

765kV 변압기 적용기술 및 특징

정시현 | 한국전력공사 전력계통건설처 변전부장
 최준식 | 한국전력공사 전력계통건설처 변전과장

I ■ 일반사항

1. 형식

단상 단권 변압기 (Single Phase Auto-Transformer)로서 수송을 고려한 단상 2분할 권선 (Tank) 구조이다.

구조적, 전기적으로 탱크분리운전(1상 1탱크 운전)에 지장이 없도록 제작한다.

2. 정격

가. 정격전압 및 탭전압(Rated Voltage & Tap Voltage)
 765kV 주변압기의 정격 전압 및 탭전압은 표1과

같다.

단, OLTC는 분로권선 중성점 측에 설치하고 탭전압은 전용 탭으로 구성된다.

나. 결선(Connections)

각 권선별 결선방식은 표 2와 같다.

다. 냉각방식과 정격용량

(Cooling Classes & Rated MVA)

변압기 냉각방식은 제1단계 송유풍냉식(FOA1), 제2단계 송유풍냉식(FOA2), 제3단계 송유풍냉식(FOA3)으로 하며, Fan 및 Pump 고장시 대체 사용할 수 있도록 예비 Group의 냉각장치를 갖추었다.

> [표 1] 765kV 주변압기 정격 전압 및 탭전압

고압권선(1차권선)		중압권선(2차권선)		저압권선(3차 권선)	
정격전압(kV)	탭전압(kV)	정격전압(kV)	탭전압(kV)	정격전압(kV)	탭전압(kV)
$\frac{765}{\sqrt{3}}$	$\frac{765}{\sqrt{3}} \pm 7\%$	$\frac{345}{\sqrt{3}}$		23	

> [표 2] 결선방식

1차측	2차측	3차측	1차권선	2차권선	3차측권선
765kV	345kV	23kV	Y	Y	△

3. 765kV변압기와 345kV변압기 비교

> [표 2] 결선 방식

구분		345kV 변압기			765kV 변압기		
종류		단상 단권			단상 단권 (2분할탱크)		
정격전압		가. $\frac{345}{\sqrt{3}} / \frac{161}{\sqrt{3}} / 23kV$			나. $\frac{765}{\sqrt{3}} / \frac{345}{\sqrt{3}} / 23kV$		
정격용량 (MVA)	1 ϕ	100	133.3	166.7	400 (200×2)	520 (260×2)	666.7 (333.35×2)
	3 ϕ	300	400	500	1,200	1,560	2,000
냉각방식		자냉	1단계	2단계	1단계	2단계	3단계
냉각장치		Radiator형 (자냉기능 유)			Cooler형 (자냉기능 무)		
절연강도(BIL)		1,050 kV			2,050 kV		
% Impedance		10%			18%		
OLTC	전압조정폭	$\pm 10\%$			$\pm 7\%$		
	전압조정 방법	OLTC			OLTC		
	탭위치	직렬권선			분로권선(중성점측)		
	탭수	17개			23개		
부싱 Type(BIL)		Oil-Air 부싱 (옥외노출)(1,300 kV)			Oil-Gas 부싱(내장형)(2,050 kV)		
기기 연결		내장모선			GIB		
소음레벨		85dB			85dB		
한류리액터		-			일부 제작업체 필요		
수송중량		1상 약 90톤			탱크별 약 160톤		
유량 (l)		약 35,000			약 75,600/탱크당		

II ■ 적용기술

1. 단권변압기 선정

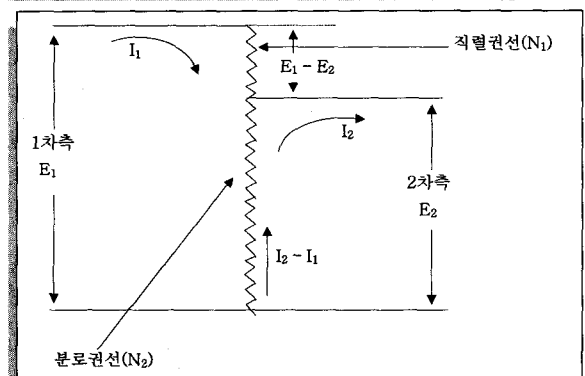
가. 일반적인 이론

단권변압기란 연속으로 구성된 하나의 권선중 그 일부권선을 1차와 2차가 공유하는 변압기를 말한다.

이때 공유하는 권선부분을 분로권선(Common Winding)이라 하고 공통부분이 아닌 부분은 직렬권선(Series Winding)이라고 한다. 각각의 전압, 전

류, 권선수N을 표시하면 [그림1]과 같다.

> [그림 1] 단상단권 변압기 결선도



$$\text{위 그림으로부터 } \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1+N_2} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1+N_2}{N_2}$$

따라서

$$\text{직렬권선용량 : } P_1 = (E_1 - E_2)I_1 \\ = E_1I_1 - E_2I_1$$

$$\text{분로권선용량 : } P_2 = E_2(I_2 - I_1) \\ = E_2I_2 - E_2I_1$$

여기서 $E_1I_1 = E_2I_2$ 이므로 $P_1 = P_2$ 가 된다.

이 P_1, P_2 의 크기는 탭이 있을 경우는 변하므로 각 탭에서 구한 값중 용량이 최대가 되는 값을 자기용량(Self Capacity)이라고 하고, 2차측 피상전력을 정격출력 또는 선로용량(Line Capacity)이라고 한다.

이 때

$$\alpha = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} \text{ 라 하면}$$

이 α 를 권선분비라 한다.

E_2 가 E_1 에 가까울수록 (α 가 제로에 가까울수록) 자기용량이 적게되어 주재료인 철량 및 동량이 그만큼 절약되고 변압기 철도운송시 제약조건인 무게 및 크기를 맞출 수 있고 설치 및 유지보수에도 유리하다.

나. 단권변압기의 장단점

(1) 장점

- 권선분비 α 가 작을수록 변압기는 소형이 되고 가벼워진다.
- % Impedance, 손실율, 전압변동을, % 여자전

류는 모두 2권선 변압기의 선로용량 기준치의 α 배 만큼 감소한다.

예를 들면 선로용량 2,000kVA, $\alpha=0.5$ 인 경우 자기용량이 1,000kVA로 되고 1,000kVA에 있어서의 % Impedance가 6%라면 선로용량으로 따지면 3%가 된다

(2) 단점

- Impedance가 감소하여 단락전류가 커지므로 권선의 과전류 내력을 증대시켜야 한다.
- 고압측의 이상전압이 저압측에 영향을 주므로 직렬권선은 단독으로 고압측에 인가된 충격전압에 견딜 수 있도록 절연을 강화시키거나 직렬권선과 병렬로 피뢰기를 설치한다.

2. 절연설계기술

전력계통에 발생하는 이상전압은 1선지락시의 건전상의 전위상승 및 선로개폐시의 개폐찌지 등에 의해 발생하는 내부이상전압과 뇌에 의한 외부이상전압으로 나눌수 있다.

내부이상전압은 일반적으로 발생회수가 많으므로 그것에 견딜 수 있는 변압기 절연설계를 해야하고 외부이상전압은 피뢰기로 방전시켜 변압기에 이상전압이 가해지지 않도록 하는 것이 표준방식이다.

우리나라의 154kV, 345kV, 765kV 계통은 직접 접지방식을 채용하고 있다

우리나라 전력계통은 적절한 수량의 변압기 중성점을 접지시켜 변압기 절연레벨을 낮추어 변압기 권

> [표 3] 변압기별 절연레벨표

변압기	전절연 kV(Full Insulation)	저감절연 kV(Reduced Ins.)	단절연 kV(Graded Ins.)	비고
154kV	750	650	150	
345kV	1,300	1,050	350	
765kV	2,250	2,050	550	

선측에는 저감절연 (Reduced Insulation)을 채용하고 있으며 중성점 측 절연 레벨은 중성점의 절연강도를 선로단자보다 낮게 한 단절연 (Graded Insulation)을 채용하고 있다.

저감절연이나 단절연은 변압기 절연비용을 절감할 수 있어 경제성면에서 전절연보다 훨씬 유리하다.

각 전압 등급별 1차측 절연레벨은 <표 3>과 같다.

3. 제조기술

가. 철심

(1) 철심의 재료

- 철심은 투자율이 높고 히스테리시스손실이 적은 Non-aging 방향성 규소강판을 사용하고 철손이나 여자전류가 적도록 제작한다.
- 철심은 변압기 외함에 접지 되어야 하고 고온의 절연유에 견딜 수 있는 절연피막처리를 한다.

(2) 철심의 구조

765kV 변압기의 철심구조는 초고압화에 따른 절연거리의 증대로 수송치수면에서 문제가 되는데, 철도운송을 고려하여 Core 형태를 [그림 1]과 같이 제작하여 수송이 보다 용이하도록 하였다.

(3) 철심의 접합

철심접합부의 손실을 줄이기 위하여 Lamination sheet를 서로 어긋나게 배치하여 자속의 집중현상을 억제한다.

또 규소강판 절단시 Stress로 인한 자기저항을 낮추기 위하여 Annealing을 한다.

나. 권선

(1) 권선설계시의 고려사항

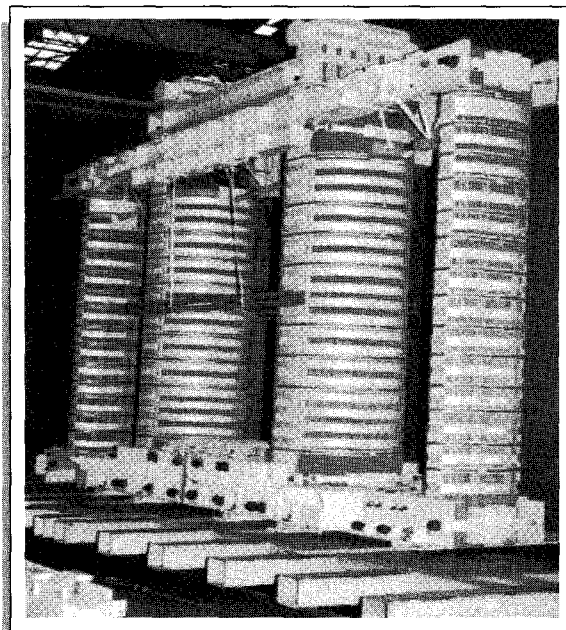
초고압 대용량 변압기에서 권선구조 설계시 고려해야 할 사항은 아래와 같다.

- 권선의 방법 및 절연두께
- 요구되는 특성을 만족시킬 수 있는 권선배치 및 구조, 전위 분포
- 접지실드 또는 정전실드의 적용
- 라인리드 및 탭리드의 절연처리
- 전이전압의 고려

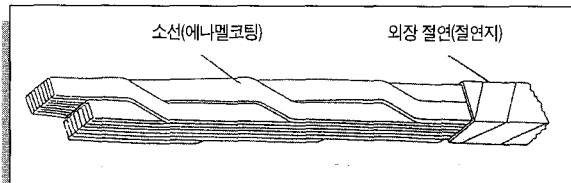
(2) 연속전위권선 채택

대용량 변압기 권선에는 흐르는 전류가 커서 대단히 큰 도체의 단면적이 요구된다. 이러한 권선에서의 Eddy-current loss는 도체의 치수에 좌우되므로 가능한 연속전위 권선(Continuous Transposed Cable)과 Twin, Triple Conductor 등을 사용하여 Eddy-current loss를 줄이고 권선의 Space factor와 신뢰성을 향상시킨다. 또한 도체는 열적·전기적 특성에 우수한 Thermally Upgraded Calender

> [그림 1] 철심구조예



Paper로 감아서 권선의 수명손실을 줄이고 절연내력을 확보하였다.



III ■ 765kV 변압기 특징

1. 단상 2분할 권선(Tank) 구조

가. 수송의 용이성

765kV 변압기는 탱크용량이 2,000MVA인 대용량으로서 기존 345kV 변압기와 같이 1상 1탱크형으로 제작할 경우 수송중량이 상당 약 210톤이상으로 공장에서 변전소 설치 현장까지 운송하는 많은 제약 조건이 있다.

따라서, 각 상을 다시 두개의 탱크로 분할하여 제작함으로써 탱크당 무게를 165톤으로 줄여서 수송에 문제가 없도록 하였다.

또한, 765kV 주변압기는 단상 2Tank로 분리 제작하였는데도 기존 특장차로는 무게 및 크기의 제약으로 운반이 불가능하므로 특별히 설계된 특수차량

(Schnabel Car)을 도입하여 운반한다.

Schnabel Car는 앞뒤에 슈나벨 힌지(Schnabel Hinge)를 넣어 화물을 메어다는 방식으로 하부에서 힌지에 의하여 핀으로 고정이 되며 아울러 상단에 압착금구로 앞뒤로부터 조여서 고정된다. (운반사진 참조)

나. 탱크별 분할 운전 가능

765kV 변압기 1탱크 고장시에는 각 상별 건전한 1탱크씩만 이용하여 운전이 가능하다. 이 경우 변압기 용량은 1000MVA로 된다.

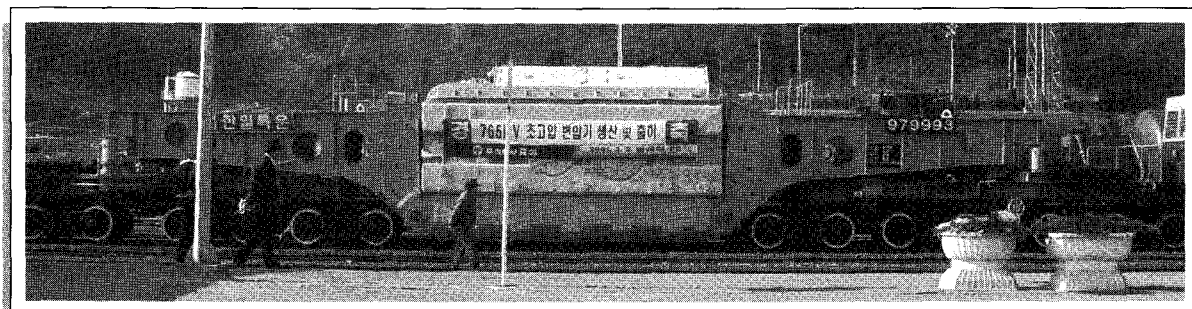
또한, 변전소 건설초기에 부하용량이 1000MVA 이내일 경우 각 상당 1탱크씩만 설치하여 1000MVA로 운전하면 초기 투자비용이 대폭 절감된다.

2. 특수 냉각방식 채용

변압기 냉각방식을 Cooler형으로 하면 콤팩트하여 설치면적이 축소되고, 냉각코일이 지느러미형(Fin Type)으로 되어있어 냉각효율이 좋은 장점이 있지만 자냉기능이 없기 때문에 Pump 및 Fan의 전체 고장 시나 소내전원 공급 중단시 변압기로서의 용량을 발휘할 수 없는 단점이 있다.

이러한 단점 보완을 위해서, 765kV 변전소의 소

> 765kV 변압기 운송 사진



내전원은 주변압기 3차측에서 공급되는 2개전원, D/L 1개전원을 수전할 수 있도록 구성하여 소내전원으로 3개 전원을 확보하며 변압기에 공급되는 AC 전원은 2계열로 구성되어 있으므로 소내 전원의 정전 확률은 거의 없도록 하였다.

일본의 경우 일부 500kV용 변압기와 최근 제작된 1,000kV용 변압기 냉각방식은 Cooler형을 채택하고 있으며 베네주엘라에 납품된 GEC-ALSTOM사의 765kV변압기 및 국내 대용량 발전소의 변압기 냉각 방식도 Cooler형을 적용하고 있다.

3. Oil to Gas 붓싱 채용

765kV 변전소는 345kV 옥외형 GIS 변전소와는 달리 Full GIS형으로 건설하였다.

따라서, GIS와 변압기간을 연결하는 고압 및 중압 붓싱 모두 Oil to Gas(별칭: OIL - SF6)붓싱을 채용하여 사용하고 있으며, 내부 유압을 감시하는 유압 감지기를 부착하였다.

4. 한류리액터 설치

변압기 3차측은 정격전압이 23kV으로 단락용량을 1,000MVA 이하로 제한하고 있으며 이를 위해서 일부 제작사에서는 3차측에 2탱크 공용으로 한류리액터를 외부에 설치하는 구조로 제작하고 있으며, 또 다른 제작사는 내부 권선배치를 조절하여 임피던스를 증가시켜 별도의 한류리액터가 필요 없는 완전 독립된 2탱크 구조로 제작하고 있다.

5. 유동대전 방지대책 채용

유동대전이란 초고압 대용량 변압기내에서 Press board, 절연지등 고체 절연물의 경계면에서 절연유 순환시 마찰등에 의해서 발생하는 정전하의 대전현상을 말하며, 이 전하에 의한 공단전계가 부분방전을 일으킨후 절연파괴까지 진전될 우려가 있다.

따라서, cooler방식에서 절연유 순환시 유속을 일정치 이하로 설계하거나, 권선측에는 절연유를 강제 순환시키지 않은 방법으로 설계하여 유동대전을 방지하고 있다.