

국내 변전설계를 위한 전력용변압기 기준(안)에 관한 연구

김익수* · 윤진열** · 주병수** · 이옥배** · 윤유술* · 정주영*
 *한국전기연구원 · **한국전력공사

A Study on the Criteria of Power Transformers for Substation Design in Korea

I. S. Kim* · J. Y. Yoon** · B. S. Joo** · O. B. Lee** · Y. S. Yoon* · J. Y. Jeong*
 KERI* · KEPCO**

Abstract - This paper represents the criteria of Power Transformers for substation design in Korea.

The construction of new substations and expansion of existing facilities are commonplace projects in KEPCO(Korea Electric Power Corporation). The KEPCO has had the only design criteria, which need to be adequate criteria considering the new technology and environment in Korea.

1. 서 론

전기에너지는 수송, 변환, 제어 등이 편리한 이점을 가지고 있으므로 산업발달과 경제 향상에 따라 수요가 급격히 증가하고 있으며, 최근 고도정보화 사회로의 발전을 위하여 고품질의 전력을 안정적으로 공급하는 것을 강하게 요구하고 있다. 이를 충족하기 위한 변전소 건설은, 그 동안 국가기간산업으로 인정되어 국민들의 큰 저항 없이 건설돼 왔다. 그러나 최근 전력설비에 대한 부정적 시각과 기피현상의 확산으로 집단민원이 빈번해지자 대부분의 송변전설비가 적기에 준공되지 못하여 전력공급에도 차질이 초래되는 위기를 맞게 되었다.

변전소는 전기에너지의 수송 면에서 가장 중요한 요소의 하나로 국민의 복리에 직접적인 연관이 있기 때문에, 필수적으로 요구되고 있으므로, 전력수요의 급증장에 효과적으로 대처하고 한정된 국토의 이용률을 제고하여야 한다. 이를 위해 우리나라의 전력계통은 전압계층별 역할을 재조정하여 전력계통의 대용량화와 단순화를 도모하는 장기적 기반 구축으로 765 kV - 345 kV - 154 kV체제로 완성단계에 와 있다.

변전소 건설에 있어서 고신뢰도의 변전소 설비가 건설될 수 있도록 운전성, 기술성 및 경제성 측면에서 합리적인 변전소 형태 선정하도록 기준이 있어야 한다. 본고는 변전소 건설을 위한 전력용 변압기 기준에 관하여 필요한 사항을 정함으로써 계통의 사고과급 방지, 전기공급의 효율성 및 안정성, 경제성을 도모함을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 일반사항

- (1) 변전소의 규모와 형태에 따라 적합한 변압기를 선정한다.
- (2) 변압기 선정시 설치 환경, 관련 기기의 배치, 선로의 인·출입 등을 고려한다.
- (3) 변압기는 기후조건을 고려하여 선정하고, 냉해와 염전해가 심한 특수한 환경에서는 별도의 대책을 수립하여 정한다.
- (4) 변압기가 복합건물의 옥내 또는 지하에 설치되는 경우, 방재형 변압기(난연성 절연유 봉입형 또는 가스절연형)를 적용할 수 있다.

2.2 정격 선정

(1) 정격전압 및 탭전압

◦ 변압기의 정격전압 및 탭전압은 <표 1>과 같다.

<표 1> 변압기 정격전압 및 탭전압

고압권선 (1차권선)		중압권선 (2차권선)	저압권선 (3차권선)	비 고
정격전압 (kV)	탭전압 (kV)	정격전압 (kV)	정격전압 (kV)	
$\frac{765}{\sqrt{3}}$	$\frac{765}{\sqrt{3}} \pm 7\%$	$\frac{345}{\sqrt{3}}$	23	
$\frac{345}{\sqrt{3}}$	$\frac{345}{\sqrt{3}} \pm 10\%$	$\frac{161}{\sqrt{3}} (\frac{154}{\sqrt{3}})^{1)}$	23	
$\frac{154}{\sqrt{3}}$	$\frac{154}{\sqrt{3}} \pm 12.5\%$	23	6.6	3차측 안정권선

(주 1) 기설 변압기의 정격전압과 일치하는데 적용한다.

- OLTC 설치위치는 765kV 변압기는 분로권선 중성점 측에, 345kV 변압기는 직렬권선 하단에, 154kV 변압기는 고압권선 측에 설치한다.
- 탭전압은 전용량 탭이어야 한다.

(2) 정격용량

변압기 각 권선의 단상 정격용량은 단계별 냉각방식에 따라 <표 2>와 같다.

<표 2> 냉각단계에 따른 단상 정격용량 [MVA]

변압기 종류	권선별	1단계	2단계	3단계	Bank 용량	비 고
765kV	저압권선	12 (6)	156 (78)	20 (10)	2,000 (1,000)	()는 2분할된 탱크 각각의 용량임
	고압권선	400	520	666.7		
	중압권선	(200)	(260)	(333.35)		
345kV	저압권선	22	29.3	36.7	500	
	고압권선	100	133.3	166.7		
	중압권선	100	133.3	166.7		
154kV	저압권선	5	6.67	-	60 (40) ¹⁾	
	고압권선	15	20	-		
	중압권선	15	20	-		

(주 1) 40MVA는 3상 고온복합절연변압기에 적용.

(3) %임피던스

- 정격점에서 %임피던스는 <표 3>과 같다.
- 345kV 이하의 변압기 %임피던스는 최저 번호탭에서 최소여야 하고, 탭 번호가 커짐에 따라 증가하여 최고 번호탭에서 최대이어야 한다.
- 765kV 변압기 %임피던스는 최저 번호탭에서 최대이어야 하고, 탭 번호가 커짐에 따라 감소하여 최고 번호탭에서 최소이어야 한다.
- 765kV, 345kV 변압기의 3차측 단락용량은 1,000MVA를 초과하지 않도록 하여야 한다.

<표 3> %임피던스

변압기 종류	권선간	%임피던스	적 용
765kV	중압권선-저압권선	-	필요시 별도로 정한다.
	고압권선-저압권선	-	
	고압권선-중압권선	18	단상 667MVA 기준 (1대 333.5MVA도 동일)
345kV	중압권선-저압권선	-	필요시 별도로 정한다.
	고압권선-저압권선	-	
	고압권선-중압권선	10	단상 166.7MVA 기준
154kV	중압권선-저압권선	-	필요시 별도로 정한다.
	고압권선-저압권선	-	
	고압권선-중압권선	20	3상 60MVA 기준(단상 20MVA)

(4) 절연강도

- 변압기 권선의 기준충격절연강도(BIL)는 <표 4>와 같다.

<표 4> 변압기 권선의 기준충격절연강도

계통최고 전압 (kV)	선로측		중성점	
	전절연 BIL (kV)	저감절연 BIL (kV)	직접접지 (kV)	비접지 (kV)
800	2,250	2,050	150	-
362	1,175	1,050	150	450
170	750	650	150	350
25.8	150	-	150	-

- Y결선 변압기는 단절연을 한다. 단, 계통최고전압 25.8kV 이하의 변압기권선은 계통의 접지방식 여부를 불문하고 균등 절연을 한다.
- 지감절연은 직접접지계통에 사용할 변압기 권선에 적용한다.
- 직접접지 계통의 변압기 중성점을 접지하지 않을 때는 비접지에 해당하는 절연을 해야 한다.

(5) 결선방식

변압기의 결선방식은 <표 5>와 같다.

<표 5> 변압기 결선방식

결 선						적 용
1차측	2차측	3차측	1차 권선	2차 권선	3차 권선	
765kV	345kV	23kV	Y	Y	Δ	단상 단권 2분할 변압기를 3상 결선하여 적용한다.
345kV	161kV	23kV	Y	Y	Δ	단상 단권 변압기를 3상결선하여 적용한다.
154kV	23kV	6.6kV	Y	Y	(Δ)	3차권선은 부하를 연결하지 않는 양결선만을 둔다.

(6) 극성, 각변위, 단자기호 및 배치

- 극성은 감극성을 표준으로 한다.
- 변압기의 각변위는 고압측과 저압측의 결선이 동일한 경우 0°, 각 결선이 상이 하면 저압측 전압이 고압측 전압보다 30° 뒤져야 하며, 표기방법은 IEC 60076 에 따라 아래와 같이 한다.
 - 765kV, 345kV 변압기 : YNautd1 (YNad1)
 - 154kV 변압기 : YNynd1
- 변압기의 단자기호는 다음과 표기한다.
 - 고압단자 : H
 - 중압단자 : X
 - 저압단자 : Y
 - 중성점단자 : H₀, X₀
- 단자배치는 3상 결선, 모선과의 연결, 보호, 운전에 영향을 미치므로 전압별로 동일하여야 한다.

2.3 냉각방식

변압기 냉각방식은 <표 6>과 같다.

<표 6> 변압기 냉각방식

변압기 종류	1단계	2단계	3단계	비 고
765kV	OFAF/ODAF	OFAF/ODAF	OFAF/ODAF	예비 냉각장치 구비
345kV	ONAN	OFAF/ODAF	OFAF/ODAF	-
154kV	절연유	ONAN	ONAF/ODAF OFAF	-
		OFAF/ODAF	-	-
		OFWF/ODWF	-	-
	가스	GFWF	-	-

(주 1) Water Cooler의 경우 냉각 pump 및 냉각수 고장을 대비 예비 냉각장치를 구비함.

<표 7> IEC 규격에 의한 냉각방식 분류

냉각방식	약호	비 고
유입자냉식	ONAN	Natural Oil Cooling(ON) Natural Air Cooling(AN)
유입풍냉식	ONAF	
송유풍냉식	OFAF/ODAF	Forced Air Cooling(AF) Directed Oil Cooling(OD)
송유수냉식	OFWF/ODWF	Forced Oil Cooling(OF) Forced Water Cooling(WF) Forced Gas Cooling(GF)
송가스수냉식	GFWF	

2.4 부하시 탭 조정장치(OLTC : On Load Tap Changer)

- (1) 부하시 탭 조정장치는 <표 1>에 해당하는 탭전압의 범위에서 전압을 조정한다.
- (2) 부하시 탭 조정장치의 탭 수와 탭간 전압은 <표 8>과 같다.

<표 8> 부하시 탭 조정장치의 탭 수와 탭간 전압

정격전압 (kV)	탭 수			탭간 전압
	송압	강압	총 탭 수(정격전압탭 포함)	
765	10	12	23	각 탭별 상이
345	8	8	17	정격전압의 1.25%
154	10	10	21	정격전압의 1.25%

2.5 부싱(Bushing)

- (1) 변압기용 부싱은 사용전압에 따라 <표 9>와 같이 적용한다.

<표 9> 변압기용 부싱 정격

변압기 (kV)	구분	1차		2차		3차
		선로	중성점	선로	중성점	
765	전압(kV)	800	25.8	362	-	25.8
	전류(A)	2,000	2,000	4,000	-	2,000
345	전압(kV)	362	25.8 (123) ¹⁾	170	-	25.8
	전류(A)	1,200	1,200	2,500	-	2,000
154	전압(kV)	170	25.8 (72.5) ¹⁾	25.8	25.8	7.2
	전류(A)	800	400 (400)	2,000	1,600	400

(주 1) 중성점을 비접지하는 경우에 적용한다.

(2) 부싱의 종류

- 25.8kV 이하의 전압에는 단일형 부싱을 적용한다.
- 72.5kV 이상의 전압에는 커패시터형 부싱을 적용한다.
- 가스절연변압기에는 가스부싱을 적용한다.

(3) 상별로 부싱을 2개씩 설치하는 경우의 정격전류는 <표 9> 값의 1/2로 할 수 있다.

(4) 변압기 부싱의 접속형태는 Oil-to-Gas, Oil-to-Air, Oil-to-Oil, Cable-Plug-in, Gas-to-Gas등을 사용할 수 있다.

- (5) 변압기 부싱의 기준충격절연강도(BIL)는 <표 10>과 같다.
<표 10> 부싱의 기준충격절연강도

정격전압 (kV)	기준충격절연강도 (kV)
800	2,250
362	1,300
170	750
123	550
72.5	350
25.8	150
7.2	60

- 2.6 부싱 변류기(BCT : Bushing Current Transformer)**
변압기 부싱 변류기의 정격 및 수량은 ES 145, ES 140-315-434(3MVA 이상 전력용 변압기), ES 140-500(345kV 단상단권변압기) 및 구매규격(765kV)에 따른다.

2.7 절연유, 가스 및 보존 방식

- (1) 유입변압기에는 폴리염화바이페닐(PCB : Polychlorinated biphenyl)이 함유되지 않은 KS 규격 또는 ASTM(American Society for Testing and Materials)에 명기된 성능이 입증된 광유(1종 4호), 혼합유(7종 4호), 난연성 절연유를 사용한다.
- (2) 가스절연변압기에는 SF6 가스를 사용한다.
- (3) 유보존방식은 공기주머니식을 원칙으로 하며 이동형 변압기에는 질소방식을 사용한다.
- (4) 가스절연변압기는 밀봉식을 사용한다.

2.8 보호 및 계측 장치

- (1) 기계적 보호장치는 과도압력 방출장치, 충격압력 계전기, 가스검출 계전기(부호호쓰 계전기), OLTC 보호계전기, 압력검출장치 등을 사용한다.
- (2) 변압기 외부에 설치하는 피뢰기는 설계기준 2531(피뢰기 선정)의 7.3.2항(피뢰기 설치위치)에 따른다.
- (3) 154kV / 23kV 변압기 2차측 중성점에는 21kV 10kA 피뢰기를 설치한다.
- (4) 변압기의 전기적 보호방식은 설계기준 “보호계전방식 및 제어회로”에 따른다.
- (5) 변압기의 운전전압, 불전전류, 공급전력, 역률, 내부 각 부위의 온도, 압력, 절연유량 등 운전상태를 감시·계측할 수 있는 설비를 변압기와 원격제어반에 설치한다.
- (6) 변압기의 중요도에 따라 예방진단 설비의 적용을 검토하여야 한다.
- (7) 위의 (1), (5), (6)항의 장치 등의 보호등급은 IP 65 이상을 원칙으로 한다.
단, IP 65 등급을 충족하는 장치가 없는 경우에는 IP 54를 적용할 수 있다.

2.9 외함 및 조작함

- (1) 외함과 조작함은 운반 및 취급시의 충격·진동에 충분히 견디어야 하며 고장으로 인한 내부 압력상승에도 파괴되지 않아야 한다.
- (2) 수송, 설치, 점검, 시험과 운전상태 감시가 용이한 구조이어야 하고, 주위환경과 조화되도록 하여야 한다.
- (3) 조작함의 보호등급은 IP 65 이상을 원칙으로 한다.

2.10 소음과 진동

- (1) 소음 기준 및 측정은 따로 정하는 규정에 따른다.
- (2) 소음과 진동의 크기를 최소화하도록 대책을 강구하여야 한다.

2.11 운송 및 설치

- (1) 운송중량 및 치수, 운송경로, 법규상 운송제한 사항 등을 종합적으로 검토한 후, 운송방법(육상, 해상, 철도 운송)별 장단점을 비교하여 가장 적절한 운송

계획을 수립하여야 한다.

- (2) 운송시에는 충격기록계를 설치하여야 하고, 기록치가 기준 범위 안에 있는지 확인하여야 한다.
- (3) 변압기의 배치는 운전, 보수의 편리성을 고려하여 뱅크별, 상별 동일방향으로 하여야 한다.
- (4) 1, 2차측 접속, 조작함의 위치 및 3차회로의 구성 등은 제작사별 호환성을 고려하여야 한다.
- (5) 절연유 분출을 대비하여 이를 수용할 수 있는 적절한 크기의 집유조를 설치한다.
- (6) 화재의 확산 방지와 소음의 차단 등을 위하여 상별 또는 뱅크별로 방화벽을 설치한다.
- (7) 변압기 주변의 덤트는 유입방지 시설을 하여야 한다.
- (8) 변압기 설치작업은 별도로 정한 절차서를 준수하여 충분한 품질이 보장되도록 하여야 한다.
- (9) 변압기의 주파수 응답특성 초기치를 측정하여 운송 및 고장에 의한 철심과 권선의 이상 유무를 판단하기 위한 초기 데이터를 확보하여야 한다.

2.12 변압기 시험 및 검사

시험 및 검사항목은 구매 규격에서 정하는 바에 따른다. 단, 기술 발전 및 환경 변화에 따라 별도의 시험항목이 필요한 경우에는 정해진 기준에 의한다.

2.13 기타 사항

- (1) 명판에는 변압기 내·외부의 구조, 정격사항, 특성, 주요 사용재료, 중량 등 관련 사항을 명기하여야 한다.
- (2) 변압기 내부에 각종 보호 장치와 한류리액터를 사용하는 경우는 이를 명판에 명기하여 유지보수에 이용하도록 하여야 한다.
- (3) 사용설명서는 변압기 운전과 보수에 활용할 수 있도록, 변압기의 내부구조, 부속 장치, 제반 정격사항과 특성, 시험 내용 등이 명확하게 사진, 그림, 도면 등으로 잘 나타나 있어야 한다.
- (4) 변압기 본체 및 각 부속품은 IEC 60068-3-3 기준에 의거 내진대책을 강구하여야 한다.

3. 결 론

국내 유일한 변전설계기준인 한국전력공사의 기준은 변전소의 건설 및 변전설비 신설 및 증설시에 지켜야 할 기준으로서, 전기산업계에 광범위하게 적용되고 있으므로, 기술 여건 변화를 반영하였고, 기술환경변화에 적절히 대응할 수 있도록 개정함으로써 변전설비 건설 및 유지보수시 경제성 확보와 건설품질을 확보하고 결과적으로 전기품질을 향상시키며, 전기시설, 전기기기 제작 및 설치 시공분야 등에 대한 신뢰도향상에 일익을 하도록 변전소 형태 선정 기준에 대하여 서술하였다. 향후 본 변전설계기준개정(안)을 적용한 변전소의 설계, 운용 기술 향상에 따라 제품의 성능향상은 물론, 전기의 안정적 공급에 크게 이바지하리라 사료된다.

본 연구는 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원산업의 “국내 변전설계기준 개정 연구”의 결과인.

[참 고 문 헌]

- [1] ANSI C57.12.90 IEEE Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers, 1993.
- [2] IEC 60076-1 Power Transformers-Part 1 : General Edition 2.1; Edition 2 : 1993 Consolidated with Amendment 1 : 1999, 2000.04.
- [3] IEC 60076-3 Power Transformers Part 3 : Insulation Levels, Dielectric Tests and Clearances in Air Second Editions: Corrigendum 11-2000, 2000.03.
- [4] IEC 60185 Current transformers, 1992.05.
- [5] JEC 190 “계기용 변성기” 1974.