

3상 90 MVA 단시간전류시험 설비 구축

서 운택*, 김 용 식, 윤 학 동, 김 맹 현
한국전기연구원

The construction of 3-phase 90 MVA short-time withstand current testing facilities

Yoon-Taek Suh, Yong-Sik Kim, Hak-Dong Yun, Maeng-Hyun Kim,
KERI, High power testing department

Abstract - The most electrical apparatus should be able to withstand short-time current and peak current during a specified short time until circuit breakers have interrupted fault current. It defines the short-time withstand ability of electric apparatus to be remain for a time interval under high fault current conditions. It is specified by both dynamic ability and thermal capability. KERI(Korea Electrotechnology Research Institute) recently constructed the new short-time current and low voltage short circuit testing facilities. This paper shows short-circuit calculation of transformer and describes high current measuring system, and evaluate the result of short-time withstand test used in 3 ϕ 90MVA short-time current testing facilities.

1. 서 론

전력계통의 단락 고장시 발생하는 초기 피이크 전류의 전자력에 따른 기계적 내력과 통전시간의 열용량에 의한 열적내력을 확인하는 시험이 단시간전류시험이다. IEC 60439-1의 1000kV 미만 저압 개폐장치에서 피이크 전류는 실효치의 n배로 단락전류 값에 따라 1.5n에서 2.2n까지 견디어야 한다. 그리고 IEC 60694의 1000kV이상 개폐장치에서는 상용주파수에 따라 50Hz는 실효치 전류값의 2.5배, 60Hz는 실효치 전류값의 2.6배로 피이크 전류를 규정하고 있다. 또 통전시간은 주로 1초와 3초로 규정되어 있다. 최근 한국전기연구원에서는 기존의 3상 45MVA 단시간전류 설비를 3상 90MVA로 증설하였다.

본 논문에서는 새로 증설한 설비의 구성과 단시간 변압기의 설계특성, 대전류측정 장치 및 단시간전류시험설비의 성능평가에 대하여 기술하였다. [1],[2],[3]

2. 본 론

2.1 단시간전류시험 설비의 구성

단시간전류시험 설비의 구성은 그림1과 같이 발전기 출력인 IPB (Isolated Phase Bus)로부터 변압기 1차측에 전원을 공급하기 위하여 단상 및 3상시험(Delta 결선)을 목적으로 18kV 20kA 단로기(DS)가 10개로 구성되어 있다. 그리고 단상 30MVA 변압기 3대가 설치되어 있고 변압기 2차측은 단상 직·병렬 및 3상 Δ 및 Y결선을 할 수 있는 부스-바 구조물이 설치되어져 있다. 그리고 부스-바 최종 단에는 대전류를 측정하기 위한 로고스키 코일이 장치되어 있다.

2.2 단시간전류 시험용 변압기

단락이 발생하면 대용량 변압기의 권선에 흐르는 전류가 8~10배가 흐르고, 소용량 변압기에는 20~25배의 전류가 흐른다. 그리고 권선에 흐르는 전류가 증가하면, 이로 인하여 누설 자속도 증가하게 된다. 또한 전류와 자속의

벡터 곱으로 표현되는 전자력도 증가한다.

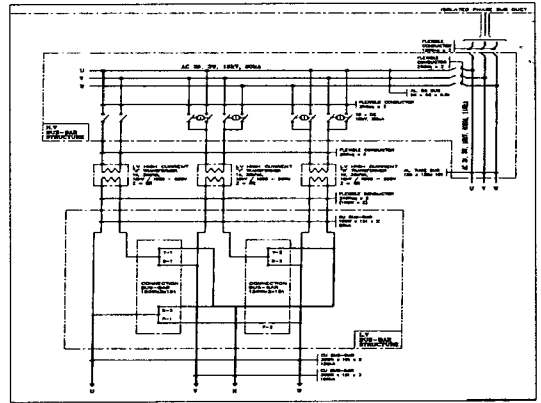


그림 1. 단시간전류 시험설비 회로도

누설 자속은 권선에 흐르는 전류에 비례하므로, 전자력의 크기는 전류의 제곱에 비례하여 증가한다. 교류 전류의 특성상 전류는 그림 2(a)와 같이 가로축을 중심으로 상·하에 위치하게 되지만, 위의 성질에 의하여 전자력은 가로축 상부에만 존재하는 현상을 보인다. 그림 2(b)의 가로축 상부에만 존재한다는 것은 전자력의 방향이 변하지 않는다는 것을 의미한다.

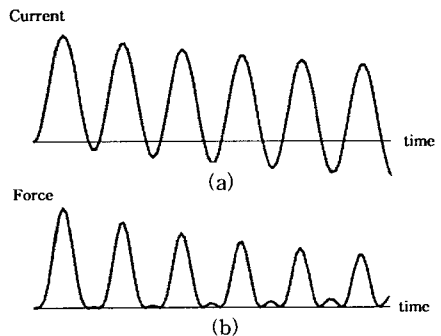


그림 2. 단락 시 전류와 전자력

2.2.1 변압기 권선의 단락전류

변압기 권선의 최대 대칭단락전류는 식(1)에서 구한다.

$$I_{sym} = I_n \frac{100}{U_{TR}} \quad \text{-----(1)}$$

I_n - 정격전류(A)

U_{TR} - 단락임피던스전압(%)

1차측(HV)의 대칭 단락전류(정격전류의 10배)는

$$I_{sym} = 1666.67 \frac{100}{10} = 16.67 \text{ kA}$$

2차측(LV)의 대칭 단락전류(정격전류의 10배)는

$$I_{sym} = 60000 \frac{100}{10} = 600 \text{ kA (500V 탭)}$$

$$I_{sym} = 30000 \frac{100}{10} = 300 \text{ kA (1000V 탭)}$$

표 1. 단시간전류 시험용 변압기의 정격, 특성 및 성능

		항목	정격
정격	정격용량		1φ 30MVA for 3sec
	상수/주파수		1φ /60Hz
	정격전압	1차측(고압측)	18 kV
		2차측(저압측)	500V, 1000V
	정격전류 (3초동안)	1차측(고압측)	1667A
		2차측(저압측)	60kA(500V Tap) 30kA(1000V Tap)
냉각방식		ONAN	
특성	절연계급	권선	1차 25kV Class, 150kV BIL
			2차 5KV Class, 75kV BIL
		부상	1차 34.5kV Class, 170kV BIL
			2차 8.6kV Class, 95kV BIL
	IMPEDANCE		5%
	X/R 비		60Hz에서 16
사용정격		정격전류 3초동안-5분후지	
성능	단락상태에서의 내력	실효치 전류	정격전류(I _n)×10(A)
		PEAK 전류	실효치 전류의 2.7배
		전류통전시간	0.5초
	과부하상태에서의 내력	실효치 전류	정격전류(I _n) × 2
PEAK 전류		실효치 전류의 2.7배	
		전류통전시간	3 초

다음은 변압기 권선의 최대 비대칭단락전류를 구한다. 먼저 단락회로를 RL회로로 모의하여 Kirchhoff의 전압법칙을 이용하여 회로 방정식을 세우면 식(2)과 같다.

$$Vm \sin(\omega t + \phi) = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \text{-----}(2)$$

$V = Vm \sin(\omega t + \phi)$: 전원측 전압

ω = 전류의 각주파수

ϕ : 전류의 투입각(전압파형을 기준)

식(2)을 이용하여 미분방정식을 풀면 식 (3)와 같이 전류 I_s 를 구할 수 있다.

$$I_s(t) = \frac{Vm}{\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}} [\sin(\omega t + \phi - \theta) - \sin(\phi - \theta) e^{-\alpha t}] \quad \text{-----}(3)$$

θ : 회로 임피던스의 위상각(= $\tan^{-1}(\frac{\omega L}{R})$)

$$I_s(t) = I_m [\sin(\omega t + \phi - \theta) - \sin(\phi - \theta) e^{-\alpha t}] \quad \text{-----}(4)$$

$$I_m = \frac{Vm}{\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}}$$

τ : 회로의 시정수 (= $\frac{L}{R}$)

식(4)에서 전류가 전압기준 0도에 투입 될 경우 ϕ 가 0이 되고, θ 는 회로 임피던스에 따른 위상차이며 X/R에 따라 피크 factor가 달라진다.

변압기 권선의 X/R비에 따른 피크계수($k\sqrt{2}$)를 2.7배로 할 때 k는 1.909이고 비대칭단락전류는 다음과 같다.

1차측(HV)의 비대칭 단락전류는

$$I_{dyn} = 2.70 I_{sym}$$

$$I_{dyn} = 45 \text{ kA peak}$$

2차측(LV)의 비대칭 단락전류는

$$I_{dyn} = 2.70 I_{sym}$$

$$I_{dyn} = 1620 \text{ kA peak (500V 탭)}$$

$$I_{dyn} = 810 \text{ kA peak (1000V 탭)}$$

2.2.2. 열적단락 강도

IEC60076-5에 따라 열적 단락강도는 계산으로 검증한다. 유입식변압기의 권선의 최대 평균허용온도(θ_1)는 권선이 동(Copper)일 경우 250°C이고, 식 (5)에 의해 계산된다.

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{j^2 t} - 1 \quad \text{-----}(5)$$

여기서

θ_0 : 초기온도(절연종별 최대 허용온도+최대 허용 대기온도)

j : 권선단면적(A / mm²)

t : 전류통전시간(s)

유입식변압기의 절연종별 허용온도는 105°C이고 최대대기온도를 40°C로 했을 때 최대평균허용 온도는 다음과 같다.

$$\theta_0 = 145^\circ\text{C}$$

$$j = 26.65 \text{ A/mm}^2 \text{ ; 1차 권선}$$

$$j = 26.04 \text{ A/mm}^2 \text{ ; 2차 권선}$$

$$t = 3 \text{ s}$$

$$\theta_1 = 160.6^\circ\text{C} \text{ : 1차 권선}$$

$$\theta_1 = 159.9^\circ\text{C} \text{ : 2차 권선}$$

계산결과 1, 2차권선의 최대평균허용 온도는 250°C이하이다.

2.3 대전류 측정 장치

새로 구축된 단시간 전류시험설비는 전류가 200 kA까지 시험 할 수 있는 설비이므로 대전류 측정 장치는 수백 A에서 200kA까지 측정 할 수 있어야 한다.

대전류 측정장치로는 일반적으로 분류기(SHUNT), 변류기(CT) 및 로고스키 코일(ROGOWSKI COIL)등이 널리 쓰이고 있다. 분류기는 전류가 통과하는 회로에 분류기(Shunt 저항기)를 삽입하여 전류에 의한 저항기의 전압강화를 검출하는 방법으로 대전류용으로 동축원통형이 많이 사용된다. 변류기와 로고스키 코일은 모두 Faraday 전자유도법칙을 응용한 전류 검출용 센서이다. 분류기는 보통 Core를 분리할 수 없고, Core 재료로는 비자성체인 Ferrite를 사용하고 있다. 로고스키 코일은 변류기와 유사한 형태이나 Core가 보통 공기 또는 플라스틱 수지로 구성되어 있다. 그래서 Core에서의 포화가 없으며 취부 장소에 관계없이 자유자재로 설치 할 수 있고, 신뢰성이 높고, 장시간안정성이 높으며, 또한 고주파 특성이 우수한 장점이 있다.

단시간전류시험은 단락시험과는 달리 통전시간이 보통 1초 또는 3초로 규정되어 있어 분류기 및 변류기는 부피가 크고 설치가 용이하지 않으므로 위와 같은 여러 장점을 갖고 있는 로고스키 코일을 설치했다. 로고스키 코일의 전기적 특성은 표2와 같다.

표 2. 로고스키 코일의 전기적 특성

전기적 특성	사 양
정격 전류	200kArms
정격피크치 전류	460kApeak
정격주파수	50 & 60Hz
정격회로전압	1kVrms
상용주파내전압	3kVrms
개폐 임펄스전압	4kVpeak
뇌 임펄스 내전압	5kVpeak
단락전류의 최대 1차측 DC time constant	40ms

측정시스템의 구성도는 그림 3와 같이 구성되어 있다. 전류측정 장치의 직분기는 5개의 Tap(500A/V, 1kA/V, 5kA/V, 10kA/V, 50kA/V)으로 구성되어있어 수십 A에

서부터 200kA까지 정밀하게 측정 할 수 있도록 구성되어 있다. 적분기의 부하 임피던스는 1M Ω , 10 ~ 80pF고, 최대출력범위는 $\pm 10V$ zero-to peak 이며, 시험전류의 측정 불확도는 DC~1kHz 주파수 범위에서는 1%, 1KHz ~ 50kHz 주파수 범위에서는 2% 이다.

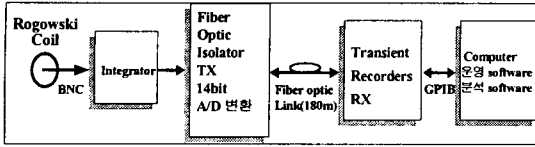
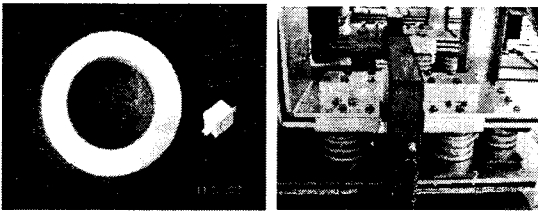
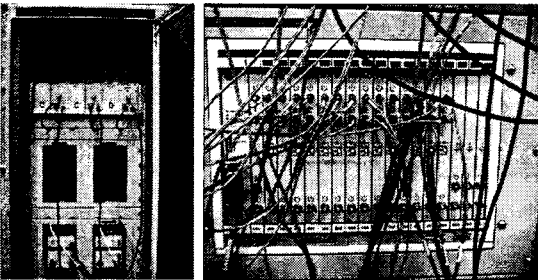


그림 3. 측정 시스템



(a) 로고스키 코일 (b) 로고스키 코일설치 장면



(c) 적분기 및 광 전송장치 (d) 광 수신장치

그림 4. 대전류 측정장치

2.4 시험결과 검토

먼저 변압기에 대한 시험으로서 500V 탭에서 사양치인 60kA를 3초 동안 인가하여 이상이 없는 것을 확인하고, 단로기 및 연결용 부스-바 구조물을 설치 완료 후 단시간전류시험을 실시하였다. 새로 구축된 단시간전류 시험 설비는 그림 5과 같으며 실험은 그림 6과 같은 회로로 실시하였다. 먼저 단상시험으로서 500V 탭에서 변압기 1대로 정격전류의 3배인 478kApeak 180kArms (0.5초)를 통전시켰다. 그리고 3상시험으로서 변압기를 Y결선하여 332kApeak 124kArms를 통전하였다. 시험 후 단로기, 변압기 및 부스-바의 상태를 확인한 결과 양호하였다.



(a) 단시간시험용 변압기 (b) 연결용 부스바

그림 5. 단시간전류 시험설비

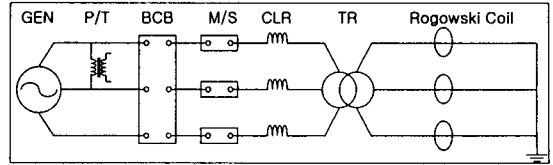
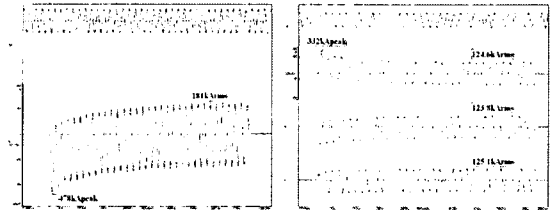


그림 6. 단시간전류시험 회로도



(a) 단상시험 측정 파형 (b) 3상시험 측정 파형

그림 7. 단시간전류 시험 측정파형

3. 결 론

최근 전력기기의 개발 동향은 전력계통의 용량증가와 더불어 정격단락전류가 점차 증가하고 있는 추세다. 따라서 계통에서 사용되는 기기는 단락사고가 발생하였을 때 차단기가 동작하여 사고전류를 차단할 때까지 상당한 시간동안 사고전류에 의한 전자력이나 열용량에 충분한 개 견디게 설계되어야 한다. 3상 90MVA 단시간전류 시험설비가 구축됨으로서 대용량 전기기기의 단시간시험을 원활하게 수행하여 국내기업의 해외수출을 간접적으로 지원할 수 있게 되어 국내중전기기의 기술향상 및 신뢰도를 제고할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] International Electrotechnical commission "IEC 60439-1" (2004) : Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
- [2] International Electrotechnical commission "IEC 60694" (2002) : Common specifications for High-voltage switches standards.
- [3] International Electrotechnical commission "IEC 60517" (1990) : Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages 72.5 kV and above.
- [4] International Electrotechnical commission "IEC 60517" (2000) : Power transformers, Part 5: ability to withstand short circuit
- [5] IEEE Standard Test Code for "liquid-immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers" (1999)
- [6] IEEE Standard General Requirements for "liquid-immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers" (1993)