2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

변압기의 단락강도 시험 시 ANSI와 IEC 규격에 의한 시험 전류의 비교 연구

김선구. 김원만. 나대열. 노창일. 이동준. 정흥수
한국전기연구원

The Study of Comparison of the Symmetrical Short Circuit Test Current with ANSI/IE Transformers.

Sun-Koo, Kim. Won-Man, Kim. Dae-Ryeol, La. Chang-Il, Roh. Dong-Jun, Lee. Heung-Soo,
KERI

Abstract - Transformers together with all equipment and accessories shall be designed and constructed to withstand the mechanical and thermal stresses produced by external short circuit which include three phase, single line-to-ground, double line-to-ground and line-to-line faults etc. Generally the Short Circuit Test of transformers is tested according to the ANSI/IEEE, IEC/JEC, KS etc. in domestic. In this study, it will be showed and compared the difference of symmetrical current for short circuit test of a Pad -mounted transformer according to with ANSI /IEEE and IEC.

1. 서 론

변압기의 시험 및 검사 방법은 KS, ES, ANSI/IEEE, IEC, 및 JEC 등의 규격에서 구조 외관검사, 변압비 극성 각변위 시험, 임피던스시험, 무부하손 여자전류 측정, 권선저항 측정, 유도내전압 시험, 가압내전압 시험, 부분방전 시험, 절연물역률 시험, 온도상승 시험, 단락시험 등 여러 항목을 규정하고 있다.
이 중 단락시험은 고장 등의 원인으로 변압기 2차 부하측이 단락되어 단락전류가 변압기의 권선이나 철심 등에 흐를 경우 열적(Thermal effects)인 손상(Damage)과 기계적(Dynamic effects)인 손상을 입을 수 있으므로 이를 대비하여 변압기에 단락전류를 통전시켜 열적 기계적 성능을 사전에 검증하는데 있다. 통상 기계적인 손상은 비대칭 전류의 크기와 시험 횟수에 비례하고, 열적인 손상은 대칭전류의 크기와 통전 시간 및 횟수에 연관이 있다. 현재 변압기의 단락시험은 여러 규격으로 시행하고 있으나 주로 국내에서 채택하고 있는 규격은 ANSI/IEEE와 IEC이며, ANSI/IEEE는 KS와 상당부분 일치하고 IEC는 JEC 규격과 매우 유사하다.
본 연구에서는 ANSI/IEEE와 IEC 규격에서 규정한 열적인 성능 검증과 직접적으로 연관이 있는 대칭단락 시험전류의 차이점을 비교 검토하려고 한다. 이들 규격 중 자주 사용되고 있는 ANSI/IEEE C57.12.00의 Catalogy I에 해당하는 변압기와 IEC 60076-5의 Catalogy I 의 범주에 속하는 변압기의 시험전류의 계산법을 소개하고, 삼상 500kVA의 저손실형 지상설치형 변압기를 실례로 이들 규격의 규정에 따라 시험 전류의 크기를 계산하고, 시험 횟수와 시간을 포함시킨 I^2t를 산출하여 규격간의 차이점을 비교하고 참고로 시험회로도와 Oscillogram을 소개하고자 한다.

2. 시험전류의 계산법

2.1 ANSI/IEEE C57.12.00

이 규격에서 변압기의 대칭단락 시험전류는 변압기의 정격 용량, Tap의 전압, Tap 전류 그리고 Tap의 Impedance를 기초로 하여 산출한다.

$$I_{sc} = \frac{I_r}{Z_T + Z_S} \quad (1)$$

Isc : 대칭단락시험전류(rms A)

Ir : 변압기 Tap 전류(rms A)

Z_T : 상기 Tap에서의 변압기 임피던스(정격용량을 기준으로한 % Impedance)

Zs : 계통 Impedance(통상 이 수치는 제시되지 않고 알 수 없으므로 무시한다)

$$I = \frac{I_{sc}}{I_r} \quad (2)$$

I : 기준 전류에 대한 대칭 단락전류의 배수

$$t_{long} = \frac{1250}{I^2} \quad (3)$$

t_{long} : 장시간 대칭 단락전류시험의 시간(sec)

2.2 IEC 60076-5

이 규격도 변압기의 대칭단락 시험전류는 변압기의 정격 용량, Tap의 정격 전압, Tap 전류 그리고 Tap의 Impedance 등을 기초로 하여 산출한다.

$$Z_s = \frac{U_s^2}{S} \quad (4)$$

Zs : 계통 단락 Impedance(Ω/상, ANSI/IEEE와 마찬가지로 이 수치는 통상 제시되지 않고 알 수 없으므로 무시한다)

Us : 계통 정격전압(kV)

S : 계통의 단락 용량(MVA)

$$I = \frac{U}{\sqrt{3} \times (Zt + Zs)} \quad (5)$$

I : 대칭단락전류(교류분 실효치)

U : 시험되는 Tap과 권선의 정격 전압(kV)

Zt : 시험되는 Tap과 권선의 단락 Impedance (Ω/상)

$$Z_t = \frac{z_t \times U_r^2}{100 \times S_r} \quad (6)$$

z_t : 기준온도에서의 % Impedance

Ur : Tap의 정격 전압(kV)

Sr : 변압기 정격 용량(MVA)

3. 실 례

3.1 ANSI/IEEE 규격에 의한 시험 전류의 계산

채택한 변압기는 저손실형 주상변압기이며 정격은 삼상 500kVA-22.9kV/400Y230V이다. 상기 식(1)에 의거 대칭 단락 전류를 구하고 식(2)와 (3)에 의거 대칭장시간 시험전류의 크기를 구한다.

표1. 변압기의 특성 Data

Tap 위치		Tap #1	Tap #2	Tap #1
Tap 전압(kV)		22.9	21.9	20.9
임피던스	%I_R	1.02	1.04	1.07
	%I_X	4.45	4.47	4.56
	%I_Z	4.57	4.59	4.68

3.1.1 Tap #1

Ir(변압기의 Tap 전류) = 500/(√3 x 22.9) = 12.61A

Isc(대칭단락시험전류) = 12.61/(4.57 ÷ 100) = 275.83A

※ 여기서 계통 Impedance(*Zs*)는 제시되지 않고 알 수 없으므로 무시한다.

3.1.2 Tap #2

Ir = 500/(√3 x 21.9) = 13.18A

Isc = 13.18/(4.59 ÷ 100) = 287.15A

I = 287.15÷ 13.18 = 21.79

t_{long} = 1250 ÷ $(21.79)^2$ = 2.63s

3.1.3 Tap #3

Ir = 500/(√3 x 20.9) = 13.81A

Isc = 13.81/(4.68 ÷ 100) = 295.12A

3.2 IEC 규격에 의한 시험 전류의 계산

변압기는 동일한 저손실형 주상변압기로 정격은 삼상 500kVA-22.9kV/400Y230V이며 특성은 표1과 동일하다. 식(6)에 의거 Tap과 권선의 단락 Impedance를 구하고 식(5)에 의거 대칭단락시험 전류의 크기를 산출한다.

3.2.1 Tap #1

Zt(단락 Impedance) = {4.57 x $(22.9)^2$ }/{0.5 x 100} = 47.93Ω

I(대칭단락시험전류) = 22900 / {√3 x 47.93} = 275.83A

※ 여기서 계통 Impedance(*Zs*)는 무시한다.

3.2.2 Tap #2

Zt = {4.59 x $(21.9)^2$ }/{0.5 x 100} = 44.03

I = 21900 / {√3 x 44.03} = 287.15A

3.2.3 Tap #3

Zt = {4.68 x $(20.9)^2$ }/{0.5 x 100} = 40.89

I = 20900 / {√3 x 40.89} = 295.12A

4. I^2t의 비교

변압기 단락시험의 방법은 비대칭 시험전류의 크기, 대칭 시험전류의 크기, 시험 시간 그리고 시험 횟수 등으로 정하고 있다. 여기에서는 기계적인 손상에 직접 영향을 미치는 비대칭 단락전류는 생략하고 열적인 손상과 관련이 깊은 대칭 단락전류의 크기를 산출하는 방법과 시험법을 소개하고 시험 횟수와 시험 시간을 포함시켜 I^2t를 산출한 다음 ANSI/IEEE의 규격과 IEC 규격과의 차이점을 비교하고자 한다.

4.1 ANSI/IEEE 규격에 의한 시험 방법

4.1.1 시험 회수

각상에 정격 전류 2회씩 총 6회의 시험를 실시하며, 이중 1회는 대칭 장시간 전류시험을 실시한다. IEC 규격에서는 장시간 전류시험을 실시하지 않으나 시험 회수가 ANSI/IEEE 규격에 비해 많다.

4.1.2 시간

매 시험 0.25초로 하되 대칭 장시간 전류시험 1회는 식(3)에 의거 산출한 시간에 따른다.

4.2 IEC 규격에 의한 시험 방법

4.2.1 시험 회수

각상에 정격 전류 3회씩 총 9회 대칭 전류시험을 실시한다.

4.2.2 시험 시간

매 시험 0.5초로 한다.

4.3 규격에 따른 I^2t의 비교

4.3.1 ANSI/IEEE 규격에 의한 I^2t의 합 : 2075.51

aa) Tap # 1 : 275.83 x 0.25^2 x 2회 = 34.48

bb) Tap # 2 : (287.15 x 0.25^2 x 1회) + (287.15 x 2.63^2 x 1회) = 2004.14

cc) Tap # 3 : 295.12 x 0.25^2 x 2회 = 36.89

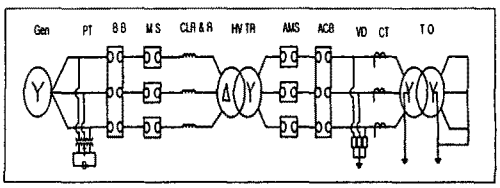
4.3.2 IEC 규격에 의한 I^2t의 합 : 643.57

aa) Tap # 1 : 275.83 x 0.5^2 x 3회 = 206.87

bb) Tap # 2 : 287.15 x 0.5^2 x 3회 = 215.36

cc) Tap # 3 : 295.12 x 0.5^2 x 3회 = 221.34

4.4 시험 회로도



3상 변압기 단락 시험 회로도

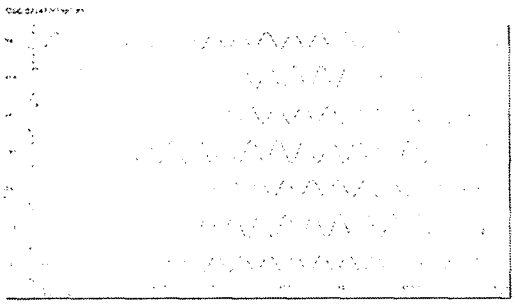
-. Gen : Short Circuit Generator
-. PT : Potential Transformer
-. BB : Back Up Breaker
-. MS : Making Switch
-. CLR : Air-Cored Reactor
-. HVTR : High Voltage Transformer
-. AMS : Auxiliary Making Switch
-. ACB : Auxiliary Circuit Breaker
-. VD : Voltage Divider
-. CT : Current Transformer

5. 결 론

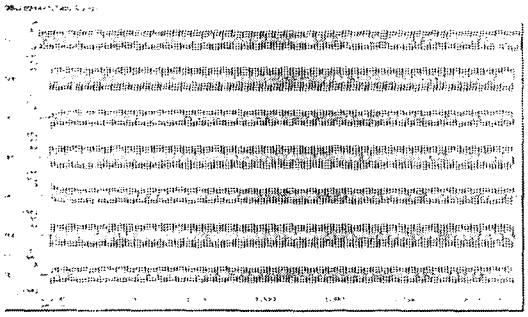
ANSI/IEEE와 IEC 규격에 의한 변압기 단락시험의 차이점을 비교하기 위해서는 비대칭단락시험전류의 크기와 이의 횟수를 포함시켜 기계적인 손상도 함께 검토하여야 좀 더 정확한 규격간의 비교가 되나, 여기서는 대칭시험전류의 크기와 횟수로 열적인(Thermal Effects) 손상만 비교하였다. 이 결과 첫째 대칭단락시험전류의 크기는 위 3항과 같이 ANSI/IEEE와 IEC의 계산 방법은 다르지만 결과가 동일함을 알 수 있고, 둘째 I^2t는 위 4항과 같이 ANSI/IEEE 규격에 의해 합산하면 상당 2075.51이고, IEC 규격에 의하면 상당 643.57로 ANSI/IEEE가 IEC에 비해 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

[Oscillogram]

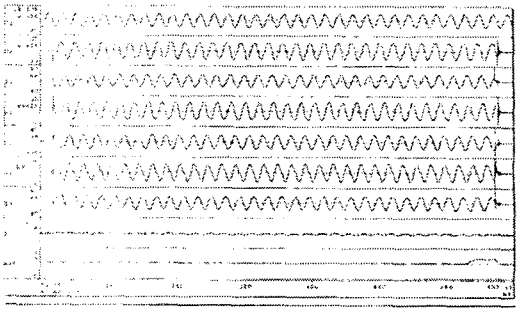
〔1〕 ANSI/IEEE 규격에 따른 단락전류시험



〔2〕 ANSI/IEEE 규격에 의한 장시간 단락전류시험



〔3〕 IEC 규격에 의한 단락전류시험



〔참 고 문 헌〕

〔1〕 the American National Standard/the Institute o Electrical and Electronics Engineeers C57.12.00
〔2〕 International Electrotechnical Commission 60076-5 (2000.7)
〔3〕 일본 전기학회 전기규격조사회 표준규격(JEC) 2200-1995
〔4〕 KS C4309(1995.12.27)
〔5〕 한국전기연구원. 2001년 대전력 시험기술. Vol4. No.11