

배전급 개폐장치의 부하시험설비 적용

김대원*, 박승재, 정희재, 김맹현
한국전기연구원

Application of Load Switching Testing Facilities for Distribution-class Switches

Kim Dae-won*, Park Sung-Jae, Jung Hee-Jae, Kim Maeng-Hyun
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 배전급 차단기 및 개폐기의 부하전류, 진상 및 지상전류 개폐시험을 위한 부하설비를 구축하고 설비의 신뢰성을 확보하기 위한 운전특성을 검토하였다. 또한 배전급 개폐장치류에 대해 개폐시험을 실시하고 그 결과를 제시하였다.

1. 서 론

전력사용의 증가에 따라 전력시스템이 커지고 부하용량이 증가하고 있다. 국제규격 또한 계속적인 계통분석을 통해 개폐시험의 회로조건 및 시험전류의 크기등을 바꾸어 나가고 있다. 이러한 부하증가와 국가 및 국제규격의 변화에 대처하고자 당 시험소에서는 부하증가사업을 추진하였다. 또한 개폐시험의 효율성 및 신뢰성 증진을 위해 모든 부하설비의 결선을 유압 단로기를 설치하여 자동화함으로써 시험의 정확성과 속도를 한층 높여 보다 품질이 우수한 시험서비스 공급이 가능해 졌다. 배전계통을 단락사고로부터 보호하고, 계통의 유지보수를 위한 개폐장치로는 고압차단기, Recloser, 부하개폐기, 고장구간자동개폐기(ASS), Current limiting fuse, Fuse cutout등이 있다. 이러한 개폐장치들에 대한 단락 및 부하전류 개폐시험은 계통의 신뢰성 및 안전성을 유지하는데 필수 불가결한 요소로 볼 수 있다. 개폐장치의 성능검증을 위해 요구되는 시험항목으로는 크게 무부하전류개폐시험, 부하전류 개폐시험 및 단락사고전류 차단시험의 3가지로 분류할 수 있다. 여기서 무부하전류시험으로는 진상소전류개폐시험(선로충전전류, 케이블 충전전류, 콘덴서군전류, 정전유도전류 등)과 지상소전류개폐시험(무부하변압기 여자전류시험, 분로리액터전류, 모터전류 등)이 있으며, 부하전류시험으로는 정격부하전류, 루프전류, 전자유도전류등이 있다. 단락투입차단시험에는 단자고장전류, 근거리선로고장전류, 탈조등이 있다. 본 논문에서는 이중에서 무부하전류개폐시험 및 부하전류 개폐시험을 위해 한국전기연구원의 대전력시험소에 배전급 개폐장치의 부하전류, 진상 및 지상전류 개폐시험을 위한 구축된 부하설비와 부하전류개폐시험의 결과를 제시하였다. 본 논문의 구성은 크게 먼저 전력계통에서 발생하는 전류 차단특성에 대해 알아보고, 당 시험소에서 구축한 설비와 관련된 부하전류용량, 마지막으로 실제 개폐시험의 세 부분으로 구성되어 있다.

2. 본 론

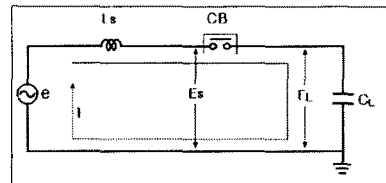
2.1 배전급 개폐기류 대전력시험 및 관련규격

배전급 개폐장치류와 관련된 규격으로는 IEC 62271-100 (2003) 및 IEC 60265-1 (1998), IEC 62271-105 (2003), IEEE Std C37.60(2003), IEEE Std C37.41 (2000) 등이 있다. 이러한 규격들에서 요구하는 시험전압 및 시험전류에 따라 개폐기류의 단락 및 개폐성능평가를 위해 단락시험소에서는 대전력시험을 수행한다. 먼저 본 절에서는 성능평가에 앞서 전류차단현상에 대한 이론적인 배경을 알아보고자 한다.

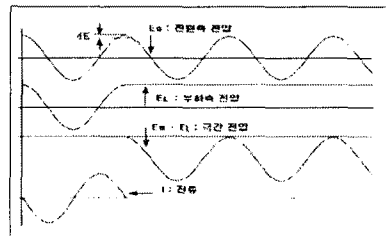
2.2 배전급 개폐장치류 개폐시험

2.2.1 진상소전류 개폐시험

계통의 용량성 부하에 의한 전류는 전류가 전압보다 90도 앞선 위상을 가진 전류로서 진상소전류라 부르며 진상소전류를 발생시키는 선로조건으로는 계통의 역률을 개선하기 위하여 사용하는 전력용 콘덴서에 의한 콘덴서군 전류(Capacitor bank current), 무부하 가공선로의 커패시턴스에 의한 선로충전전류(Line charging current) 및 무부하 지중송전선로의 커패시턴스에 의한 케이블충전전류(Cable charging current)의 3가지로 구분할 수 있다. 진상소전류를 개폐하는 경우에 발생하는 가장 중요한 과도현상은 전류 차단후 1/2 cycle 지점에서 상용주파 전압의 2배에 도달하는 개폐과전압이다. 그림 1은 진상소전류를 발생시키는 선로에 대한 등가회로와 차단현상을 나타내고 있다.



(a) 등가회로



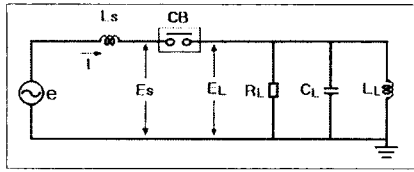
(b) 전압과 전류

그림 1 진상소전류 차단현상

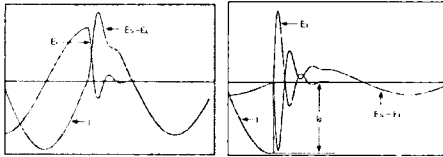
2.2.2 지상소전류 개폐시험

무부하변압기의 여자전류 또는 계통의 진상소전류를 억제하고 페란티(Feranti effect) 효과로 인한 전압상승을 방지하기 위하여 사용하는 분로리액터(Shunt reactor)의 전류등과 같이 유도성 부하에 의해 발생하는 전류는 전압보다 90도 뒤진 위상을 가진다. 이러한 전류를 지상소전류라고 하며 진상소전류와는 다른 특성을 가진 과전압을 발생시킨다. 지상 소전류는 수 A에서 수백A 정도로서 정격 차단전류에 비해서 아주 작기 때문에 차단기는 전류가 영점에 도달하기 전에 미리 차단할 수 있다. 이와 같은 현상을 전류제단(Current chopping)이라고 하며, 이 경우에는 계통전압의 2~3배에 이르면 수 백 Hz에서 수 kHz의 고주파를 동반하는 과전압을 발생시킨다. 그

림 2는 지상전류차단에 대한 등가회로 및 전류재단시 개폐과전압을 보여주고 있다.



(a) 등가회로

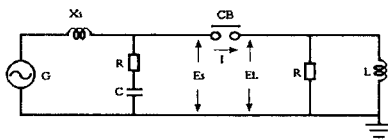


(b) 재단현상이 없는 경우 (c) 재단현상이 있는 경우
그림 2 전류재단과 개폐과전압

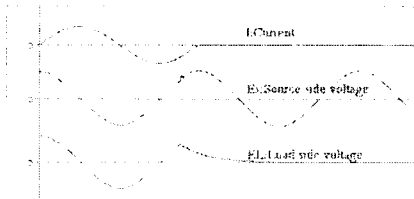
그림 2(b)는 전류재단이 발생하지 않는 경우로서 부하측에 개폐과전압이 발생하지 않는 경우이고, 그림2(c)는 재단전류가 최대가 되어 큰 개폐과전압이 발생한 경우이다.

2.2.3 부하전류 개폐시험

일반적으로 전력계통에서는 수용가측의 부하는 저항 및 리액터로 구성이 되어있다고 볼수 있다. 국내의 경우 배전선로의 공칭전압으로 22.9kV 선로를 사용하고 있으며, 배전선로의 수용가측 부하를 모의하는 방법을 여러가지가 있을 수 있다. 단락시험소에서 개폐시험을 위한 부하는 피시험 전력기에 따라 R-L 직렬 및 R/L 병렬 부하로 모의하여 시험을 하고 있다. 그림 3은 R/L 병렬 부하에 대한 등가회로와 전압전류 파형을 보여주고 있다.



(a) 등가회로



(b) 전압전류 파형
그림 3 부하전류개폐 특성

2.3 개폐시험을 위한 부하전류

배전급 개폐장치의 부하용량을 구하기에 앞서 개폐장치의 정격전압 및 정격전류를 알아 보고자 한다. 일반적으로 배전전압은 국가마다 다르게 사용하고 있으며, 따라서 IEC 및 ANSI 규격에서는 대표전압 및 전류를 제시하고 있다. 이러한 배전급 개폐장치의 공칭전압을 보면 7.2kV, 12kV, 15kV, 17.5kV, 24kV, 25.8kV 및 36kV로 나눌 수가 있다. 이러한 정격전압에 대해 부하의 형태를 보면 크게 RL부하, 진상부하 및 지상부하의 3가지로 구분할 수 있으며 표1은 국내 배전급 개폐장치류의 종류 및 시험전압, 전류값을 보여주고 있다.

표 1 국내 배전급 개폐장치의 시험전류

개폐기기	시험전압, 권류	시험전류		
		부하개폐	지상	진상
고압차단기	25.8kV	-	1600A(SH1)	10A(CCL) ~ 504A(BC2)
Recloser	25.8kV	-	22A	5A(CC)
부하개폐기	25.8kV	200A ~ 1250A	22A	15A(LC) ~ 25A(CC)
Switch+Fuse	24kV	500A ~ 900A	-	-
Current Limiting Fuses	24kV	12A ~ 2000A	-	-
Fuse cutout	25.8kV	3A ~ 500A	-	-

2.4 부하회로 구성

배전급 개폐장치의 부하전류, 지상 및 진상 시험을 위해 한국전기연구원은 MV test cell의 리모델링을 통해 시험전압 7.2kV부터 36kV이 이르는 모든 개폐장치의 개폐시험이 한 장소에서 가능하도록 부하설비를 구축하였다. 표2는 당 연구원이 새로 구축한 배전급 개폐장치류에 대한 시험가능전압, 전류 및 부하 용량을 보여주고 있다.

표 2 시험가능 전압, 전류 및 부하용량

시험가능 권류	시험가능 전압	
	7.2kV ~ 36kV	부하개폐
시험가능 권류	지상	10A ~ 2000A
	진상	10A ~ 2000A
	R	1160Ω ~ 2Ω
부하용량	L	1674Ω ~ 3Ω
	C	0.9μF ~ 28.6μF

아래 그림 4, 5 및 6은 각각 당 시험소에서 새로 구축한 capacitive 부하 bank, reactor bank 및 resistance bank를 보여주는 사진이다. 이 부하설비는 시험전압 36kV까지의 개폐장치류에 대한 개폐시험이 가능하도록 디자인 되어있으며, MV Test cell 안에 배전급 개폐장치를 위한 개폐시험 설치함으로써 시험의 효율을 한층 높였다. 또한 부하용량을 보면 그림 4의 capacitive 부하 bank는 0.9μF에서부터 28.6μF까지의 capacitance, 그림 5의 reactor bank의 경우 3Ω에서 1674Ω, 그림 6의 resistor bank의 경우 2Ω에서 1160Ω의 설비용량으로 디자인 되어있다.

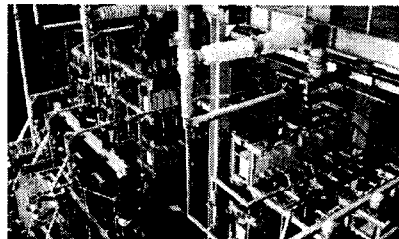


그림 4 Capacitive 부하 bank

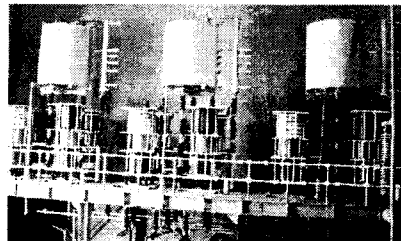


그림 5 Inductive 부하 bank

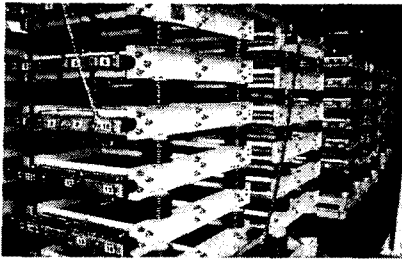


그림 6 Resistive 부하 bank

또한 당 시험소는 부하설비 결선을 자동화하기 위해 유압 단로기를 사용하여 시험시간의 단축 및 결선자에 따라 다를 수 있는 개연성을 제거함으로써 시험설비의 신뢰성 향상을 도모하였다. 부하회로결선은 실제 전력계통의 부하회로 모의가 가능하도록 RL직렬, RL병렬, RC 직렬결선이 가능하도록 시험회로를 디자인하였다. 그림 7은 부하회로 결선을 위한 제어용 control panel이다.

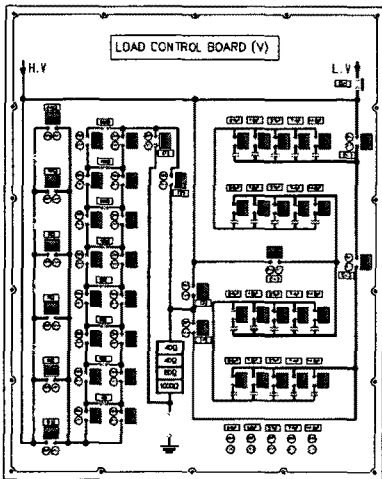


그림 7 부하회로 제어용 Control Panel

2.5 개폐기류 부하개폐시험 및 결과

일반적으로 전력계통에 사용되는 전력기기는 사고전류 차단을 목적으로 하는 차단기류 및 퓨즈류에서부터 전력설비의 유지보수 및 개폐를 목적으로 하는 개폐기류에 이르는 다양한 설비들로 구성되어 있다. 그 중에 100kV 미만의 Medium voltage에 사용되는 기기들을 배전급 개폐장치류로 분류하고 있다. 그림 8은 부하개폐기의 부하전류개폐시험을 위한 실제 당 시험소에서 사용하고 있는 시험회로구성을 보여주고 있다. 시험회로를 보면 크게 단락발전기, 보호차단기, 투입스위치, 전류조정 리액터, 단락발전기, TRV turning 회로, 피시험 개폐기 및 RL병렬부하로 구성되어 있다.

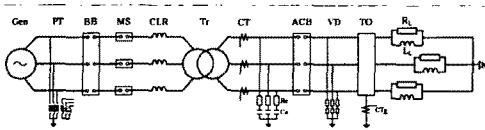


그림 8 부하전류개폐시험회로 구성도

그림 9는 25.8kV 600A 25kVA 60Hz CGIS의 Single capacitor bank 전류(504A)에 대한 3상 시험 결과 파형을 보여주고 있다. 또한 그림 10은 shunt reactor 전류(1600A)에 대한 3상 시험 결과 파형을 나타내고 있다.

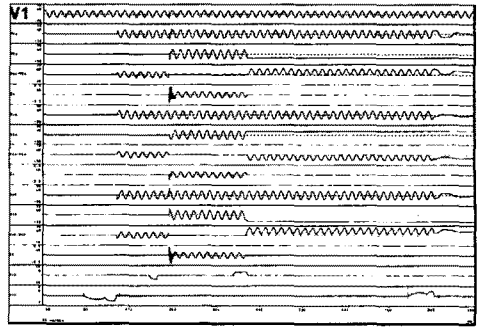
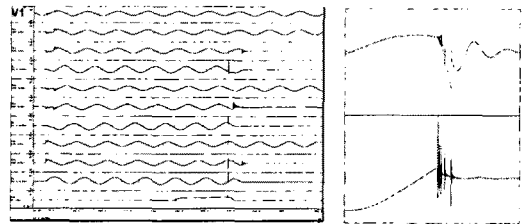


그림 9 전상소전류개폐시험 결과 파형



(a) 전체 Osillogram (b) 전류제단
그림 10 지상소전류개폐시험 결과 파형

3. 결 론

IEC, IEEE등의 국제규격 및 국가규격의 변화와 전력계통의 부하증가로 인해 부하전류가 증대됨으로써 당 시험소에서는 국제규격에 만족하는 배전급 개폐장치의 개폐시험을 수행하기 위해 새로이 부하설비 용량을 증가시키고 동시에 부하결선의 자동화를 통해 개폐시험의 신뢰성 및 효율성을 크게 제고하였다. 결과적으로서 당 시험소는 배전급 개폐장치의 개폐시험을 위한 부하설비용량 증대 및 자동화 설비를 구축함으로써 한층 더 고객중심의 시험서비스 제공이 가능하게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 62271-100, "High voltage switchgear and controlgear", 2003
- [2] IEC 60265-1, "HV Switches for rated voltage above 1kV and less than 52kV", 1998
- [3] IEC 60282-1, "High-voltage fuses - Current-limiting fuse", 2002
- [4] IEEE Std C37.60, "IEEE Standard for Overhead, Pad-Mounted, Dry Vault, and Submersible Automatic Circuit Reclosers and Fault Interrupters for Alternating Current Systems up to 38kV", 2003
- [5] IEEE Std C37.41, "IEEE Standard Design Tests for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switches, and Accessories", 2000