

LG산전 단락발전기의 전기적 특성 및 성능시험 결과 고찰

이희철, 한규환
 LG산전주식회사 전력시험기술센터 전력시험연구팀

A Study for the results of electric characteristic and performance tests of LGIS short-circuit generator

Hee-Cheol Lee, Gyu-Hwan Han
 LGIS Power testing & technology institute, High power test & technology team

요약 - 대전력시험 설비 중 단락발전기는 시험에 필요한 에너지를 발생시키는 근원으로서 시험하고자 하는 피시험의 시험용량에 따라 설계되고 제작되어야 한다. 본 논문에서는 LG산전 대전력시험 설비 중 단락발전기에 대한 설계 개념, 전기적 및 기계적인 특성, 또한 일반 발전기와는 다르게 특별히 설계된 주요 특징 등에 대하여 기술하며, 피시험의 단락시험 중에 발생하는 시험 시퀀스 및 이에 대한 기술적인 내용을 기술한다. 또한, 단락발전기의 시운전 및 성능 확인 시험 결과에 대한 내용을 기술하고, 시험 중 발생할 수 있는 내용에 대하여 고찰하여 본다.

단락발전기를 일본에서 운송하여 LG산전의 청주공장에 설치하기 위해서는 육상 수송시 중량에 대한 제한이 있고, 소정의 단락전류 용량을 실현하기 위해서 설비를 2조의 여자시스템으로 분할한 과여자 방식에 의해 단락발전기 용량의 적절한 소형화를 도모하였다. 또한, 단락발전기의 기동은 농형 유도전동기와 주파수의 변경이 가능한 인버터(inverter) 장치를 사용한 최근 대형의 단락시험설비의 주류로 되어있는 제어방식을 채용하고 있다. 금번 LG산전의 단락발전기와 그 부속장치로 되어있는 전원설비, 시험용 변압기 및 진공차단기를 도시바사로부터 구매하여 사용하고 있다.

1. 서 론

단락발전기는 단락시험설비에서 에너지를 공급하는 근원이고, 단락시험 시 원하는 전압을 단락발전기의 여자 전압을 조정하여 필요한 시험을 할 수 있는 설비이다. 단락발전기를 크게 분류하면 구동장치, 여자장치, 운환장치, 냉각장치 및 제어감시장치 등 5가지로 크게 나눌 수 있다. LG산전의 단락발전기는 1997년 일본 도시바(Toshiba)사로 발주되어 18개월 간의 제작기간을 거쳐 1999년 12월에 설치 완료되었으며 2000년 3월말에 시운전 및 성능시험을 완료하여 현재 실 시험을 진행하고 있다.

2. 본 론

2.1 단락발전기 시스템 개요

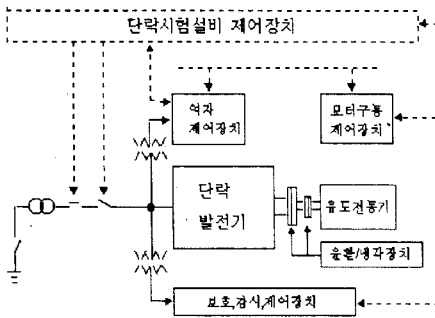


그림1 단락발전기 시스템 개요도

3. 단락발전기 설비의 특징

3.1 단락발전기

단락발전기의 정격은 85MVA-2P-18kV-50/60Hz, 공기냉각 발전기로 되어있다. 단락발전기는 구동전동기에 의해 회전력을 얻으며, 사이리스터(thyristor) 여자 방식에 의해 자속을 발생하여 필요한 전력을 얻도록 설계되었다. 일반 단락발전기와는 다르게 단락 순간에 정격여자전류의 1 ~ 16배를 여자하는 과여자 방식에 의해 과도리액턴스 X_d' 에 기준하는 단락용량을 확보하고 있다. LG산전의 단락발전기의 특징은 반복적인 단락 시험에 의한 단락강도의 문제와 내륙 운송에 대한 제한을 고려하여 다음과 같이 설계되었다.

항 목	내 용
고정자 구조	* 내륙 운송의 제한 때문에 외부 프레임과 고정자를 분할 제작 * 반복의 단락강도를 고려하여 기초와 프레임간에 스프링 삽입 설치
고정자 코일 단부 지지 구조	* 단락시의 전자력에 견디도록 코일 지지부에 절연볼트로 코일 고정 * 코일의 진동 억제를 위한 코일과 결합물 사이에 혼합재료 충전
발전기 축	* 발전기와 구동전동기 사이에 플렉시블 샤프트(flexible shaft)를 삽입하여 축의 공진주파수를 전원 주파수에서 분리하여 장기간의 반복 단락을 허용

그림 2에 단락발전기의 외형 사진을 나타낸다.

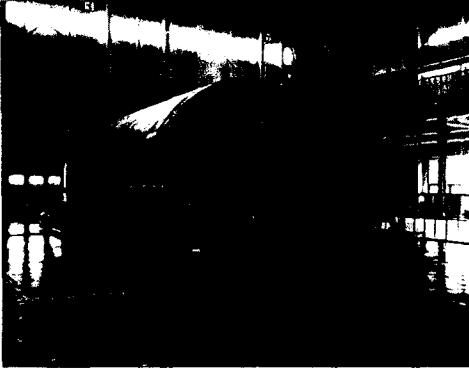


그림 2 단락발전기 외형도

3상 단락발전기에 임의의 외부 임피던스가 접속되어 있는 회로가 3상 단락 되었을 경우 이 고장 회로에 흐르는 3상 단락전류는 식 1과 같이 된다.

$$i = \frac{V}{\sqrt{3}} \left[\frac{\rho}{x_{de}} + \left(\frac{1}{x_{d'_{de}}} - \frac{\rho}{x_{de}} \right) e^{-\frac{t}{T_{d'_{de}}}} + \left(\frac{1}{x_{d''_{de}}} - \frac{1}{x_{d'_{de}}} \right) e^{-\frac{t}{T_{d''_{de}}}} \right] \quad (식 1)$$

- 여기서, $x_{de} = x_d + x_e$
 $x_{d'_{de}} = x_{d'} + x_e$
 $x_{d''_{de}} = x_{d''} + x_e$
 $T_{d'_{de}} = T_{d'} (x_{d'} + x_e) / x_{d'}$
 $T_{d''_{de}} = T_{d''} (x_{d''} + x_e) / x_{d''}$
 $x_{d''}$: 초기과도 리액턴스
 $x_{d'}$: 과도 리액턴스
 x_d : 동기 리액턴스
 x_e : 외부 리액턴스
 ρ : 과여자 계수
 V : 발전기 선간전압

식 1에서 알 수 있듯이 단락전류는 단락발전기의 3가 리액턴스 및 2개의 시정수의 값으로 결정되며, 단락 발생후 단락발전기 시정수에 의해 점점 단락전류가 감소하게 되며 최종적으로는 단락발전기의 동기 리액턴스에 의해 일정한 값으로 된다. 실제 단락시험 시는 단락후 1초 이내에서 시험을 완료하여야 하므로 과도 시정수에 의해 제어되는 순간에 일정한 전류를 얻을수 있어야 시험이 편리하게 된다. 이를 실현하기 위하여 일정한 전류를 얻기 위한 과여자 방식이 필요하게 되며 과여자 계수(ρ)를 조정하여 단락전류가 감소되는 것을 방지할 수 있게 된다.

3.2 제어 기기

발전기와 구동전동기 제어는 IEC 규격을 포함한 각종 규격에 준하여 차단기 등의 각종 전기기기의 시험을 고려한 시험설비로서 고유의 특수한 제어시스템으로 되어 있다.

3.2.1 여자장치

파시료의 단락시험 중에 여자장치는 최대 출력전압(과여자)으로 되도록 제어되지만 과여자($\rho = X_d / X_{d'}$)에 의해 과도리액턴스 $X_{d'}$ 에 기준하는 단락용량을 유지하도록 설계되었고, 당 설비의 과여자 방식에서는 일반 여자방식의 약 1.8배의 단락용량을 얻을 수 있다. 과여자 계수에 의해 시간에 따른 단락전류가 변하는 것에 대한 개념을 그림 3에 나타낸다. 과여자 제어에 있어 2상 단락시의 과전압을 단락제거 후의 회복전압의 문제가 있기 때문에 발전기의 각상 전압을 감시하는 등, 2상 단락시 및 단락제거 후의 과전압을 제어하는 신 제어방식을 채용하고 있다.

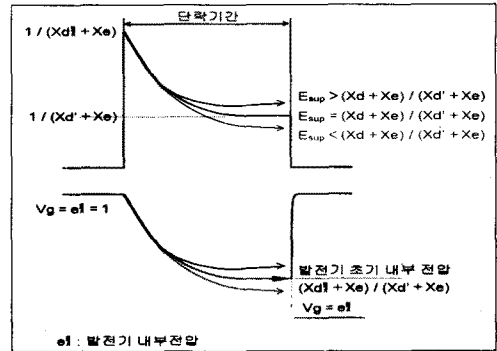


그림3 과여자 계수에 의한 단락전류 변화

3.2.2 구동전동기 제어장치

구동전동기의 용량(1060kW)에 대하여 발전기 용량(85MW)이 상당히 크기 때문에 전동기 구동 제어장치는 큰 관성력을 갖는 회전체를 구동 제어하는 것으로 된다. 관성이 큰 회전체의 구동에서는 free run 상태로부터 재기동(restart) 시간을 늘리는 문제가 있기 때문에 재기동 시간의 단축을 도모한 신제어 방식이 개발, 채택되었다.

4. 단락발전기의 성능시험 결과

단락발전기의 성능시험을 2000년 3월에 실시하였고, 성능시험시 과여자 제어를 1 ~ 13배로 조절함에 따라 단락전류 및 회복전압이 상승하는 것을 확인 하였고, 단락발전기를 당초 설계한 용량보다 약 20% 정도가 높은 성능을 나오는 시험 결과를 얻었다. 단락발전기의 성능 시험 결과 데이터를 표1에 나타낸다.

표1 단락발전기 정수 시험 결과

항목	설계치	측정치
X_d [Ω]	2.4014	2.2916
$X_{d'}$ [Ω]	0.2782	0.1967
$X_{d''}$ [Ω]	0.2020	0.1601
X_2 [Ω]	0.2020	0.1813
$T_{d'}$ [s]	0.250	0.317
$T_{d''}$ [s]	0.015	0.019

또한, 본 단락발전기를 사용하여 LG산전의 고압 단락시험실에서 일반 여자시와 과여자 시의 단락시험을 하였을 때, 과여자 방식에 의해 현저히 단락전류 및 회복전압이 변화하는 결과를 표2, 그림 4 및 5에 실시시험 시의 오실로그래를 나타낸다.

표3. 고압 단락시험 결과

인가전압 (kV)	과여자 계수	단락전류 (kA)	회복전압 (kV)	증가율 (%)	
				전류	전압
9.2	1	17.8	5.6	39.3	62.5
9.2	12.5	24.8	9.1		

- 주1. 단락전류는 단락후 9 cycles에서 측정
- 2. 회복전압은 12 cycles 단락전류 차단후 측정
- 3. 전압은 상-대지간 전압을 나타냄

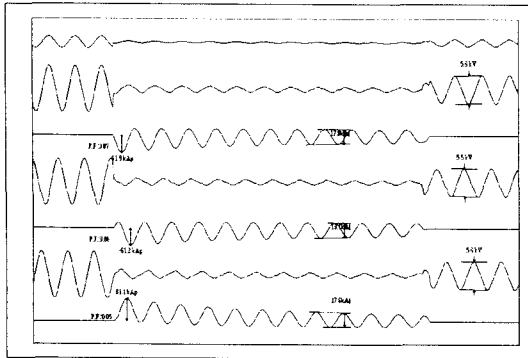


그림 4 고압 단락시험 결과 오실로그래(ρ = 1)

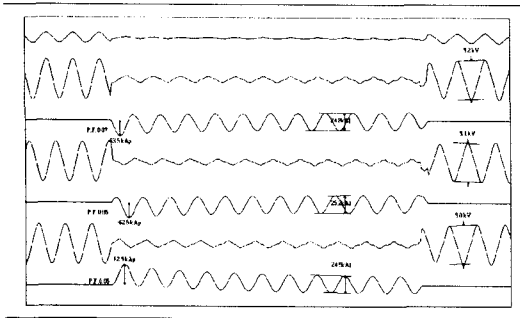


그림 5 고압 단락시험 결과 오실로그래(ρ = 12.5)

5. 결론

단락발전기에 대한 성능시험 결과는 설계치의 성능과 비교하여 매우 만족한 결과를 얻었으며, 또한 본 단락발전기를 사용하여 현재 LG산전의 저압 및 고압 전력기기 제품의 시험 업무를 원활히 수행하고 있다. 본 대전력시험 설비가 정상적으로 운영됨에 따라, 저압 및 고압 전력기기 제품의 연구개발에 많은 도움을 주고 있으며, 제품의 신뢰성 제고에도 기여하고 있다. 현재의 단락시험 용량은 약 1000MVA을 갖고 있으나 향후에 단락발전기를 1대를 추가 투자하여 2000MVA의 시험용량을 증

대할 계획도 가지고 있으며, 본 투자의 완성 및 대전력 시험 기술의 연구를 통해 LG산전은 중전기기 대전력시험소로서의 위상이 높아지리라 믿는다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이승원, 이윤종, "전기기기", 문운당, 1987.
- [2] "High voltage alternating-current circuit-breakers", IEC, Publication 60056, 1987.
- [3] Gec Alsthom, "Short-circuit generator. Description", 1995
- [3] Toshiba, "단락발전기 시험설비 사양", 1999