

765kV 급 전력용변압기 개발현황

글/윤 여 현(효성중공업 부장/기술사)

홍 기 돈(효성중공업 과장)

1. 765kV 송전 필요성 및 국내 개발현황

경제성장과 생활의 향상에 따라 전력은 매년 지속적인 수요증가를 나타내고 있으며, 전국 최대수요는 1991년에 19,124MW를 기준으로 할 때 1996년에는 1.5배, 2001년에는 2배, 2006년에는 2.5배로 증가하고 2010년 이후에는 4배인 8만MW로 증가 할 것으로 전망된다.

특히 부하편재는 전체전력 수요의 40% 이상을 차지하는 경인지역에 전력수요가 집중하여 2031년경에는 약 21,397MW의 수요·공급차가 발생할 것으로 예측된다. 현재의 154kV와 345kV급으로는 전력수송의 한계를 맞고 있기 때문이다.

국토의 효율적 이용 및 종합경제성에서 765kV는 송전능력면에서 154kV보다 25배, 345kV보다 5배에 달하고 전력손실면에서도 154kV가 1.2%, 345kV가 0.6%인데 비해 765kV는 0.05%로 매우 적고 투자비면에서도 765kV가 1km당 12억원이 소요되는데 같은 양의 전력을 수송키 위해 154kV는 120억원, 345kV는 33억원이 소요된다. 또한 단위송전량에 대한 첩탑부지도 154kV에 비해 1/8정도밖에 소요되지 않아 국토이용측면에서도 효율성이 높다. 이에 대한 종합대책으로는 첫째, 현재 건설중인 신규발전소 계통연결에 필요한 송전선로 외에는 경인과 타지역간의 345kV 송전선로의 건설시양, 둘째, 경인 인근도서에 대단위 유연탄 화력입지개발, 셋째, 동해안 북부에 대단위 원자력 입지개발, 넷째, 동해안 북부-경인의 대규모 전원단지개발 지역간의 대단위 전력수송수단의 강구(講究) 등이 수립되었으며, 대전

력수송을 위하여 송전선로의 전압을 765kV로 격상하는 것이 필요하게 되었다.

한편, 한전은 우리나라 송전선로 계통전압인 345kV로는 지속적인 수요증가, 부하편재, 국토의 효율적 이용 및 종합경제성, 대규모 전원단지개발에 대응하지 못한다고 판단, 90년대 후반에는 송전압을 765kV로 격상시킴으로써 대처하기로 하였다. 이에 따라 예비 연구단계로 한전 기술연구원은 800kV 실증 시험선로를 전북 고창에 건설하여 1993. 9. 17에 준공식을 가졌으며, 송전선 주위에서 발생하는 환경장해문제 측정연구를 추진하고 있으며, 이 765kV 전압 격상에 필요한 시험용변압기(단상 765kV, 3MVA)로 운전중에 있다.

미국, 일본 등도 송전전압 격상을 위해 사전에 시험선로를 건설하여 격상전압에 대해 예비연구를 하고 있으며 일본의 중앙전력연구소는 선간 최고 1500kV급 시험선로를 이미 건설완료 하였고, 미국의 AEP 전력회사도 대지간 1100kV급 단상 시험선로를 건설완료하여 시험중에 있다.

따라서 국내 제조업체에서는 765kV 송전에 대비하여 국책사업으로 뱅크용량 1,500MVA급 초고압 대용량 변압기를 개발 추진중에 있으며, 금번 테마를 수행함으로써 해서 수입대체효과 뿐만 아니라 보다 광범위한 500kV급 수출시장의 진출을 위한 기술 및 경쟁력 확보에 커다란 성과를 이룩할 수 있을 것이다.

2. 국내외 초고압 전압 격상 현황

가. 외국의 경우 765kV급 송전국가는 총 5개국이

현장기술 3

며 765kV급이상 송전중인 나라는 다음과 같다.

국명	격상전압(kV)	격상연도	격상사유	변압기납품회사	비고
미국 - APP - BPA	345→765/800	1969	지역간 전력유통	- ABB - GEC-ALST - HOM	현재 1500kV 송전기술 개발중
캐나다 - HYDRO QUEBEC	315→700/735	1965	5,00MW 규모의 수력전원 개발	- ABB - GEC-ALS THOM	
브라질	765/800	1984	13,000MW 규모의 수력개발	- ABB - TOSHIBA - HITACHI - GEC-ALST HOM - SIEMENS	
남아프리카 - ESCOM	765/800	1988	석탄전원을 수송	- ABB - SIEMENS - TOSHIBA - PAUWELS	세계 최초의 GIS 변전소
베네주엘라	765/800	1984	수력전원을 수송	- ABB - TOSHIBA HITACHI - GEC-ALST - HOM - SIEMENS	초기 400kV 운전
소련 - MIN	500→1,150	1985	시베리아 지역의 대규모 석탄 화력 개발		
일본 (동경전력)	500→1,000	1992	경과지 확보단원화 10,000MW 원자력 전원 단지 개발		2000년대 초 이후 1000kV 운전
한국	765/800				
인도	765/800		계획중임.		
중국	765/800				

나. 국내 765kV 송전전압 격상구간 및 시기

격상구간은 대규모 전원단지 개발예정지인 서해안 석탄화력 전원단지 관련계통과 동해안 원자력 전원단지 조성 관련계통이다. 송전설비는 서해안 석탄화력 전원단지 조성 관련계통 구간인 당진화력-신당진, 태안화력-신당진, 신당진-남서울간이고, 동해

안 원자력 전원단지 조성 관련계통 구간인 신태백-신양평, 동해남부-신태백 구간이다. 변전설비는 4곳이 건설예정지이다.

변전소명	위치	준공시기	비고
남서울	경기 용인군 (서울 남부)	2007	초기 345kV 운영 (1998)
신당진	충남 당진군	2007	초기 345kV 운영 (1996)
신양평	경기 양평군	2002	2002년 운전
신태백	강원 태백시	2002	2002년 운전

765kV 송전전압 격상을 위한 설계, 제작, 시공 등을 축적된 국내기술 주도형으로 추진할 계획이며, 단계별 계획은 다음과 같다.

- 제1단계('92.6~'93.12): 송전전압 격상사업 준비
 - 계통계획 수립 및 개념설계
 - 변전소 부지 및 송전선 경과지 선정
 - 변전소 구성(안) 작성
- 제2단계('93.10~'95.12): 기준제정 및 대관업무
 - 각종 설계기준 지침
 - 기자재 규격, 품셈
 - 한전 기술연구원에서 765kV 실증시험 선로에서 환경영향 평가 연구예정
 - 실시계획 승인 요청
- 제3단계('96.1~'98.12): 공사시행
 - 설계 및 계약
 - 용지보상, 매수
 - 자재수배 및 시공

3. 기술개발현황

일반적으로 765kV급 변압기 설계시 전기적, 기계적 그리고 냉각설계의 관점이 종합적으로 검토되어야 하는데, 여기서는 변압기와 관련하여 주요 설계내용을 외철형과 내철형의 비교를 통해 간략하게 기술하고자 한다.

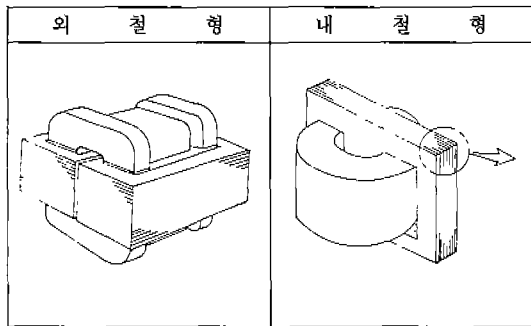
현재 세계적으로 운전되고 있는 765kV급 변압기는 외철형과 내철형의 두종류로 구분하는데, 두종은 철심의 형태와 권선방법면에서도 뚜렷한 차이

를 보여주나 설계의 기본개념이나 운전성능면에서는 차이가 없으며, 타입의 선정은 주로 고객(전력회사)의 선호도에 따른다.

가. 철심구조(Core Structure)

765kV급 변압기의 경우 철심구조는 외철형과 내철형중 하나의 철심구조를 갖게 되는데, 설계시 각철(Leg) 수량, 철심의 재질, 최대 자속밀도, 냉각덕트의 사용이 중요한 요소이며, 특히 철심의 접지방범이나 철심적층의 Binding 처리 등에 매우 세심한 주의를 기울여야 할 것이다.

그림 1-a는 각각의 경우 철심형태 비교이다.



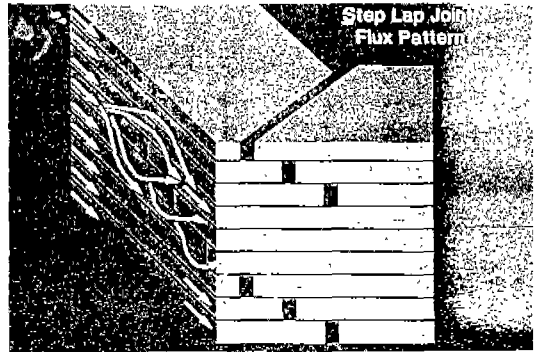
(그림 1-b 참조)
 <그림 1-a> 철심 구조도(단상 3각 철심)

초대형 철심은 특히 자속의 불균등에 의한 국부과열, 진동이 중요한 검토과제이고, 실규모 제작에 의한 정도를 확인한 설계법을 사용하여 각부의 자속밀도분포, 온도상승, 고유진동수 등을 상세히 계산하여 최상접합법, 단면형상을 결정한다. 특히 Step-Lap 접합방식(그림 1-b 참조)은 균일한 체부압력에 의한 철손, 진동, 소음저감에 커다란 효과를 얻고 있다.

이 접속법은 자속의 흐름이 균일하여 국부손실이 집중하지 않으며, 상하부계철심(Yoke) 또는 외측각철심의 단면비를 최적으로 선정한다. 더우기 적층방향의 자속밀도를 균일하게 하기 위해 상하부계철심(Yoke) 또는 외측각철심을 장원(長圓)형상으로 한다.

각철의 수량은 변압기의 수송치수 제한에 따라 결

정한다. 이러한 예로서 단상 3각(單相三脚), 단상4각(單相四脚) 및 단상5각(單相五脚)형의 철심구조 등이 있다. 외철형의 경우에는 수송높이를 줄이기 위하여 측면방향으로 눕혀서 수송하는 Lay Down Shipping이 가능하다. 또한 수송방향이 아주 초과하는 UHV급 변압기는 운송상의 문제점으로 인하여 1상 2분할 혹은 1상 3분할 등의 구조를 채택하는 방안을 검토해야 할 것이다.



<그림 1-b> 철심의 접합방법

나. 권선구조 설계

대용량 고전압 변압기에서는 전류용량, 내부권선 구조물의 국부과열, 뇌서지 침입시 전위분포 등이 검토과제이다.

내부권선(Coil) 설계시에 고려해야 할 주요사항은 다음과 같다.

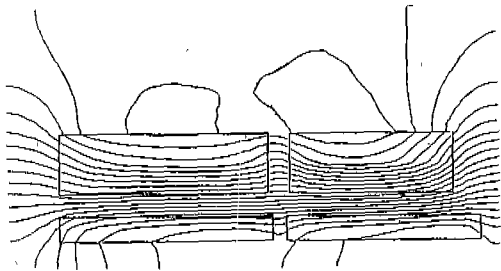
- ① 권선절연의 종류 및 절연두께
- ② 요구되는 특성을 만족하는 권선의 배치와 구조 및 턴의 분포(그림 2 참조)
- ③ 접지실드 또는 정전실드의 적용
- ④ 라인리드 및 탭리드의 절연처리

특히 고전압 Level에서 야기되는 Voltage Transient현상에 대해서는 매우 정밀하고 심도있는 분석을 통해서 과도하게 상승하는 임펄스 전압치를 효과적으로 제어하도록 해야 하는데 이때 주로 채용되는 실드(정전차폐)는 권선에 뇌임펄스 침입시 전압차를 균일하게 분포시켜 권선 내부에서 위험한 전위진동(Voltage Oscillation)이나 과도전압의 생성을 적절히

대용량 변압기에서는 누설자속(Stray Flux or Leakage Flux)이 변압기 내부의 지지구조인 각종 철구조물, 탱크, 권선을 통과하므로 국부손실과 과열이 발생한다. 특히 누설자속이 집중되는 것은 변압기 손실이 증가할 뿐아니라 국부과열로 인하여 절연물이나 절연유의 열화를 촉진하게 되므로 변압기의 수명단축 뿐만 아니라 사고를 일으키게 한다(그림 4 참조).

정확한 누설자속 분포해석과 손실계산을 위하여서는 자체해석을 실시하며 누설자속에 의한 손실을 저감하기 위해서는

- ① 금속성의 구조물을 높은 Flux영역에서 되도록 멀리 띄우는 방법
- ② 높은 투자율의 얇은 규소강판을 취부하는 방법
- ③ 알루미늄 또는 동판 등 비자성체를 취부하는 방법 등이 있다.



<그림 4> 변압기의 자체해석

라. 냉각설계(Cooling System) 및 기타사항

절연유의 순환속도, 절연유의 온도 및 Flow Distribution 등에 기인하는 유동대전(Streaming Electrification)의 영향이 감안되어야 한다. 특히 765kV급 변압기에 있어 오일펌프를 사용한 강제순환식 냉각을 할 경우 펌프에 의한 절연유 속도가 빠를수록 유동대전이 심화되므로 유속을 적당히 선정하여야 한다. 실제로 외국의 경우 유동대전으로 인한 765kV급 변압기의 사고사례가 발표되기도 하였으며, 일본, 미국 등에서는 계속 연구진행중이다. 아울러 변압기가 초고압화로 될수록 내부의 이물질에

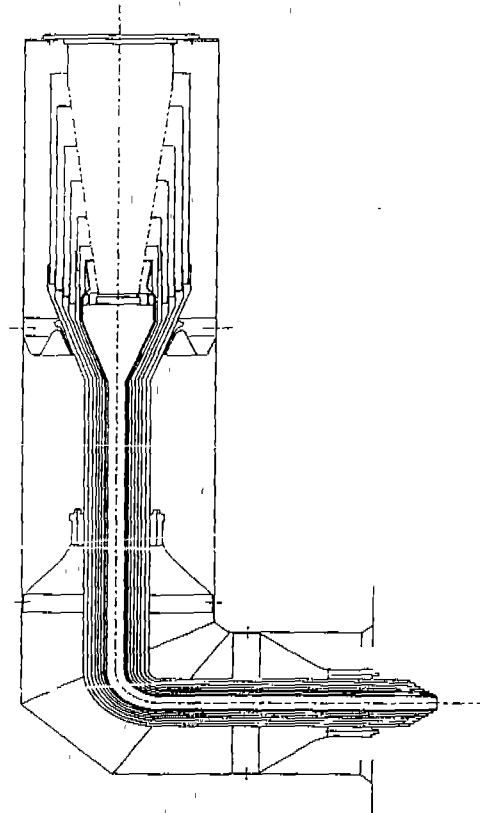
의한 절연사고가 발생하므로 제작공정별 청결유지를 하여 이물질을 철저히 제거하도록 해야 한다. 더우기 소음공해 대책으로 냉각기의 소음저감을 위해 저소음 풀리를 사용해야 될 것으로 생각된다.

마. 고압라인 리드처리 및 성형 절연물 적용

고전압의 변압기에는 최적구조의 성형 절연물을 사용하므로 변압기 치수를 Compact화 하게 할 수 있으며 변압기 운송과 사용중에 기계적으로 보강의 효과를 거둘 수 있다. 이러한 절연물은 주로 고압리드의 절연을 보강하는 데 사용된다. 성형절연물은 복잡한 구조이므로 주로 절연물 제작 전문업체로부터 구매하여 사용한다.

(1) LEAD EXITS

고압라인 리드가 권선에서 인출되는 부위에서 부



<그림 5> LEAD EXITS 정면도

현장기술 [3]

상 하부까지의 절연보강을 위한 절연구조물로서 프레스 보드 베리어의 복합구조이다. 프레스 보드를 물에 적신후 형틀 위에서 몰딩하여 성형한 후 건조시켜 제작한다.

(2) SEAL CONE

실리콘은 부식의 하부를 감싸주는 절연물로서 프레스 보드 베리어 구조인데 탱크 및 부상실드와 조립되도록 하고 있다. UHV급 기기에서는 주로 고압 부상 부위에서의 절연사고가 의외로 잦으므로 적절한 Seal Cone사용은 거의 필수적이라 할 수 있다.

바. 수송치수 및 중량 저감방안

고전압 대용량의 변압기는 충분한 절연거리와 대전류에 의한 도체사용 및 절연물량이 대량화 되므로 인하여 수송중량은 단상 765kV 500MVA급의 경우 약 200Ton 정도된다. 변압기가 설치되는 변전소 또는 발전소의 위치에 따라 수송방법은

- 첫째 육로를 통한 수송
- 둘째 철도를 이용한 수송
- 셋째 해상을 통한 수송

등이 있으며,

수송방법에 따라 허용 수송중량 및 치수가 제한되

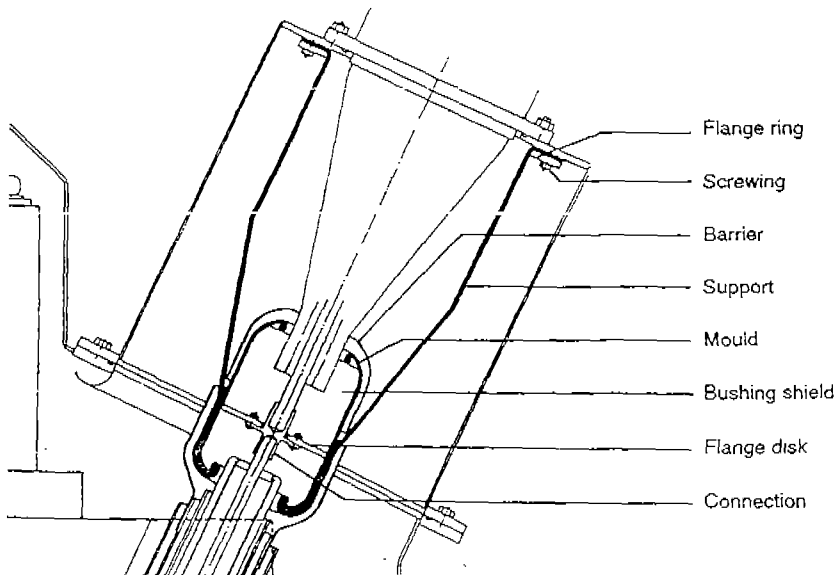
어 있고 발전소 또는 변전소가 해안에 위치하는 경우는 해상수송이 가능하므로 수송치수 및 중량에는 큰 제약이 없다. 그러나 내륙에 위치하는 경우에는 현재 최대 수송높이는 4.5m(대차 포함), 변압기 중량은 110Ton으로 제한되어 있다.

그러므로 내륙에 위치하는 변전소 또는 발전소에 납품되는 765kV 변압기의 수송방안은

- 첫째 : 변압기의 상을 다분할 하므로 수송치수와 중량을 저감하는 방법
- 둘째 : 중량물 수송을 위한 철도용 특수대차 설계 및 제작
- 셋째 : 변압기설치 변전소에 조립장 가건물을 건설하여 현장조립하는 방법

등이 있다.

육로 수송시에는 상기 첫째방법과 둘째방법을 동시에 병행하는 것이 바람직하며, 세번째의 현장조립방안은 변압기 설치후 신뢰성 검정을 위한 시험을 실시하기 어려운 점이 있다. 따라서 765kV급 변압기의 수송문제 해결을 위해서는 해안에 설치되는 경우를 제외하고는 외국의 경우와 같이 상을 분할하여 설계 제작하는 방법을 적극 검토해야 할 것이다.



<그림 6> SEAL CONE 조립도