

**ANSI/IEEE와 IEC 規格에 따른 變壓器의 短絡強度試驗의 比較**

김선구, 김선호, 김원만, 나대열, 노창일, 이동준, 정홍수  
한국전기연구원

**The Study of Comparison with ANSI/IEEE and IEC  
for Short Circuit Test of Transformers**

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

**Abstract** - Generally Short Circuit Test of transformers are tested according to IEEE std C57.12.00-2000, IEC 60076-5 (2000-07), ES148(1998.6.26) or KS C4309(2003). But ES148 (1998.6.26) is same as IEEE std C57. 12.00-2000 and KS C4309(2003) is revising coincidence with IEC 60076-5 (2000 -07). On this study condition of the transformers before short circuit test, calculation method for test current peak value, tolerance on the asymmetrical peak and r.m.s value, short circuit testing procedure, number of short circuit test, duration short circuit test, and detection of faults and evaluation of short circuit test result will be compared with ANSI and IEC.

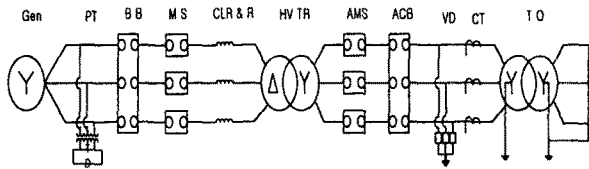
**1. 서 론**

현재 우리나라에서 주로 실시하고 있는 변압기의 단락시험은 IEEE std C57.12.00-2000, IEC 60076-5(2000-07) ES148(1998.6.26), KS C4309(2003)의 규격에 따르고 있다. 그러나 규격 ES148(1998.6.26)은 IEEE std C57. 12.00-2000과 거의 동일하고 KSC 4309(2003)은 IEC C 60076-5(2000.07)와 부합화에 초점을 맞추어 2003년도에 부분 개정되었고 점차 IEC60076-5와 부합되도록 개정 작업이 진행 중이므로, 여기에서는 IEEE std C57.12.00-2000과 IEC 60076-5(2000-07)의 시험방법, 비대칭 시험전류의 peak value를 구하는 방법, 장시간 전류시험, 대칭과 비대칭 시험전류의 계산방법과 시험횟수 시험결과의 판정기준에 대하여 논하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 단락강도시험의 목적**

계통에서 수용가로 전원을 공급하는 변압기에는 정상 상태에서 대부분 정격이하의 전류만 통전이 되나, 변압기 2차 부하 측에 부분 단락 또는 지락 등의 사고가 발생되면 정격전류보다 훨씬 높은 단락전류가 흐르게 된다. 따라서 단락전류에 변압기가 견디지 못하면 인사사고 등의 제2사고가 유발될 수 있음으로 <그림 1> 삼상 변압기의 단락시험 회로도도 같이 변압기에 단락전류를 통전시켜 변압기의 권선과 철심 등이 열적, 기계적인 Stress에 견디는 정도를 측정하기 위함이다.



**<그림 1> 삼상 변압기의 단락시험 회로도**

Gen	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	Rogowski Coil
RC	Current Transformer
TO	Apparatus Under Test

**2.2 주요 규격별 변압기의 종류**

1) KS C4306(1996) : 일단접지주상변압기(Single High Voltage C over Bushing Transformers)

- 2) KS C4311(1997) : 건식변압기(Dry-Type Transformers)
- 3) KEMC(Korea Electrical Manufacturers Cooperative/韓國電氣工業協同組合) 1113(1991) : 전력용물드변압기
- 4) KEMC 1133(1998) : 지상설치형 변압기
- 5) KEMC 1134(1997) : 자기진단형 일단접지주상변압기
- 6) KEMC 1135(1998) : 저손실형 일단접지주상변압기
- 7) IEC(International Electrotechnical Commission) 60076-5 (2000) : Power Transformers
- 8) IEC 60726(1986) : Dry-Type Power Transformer
- 9) ANSI/IEEE(Institute of Electrical & Electronics Engineers) Std C57.12.00-2000 : Liquid-immersed Distribution, Power and Regulating Transformers
- 10) ANSI/IEEE Std C57.13-1993 : Instrument Transformers
- 11) JEC(電氣學會電氣規格調査會標準規格)-2200(1995) : 變壓器
- 12) ES(Standard Technical Specification of KEPCO/한전표준규격) 1140-315~434(1996.12.28) : 3MVA 이상 전력용 변압기
- 13) RS(Standard Specifications of KEPCO) 141-100~110(2003.9) : 표준형 주상변압기(Stand Type Pole Transformers)
- 14) RS141-625~631(2003.03) : 아몰피스 주상변압기(Amorphous Core Type Pole Transformers)
- 15) RS141-170~190(2003.09) : 표준형 지상변압기(Standard Type Pad Mounted Transformers)
- 16) RS147-034~042(2003.09) : Slim 형 지상변압기(Slim Type Pad Mounted Transformers)

**2.3 IEEE std C57.12.00-2000에 의한 단락시험 방법**

**2.3.1. 변압기의 분류**

Category	단상(kVA)	삼상(kVA)
I	5~500	15~500
II	501~1667	501~5 000
III	1 668~10 000	5 001~30 000
IV	10 000 이상	30 000 이상

**2.3.2. 시험조건**

1) 2권선변압기의 단락전류

a. 대칭단락전류  $I_{sc}$

$$I_{sc} = 100 \times I_R / (Z_T + Z_s)$$

$I_R$  = 변압기 Tap 전류(교류분 실효값)

$Z_T$  = 상기 Tap에서의 변압기임피던스(%Impedance)

$Z_s$  = 계통임피던스(정격용량기준으로 한 %Impedance)

b. 비대칭 단락전류  $I_p = k \cdot I$

$I = I_{sc} / I_R$  : 기준전류에 대한 대칭단락 전류의 배수

c.  $x/r$ 에 따른 계수  $k$ 의 값

$r$  : 변압기와 계통의 Reactance의 합( $\Omega$ )

$x$  : 변압기와 계통의 Resistance의 합( $\Omega$ )

$x/r$	$k$	$x/r$	$k$
50.00	2.743	5.00	2.184
33.30	2.702	3.33	1.990
25.00	2.662	2.50	1.849
20.00	2.624	2.00	1.746
16.70	2.588	1.67	1.669
14.30	2.552	1.43	1.611
12.50	2.518	1.25	1.568
11.10	2.484	1.11	1.534
10.00	2.452	1.10	1.509

d. 분류 1 변압기의 최대 대칭 단락전류는 다음의 값을 초과하면 않된다.

단상 (kVA)	3상 (kVA)	대칭단락전류 (기준전류의 배수)
5~25	15~75	40
37.5~110	112.5~300	35
167~500	500	25

2) 시험 횟수

- a. 대칭단락전류  $I_{sc}$  : 4회
- b. 비대칭단락전류  $I_p$  : 2회

3) 시험 시간

a. 시험시간은 0.25 s를 기준으로 하되 대칭단락전류 4회 중 1회는 다음 b.의 조건을 만족하는 사건의 시험(장시간)을 1회 실시하여야 한다.

b. 장시간 비대칭전류시험

- ① 분류 1에 속하는 변압기

$$t = 1250 / I^2 s$$

$I$  : 기준 전류에 대한 대칭단락전류의 배수 ( $I_{sc}/I_n$ )

- ② 분류 2에 속하는 변압기 : 1.0 s

- ③ 분류 3 및 4에 속하는 변압기 : 0.5 s

4) 허용 오차

- a. 시험전압 : 95~105 %
- b. 시험전류 : 95 % 이상

2.3.3 임피던스변화 허용치(판정기준)

한전표준구매시방서 ES148(199.6.26)을 기준으로 한 시험전후의 %임피던스의 허용 범위는 다음과 같다.

- 1) 분류 1에 속하는 변압기

단위 : %

임피던스( $Z_T$ )	변화율 허용 오차
2.99 이하	22.5-(5 x $Z_T$ )
3.0 이상	7.5

2) 분류 II와 III에 속하는 변압기는 권선이 동심배치인 경우 2 %, 비원통형 동심배치인 경우 7.5 %

- 3) 분류 III에 속하는 변압기 : 2 %

2.4 IEC60076-5(2000.7)에 의한 단락시험 방법

2.4.1 변압기의 분류

Category	정격용량(kVA)
I	2 500
II	2 501~100 000
III	100 000 이상

2.4.2 시험조건

- 1) 2권선변압기의 단락전류

a. 대칭단락전류  $I_{sc}$

$$I_{sc} = U / (Z_T + Z_s) \times \sqrt{3} \text{ (kA)}$$

$$Z_s = U_s^2 / S(\Omega)$$

$U_s$  = System 정격 전압 (kV)

$S$  = System 단락 용량(MVA)

$$Z_T = (U_z \cdot U_n^2) / (100 \cdot S_n)$$

$Z_T$  : 변압기권선 단락 임피던스 ( $\Omega$ )

$U_z$  : % 임피던스

$U_n$  : 상전압(kV)

$S_n$  : 변압기 정격용량(MVA)

$U$  : Tap 전압(kV)

- b. 비대칭단락전류-2권선변압기의 시험전류의 최대값( $I_p$ )

① Peak Factor  $K \times \sqrt{2}$  구하기

$$K = X/R$$

$X$  : 시스템과 변압기 리액턴스의 합

$R$  : 시스템과 변압기 저항의 합

$$Kx\sqrt{2}$$

$X/R$	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	14
$Kx\sqrt{2}$	1.51	1.64	1.76	1.95	2.09	2.19	2.27	2.38	2.46	2.55

#  $X/R > 14$ 의 경우 분류변압기 2 = 2.55

분류변압기 3 = 2.69

- ② 시험전류의 최대값( $I_p$ )

$$I_p = I \times (K \times \sqrt{2})$$

- 2) 시험 횟수

a. Category I, II 단상변압기 : 3번

b. Category I, II 삼상변압기 : 9번

- 3) 시험 시간

a. Category I : 0.5 s  $\pm 10$  %

b. Category II, III : 제작자와 사용자간 협의에 따른다.

- 4) 허용 오차

a. 시험전압 : 정격의 1.15배 초과하지 않도록 한다.

- b. 시험전류

① 비대칭전류 : 95~105 %

② 대칭전류 : 90~110 %

2.4.3 임피던스변화의 허용치(판정기준)

- 1) 허용치가 2%인 변압기

① 원형 동심배치 변압기(Circular Concentric Coil)

② Sandwich Non-Circular Coils

③ 저압권선에 도체를 사용한 10,000kVA 이상의 변압기 중 임피던스가 3%이상인 경우는 4%를 초과해서는 않으나, 제작자와 주문자가 합의하는 경우에는 4% 이하도 가능하다.

- 2) 허용치가 7.5%인 변압기

① 비원형 동심배치권선의 변압기중 임피던스가 3%이상인 것.

② 제작자와 주문자가 협의 한 경우는 4% 이하를 초과하지 않는 범위까지 허용 가능.

③ 비원형 동심배치권선의 변압기 중 임피던스가 3%미만인 경우는 허용치를 정하지 않는다.

2.5 IEEE std C57.12.00-2000과 IEC60076-5(2000.7)에 의한 단락시험의 비교

2.5.1 변압기의 특성 Data

3 $\phi$ 200kVA 22.9kV/380Y220V				
탭 위치	Tap(#1)	Tap(#2)	Tap(#5)	
탭 전압 <sup>1)</sup> (V)	23,900	22,900	19,900	
임 피 던 스	% IR	1.319	1.352	1.463
	% IX	4.530	4.648	4.621
	% IZ	4.718	4.840	4.847

2.5.2 IEEE std C57.12.00-2000에 의한 시험방법

3 $\phi$ 200kVA 22.9kV/380Y220V				
IEE std C57.12.00-2000	단락강도시험			
탭 위치	Tap(#1)	Tap(#2)	Tap(#5)	
탭 전압 <sup>1)</sup> (V)	23,900	22,900	19,900	
임 피 던 스	% IR	1.319	1.352	1.463
	% IX	4.530	4.648	4.621
	% IZ	4.718	4.840	4.847
X/R 비	3.434	3.438	3.159	
K	2.002	2.002	2.115	
시 험 전 류 <sup>2)</sup>	실효치(A)	102.4	104.18	119.71
	과고치(Ap)	205.01	208.56	253.19
시험횟수통전시간(s)				
Tap#1 & 5는 대칭 비대칭 각각 1회, #2는 비대칭	2회-0.25	1회-0.25 1회-2.93	2회-0.25	

2.5.3 IEC60076-5(2000.7)에 의한 시험방법

3 $\phi$ 200kVA 22.9kV/380Y220V				
IEC60076-5(2000.7)	단락강도시험			
탭 위치	Tap(#1)	Tap(#2)	Tap(#5)	
탭 전압 <sup>1)</sup> (V)	23,900	22,900	19,900	
임 피 던 스	% IR	1.319	1.352	1.463
	% IX	4.530	4.648	4.621
	% IZ	4.718	4.840	4.847
X/R 비	3.434	3.438	3.159	
$K \times \sqrt{2}$	2.011	2.011	1.972	
시 험 전 류 <sup>2)</sup>	실효치(A)	102.4	104.18	119.71
	과고치(Ap)	205.93	209.51	236.07
시험횟수통전시간(s)	3회-0.5	3회-0.5	3회-0.5	

3. 결 론

변압기 3 $\phi$  200kVA 22.9kV/380Y220V를 규격 IEEE std C57.12.00-2000과 IEC 60076-5(2000-07)에 의한 단락시험 내용을 비교하면 2.6항과 같이 대칭단락전류의 시험전류 값은 거의 동일하고, 비대칭 단락전류의 시험전류의 값도 비슷함을 알 수 있다. 시험횟수는 IEEE는 비대칭 2회 대칭4회이고 IEC는 비대칭 9회이며 총 시험시간은 IEEE 4.18s IEC4.5s이다. 따라서 IEC규격에 의한 단락시험이 IEEE에 의한 시험보다 더 가혹함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE C57.12.00-2000, "Short-circuit characteristics", 2000
- [2] IEC60076-5, "Demonstration of ability to withstand short circuit" 2000.
- [3] JEC-2200, "變壓器", 電氣學會 電氣規格調查會標準規格, 1995.
- [4] KS C4309, "변압기 단락강도 시험방법", 2003.
- [5] ES148, "변압기 단락강도 시험 규격", 한전표준구매시방서, 1998 .