

## Development of 765kV Shell Type Transformers for Generator Step-up

金英敏\* · 金度均\*\* · 趙光濟\*\*\* · 裴容培†

(Yungmin Kim · Dogyoon Kim · Gwangje Joe · Yongbae Bae)

**Abstract** - We have developed shell type 765kV transformers for generator step-up. Our research and development for shell type 765kV transformers have been continued since 1990. The shell type 765kV transformers of single phase 3MVA for step-up and 500MVA for power transmission were developed in Dec. 1992 and Oct. 1996, respectively. 204MVA 765kV transformer for generator step-up was also developed with the basis of technique and experience to the present. Total 12 phases of 204MVA 765kV transformers will be delivered at Tangjin thermal power plant by 2006. This paper describes electrical and structural features of the shell type 204MVA 765kV transformer.

**Key Words** : Transformer, Shell Type, Pancake, Hourglass Winding, Leakage Flux

### 1. 서 론

초고압 증전기기를 개발하기 위한 기술은 그 동안 많은 부분을 외국 선진사에 의존해 왔으나, 전 세계가 글로벌화 하는 무한경쟁 시대에 돌입하면서부터 선진 외국사들도 중요기술에 대한 이전을 기피하고 있어, 자체적인 기술개발을 통한 기술확보 노력이 절실히 필요한 분야이다.

이에 따라 우리는 1990년대 초부터 국내의 765kV 송전에 대비한 초초고압 변압기 개발을 연구해 왔으며, 1992년 12월에 국내 최초로 765kV 실증시험용의 외철형 765kV 승압변압기를 개발, 전북 고창의 765kV 실증시험장에 납품하였다. 이후 1996년에는 송변전용 외철형 단상 500MVA 765kV 변압기 개발품을 설계, 제작하여 최종 시험에 성공하였다[1]. 이러한 연구개발 경험들을 바탕으로 1999년 10월 송변전용 765kV(단상 666.7MVA) 상용품 변압기를 개발 완료하였으며, 현재까지 한국전력공사에 총 5뱅크(15상)를 납품, 상업 운전 중에 있다.

최근에는 당진화력발전소용 765kV 승압변압기를 개발, 납품하였는데, 본 변압기는 그 동안의 765kV 변압기에 대한 연구개발 기술을 결집하여 자체기술로 설계, 제작 그리고 시험을 성공적으로 완료하였다.

본 논문에서는 최근 개발, 납품한 당진화력 발전소용 외철형 765kV 변압기의 전기적, 구조적 특징 및 개발상의 주요 기술에 대해 연구한 결과를 기술하였다.

### 2. 발전소용 765kV 외철형 변압기 사양 및 기술적 특징

#### 2.1 변압기 사양

본 연구에서의 변압기는 당진화력발전소 5, 6호기 및 7, 8호기에 사용될 주변압기로서, 단상 60Hz 182.2/204MVA (55/65℃), 총 12상으로 구성되어 있으며 주요 사양은 다음과 같다.

- 1) 형 식 : 단상 2권선, 승압용변압기(G.S.U)
- 2) 정격 전압 : 1차 20.9kV (Delta)  
2차  $\frac{765}{\sqrt{3}}$  kV ± 5%, 5탭 (Wye)
- 3) 용 량 : 182.2/204.0MVA (55/65℃온도상승)
- 4) 냉각 방식 : 송유풍냉식 (ODAF)
- 5) 절연 강도 : 1차 상용주파 내전압시험 50kV  
임펄스 150kV(F.W), 165kV(C.W)  
2차 유도내전압시험 800kV(7200 Cycle),  
690kV(1시간)  
뇌임펄스 2050kV(F.W),  
2255kV(C.W)  
개폐임펄스 1500kV  
2차중성점 상용주파 내전압시험 230kV  
뇌임펄스 550kV(F.W),  
605kV(C.W)

#### 2.2 변압기 주요 부품 사양

본 연구에서의 변압기는 단상 유입 2권선 변압기로서 외부 구조는 그림 1과 같으며, 주요 구성부품에 대한 사양은 다음과 같다. 첫째, 붓싱 형식은 Oil-to-air, 유입 콘텐스형으로, 고압측은 765kV 선로에 연결되어 성형(Wye)결선되고,

† 교신저자, 正 會 員 : (株)曉星 超高壓變壓器 設計팀 課長

E-mail : ybbae@hyosung.com

\* 正 會 員 : (株)曉星 昌原工場 任員

\*\* 正 會 員 : (株)曉星 超高壓變壓器 設計팀 部長

\*\*\* 正 會 員 : (株)曉星 超高壓變壓器 設計팀 部長

接受日字 : 2005年 9月 21日

最終完了 : 2005年 10月 12日

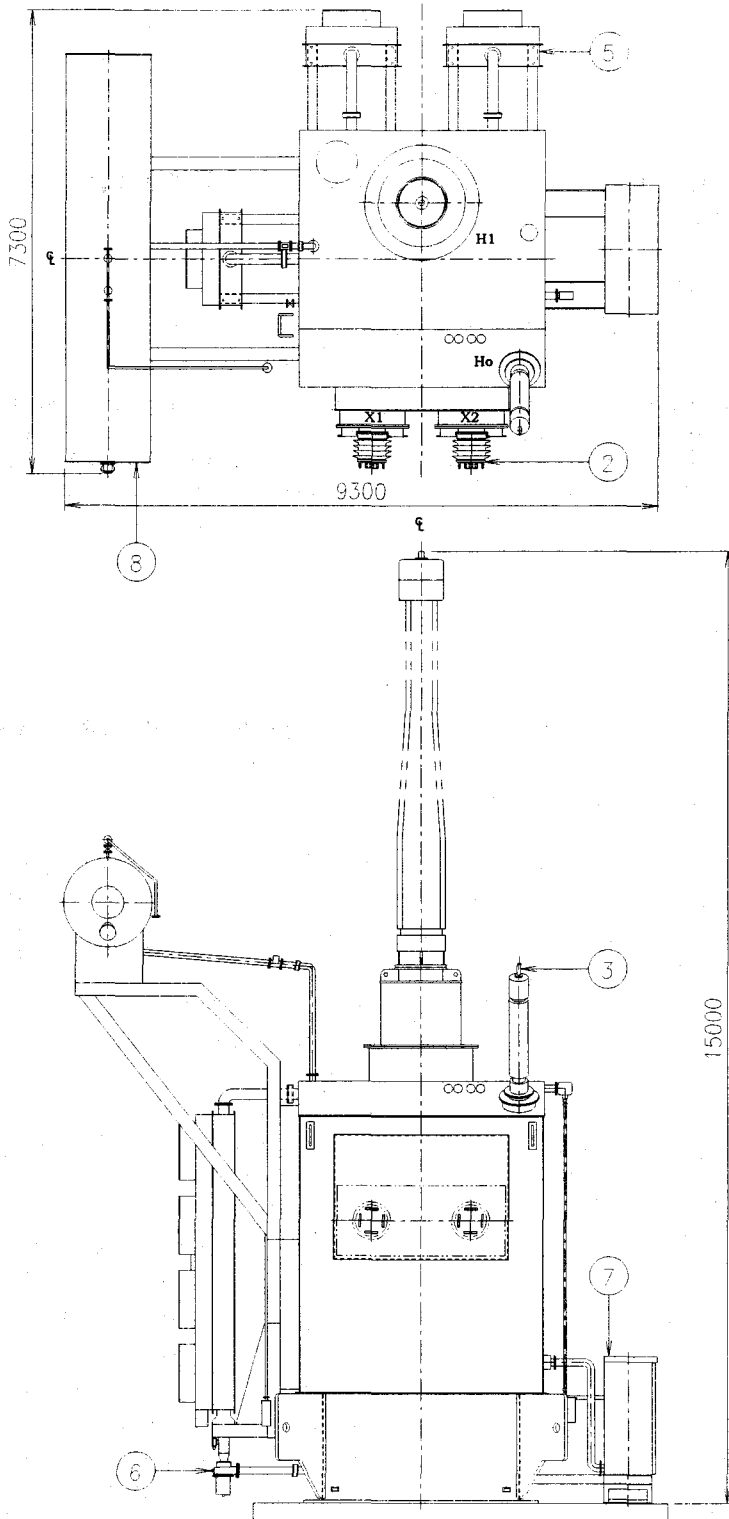


표 1 주요 부품 목록

Table 1 Parts list for major accessories

품번	품명	수량
1	HV BUSHING	1EA
2	XV BUSHING	2EA
3	Ho BUSHING	1EA
4	D.E.T.C HANDLE	1SET
5	COOLER	3SET
6	OIL PUMP	3SET
7	LOCAL CONTROL PANEL	1SET
8	CONSERVATOR	1SET

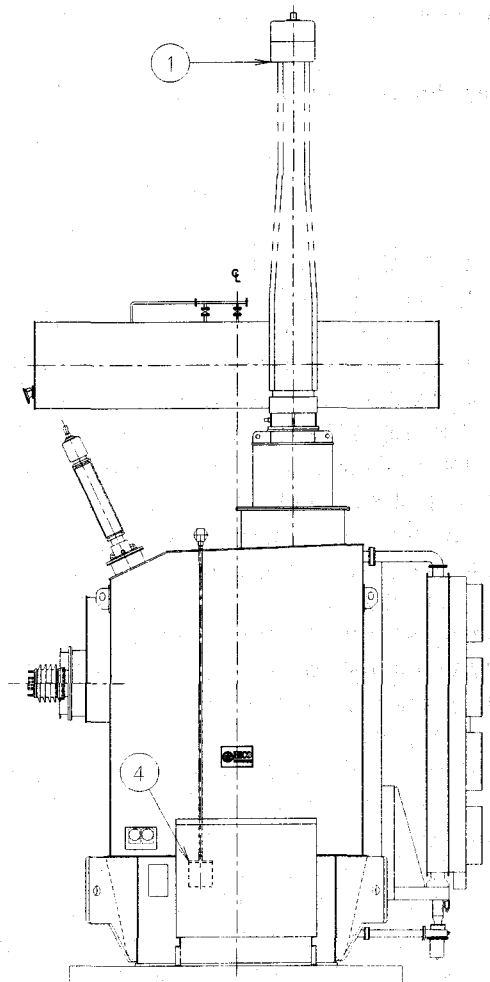


그림 1 개발품 변압기 외형도

Fig. 1 Outline of developed transformer

저압측은 변압기의 탭크월 방향으로 인출되어 Isophase bus에 의해 외부에서 삼각(Delta)결선으로 구성된다. 둘째, 탭절환기는 고압 권선에 정격 탭을 기준으로 상.하 2.5%, 2단계씩 총 5탭을 갖는 De-energized tap changer(DETC)를 구비하고 있다. DETC의 구동방식은 OLTC에 적용되는 구동방식과 동일한 크랭크 핸들 방식을 적용하여 변압기의 유지, 보수에 있어 구동함 조작의 편의성을 향상시켰다. 셋째, 냉각기는 송유풍냉식, 쿨러방식으로 총 3대를 부착하여 쿨러 1대 고장시에도 65℃ 운전용량 대비 75% 이상 운전이 가능하도록 하였다.

기타 변압기에 부착되는 온도계, 유면계 등의 계기류는 기존 발전소 및 송변전소용 주변압기에 적용하고 있는 것과 동일 사양을 사용하여 부품의 호환성을 갖도록 하였다.

### 2.3 발전소용 765kV 변압기의 기술적 특징

#### 2.3.1 권선 구조

내철형 변압기의 경우 용량, 전압등급 등 그 용도에 따라 다양한 권선방식이 채택되지만, 외철형은 그림 2와 같이 Pancake 코일이라는 단일 권선방식을 채용하고 있다[2]. Pancake 코일은 인접코일과의 대향 면적이 커 직렬정전용량(Series Capacitance)을 높일 수 있으므로, 초기 전위 분포를 중성점 권선까지 비교적 균등하게 배분시킬 수 있는 특징이 있다[3]. 이것은 내철형 권선 방식에서 직렬커패시턴스를 높이기 위해 적용하는 HISERCAP(High Series Capacitance) 권선이나 쉘드 연속권과 같은 특수구조의 권선 방식을 사용하지 않아도 되기 때문에 권선구조가 비교적 간단하다.

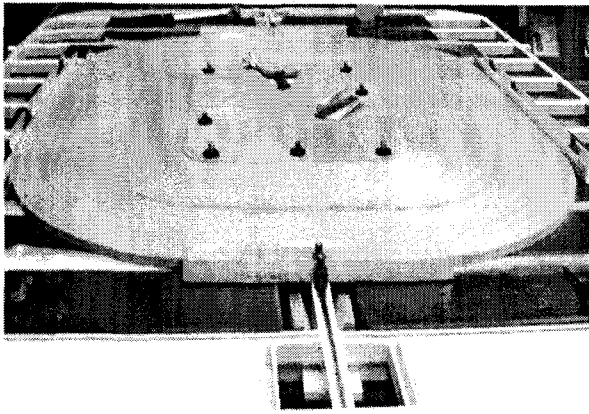


그림 2 외철형 변압기용 Pancake 코일  
Fig. 2 Pancake coil for shell type transformer

특히 본 연구의 발전소용 765kV 변압기에 적용한 권선방식의 특징은 그림 3과 같이 Hourglass 권선 구조를 채택하였다는데 있다. 외철형 345kV급 변압기에서는 그림 4와 같이 권선 구조가 일반적으로 고압권선의 선로단(Line Terminal)에 인접하여 저압권선이 배치되는데, 발전소용 765kV 변압기에서는 고압권선의 선로단을 중심으로 대칭적인 고압권선 배치 구조를 적용하였다. 345kV급에서는 고압-저압 권선배치 구조에서 선로측 전압이 높지 않아 전기적으로 문제가 없지만 765kV는 이와 같은 구조에서는 전계의

집중도가 높아져 요구 절연거리가 커지고 구조적으로 복잡해지게 된다. 이에 따라 Hourglass 구조를 채택하여 765kV측 선로단에서의 전계 집중현상을 완화시킬 수 있었으며, 절연내력이 일반 고압-저압 형태의 권선배치 방식보다 우수해질 수 있었다.

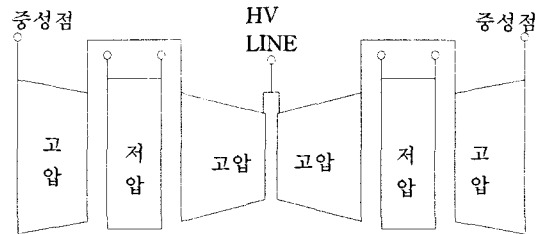


그림 3 HOURGLASS 권선배치  
Fig. 3 Winding arrangement of HOURGLASS

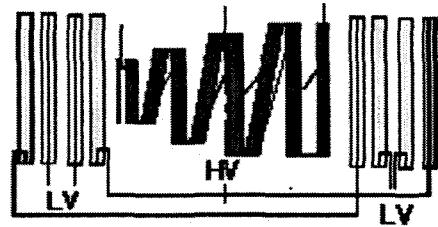


그림 4 외철형 변압기의 일반권선 배치  
Fig. 4 Typical winding arrangement for shell type transformer

#### 2.3.2 절연 구조

외철형 변압기는 권선이 절연 채널과 절연앵글로 감싸져 있는데, 일반적인 345kV급 이하의 초고압 변압기 절연 구조에서는 그림 5와 같이 절연 채널과 절연 앵글의 모서리를 각진 형상으로 하여도 충분한 절연내력을 확보할 수 있었다. 그러나 765kV 변압기에서는 고압측 선로단의 전압이 높아 각형 앵글은 Creep에 취약한 형상이 되므로, 이를 보완하기 위해 전계해석을 통하여 등전위 분포 곡선과 비슷한 형상의 Contour 성형절연물을 사용하였다. 이러한 절연패턴을 이용함으로써 고압 그룹측 전계집중을 완화시켜 그림 6과 같이 보다 안정적인 절연 구조를 가지게 하였다.

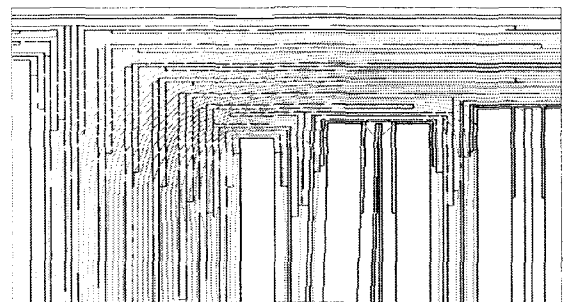


그림 5 각형 앵글의 전계해석  
Fig. 5 Electric field analysis for typical insulation angle

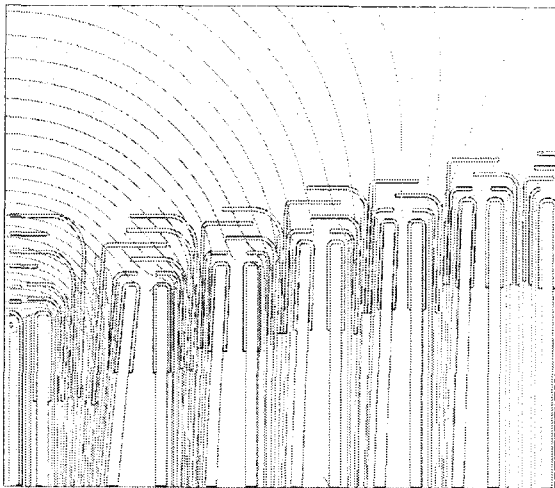


그림 6 Contour 앵글의 전계 해석  
 Fig. 6 Electric field analysis for contour insulation angle

2.3.3 누설자속에 의한 국부과열 방지 대책

누설 자속에 의해 변압기 탱크에 발생하는 국부 과열을 방지하기 위하여 전력용 대용량 변압기에서는 탱크 내측면에 자기차폐를 적용하고 있는데, 여기에는 주로 알루미늄판, 동판, 규소강판 등이 사용되고 있다[4]. 외철형 변압기의 차폐 재료로는 일반적으로 규소강판을 사용하는데, 본 연구에서의 발전소용 765kV 외철형 변압기도 규소강판 자기 차폐를 채용하였다. 특히 본 변압기는 설계 계산에 의해 결정된 쉴드 형상의 적합성을 보다 정확하게 검토하기 위해, 그림 7과 같이 자기해석을 통해 다시 한번 더 신뢰성을 검증하였다.

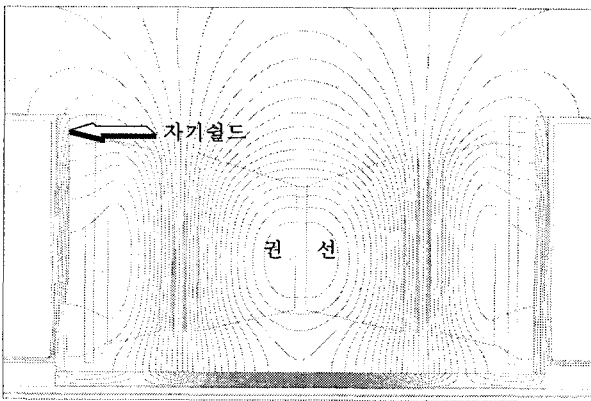


그림 7 쉴드의 자기 해석 결과  
 Fig. 7 Magnetic Field Analysis for tank shield

2.3.4 코로나 방지 대책

765kV급 변압기는 높은 고전압의 인가에 따라 도전부에 전계 집중현상이 발생하며, 345kV급 변압기에서는 문제시되지 않았던 부분에서도 코로나가 발생할 수 있다. 이런 부분에는 반드시 전계완화 구조가 필요하며, 본 연구에서의 발전소용 외철형 765kV 변압기에서는 다음 두 가지에 대해 특

히 주의를 기울여 설계, 제작하였다.

첫째 탱크면의 국부과열을 방지하기 위해 설치한 탱크 쉴드의 모서리 부분이다. 이 부분은 코일과 비교적 인접되어 있으면서 뾰족한 형상을 갖고 있어 전계 집중에 의한 코로나 발생 가능성이 높은 부분이다. 따라서 그림 8과 같이 자기 쉴드의 모서리부분에 라운드 형상의 보조재를 추가하여 코로나 발생을 방지할 수 있는 구조로 하였다.

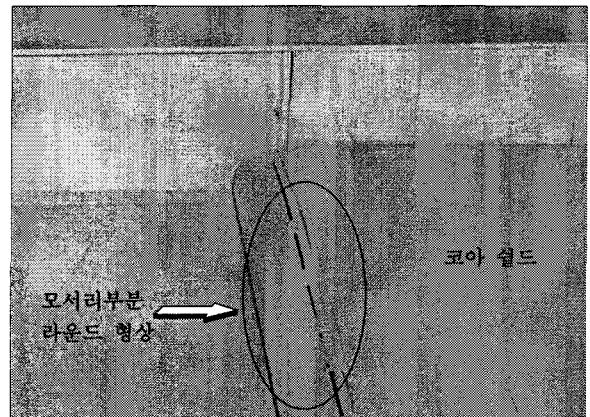


그림 8 코어쉴드 모서리부분 라운드 형상  
 Fig. 8 Round shape for the edge part of core shield

둘째, De-energized tap changer는 고정접점에 이동접점이 움직여 동작하는 것으로, 이 부분은 구조적으로 절연이 불가능하여 항상 나도체 상태로 변압기 내부에 존재하고 있고, 절연체(Insulator)와 이동접점을 연결하는 부분도 뾰족한 형상을 하고 있어 전계 집중 현상으로 인해 코로나가 발생할 가능성이 있다. 본 연구에서의 발전소용 765kV 변압기에서는 탭절환기의 접점자와 절연체(Insulator) 연결부를 라운드 형상으로 가공하였으며, 또한 연결 볼트 부분은 쉴드캡으로 처리하여 그림 9와 같이 코로나 발생을 최대한 억제하는 구조로 설계하였다. 또한, De-energized tap changer는 형상이 복잡하여 전계해석만으로는 부품에 대한 신뢰성을 검증하기에 부족하다고 판단되어, 별도의 내절연 시험을 통해 신뢰성을 확보한 이후 765kV 변압기에 적용하였다.

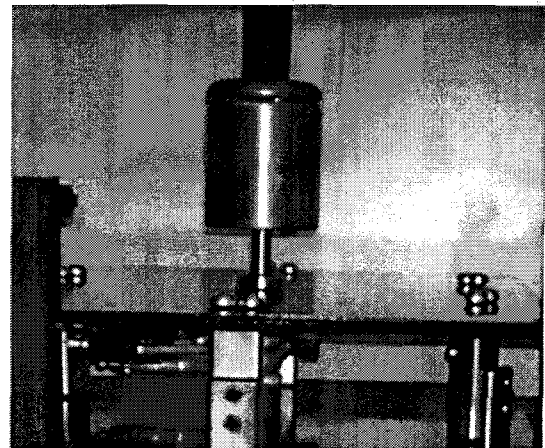


그림 9 DETC 형상  
 Fig. 9 De-energized tap changer

### 3. 맺음말

현재 상업 운전 중인 내철형 765kV 송변전 전력용 변압기를 국산화시킨 이후, 그림 10과 같이 발전소용 765kV 외철형 변압기도 개발, 납품함으로써, 전력용 변압기의 수입 대체 효과를 거둘 수 있었을 뿐만 아니라, 기술력에 있어서도 외국의 선진업체와 대등한 경쟁력을 확보할 수 있게 되었다. 또한, 이를 통해 해외시장에서 부가가치가 높은 대용량 초초고압 변압기의 수출기반도 확보할 수 있게 되었다.

특히, 그 동안 네 차례에 걸쳐 765kV 변압기를 개발하면서 설계에 적용하였던 각종 해석 및 분석 기법, 그리고 제작에 적용하였던 공차관리 및 품질 요구수준을 기존의 345kV 급 이하의 제품에도 적용함으로써, 보다 나은 고품질의 초고압 변압기를 생산할 수 있게 되었다.

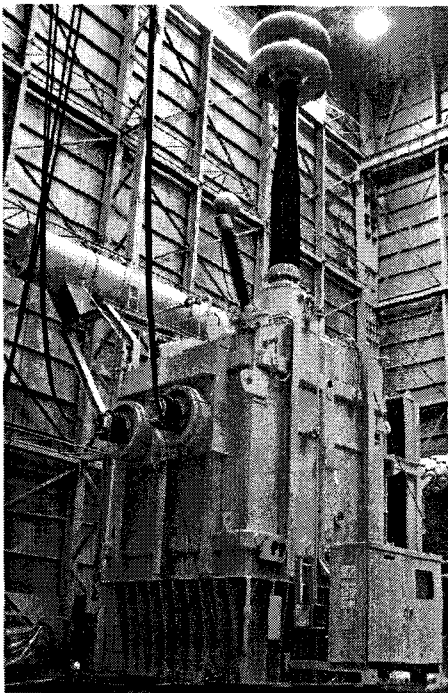


그림 10 발전소용 외철형 765kV 변압기 외형  
 Fig. 10 Picture of shell type 765kV transformers for generator step-up.

“Transformer Design Principles,” Gordon and Breach Science Publishers, pp. 369-428, 2001.

## 저자 소개



### 김영민 (金英敏)

1950년 1월 26일생. 1977년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1977년~현재 (주)효성 창원공장 근무  
 Tel : 055-268-9300, Fax : 055-268-9366  
 E-mail : ymkim1@hyosung.com



### 김도균 (金度均)

1961년 2월 22일생. 1983년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1983년~현재 (주)효성 초고압변압기 설계팀 근무  
 Tel : 055-268-9340, Fax : 055-268-9366  
 E-mail : dgkim@hyosung.com



### 조광제 (趙光濟)

1963년 4월 8일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1986년~현재 (주)효성 초고압변압기 설계팀 근무  
 Tel : 055-268-9351, Fax : 055-268-9366  
 E-mail : gjjoe@hyosung.com



### 배용배 (裴容培)

1969년 2월 20일생. 1994년 경상대학교 전기공학과 졸업. 1994년~현재 (주)효성 초고압변압기 설계팀 근무  
 Tel : 055-268-9356, Fax : 055-268-9366  
 E-mail : ybbae@hyosung.com

### 참고 문헌

- [1] 효성중공업(주), 기초전력공학공동연구소, “765kV급 전력용 변압기 설계 및 제조기술 개발에 관한 연구” 한국전력공사, pp. 5-10, 1996.
- [2] Richard L. Bean, Nicholas Chackan, JR., Harold R. Moore, Edward C. Wentz, “Transformers for the electric power industry,” McGraw-Hill, pp. 24-79, 1959.
- [3] 坪島 茂彦, 羽田正弘, “圖解 變壓器,” 京電幾大學出版局, pp. 22-30, 1999.
- [4] Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah, Rajendra Ahuja,