본다.

#### 1. 서 론

지금까지 국내에서 단락 발전기를 이용한 대전력 시험 설비는 완전히 국내 기술로 갖추지 못하고, 많은 부분을 해외에서 수입하므로 유지보수의 고비용화 등 여러 가지 문제점을 발생시키고 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 일부 부품의 국산화, 설비 운영과 측정 및 보호시스템 관련 프로그램의 분석 및 개발 등 시험 설비 및 운영 기술의 국산화를 추진하여 많은 성과를 거두고 있다. 향후 이러한 성과를 바탕으로 국내에서 배전급 기기에 대한 대전력 시험 시스템의 국산화 추진시 핵심 설비인 발전기, 보호 차단기 및 투입 스위치의 요건과 용량을 살펴보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 대전력 시험 설비의 개요



〈그림 1〉 대전력 시험 설비 개요도

대전력 시험 설비는 그림 (1)과 같이 구성할 수 있는데, 그 기능에 따라 발전기, 보호 차단기 및 투입 스위치, 임피던스, 변압기, 측정 시스템 및 보호 시스템 등으로 구분한다.

- ① 발전기 : 시험에 필요한 전원을 발생시키는 발전기, 발전기를 회전시켜 시험 주파수를 조정하는 구동 모터, 모터를 구동시키기 위한 구동 시스템, 발전기의 출력 전압을 제어하는 여자 시스템, 발전기 및 모터에서 발생하는 열을 냉각시키는 냉각 시스템 등으로 구성
- ② 보호 차단기 및 투입 스위치 : 시험 종료 또는 시험 중 이상상태가 발생하였을 경우 시험 회로를 발전기로부터 분리하기 위한 보호 차단기, 사고를 모의하기 위하여 전류 투입 시점의 위상각을 제어하는 투입 스위치 등으로 구성
- ③ 임피던스 : 전력 계통의 임피던스를 모의하여 단락 전류의 크기 및 회로의 역률을 조정하기 위한 전류 제한 임피던스, 부하를 모의하기 위한 부하 설비, 기기의 극간에 전류 차단 후 인가되는 과도 회복 전압의 크기 및 주파수를 조정하기 위한 TRV용 설비 등으로 구성
- ④ 변압기 : 발전기의 출력전압을 고전압으로 변환시키는 고압 변

압기, 저전압 대전류로 변환시키는 저압 변압기 등으로 구성

⑤ 측정 시스템 및 보호 시스템 : 시험 회로의 전압 측정 장치, 전류 측정장치, 측정된 데이터를 분석하는 DAS시스템, 기기의 순차적인 동작 명령을 설정하는 시퀀스 타이머, 측정된 데이터를 분석하여 시험 설비를 보호하는 보호 시스템 등으로 구성

##### 2.2 시험 용량 산정

대전력 시험 설비의 국산화 추진시 이 시험 설비의 시험 용량을 얼마로 정하느냐가 가장 중요하다. 시험 용량에 따라 각 기기의 배치, 특성, 운영 방법 등이 달라지기 때문이다. 본 논문은 국내 배전급 기기에 대하여 직접 시험법으로 시험하는 설비의 국산화 추진 방안이므로 이에 따른 시험 용량을 산정한다.

국내 배전 계통의 정격 전압은 7.2 kV와 25.8 kV가 있으며, 가장 큰 시험 용량은 차단기의 단락 용량으로 결정된다. 한전 표준규격에 따르면 국내에서 정격 전압이 7.2 kV 인 배전급 차단기의 단락 전류는 12.5 kA, 25 kA, 31.5 kA, 40 kA로 규정하고, 정격 전압이 25.8 kV 인 배전급 차단기의 단락 전류는 25 kA이며, 차단 시간은 5 사이클로 규정되어 있다. 따라서 국내에서 생산되는 배전급 전기 기기의 단락 시험을 실시하기 위해서는 위 차단기의 최대 단락 용량을 시험할 수 있어야 하며, 이 경우 최대 단락 용량을  $P$ 라 한다면,  $P$ 는 다음과 같다.

$$P = \sqrt{3} \times 25.8(kV) \times 25(kA) = 1117(MVA) \quad (1)$$

따라서 국내 배전급 기기에 대한 모든 종류의 대전력 시험을 실시하기 위해서 시험 용량은 정격 전압 25.8 kV에서 25 kA의 단락 전류를 공급할 수 있는 1 200 MVA로 하며, 이 용량을 지속적으로 5 사이클을 공급할 수 있도록 한다.

##### 2.3 발전기

###### 2.3.1 발전기 특성

대전력 시험 설비용 발전기는 현재 전원 계통에 설치되어 사용하는 3상 교류용 기기를 시험하는 경우 동기 발전기를 사용한다. 이 발전기의 기계적 안정도와 전기적 안정도를 살펴보면, 기계적 안정도는 발전기 속도 변동률과 관련이 있고, 발전기의 출력전압에 대한 주파수와 관계가 있다. 보통 발전기의 주 동력원은 엔진, 모터, 터빈 등을 사용하는데, 이 동력원의 속도를 조절하는 장치의 안정도이다. 전기적 안정도는 발전기 출력 전압에 대한 안정도를 말하며 발전기 출력 전압의 변동률과 관계가 있다. 발전기는 시험 중 단락부하와 같이 매우 큰 부하가 걸리므로 출력 전압은 자동 전압 조절기로 조절되어 일정한 전압을 유지할 수 있도록 한다.

이 발전기는 독립된 전원을 사용하는 직접 시험법을 적용하는 대전력 시험 설비의 핵심 설비이다. 대전력 시험 설비의 정상 상태는 계통의 사고 상태를 모의하는 것이므로, 계통의 사고시 발생하는 예측 불가능한 요소들을 포함한 전기적 및 기계적 스트레스에 견딜 수 있도록 특수하게 제작하고, 시험 중 일정한 출력 전압과 전류를 유지할 수 있으며, 시험 완료 후 다음 시험을 시작할 수 있도록 시험 전의 정상 상태로 신속히 복귀해야 한다. 또한 발전기는 시험 시간 동안 주파수의 변동이 시험 규격에서 정해진 범위 이내에서 운전되어야 하므로 주파수 변동이 작아야 하는데, 주파수 변동을 작게 하는 기계적인 방법으로 관성 모우멘트를 크게 하는 방법이 있다. 즉 돌고자 하는 기계적 관성력이 크게 되면 부하 변동을 관성력이 흡수를 해주기 때문에 안정도가 높아진다.

###### 2.3.2 발전기 정격

대전력 시험 설비용 발전기의 정격은 용량(MVA), 전압(kV), 상수, 극수, 주파수(Hz)로 정의된다. 시험 설비의 특성상 연속 용량은 고려하지 않고 단락 용량으로 정한다.

직접 시험법에 의해 발전기를 이용하여 시험 회로를 구성할 때,

발전기의 출력을 직접 이용하여 시험하는 회로, 고압 변압기를 이용하여 시험하는 회로, 저압 변압기를 이용하여 시험하는 회로 등으로 구성시킬 수 있는데, 고압 및 저압 변압기를 이용하는 시험회로는 변압기의 용량으로 시험용량이 감소되는데, 이는 변압기 자체의 임피던스로 인하여 시험 용량이 감소하기 때문이다. 따라서 시험 용량은 발전기의 출력을 직접 이용하는 경우의 시험 용량으로 규정하게 되는데 이는 발전기의 출력 전압을 직접 이용하는 경우가 시스템의 고유 임피던스가 가장 적어 시험 용량이 크기 때문이다. 따라서 발전기 용량은 시험 용량과 동일하게 선정한다. 그리고 이 용량은 연속 정격으로 필요하지 않으며 최대 단락시간만 공급한다.

3상 기기를 시험하므로 등가성 있는 시험을 위하여 3상 발전기를 선정하며, 극수 및 주파수는 최대 60 Hz까지 시험할 수 있도록 소음 등 주위 환경을 고려한다. 이러한 여러 가지 특성을 고려하여 대전력 시험용 발전기는 다음과 같이 선정한다.

- ① 용량 (60Hz) : 3상 1 200 MVA at 5 cycle
  - ② 주파수 : 50 / 60 Hz
  - ③ 극수 및 회전수 : 4 Pole 1 500 / 1 800 rpm
  - ④ 결선 : Star 또는 Delta 결선이 가능할 것
  - ⑤ 출력전압 (Y/Δ) : 20.8 kV / 12 kV
- 시험 회로 및 고압 및 저압 변압기의 정격 등을 고려하여 12 kV-Δ로 선정

## 2.4 보호 차단기

선로에 사고가 발생하였을 때, 그 사고 전류를 선로에서 분리하여 사고 확대를 방지하고 각종 기기를 보호하는 차단기는 차단 방식에 따라 공기 차단기, 자기 차단기, 가스 차단기 및 진공 차단기 등이 있다.

이러한 여러 가지 차단기 중 대전력 시험시 시험의 종료, 실패 또는 안전상의 필요한 경우 발전기의 출력을 시험 회로로 부터 신속히 분리하기 위한 차단기로서 대전력을 이상없이 차단하여 발전기 및 시험 설비를 보호하여야 하는 보호 차단기는 저전압 소전류에서 고전압 대전류까지 모든 시험 범위의 대전력에 대한 확실한 차단 성능을 갖는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 주 보호 차단기로서는 가장 확실한 차단 성능을 가지고 있는 가스 차단기를 사용하며, 발전기 출력을 시험 회로에서 분리하여야 하므로 발전기 출력측에 설치하는데 발전기의 Δ 또는 Y 절체스위치 후단에 설치한다. 보조 보호 차단기는 시험 대상 기기의 전단에 설치하여 시험 대상 기기의 시험 실패 등에 대해 시험 설비를 보호하며 진공 차단기를 사용한다. 보호 차단기를 2가지로 사용하는 이유는 가스 차단기는 차단 성능이 가장 확실하지만 진공차단기에 비하여 접점의 소모가 많고, 유지보수시 경제적 비용이 많이 소요되므로, 시험 예상 전류를 분석하여 비교적 저전압 소전류의 단락 전류 시험은 유지 보수비용이 경제적인 진공 차단기를 보호 차단기로 이용하며, 고전압 대전류의 단락 전류 시험과 진상 및 지상소전류 차단 전류 시험은 차단 성능이 우수한 가스 차단기를 보호 차단기로 이용한다.

주 보호 차단기의 용량은 발전기 출력 전압 및 시험 용량에 따라야 하는데, 시험 회로에 변압기가 포함된 경우에는 변압비를 고려하여 보호 차단기의 정격을 결정한다. 주요 정격 사항으로는 상수, 정격 전압(kV), 정격 차단 전류(kA), 정격 동작 책무, 내전압(kV), 차단 시간(ms), 제어 전압(V) 등이 있다. 일반적인 차단기와 비교하였을 때, 보호 차단기의 사용 목적상 정격 전류(A), 정격 투입 전류(kA), 투입 시간(ms) 등은 특별히 고려하지 않는다(이러한 특성은 투입 스위치에서는 중요하다). 이러한 여러 가지 특성을 고려하여 주 보호 차단기는 다음과 같이 선정한다.

- ① 상수 및 정격전압 : 3상 24 kV (가스차단기)
- ② 정격차단전류 : 32.5 kA  
고압 변압기 전단에 설치하므로 변압비를 고려
- ③ 정격동작책무 : O - 0.3 s - CO - 15 s - CO
- ④ 차단시간 : 5 cycle 이내
- ⑤ 내전압 : 50 kV 1 min
- ⑥ 제어전압 : 125 Vd.c

보조 보호 차단기는 다음과 같이 선정한다.

- ① 상수 및 정격전압 : 3상 25.8 kV (진공차단기)  
시험 대상 기기의 전단에 설치하므로 25.8 kV급으로 선정
- ② 정격차단전류 : 25 kA

## 2.5 투입 스위치(Making switch)

발전기의 출력을 시험 회로에 인가하여 시험을 시작하는 스위치로서 실제 계통의 모의 및 정확한 시험을 위하여, 규격에서 요구되는 초기 파고치 전류를 제어하기 위한 투입 시점의 정밀 제어가 가능하여야 하며, 이러한 제어를 통해 시험 전류의 투입 시점을 조정하여 요구되는 파고치 전류(IEC 규정) 또는 비대칭 전류를 발생시킬 수 있어야 한다. 즉 시험 시작시 전원측(발전기)과 시험 회로를 접속시

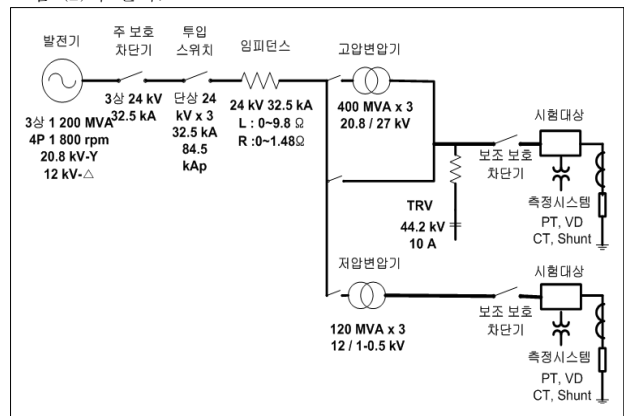
켜 주는 스위치로서 전류 투입 시점의 위상각을 조정함으로써 투입 초기 과도 현상에 의해서 발생하는 직류분을 제어하는 것이 중요하므로 동작 시간의 허용오차가 아주 적어야 하며 외부 제어명령에 의한 정밀 제어가 가능하여야 한다. 파고치 전류는 각 상에서 발생하나 최대 파고치 전류는 3상 중 한상에서만 발생하게 되는데 대전력 시험 관련규격 의해서 규정된 상(Phase)에 인가하기 위해서는 3상 일괄 동작형 스위치로 구성하는 것보다 단상 기기 3대로 구성하여 개별적인 제어가 가능하도록 한다.

투입 스위치의 용량은 발전기 출력 전압 및 시험 전류에 따르며, 시험 회로에 변압기가 포함된 경우에는 변압비를 고려한다. 주요 정격사항으로는 상수, 정격 전압(kV), 정격 투입 전류(kA), 정격 파고치 전류(kAp), 내전압(kV), 투입 시간(ms), 제어 전압(V) 등이 있다. 일반적인 차단기와 비교하였을 때, 투입 스위치의 사용 목적상 정격 전류(A), 정격 차단 전류(kA), 차단 시간(ms) 등은 특별히 고려하지 않는다(이러한 특성은 보호 차단기에서는 중요하다). 이러한 여러 가지 특성을 고려하여 투입 스위치는 다음과 같이 선정한다.

- ① 상수 및 정격전압 : 단상 24 kV
- ② 투입전류 및 파고치전류 : 32.5 kA 5 cycle 84.5 kAp  
고압 변압기 전단에 설치하므로 변압비를 고려  
최대 파고치전류는 규격에서 규정된 2.6배(60 Hz)
- ③ 투입시간 : 15 ms ± 0.2 ms
- ④ 내전압 : 50 kV 1 min
- ⑤ 제어전압 : 125 Vd.c

## 2.6 대전력 시험 설비별 용량

차단기에 대한 3상 25.8 kV 25 kA 차단 시험, 개폐기에 대한 3상 25.8 kV 900 A 이하 소전류 개폐 시험, 저압 차단기에 대한 3상 1 kV 200 kA 차단 시험이 가능한 대전력 시험 설비의 기기별 용량은 그림 (2)와 같다.



〈그림 2〉 대전력 시험 설비 구성도

## 3. 결 론

배전급 기기에 대한 대전력 시험 시스템 국산화 추진시 주요 설비인 발전기, 보호 차단기 및 투입 스위치에 대한 요건과 설비별 용량을 살펴보았다. 이것은 그동안 해외에서 수입하여 사용하던 설비의 선정 또는 제작 기준을 제안함으로써 설비의 국산화 추진시 설계의 기본이 될 수 있을 것이다. 이렇게 구성된 설비는 현재 국내에서 생산되는 25.8 kV 배전급 이하의 모든 전기 기기의 대전력 시험에 적용할 수 있다. 그리고 발전기를 사용한 독립된 전원으로 전압원과 전류원을 동시에 발생시키는 직접 시험법에 필요한 설비로서 시험 설비를 비교적 간단히 구성할 수 있고, 실제 계통과 동일한 조건에서 시험할 수 있는 장점이 있다.

## 〔참 고 문 헌〕

- [1] 한전 표준규격, "ES 5925-0001 교류 차단기", 2007
- [2] IEC, "IEC 60034-1 Rotating electrical machines Part 1 : Rating and performance", 2004
- [3] IEC, "IEC 62271-1 High-voltage switchgear and controlgear Part 1 : Common specifications", 2007
- [4] IEC, "IEC 60265-1 High-voltage switches Part 1 : Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV High-voltage switchgear and controlgear", 1998
- [5] IEC, "IEC 60947-1 Low-voltage switchgear and controlgear Part 1 : General rules", 2007