

해외  
기술

# 1000kV 變壓器

## 1. 머리말

전력수요의 증대에 대응, 전력의 안정공급을 위하여 東京電力(株)에서는 21세기초에 일본 최초로 1000kV송전개시를 계획하고 있으며 현재 1000 kV변전기기 개발을 추진하고 있다.

이 송전 개시에 앞서 기기의 제 성능·신뢰성·운전유지보수성에 대해 충분한 검증을 하기 위하여 현재 東京電力新榛名 변전소구내에서 실제의 변전소를 상징하여 實器相當設備 의한 1000kV 기기를 사용한 실증시험을 실시하고 있다. 이 시험을 위하여 1000kV변압기(실증기)1상을 三菱電機(株)赤穂제작소에서 제작하여 1994년 3월에 설치완료하였다. 1000kV변압기 개발의 경위는 표 1과 같다.

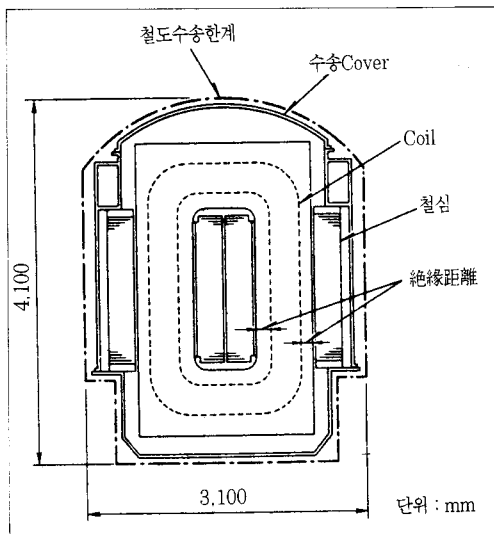
이 논문에서는 1000kV변압기에 앞서 검증용으로 제작한 捲線絶緣 모델, Lead絶緣 모델 및 0號器와 1000kV변압기의 제작·설치완료까

지를 소개한다.

## 2. 基本仕様과 構造·特徴

1000kV변압기의 기본사양을 표 2에 표시한다.

1000kV변압기는 현재 국내 최고 전압·최대용량인 500kV변압기에 비하여 전압·용량 공히 2배라는 초대형변압기임에도 불구하고 변전소의 입지조건 때문에 철도로 수송할 수밖에 없어 수송을 위한 제반치수는 500kV변압기와 동일한 조건을 만족시킬 필요가 있다. 그러므로 고전계부를 완화하고 油隙을 세분화한 절연구조를 적용함으로써 필요 이상으로 절연거리를 늘리지 않고 2배의 전압에 견딜 수 있게 하였으며 또한 절연유의 청결도를 높임으로써 絶緣裕度を 향상시켰다. 이로써 1相을 2分割한 2탱크 구조를 채용, 1 탱크당 용량을 500kV변압기와 동



〈그림 1〉 철도수송시의 수송한계

해외기술

〈표 1〉 1000kV 변압기 개발 경위

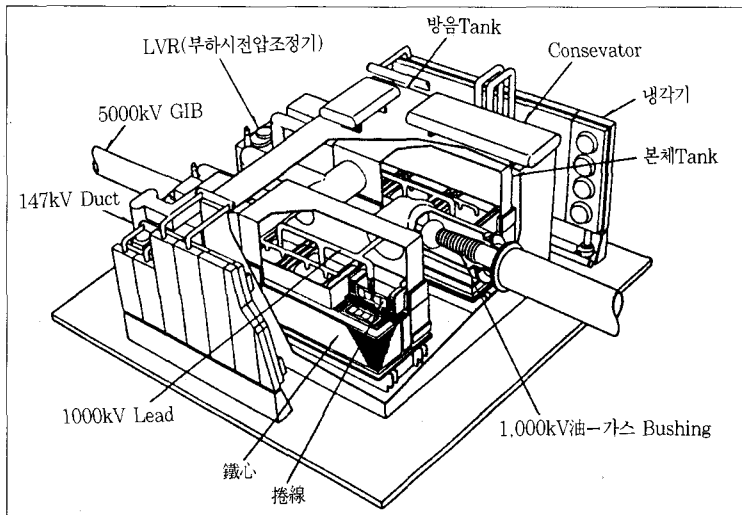
연대	1977년	1980년	1985년	1990년	1995년
사외의 동향	UHV송전특별위원회발족 송전전압결정 기기부회발족		절연설계합리화 (전기협동연구회)		
三菱電氣에서의 연구개발 (變壓器 관련)	1,000kV시작기(프로트)	2,000kV시험용변압기	500kV콤팩트形變壓器 교류부분방전개시전압 V-t특성(변압기) 1차 2차 주절연개량 모델 Coil간 절연모델	교류/임펄스 중량특성(모델) 클린화 절연모델 임펄스 전압V-n특성(모델)	0호기 1,000kV 변압기(실증기) 捲線絶緣모델 리드絶緣모델
		리드접속부검증모델 초고전압시험장(UHVL)건설	유증장 Gap절연특성(모델)		

일하게 할 수 있었다. 그림 1에 철도수송시의 수송한계를 표시하고 그림 2에 2탱크 구조로 된 1000kV변압기의 구성을 나타내었다. 1000kV변압기 1상은 동일전압의 1/2용량(1,500/ 3MVA)의 변압기 2대를, 부싱을 내장한 T형 접

속 Duct로서 병렬로 접속하는 구조로 하였다.

또한 LVR(부하시전압조정기)을 1탱크마다 1대, 합계 2대 설치하여 2대의 LVR의 탭에 차이를 줌으로써 통전시험을 가능하게 하였다.

〈표 2〉 1000kV변압기의 기본사양



〈그림 2〉 1000kV변압기의 구성

항 목	사 양
형 식	외철형 단상단권변압기 (부하시전압조정기부)
정격용량	3,000/√3MVA
3차용량	1,200/3MVA(40%)
정격전압	1차 1,050/√3 kV 2차 525/√3 kV 3차 147kV
1차전압조정폭	±7%(Tap점수 27점)
시험전압	LIWL 1차 1,950kV/ 2차 1,300kV AC 1.5E-√3 E-1.5E (1h) (5min) (1h) (E=1,100/√3 kV)
임피던스	18%
냉각방식	송유풍냉식
소 음	65dB

### 3. 개발의 경위

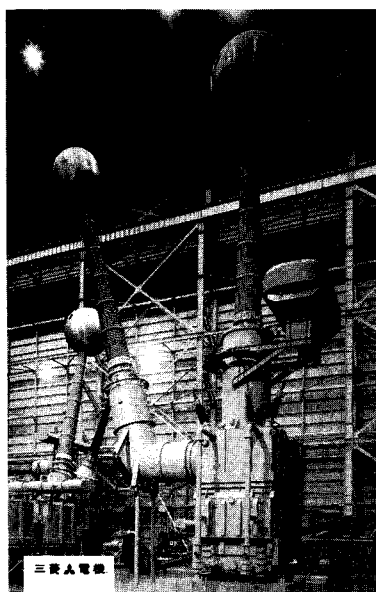
1000kV변압기 제작에 있어서 가장 중요한 개발항목은 절연이다. 그래서 실제변압기와 동일모형의 권선절연모델과 Lead절연 모델을 제작하여 절연검증을 하고 그 결과를 반영하여 0號器를 제작하여 종합성능을 검증하였다.

#### 3.1 捲線絶縁 Model

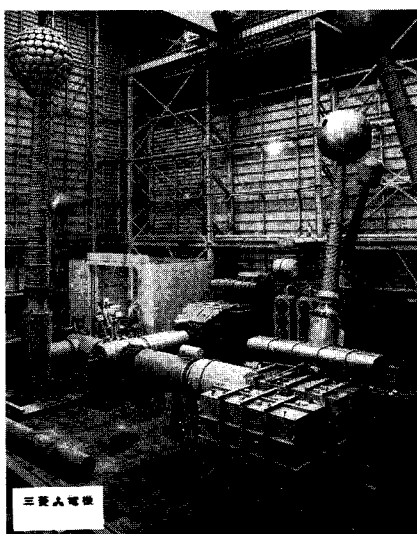
그림 3은 부분방전시험중의 권선절연모델이다. 권선절연 모델은 주절연(코일과 철심간의 절연)과 코일간의 절연성능을 검증하기

위한 실규모 모델로서 1000kV변압기의 6群構成에 비하여 1群(1/6相分)을 제작하였다. 이제까지 고전압변압기기의 권선은 장구형 Coil배치를 채용하고, 靜電板 端部를 大曲率化하는 등 電界의 완화를 도모하고 있다. 1000kV변압기에서는 선로전압과 동전위가 되는 靜電板근방에 電界가 집중하는 油隙部에 절연지를 채워 넣어 局部電界 집중을 없앴다(高電界部의 완화).

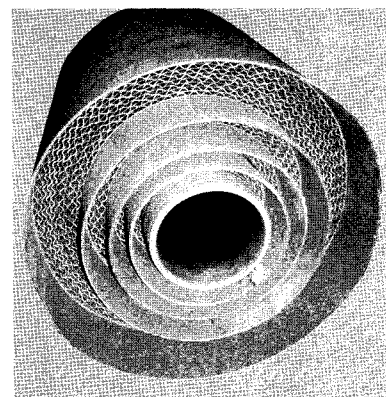
또한 절연물은 等電位線에 따라 배치하고, 절연유의 절연



〈그림 3〉 捲線絶縁모델(1/6相分)의 外觀



〈그림 4〉 Lead絶縁모델의 外觀



〈그림 5〉 多重 Barrier構造

내력의 油隙長依存性(E-d Curve)에 의거하여 油隙을 잘게 분할하였다(油隙의 세분화).

#### 3.2 Lead절연 모델

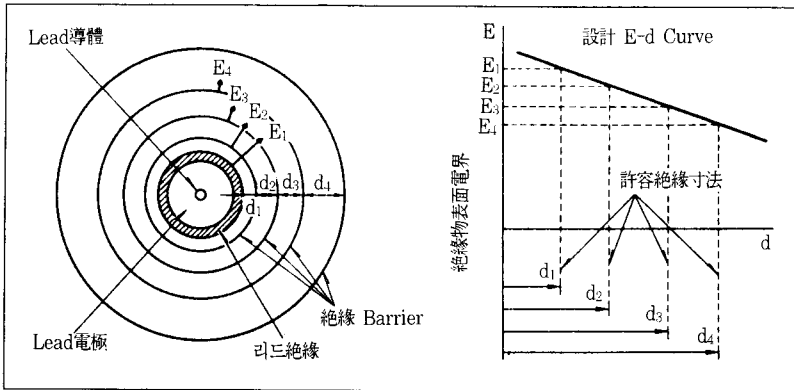
그림 4는 절연성능시험중인 리드절연모델이다. 리드절연 모델은 1000kV리드와 500kV리드의 절연성능을 검증하기 위한 실규모 모델로서 1000kV변압기의 上部탱크와 접속 Duct내의 리드와 동일구조로 제작하였다. 리드절연 모델의 주요 검증부위는 다음의 부분이다.

- 접속 Duct部(Lead 접속부)
- Lead 분산부
- 1000kV-500kV Lead 對向部
- Lead 지지부

1000kV Lead를 절연지로 Taping하는 종래의 절연구조로 하면 리드徑이 대단히 커지고 Duct徑이 증대하기 때문에 多重 Barrier 구조를 채용하여 절연거리를 축소시킨 구조로 하였다.

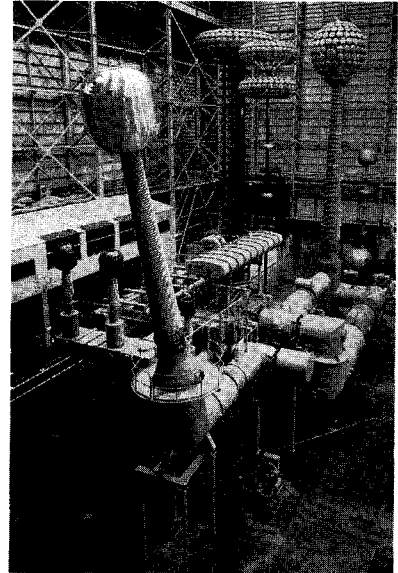
그림 5는 1000kV 多重 Barrier-Lead구조이다. Lead Barrier의 구성은 권선절연모델과 같이 E-d 커브로서 설계하였다.

해외기술



〈그림 6〉 E-d Curve와 Lead Barrier

그림 6에 표시하는 바와 같이 油隙의 절연물 표면 電界 ( $E_1, E_2, E_3, E_4$ )와 E-d커브로부터 허용절연치수( $d_1, d_2, d_3, d_4$ )를 구하여 油隙치수가 허용절연치수 이하로 되도록 絶緣 Barrier를 배치하였다.



〈그림 7〉 0號器의 外觀

3.3 0號器

그림 7은 1000kV변압기에 앞서 종합성능검증을 위하여 제작한 0號器이며 그림 8에 실증기에 대비하여 0號器의 제작범위를 나타낸다. 0號器는 1000kV변압기의 1/2용량(1/2상분), 즉 1 Tank분에 상당하며 권선절연 모델 및 리드절연모델의 제작과 시험결과를 근거로 제작하였다. 완성한 0號器는 공장내의 초고압시험장(UHVL)에서 일반특성시험외에 熱的·機械的인 裕度를 확인하는 過酷試驗을 한 후 과전압에 의한 절연한계시험을 실시하였다.

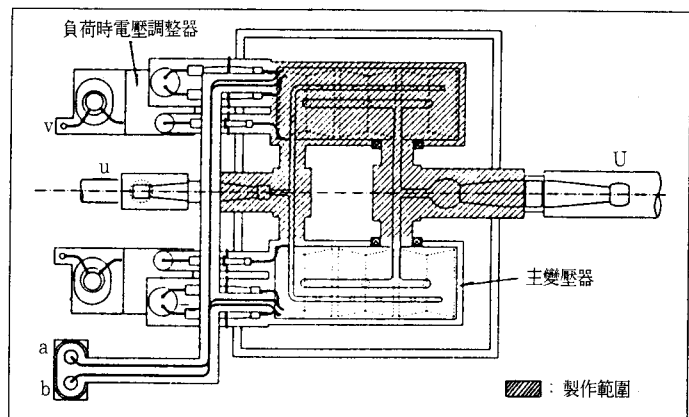
1000kV변압기는 수송 제한때문에 2분할(1/2相)한 변압기본체를 공장에서부터 현지까지 수송하고, 현지에서 결합시킨다. 그래서 성능검증과는 별도로 模擬上部Tank(인접 Tank)를 만들어 공장내에서 현지조립을 모의한 조립을 하여 아무런 간섭없이 현지에서 실제로 결합할 수 있다는 것을 검증하였다.

또한 현지조립간소화를 위하여 T형 접속Duct를 부싱을 내장한 상태로 공장에서부터 현지까지 함께

수송한다. 그래서 그 검증으로서 0號器의 T형접속 Duct를 사용하여 1000kV부싱을 내장한 상태로 실제 수송시의 똑같은 관리조건하에서 같은 수송루트를 트레일러로 왕복하여 수송시의 안전성을 검증하였다.

다음에 0號器의 시험·검증내용을 요약한다.

- 일반특성시험 : 변압비, 권선저항, 손실, 임피던스 등
- 流動帶電試驗 : 110%課電, 150%油流量이라는 가혹조



〈그림 8〉 0號器의 製作範圍

건에서 발생하는 권선의 누설전류와 온도특성 측정

- 長時間過勵磁試驗: 110%過電으로 온도·진동·소음등을 측정
- 長時間溫度上昇試驗: 110%전류로 24시간 운전한 상태에서 변압기 내부구조물과 Tank온도를 측정
- 절연관계시험: 절연의 한계를 검증하기 위하여 교류 및 Impulse의 과전압을 印加
- 조립검증 및 수송검증을 실시
- 기타: 移行電壓, 周波數應答, 서지 임피던스를 측정

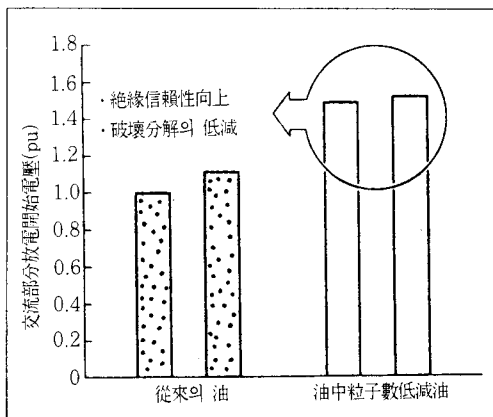
이와 같은 시험·검증결과는 모두 양호하여 1000kV 변압기의 설계 및 제작에 관한 타당성이 검증되었다.

## 4. 1000kV變壓器(實證器)

### 4.1 製作·試驗

권선절연 Model, 리드절연 Model 및 0號器의 제작·시험결과를 모두 반영하여 1000kV 변압기를 제작하였다. 특히 1000kV 변압기 제작에 있어서는 초기단계부터 방진관리를 철저히 한 공작법을 적용하였다.

그림 9에 油中粒子數의 교류부분방전 개시전압에 관하여 검증한 결과를 표시한다. 과거의 Model 시험에서 油中粒子數를 저감시킨 절연유에서는 종래의 것과 비교하여 약 1.4 배의 성능을 갖고 있는 것이 확인되었다. 그래서 1000kV 변



〈그림 9〉 Clean화한 油와 交流部分放電開始電壓

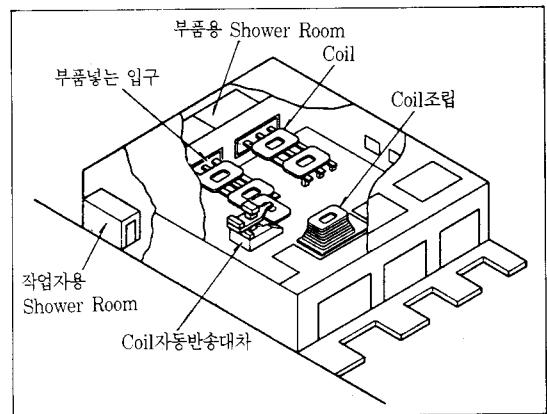
압기의 제조에 있어서는 절연물가공용의 CO<sub>2</sub>레이저 切斷裝置, 코일 Group 조립용 Clean Room(그림 10 참조)을 설치하는 등, 각 제조공정에서 클린화를 철저히 하여, 부품단계에서부터 방진관리를 실시하였다.

1000kV 변압기 완성후, 일반특성시험, 온도시험, 절연시험, 유동대전시험, Tap差 통전시험, 2Tank 조립검증 등 각종시험을 하여 좋은 결과를 얻었으며, 설계·제작에 있어서 아무런 문제가 없는 것이 확인되었다.

### 4.2 輸送·組立

1000kV 변압기는 1993년 10월, 低露点의 가스를 封入한 상태로 약 1000km의 거리를 海路와 陸路(鐵道·트레일러)를 거쳐 현지까지 수송하였다.

즉 兵庫縣赤穂市로부터 千葉縣市原港까지 해상수송하고, 그 후 京葉臨海鐵道市原驛부터 上越線涉川驛까지 대형화차를 이용하여 철도수송하였다. 涉川驛부터 현지까지는 신형의 대형 Trailer로서 수송(약 27km)하였다. 最重量物인



〈그림 10〉 Coil Group 組立用 Clean Room

변압기의 본체부분의 수송중량은 약 200ton, 폭이 약 3m, 높이 약 4m, 길이가 약 8m가 된다.

해외기술



〈그림 11〉 變壓器本體의 트레일러

그림 11은 변전소부근의 13%의 급기울기를 특수 Trailer로 수송중인 1000kV변압기이다.

그림 12에 Tank의 도킹작업순서를 나타낸다. 변전소구 내에 도착한 변압기는 슬라이드 레일(그림의 ①)을 이용하여 기초면에 설치한 共通臺 틀위에 올려 놓았다(그림의 ②). 이때 미리 공장에서 설치한 Gauge-Stopper를 기준하여 실시하였다. 그 후, 탱크1의 수송Cover를 떼어내고 상

부탱크를 설치하고(그림③), 1000kV, 500kV 접속Duct를, 공장조립시에 설치한 위치결정편을 기준하여 소정의 위치에 조립하고, (그림의 ④), 탱크2의 상부탱크를 위치결정편으로 치수를 확인하면서 접속Duct와 도킹시켰다(그림의 ⑤).

1차 및 2차리드와 T형 Duct내의 리드와 접속은 볼트로 결합하고, 절연지Taping과 多中 Barrier절연을 행하였다.

그 후의 외부부품(방음벽, 제거기, Conservator 등)의 설치, 절연유의 주유에 있어서도 품질관리를 철저히 하기 위하여 공장조립시와 같이 클린화 工法을 채용하였다.

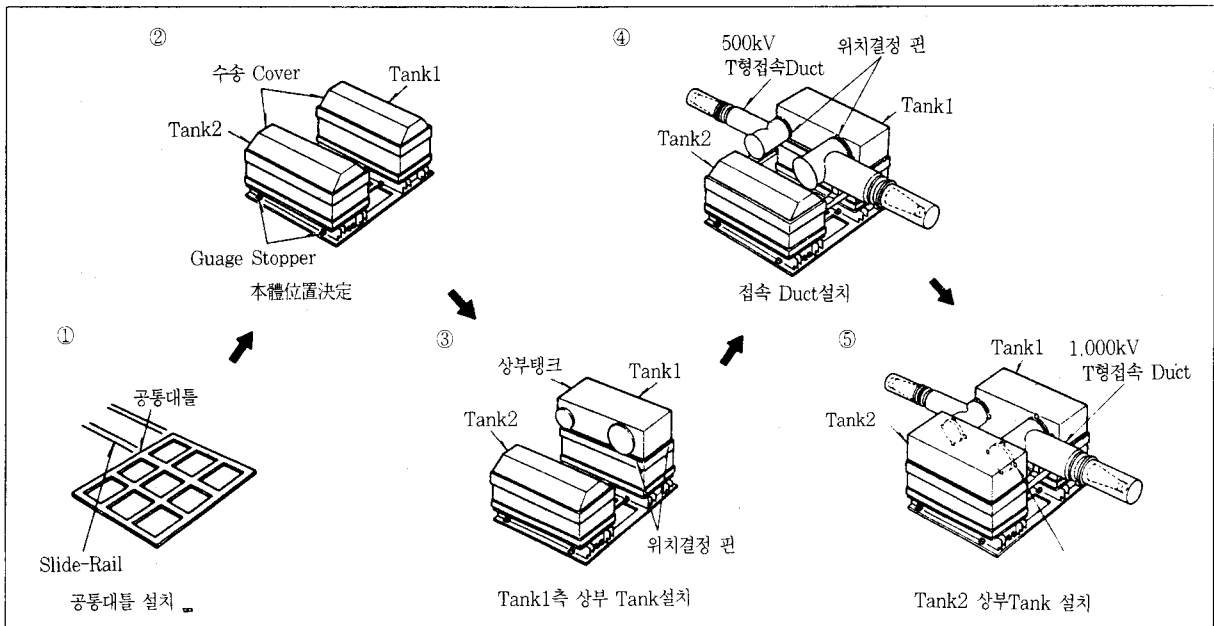
아래에 수송, 조립의 특징을 요약한다.

(1) 1000kV변압기의 수송방법 및 현지조립공법의 확립

- 共通臺틀, 位置決定Pin, Gauge-Stopper 등을 사용함으로써, 공장조립상태를 현지에서 精度높게 재현.
- 부상을 내장한 T형 接續Duct로서 상부 Tank를 접속하는 방식을 채용함으로써, 2 Tank도킹시의 현지작업을 효율화
- 組立을 고려한 分割型防音壁에 의한 공기단축

(2) 現地品質管理技術의 확립

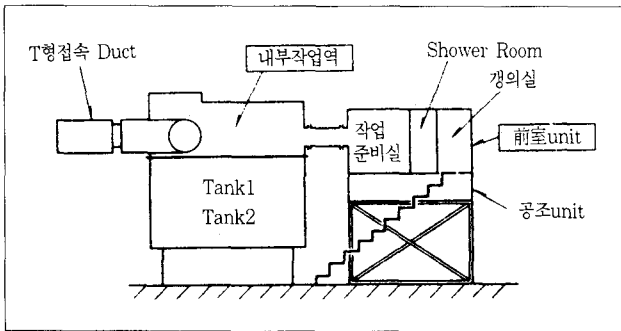
- 날아오는 물질의 混入을 피하기 위하여 변압기주변에 방



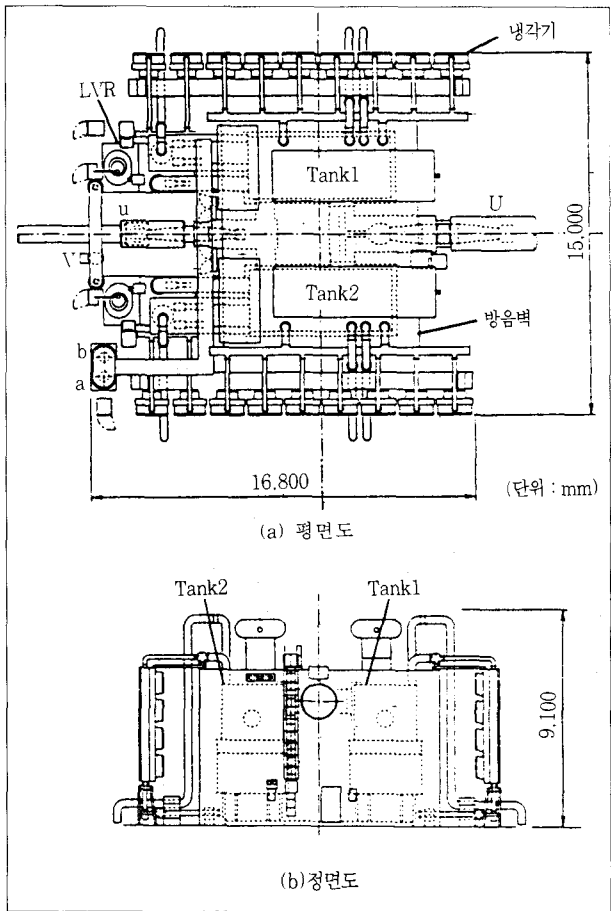
〈그림 12〉 Tank의 Docking作業手順

진 Net를 설치

- 변압기내부작업시의 방진, 방습을 생각하여 變壓器맨홀에 前室Unit(Air Shower 및 공조설비를 설치한 Clean House)를 설치하여 변압기 본체에 부품투입시 작업비의



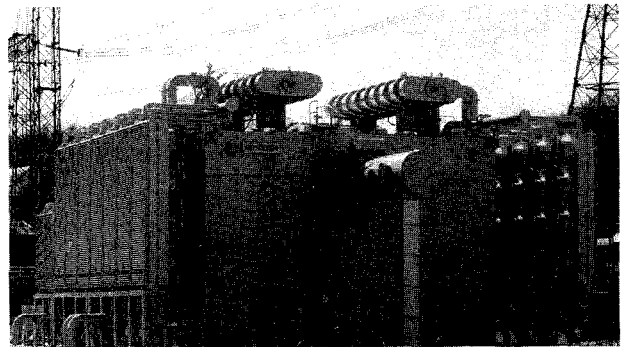
<그림 13> 前室unit



<그림 14> 1000kV變壓器의 外形

출입영향을 배제하기 위하여 외부와 격리

- 조립시의 異物混入을 방지하기 위하여 변압기 開口部에 二重防塵시트를 설치 前室유닛을 그림 13에 나타내었다.
  - 防塵管理를 철저히 하기 위하여 배관의 開口部에 수송용 안뚜껑과 임시 Cover를 설치
- 조립완성 후, 變壓比, 極性, 捲線抵抗, Impedance 등의 시험을 하였다. 시험결과는 모두 양호하였으며, 공장시험 결과와 비교하여도 차이가 없고 설계·제작·수송과 설치하는데 문제가 없는 것을 확인하였다. 조립을 완료한 변압기의 외형을 그림 14에 조립완성후의 외관을 그림 15에 나타내었다.



<그림 15> 1000kV 變壓器의 外觀

### 5. 맺음말

1000kV변압기의 개발·제작·수송·조립을 통하여 많은 기술을 축적할 수 있었으며, 技術의 集大成이라고 할 수 있는 1000kV변압기(실증기)의 설치를 문제없이 완료하였다.

앞으로 실증시험에서 예정하고 있는 장기간의 과전시험을 통하여, 그 신뢰성을 보다 확실하게 할 작정이다.

또한 1000kV 변압기의 개발·제작·수송·조립에서 배양된 기술을, 앞으로 500kV 이하의 변압기에도 응용함으로써 중전기에 대해서도 품질향상을 도모할 계획이다.

이 원고는 日本 三菱電機技報를 번역, 전재한 것입니다. 本稿의 著作権은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 大韓 電氣協會에 있습니다.