

154kV급 가스절연 변압기 개발

Development of 154kV Gas Insulated Transformer

禹在熙[†] · 催禮林^{*} · 金敬敏^{*} · 李準燁^{**} · 石福烈^{***}
(J.H.Woo · Y.L.Choi · K.M.Kim · J.Y.Lee · B.Y.Seok)

Abstract - The demand of Gas Insulated Transformer(GIT) using SF₆ gas as insulating and cooling medium is being increased dramatically in the underground substation of urban area because it has the advantages of non-flammable and non-explosive, etc. This paper describes the structural features and advantages of the gas insulated transformer compare to an oil immersed transformer, and presents a brief overview of the consideration and technology which apply to SF₆ gas insulated transformer.

Key Words : Transformer, SF₆ Gas, Insulation, Substation

1. 서 론

최근 대도시 전력수요의 증가로 인해 장래에 안정적인 전력을 공급하기 위하여 도심지역에 변전소의 신설 및 증설이 이루어지고 있으며, 이에 따라 변전소 부지 확보의 용이성을 위하여 빌딩 등의 지하를 이용한 지하변전소가 필요하게 되었으며, 안전성 측면에서 기기의 불연화, 건설비용의 경감의 면에서 공간절약화가 강하게 요구되고 있다.

SF₆ 가스절연변압기는 절연유를 사용하는 유입식 변압기에 비하여 환경친화성, 불연성 및 비폭발성 측면에서 유리하고 몰드 변압기에 비하여 고전압 및 대용량화 측면에서 유리한 장점을 가지고 있어서 현재 지하변전소용으로 수요가 크게 증가하고 있으며, 1990년대 초 일본에서는 이미 대용량 변압기의 상용화가 시작되었다. 당사에서도 2000년에 고압형(high pressure type)의 154kV SF₆ 가스절연변압기 prototype을 개발하여 2002년부터 한국전력공사에서 상업 운전 중에 있으며, 2005년에는 운영적 측면이나 경제적 측면에서 많은 이점을 가지고 있는 저압형(low pressure type) 154kV SF₆ 가스절연변압기를 순수 독자기술로 개발·완료하였다.

본 논문에서는 154kV SF₆ 가스절연변압기 개발에서 가장 기술적으로 문제시 될 수 있는 절연 및 냉각 설계에 대하여 간략히 설명하고, 최근 개발된 저압(0.12MPa) 가스절연변압기 시작품에서 수행된 시험결과를 서술하였다.

2. 가스절연변압기의 개발 사양 및 특징

2.1 가스절연변압기의 사양

본 연구를 통하여 당사에서 개발된 SF₆ 가스절연변압기

는 단상 154kV 20MVA 한전표준변압기로서 동일 사양의 유입식 변압기와 비교하여 절연 및 냉매의 매질로 SF₆가 사용되는 이외에 냉각효율 향상을 위하여, 강제냉각방식을 채용하고 있다는 점 이외에는 기본적인 사양에서 큰 차이가 없다[1].

2.2 가스절연변압기의 구조적 특징

가스변압기의 기본적인 구조는 유입식 변압기와 거의 동일하지만, 유입식 변압기에서 사용되는 광유나 실리콘유를 대신하여 절연 및 냉각 매질로서 SF₆를 사용함으로써 기본적인 매질의 특성에 따른 몇가지 차이가 발생한다. 표 2는 유입식 변압기 SF₆ 가스변압기는 절연매질 및 냉매의 차이로 인하여 발생하는 구조적 차이를 비교한 것이다.

표 1에서 볼 수 있는바와 같이, SF₆ 가스가 가지고 있는 절연 및 냉각특성을 보완하기 위하여 가압이 필요하다. 일반적으로 저압형 가스변압기의 경우, 1.2 - 1.4기압, 고품의 경우 3.0기압 이상으로 가압한다. 권선도체피복에는 유입식에서 사용하는 절연지를 대신하여 PET (Polyethylene Terephthalate), 내열 PET, PPS (Polypropylene Sulfide) 등의 플라스틱 필름 및 방향족 Polyamide(Aramid지)이 사용될 수 있으며 이는 고밀도 필름재료가 가스 중에서 높은 절연강도를 갖기 때문이다. 가스절연변압기의 냉각특성을 고려하여 절연등급은 유입식 변압기보다는 높은 E-H중 절연방식을 요구된다. 그 외에도 탭 절환시 발생할 수 있는 분해가스의 발생을 피하기 위하여 진공스위치를 적용한 탭 절환기가 사용되며, 마모방지를 위하여 롤러타입의 구동접점이 사용된다. 마지막으로 절연매질이 가스인 경우는 자체적인 압축성이 있으므로 온도에 따른 부피변화가 큰 문제가 되지 않는다. 그러므로 유입변압기에서 요구되던 콘서베이트를 설치할 필요 없게 되어, 전체적인 부피면에서 유입변압기에 비하여 유리하다.[2][5]

† 교신저자, 正 會 員 : 現代重工業 新製品開發室
E-mail : woojh@hhi.co.kr

* 正 會 員 : 現代重工業 新製品開發室
** 正 會 員 : 現代重工業 基礎基盤研究室
*** 正 會 員 : 現代重工業 基礎基盤研究室

接受日字 : 2005年 9月 21日
最終完了 : 2005年 11月 17日

표 1 유입변압기 및 SF₆ 가스절연변압기의 구조비교
Table 1 Comparison of structure between oil immersed TR and SF₆ GIT

항목	유입식 변압기	가스절연변압기
절연/냉각 매체	광유, 실리콘유	SF ₆ gas
외함압력 (kg/cm ² @20℃)	대기압	저압형:1.2~1.4 고압형:3.0 이상
권선도체 피복	Kraft paper, Aramid	PET 내열 PET, PPS, Aramid
절연등급	A 중	E ~ H 중
냉각매체순환	유펌프	가스송풍기
부하시템절환기		
탭절환기	저항식	진공개폐기(VI)
탭선택기	슬라이딩 접점	롤러접점
권선배이더	필요	필요 없음

3. 가스절연변압기의 기본 설계

절연 및 냉각매체로 사용되는 SF₆ 가스의 절연 및 냉각 성능은 가스압력에 의존한다. 그러나 필요이상의 높은 압력에서 운전하도록 설계하는 것은 제품의 경제성 측면에서 비효율적일수도 있으므로 변압기의 정격전압, 가스 온도를 고려한 최고운전 압력, 절연 및 냉각 성능을 고려하여 전체적으로 가장 경제성이 있도록 설계할 필요가 있다. 상기사항을 고려하고 절연, 냉각, 구조설계에 수치해석기술을 이용하여 한국전력공사에 사용중인 154kV급 SF₆ 가스절연변압기에 대한 표준으로써 표 2와 같이 결정하였다.

표 2 SF₆ 가스절연변압기 개발 모델 사양
Table 2. Specifications of Target GIT

항 목	고압형	저압형
정격가스압력 (kg/cm ² @20℃)	2.5~3.0	1.2~1.4
최대운전압력 (kg/cm ²)	4.3	2.0
권선온도상승	125K	75K
절연등급	H중	E중

3.1 절연설계

위에서 설명한 바와 같이, SF₆ 가스절연변압기는 절연매질이 변압기 대신 SF₆가스로 대체되기 때문에 유입식 변압기에서와는 다른 절연설계가 필요하다. 본 장에서는 변압기 절연설계에서 가장 주의가 요구되는 턴 및 섹션 간에서 발생하는 미소갭과 권선 주절연부의 절연설계를 위한 수치해석기법을 이용하여 검토하였다.

3.1.1 턴 및 섹션 간의 절연설계

그림 1은 SF₆ 가스절연변압기의 권선부 턴간 및 섹션간에서 발생할 수 있는 미소 가스갭의 개략도를 나타낸다. 이러한 유사삼중점에서는 절연지의 유전율보다 SF₆가스의 유

전율이 훨씬 낮으므로 미소갭 쪽으로 전계가 집중되어 절연 내력이 매우 취약하게 된다.

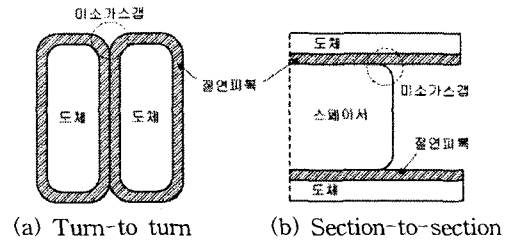


그림 1 SF₆ 가스절연변압기 권선부 미소가스갭 발생부위 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of narrow gas gap region in SF₆ gas insulated transformer windings

그림 1에서 볼 수 있는바와 같이 전극 간에 고유전율의 고체절연물과 저유전율의 가스로 구성된 복합절연 시스템이 형성되는 경우의 미소갭에서의 절연은 고체절연체와 가스절연체의 유전율의 비에 따라 전기절연적으로 약점부인 미소갭에서 발생하는 전계집중도가 달라질 수 있으므로, 고체절연물의 선정에 세심한 주의가 요구된다.[3][4] 본 연구에서는 이러한 고체/가스 복합절연시스템에서 고체절연물의 영향을 분석하기 위하여 전자장수치해석을 이용하여 고체/가스 절연시스템에서 유전율의 비, 및 고체절연물의 두께 변화에 의한 전계분포 및 최대전계(E_{max})에 대하여 고찰하였다.

그림 2는 턴 및 섹션 간의 미소가스갭에서의 전계분포 해석결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는바와 같이, 턴간 및 섹션간의 미소가스 영역에서의 전계가 도체피복 절연체나 영역이나 스페이스 영역에 비하여 훨씬 높게 배치된다는 것을 알 수 있다. 그림 3-4는 턴 간 모델(그림 1(a))에서 도체피복의 유전을 변화, 및 도체피복의 두께 변화에 따른 미소가스갭에서의 최대전계의 변화를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는바와 같이 턴간의 미소가스갭에서 발생하는 최대전계는 인접하는 고체절연물의 비유전율이 높을수록 최대전계가 상승한다는 것을 알 수 있다. 또한, 도체를 피복하고 있는 고체절연물의 두께가 증가할수록 최대전계가 감소한다는 것을 알 수 있었다.

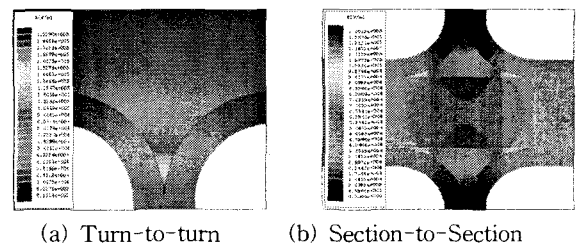


그림 2. 미소가스갭에서의 전계해석 결과($V_{app}=1kV$)
Fig. 2. Calculation results of electric field distribution in narrow gas gap regions ($V_{app}=1kV$)

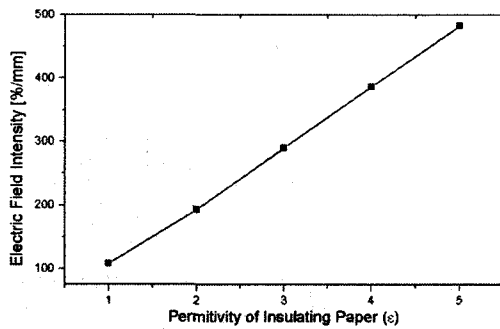


그림 3 절연지 유전율 변화에 따른 가스 갭에서 최대전계의 변화 ($d = 1.0\text{mm}$)

Fig. 3 E_{max} - ϵ characteristics in narrow gas gap region ($d = 1.0\text{mm}$)

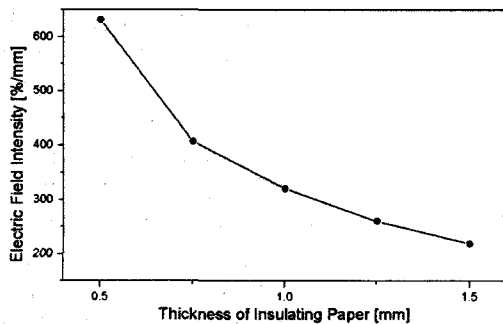
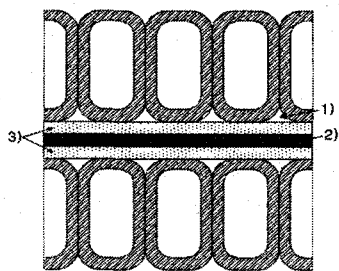


그림 4. 절연지 두께 변화에 따른 가스 갭에서의 최대전계의 변화(절연지 $\epsilon_r=3.2$)

Fig. 4 E_{max} depending on the width of solid insulator between composite insulation system ($\epsilon_r=3.2$)



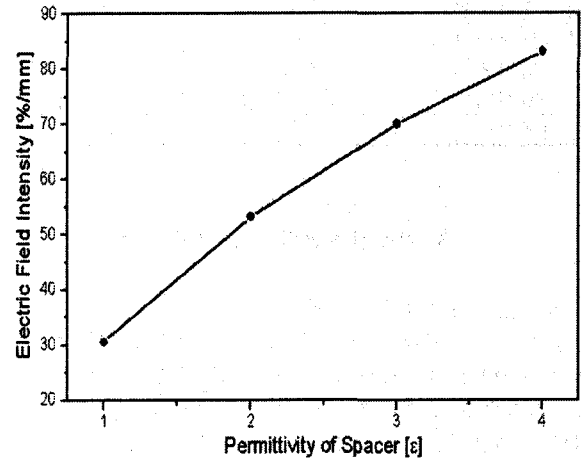
- 1) Narrow gas gap
- 2) High Permittivity solid spacer
- 3) Low Permittivity solid spacer

그림 5 섹션간 복합 절연스페이스 개략도

Fig. 5 Schematic diagram of composite insulation spacer system between sections

그림 5는 섹션간의 미소가스갭에서 발생하는 전계집중 완화를 위하여 고려되는 방법의 하나인, 유전율이 다른 고체절연물을 다중으로 배치하는 복합 절연스페이스에 의한 섹션 간 절연구성을 나타낸다. 이러한 경우, 일반적으로 고유전율의 고체절연물 주변에 배치된 고체절연물 비유전율의

변화에 따라 미소가스갭에서의 전계분포는 크게 영향을 받을 수 있다. 그림 6에서 볼 수 있는바와 같이 미소가스갭에서의 최대전계는 고유전체 주변에 배치된 고체절연물의 비유전율에 따라 미소가스갭에서의 전계가 크게 변할 수 있음을 나타낸다. 즉, 고유전체 주변에 사용되는 저유전율 절연물의 비유전율이 가능한 낮은 재료를 선택한다면, 섹션간의 미소가스갭에서 발생하는 최대전계의 완화를 유발할 수 있게 되어, 전기절연적으로 안전한 시스템이 구성될 수 있을 것이다.

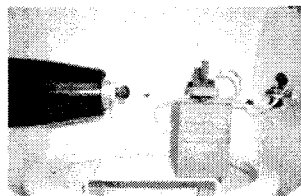


- High Permittivity solid spacer($\epsilon_r=5, d=2\text{mm}$)
- Low Permittivity solid spacer($d=1.5\text{mm}$)
- Insulation paper ($\epsilon_r=5, d=2\text{mm}$)

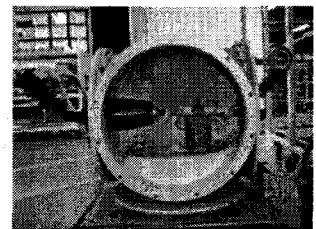
그림 6 복합 절연스페이스의 유전율 변화에 따른 가스갭에서의 최대전계의 변화

Fig. 6 E_{max} depending on the permittivity of spacer in composite insulation system between sections

그림 7은 턴 및 섹션 간의 미소가스갭에서 형성되는 고전계 영역에서의 SF₆ 절연파괴 특성 분석을 위한 시험모델 및 시험용 챔버를 나타낸다. 본 연구에서는 미소가스갭에서의 절연파괴 특성을 모델전극을 제작하여 간이 챔버 속에서 실험하고, 상기의 해석결과를 바탕으로 권선간 및 섹션간의 절연설계를 수행하였다.



(a) Electrode system



(b) Test Chamber

그림 7. 절연시험 전극 및 챔버 사진

Fig. 7. Photos of electrode system and test chamber for SF₆ gas insulation test.

3.1.2 주절연 설계

SF₆ 가스의 높은 전계의존성이라는 독특한 특성 때문에, 합리적인 절연설계(특히 뇌충격 전압에서)를 실시하는 것이 중요하다. 고압권선의 인가단에서는 서지침입시의 전위분포를 균일하게 하기 위해 Hisercap 디스크 권선이 사용되었으며, 권선 끝단의 전계를 완화시키기 위하여 정전링을 사용하였다. 권선 간, 탱크 간, 접지 간 절연은 각종의 절연모델과 유한요소법에 의한 전계해석을 통해 합리적이고 경제적으로 구성하였으며, 실제 변압기에 대한 축소 모델 변압기를 제작하여 이에 대한 임펄스 절연내력 시험을 수행하였다.

그림 8은 절연설계 검증을 위해 제작된 half scaled 모델변압기의 절연시험 사진이며, 그림 9는 검증을 위해 제작된 모델코일에 대한 절연해석의 본보기이다. 본 연구를 통하여 제작된 Half모델에서의 절연시험은 약 10%정도의 절연 Margin을 가지는 결과가 도출되어, 본 연구에서 사용된 절연설계기법의 타당성을 입증하였다.

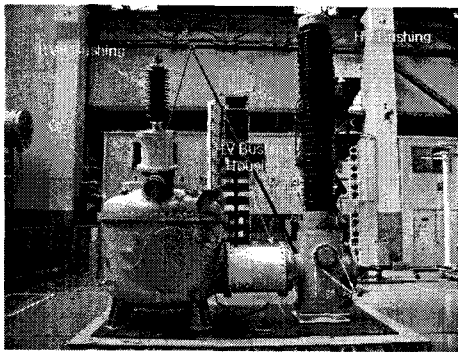


그림 8 Half 모델 절연시험 사진
Fig. 8 Test photo of half scaled model

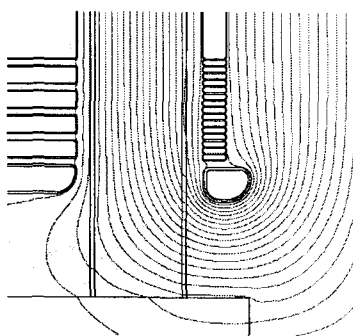


그림 9 가스절연변압기 주절연 부위 전계분포 해석
Fig. 9 Electric field analysis in main insulation part of gas insulated transformer

3.2 냉각설계

가스변압기의 경우 오일변압기에 비하여 상대적으로 SF₆ 가스밀도가 낮아 열악한 냉각조건을 가지고 있으며, 열적으로 취약한 상태이다. 따라서, 권선 및 철심부의 냉각효율

증대를 위한 방열설계가 이루어져야 하며, 최적의 송풍기 및 냉각기의 설계가 요구된다.

3.2.1 중신부 냉각설계

각 권선 및 철심부의 정밀한 냉각설계를 하기에 앞서, 대략적인 중신부의 냉각용량 산정이 필요하다. 본 연구에서는 일반적인 열전달 상관 관계식을 이용하여, 중신부를 흐르는 SF₆ 가스의 유동량에 따른 온도상승 시뮬레이션을 수행하고 1차적으로 냉각에 필요한 가스유량을 산정하였다. 산정된 가스유량을 초기조건으로 하는 열유동 수치해석을 수행하여 최적의 냉각구조를 설계하였다.

각 권선 및 철심부에 흐르는 유량은 다음과 같은 순서로 계산한다. 먼저, 덕트에서의 SF₆ 가스 온도상승 값, Δt는 다음과 같이 구한다.

$$\Delta t = \frac{P}{C_v \times \rho \times V_w}$$

가스 유동의 특성에 따라 층류 및 난류상태에서의 열전달 상관식 적용을 위하여 레이놀즈수, Re를 구하며, 결과로부터 누셀트 수, Nu 및 철심부와 SF₆ 가스 간의 대류열전달 계수 h를 구한다.[6]

$$Re = \frac{V_g \cdot d}{\nu}$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k_g}{d}$$

한편, 아래의 관계식으로부터 각 권선 및 철심부의 평균 온도상승 값을 구한다.

$$\Delta T_c = \frac{q_c}{h \cdot A_c}$$

여기서, 각각의 가스의 유속을 변화시키면서 권선 및 철심부의 허용 평균온도 상승 값을 만족시키는 작동점을 찾아 초기 유량값을 선정한다.

초기 설정된 유량 값을 기본값으로 각 권선부의 정밀한 온도상승 해석 및 압력손실을 도출하기 위하여 상용 툴(Tool)인 Fluent 6.0을 사용하여 정상상태, 비압축성 및 점성 유동으로 가정하고 유동 및 열전달 전산해석을 수행하였다. 전산해석을 위해서는 실제영역을 계산영역으로 모델링하고 경계조건 및 재료의 물성치를 실제조건과 가장 유사하게 대입하는 것이 매우 중요하다. 권선 및 철심부의 온도상승에 영향을 주는 여러 인자 값들인 가스 입력부의 단면적, 냉각 덕트 크기, 권선형태 등을 변화시키면서 열적 안정성을 확보하였다.

그림 10은 여러 냉각조건들을 변화시키면서 가스유동 및 온도상승 해석을 통하여 최종적으로 도출된 저압형 GIT의 냉각해석 결과를 나타낸 것으로 그림 10(a)는 외기 40℃, 100% 부하 조건에서 권선부 최고온도가 108.5℃로 설계온도인 120℃를 만족함을 확인 할 수 있었으며, 이때 결정된 기하학적 조건들을 설계에 반영하였다. 그림 10(b)는 이때의 가스유동로에서 발생하는 압력손실 분포를 나타낸 것으로 결과값을 이용하여 냉각 Blower를 선정 하였다.

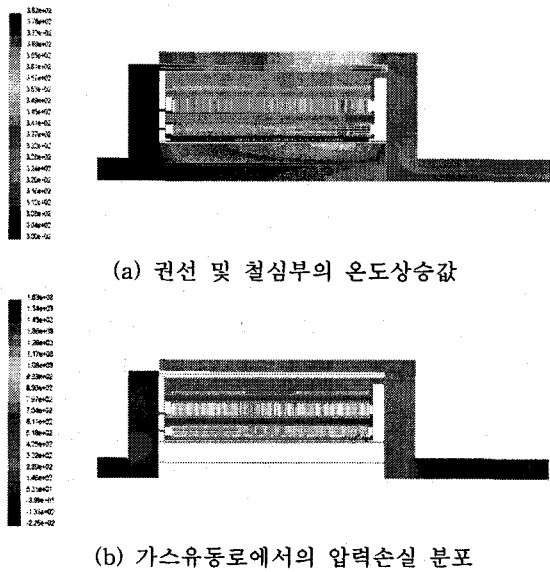


그림 10 열유동 수치해석 결과
 Fig. 10 Thermal & fluid analysis result of the SF₆ GIT

3.2.2 냉각기설계

냉각기의 열 설계에서는 가스의 냉각기 통과속도는 물론이고, 냉각수가 핀, 튜브를 통과하는 속도, 핀의 개수, 핀의 면적, 핀의 형상, 튜브의 크기, 튜브의 개수, 튜브의 형상 등은 냉각기의 성능에 절대적인 영향을 주는 주요 설계인자이며 고온의 SF₆ 가스가 상대적으로 저온인 냉각수를 통해 냉각기에서 열교환 되는 과정을 이 설계인자를 통하여 계산할 수 있다. 또한 냉각기의 성능을 평가하는 인자인 가스와 냉각수의 출구온도, 각 부분의 열전달 계수, 총합열전달 계수, 대수평균온도차, 냉각기 용량 등을 계산하는 과정도 필수적이다.[7][8] 그림 11은 본 개발품에 적용한 냉각기내의 가스 및 냉각수의 통로를 나타낸 것으로 두 개의 원통 관이 크로스하고 내부에 SF₆ 가스와 냉각수가 서로 크로스되어 열교환 되는 형상인 대향류(Counter-flow) 방식의 열교환기이다. 냉각기 내부에는 튜브에 냉각핀이 끼워져 있는 Shell and Tube 형식의 핀(Fin 또는 Rub Plate)이 설치되어 있어 냉각수가 통과하는 원통 쪽의 튜브는 2단(2 Passes)으로 되어 있어서 하단으로 들어간 냉각수가 상단으로 나오는 구조이다.

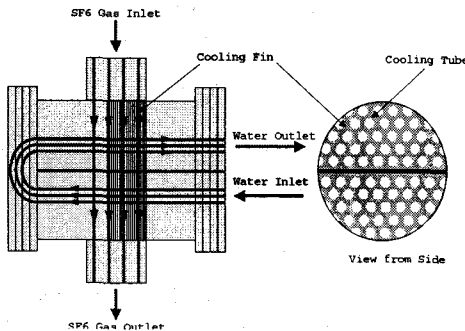


그림 11 냉각기의 가스 및 냉각수의 통로
 Fig. 11 Cooling passage of a cooler

냉각기의 압력손실 및 열전달 특성을 고려한 설계를 바탕으로 시제품을 제작하고 그림 12와 같이 냉각성능실험을 수행하였다. 실험장치는 크게 수조, 펌프, 히터, 송풍기, 열교환기로 구성되며 풍동은 외부로의 열손실을 없애기 위해 단열재를 부착하였다. 냉각수 및 가스 측의 유량은 각각 터빈 유량계 및 Hot-wire Anemometer를 사용하였으며 K형 열전대를 이용하여 냉각수 및 가스의 입·출구 온도와 대기온도를 측정하였다. 또한 1 bar 범위의 압력계를 이용하여 냉각유체 입·출구의 압력손실을 측정하였으며 측정된 데이터는 실시간으로 데이터 획득 장치를 통해 PC로 저장되었다. 실험은 냉각수 및 가스 측의 유량과 온도를 변경해 가면서 진행되었으며 설계조건에서의 냉각용량과는 1% 미만의 오차 범위 내에서 일치하였다.

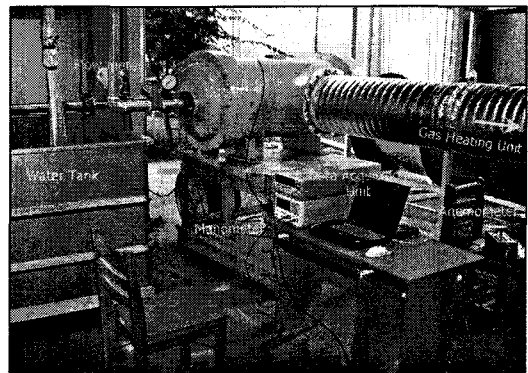


그림 12 냉각기 실험장치
 Fig. 12 Experimental setup for cooler test

3.3 외함설계

외함구조상 고려하여야 할 점은 사용압력에 대한 외함강도이다. 유입변압기에 비하여 높은 압력이기 때문에, 그림 13과 같이 유한요소법에 의한 구조해석을 실시하였으며, 또한 IEC 60517에 따라 최고사용압력의 1.5배에서 수압시험을 실시하여 문제가 없는 것을 확인하였다. 이에 따라서 변압기가 최고사용압력에서의 운전상태에서 내부사고가 발생하여 내압이 상승하였다고 해도 충분히 견딜 수 있는 강도로 되어 있다.

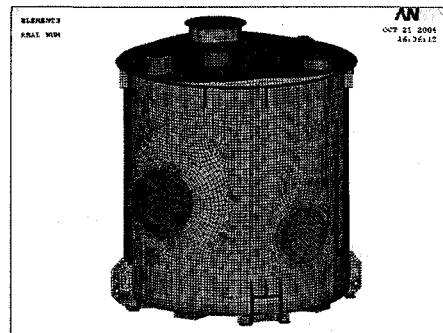
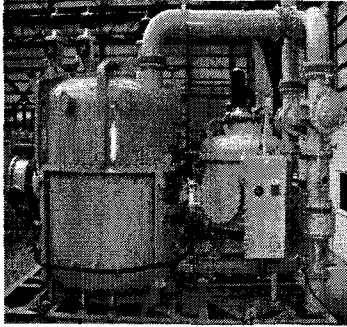


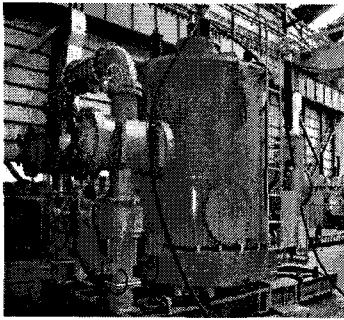
그림 13 구조해석을 위한 기하학적 모델링
 Fig. 13 Geometry modeling for structure analysis

4. 개발모델 절연 및 온도상승 시험

그림 14는 상기의 절연/냉각/구조 설계를 통하여 제작된 고압 및 저압 SF₆ 가스절연변압기의 최종 시험장면을 나타내는 사진이다.



(a) High pressure Type



(b) Low pressure Type

그림 14. 개발된 SF₆ 가스절연변압기 외관 사진
Fig. 14 Photos of developed SF₆ GIT

4.1 내전압시험

본 시험에서 인가된 시험전압은 표 3-4에서 한전 154kV 변압기 구매시방서에 명기된 전압기준에 의거하여 시행되었으며, 본 논문에서는 SF₆ 가스의 절연특성에 따라 내전압보다는 좀더 가혹한 개폐임펄스 및 뇌임펄스 전압기준에 관한 내용만 정리한다. 표 4 및 표 5의 시험결과에서 볼 수 있는바와 같이, 인가된 임펄스 전압조건에서 모두 이상없이 통과되었다.

그림 15-16은 임펄스 시험시 측정된 인가전압의 파형을 나타내는 것으로, 개폐임펄스 및 뇌임펄스 파형에 왜곡이 없이 측정된 것을 나타낸다.

표 4 개폐임펄스 내전압시험파형 및 시험결과
Table 4 Switching impulse test wave and test results

시험전압 (kV)	극성	파형 (μs)	인가횟수 (회)	시험결과
고압 권선	부극성	T _p : 190	반파 전파 1	이상 없음
		T _d : 404		
		T _z : 1,700		

표 5 임펄스 내전압시험파형 및 시험결과

Table 5 Lightning impulse test wave and test results

시험전압 (kV)	극성	파형 (μs)	인가횟수 (회)	시험결과
고압 권선	전파	650	1.43×49.6	반파 재단파 전파 1 2 1
	재단파	750		
고압 중성점	350		1.30×53.1	반파 전파 1 2 1
저압 권선	전파	150	1.36×52.5	반파 재단파 전파 1 2 1
	재단파	165		
저압 중성점	150		1.36×52.7	반파 전파 1 2 1
안정 권선	전파	60	1.04×50.1	반파 재단파 전파 1 2 1
	재단파	69		
안정 권선	전파	60	1.08×48.8	반파 재단파 전파 1 2 1
	재단파	69		

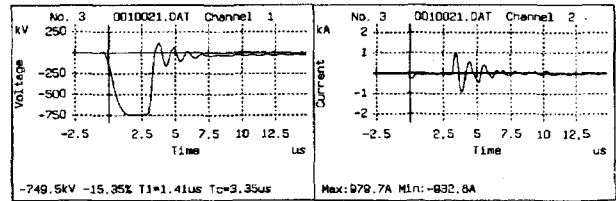
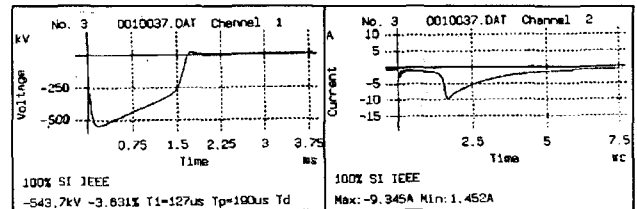
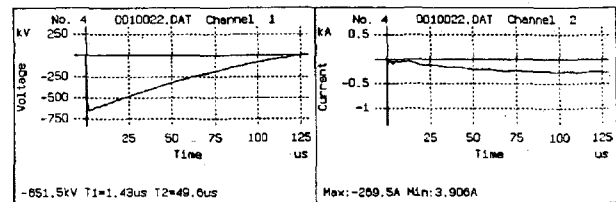


그림 15 개폐임펄스 내전압시험파형 (고압파형 : 540kV)
Fig. 15 Switching impulse test wave (HV winding : 540kV)



(a) chopped wave : 750kV CLI



(b) full wave : 650kV FLI

그림 16 임펄스시험전압파형(고압권선)
Fig. 16 Lightning impulse test wave(HV winding)

4.2 온도상승시험

SF₆ 가스절연변압기에 요구되는 온도상승 시험조건은 표 6에 나타내는 바와 같다. 즉 SF₆ 가스의 온도상승한도는

60.0℃이며, 권선부는 75℃이다. 표의 시험결과 란에서 알 수 있는바와 같이 온도상승시험이 변압기 가스 및 권선부위 모두 허용범위 안에서 만족함을 알 수 있으며, 당초 설계의 기준이 되는 해석결과와도 계측오차 범위 내에서 근사하게 일치함을 확인 할 수 있다. 그림 17은 온도상승 시험 시, 온도센서를 통하여 측정된 변압기 내부의 온도를 나타낸다.

표 6 온도상승시험 결과

Table 6 Test results of the temperature rise test

구분	온도 상승한도 (k)	해석결과 (k) (설계치)	시험결과 (k)
SF ₆ 가스	60.0	35.0	35.70
1차권선	75.0	69.7	67.08
2차권선		70.3	69.82
3차권선		60.0	65.08

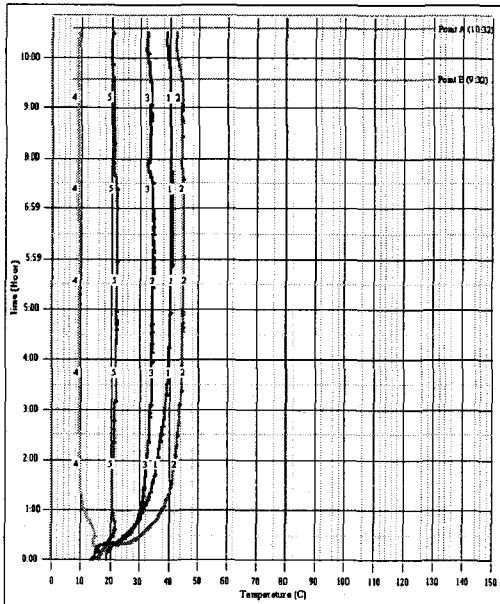


그림 17 온도상승시험 그래프

Fig. 17 Temperature rise test graph

5. 결 론

본 논문에서는 최근 수년간 자체기술로 개발된 SF₆ 가스 절연변압기의 절연 및 냉각/구조 설계기술의 개요와 최종시험에 대하여 기술하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 가스변압기 절연설계기술 개발을 위하여 절연취약부위 예상되는 가스 미소 갭에서의 전계해석 및 간이실험전극을 이용한 기초실험을 바탕으로 절연설계를 수행하였으며, Half모델과 최종 Full모델에서 시험을 통하여 154kV 한전 절연시험 규격을 만족한다는 것을 입증하였다.
2. 가스변압기는 SF₆ 가스에 의한 냉각효과가 기존 오일변압기에 비하여 현저하게 열악하므로, 변압기 권선부의 유

동 및 열전달 해석을 통하여 열적으로 안정된 구조의 권선 냉각설계를 수행하였으며, 시제품 온도상승 시험결과 최대 ±8% 내에서 일치함을 확인 하였다. 또한 SF₆ 가스의 냉각을 위하여 160kW급 수냉식 냉각기를 개발하였으며 성능특성 실험을 통하여 설계 값을 검증하였다.

본 연구를 통하여 유입변압기에 비하여 전기절연 및 냉각적인 측면에서 난이도가 훨씬 높은 SF₆ 가스절연변압기를 개발함으로써 가스변압기 분야에서 독자적인 설계기술을 확보하였다. 또한 확보된 설계기술을 토대로, SF₆가스의 절연 특성 및 열전달 특성에 대한 연구를 강화하여 본제품의 성능향상 및 신뢰성향상 연구를 지속적으로 추진해 나아갈 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 한전표준변압기 사양서 참고목록
- [2] “不燃性難練性變壓器の現状とその動向”, 日本電氣學會技術報告 第459号, 1993.
- [3] 宮城克徳, 佐野貴弘, “가스絶縁變壓器捲線ターン間くびギブ放電におけるモデル解析”, 明電時報, 通卷273号, No.4, 2000.
- [4] 井上 保, 寺西 常治, 池田 正巳, “Dielectric Characteristics of Turn-to-turn Insulation of Gas-Insulated Transformer for Various Impulse Voltage Application” 日本電氣學會誌 論文誌B, 120卷, 4號, pp. 569-575, 2000.
- [5] Y. Togawa, M. Ikeda, K. Toda and K. Esumi, “Progress of Gas-insulated Transformer”, IEEE Proceedings of International Conference of Energy Management and Power Delivery, pp. 540-547, 1995.
- [6] Miller, D. S, “Internal Flow Systems, 2nd Edition”, BHRA(Information Services),1999
- [7] Idelchik. I. E., 1994, “Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition”, CRC Press.
- [8] Kays,W. M., London, A. L., “Compact Heat Exchangers, 3rd Edition”, McGraw-Hill Book Company, 1999
- [9] Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah and Rajendra Ahuja., “Transformer Design Principles,” Gordon and Breach Science Publishers, 1999

저 자 소 개



우 재 희 (禹 在 熙)

1970년 12월 22일생. 1997년 부산대 전기공학과 졸업. 1997년~현재 현대중공업(주) 신제품개발실
Tel : 052-230-8178, Fax : 052-230-8180
E-mail : woojh@hhi.co.kr



최 예 립 (催 禮 林)

1966년 2월 24일생. 1992년 울산대 전기공학과 졸업. 1992년~현재 현대중공업(주) 신제품개발실
Tel : 052-230-8189, Fax : 052-230-8180
E-mail : yealimchoi@yahoo.co.kr



김 경 민 (金 敬 敏)

1957년 7월 7일생. 1983년 인하대 전기공학과 졸업. 1983년~현재 현대중공업(주) 신제품개발실장
Tel : 052-230-8181, Fax:052-230-8180
E-mail : kimkm@hhi.co.kr



이 준 엽 (李 準 燁)

1966년 3월 10일생. 1990년 성균관대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1993년~현재 현대중공업(주) 기초기반연구실
Tel : 031-289-5081, Fax : 052-230-8180
E-mail : jameslee@hhi.co.kr



석 복 렬 (石 福 烈)

1971년 2월 16일생, 1994년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2000년 3월 일본 큐슈대학 시스템정보과학연구과 졸업(공학박사), 2000년 4월~2001년 3월 일본 통산성 공업기술원 특별연구원(AIST fellow), 2001년~현재 현대중공업(주) 기초기반연구실 책임연구원
Tel : 031-289-5070, Fax : 052-230-8180
E-mail : bokyeol@hhi.co.kr