

SF₆ 가스절연변압기에서 권선의 섹션에 대한 절연내력 연구

論 文

49B - 3 - 4

A Study on the Dielectric Strength in Section of Winding in SF₆ Gas Transformer

許 遇 行* · 河 永 湜** · 洪 正 杓*** · 金 圭 卓§

(Woo-Heng Heo · Young-Sik Ha · Jung-Pyo Hong · Gyu-Tak Kim)

Abstract - This paper deal with the experimental discussion about the impulse and AC dielectric strength of SF₆ gas insulated transformer. Test sample is measured the dielectric breakdown voltage about the modeling of the first and second section which is the weakest for surge voltage. The AC breakdown voltage is appeared 1.4 times than impulse breakdown voltage, so we can estimate that the impulse breakdown voltage is severe to AC breakdown voltage, and when the impulse is applied, in case of 1mm tapping with Nomex paper, the characteristics of dielectric breakdown voltage is same to that in oil immersed transformer when SF₆ gas pressure is 2.2kg/cm²G.

Key Words : SF₆ 가스절연 변압기, 임펄스내전압, AC 파괴전압, 가스압력, 권선

1. 서 론

SF₆ 가스의 절연특성은 대기압에서 공기의 2.6배, 절연유의 2/3이며, 2.5kg/cm²G에서 절연유와 동등한 절연내력을 갖는 것으로 알려져 있다[1]. 나도체에 대한 SF₆ 가스의 절연파괴특성은 GIS설계에 널리 이용되고 있으나 가스변압기에서와 같이 절연된 도체에 대한 절연파괴특성의 규명은 미흡하다. 즉, 변압기에서는 도체의 절연파괴와 SF₆ 가스의 절연특성이 복합되어 나타나므로 이들의 복합적인 절연특성의 파악은 필요 불가결하다. 또한, 변압기는 절연에 취약한 연면, 유사삼중점 구조로 설계, 제작되므로 이들 구조에 대한 SF₆ 가스의 절연파괴 특성은 가스변압기를 설계하기 위해서는 반드시 선행되어야 한다.

SF₆ 가스내에서의 절연물의 절연내력은 절연물의 기공의 크기에 좌우된다. 따라서, 선진 외국의 변압기 제조업체에서는 PET필름을 절연물로 사용하고 있으나, PET필름은 권선의 제작 공정이 매우 어렵고 내열등급이 B종으로 온도상승에 제약받을 결점이 있다[1]. 이러한 이유로 인하여 국내에서는 90년대 초반부터 절연 및 열적 내력이 우수한 Nomex지를 이용하여 가스변압기의 개발이 시작되었다[2].

SF₆ 가스변압기의 설계 및 제조기술의 핵심은 절연, 냉각, 기밀기술이며 그중 가장 핵심은 절연설계기술이다. 절연설계에 있어서 SF₆ 가스 절연변압기와 기존 기름변압기는 구조가 유사하지만 절연의 대부분을 담당하는 SF₆ 가스와 기름의 절연 특성이 전혀 다르므로 절연된 도체에서의 SF₆

가스의 절연파괴특성이 파악되어야만 절연설계가 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 기존 변압기와 권선작업이 유사하여 제작이 용이하며 절연 및 열적 내력이 안정한 Nomex지를 절연지로 택하였다. 시험용 샘플은 변압기의 권선중 서지전압에 가장 취약한 고압권선의 첫째 섹션과 둘째 섹션을 모델링하였으며 임펄스 및 AC절연파괴 특성을 절연유하에서의 실험치와 비교하였다.

2. 시험용 챔버 및 시료제작

본 연구에서 제작한 시험용 샘플은 두 도체가 두께방향으로 마주 보도록 하였으며, 절연지는 Nomex T410 0.05mm를 10층 절연하고 두 도체 상에 Nomex T994 스페이서를 넣어 실제 변압기 섹션의 가장 악조건을 모델링 하였다. 154kV급 기존의 기름변압기에서는 권선에 750kV Chopped Wave 인가시 첫째-둘째 섹션에 대략 100kV정도의 전위차가 발생한다. 따라서, 시험용 챔버 제작시 시료와 접지간에는 최소한 100kV이상의 절연내력이 요구되므로 붓싱이 필요하며 SF₆ 가스의 압력을 가변 시켜야 하므로 시험용 챔버는 압력용기 구조로 제작하였다.

사진 1 및 그림 1은 본 연구에서 제작한 챔버로 아크릴를 이용하여 제작함으로써 챔버자체가 절연체 역할을 할 뿐 아니라 금속 챔버 사용시 문제가 되는 붓싱을 제거함은 물론 부피도 최소화 시켰다. 또한, 조립 및 분해도 용이하도록 제작하였다.

한편, Cover 및 플랜지 조립시 볼트에 무리한 힘이 가해지면 아크릴이 파손되므로 이 부위의 구조는 볼트에 큰 힘이 가해지더라도 아크릴에는 일정한 힘만이 가해지는 구조로 하므로써 챔버의 파손을 방지하였다. 챔버의 안전성을 확인하기 위해 수압 10kg/cm²G시험을 하였으며, 시험결과 시험압력에 충분히 견디는 것을 확인하였다.

* 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 昌原分所 先任研究員

** 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 昌原分所 首席研究員

*** 正 會 員 : 昌原大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博

§ 正 會 員 : 昌原大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 1999年 8月 16日

最終完了 : 2000年 2月 14日

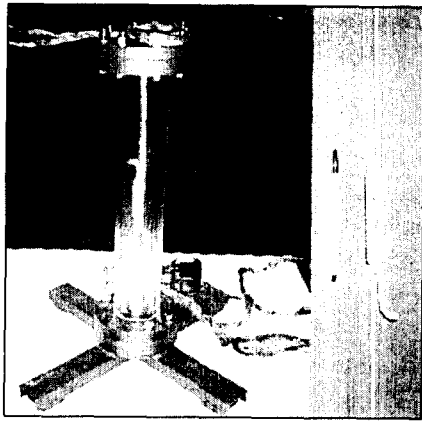


사진 1 시험챔버/시료
Photo 1 Test chamber & sample

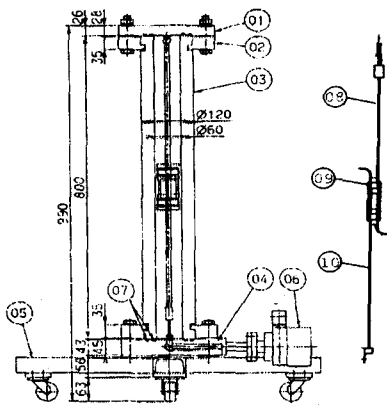


그림 1 시험시료/챔버
Fig. 1 Test chamber & sample

- ①.상부 Cover ②.플랜지 ③.본체 ④.하부 Cover ⑤.다리
- ⑥.압력계 ⑦.O-ring ⑧. 전압인가축 ⑨. Spacer ⑩. 접지축

시험을 위해 제작된 챔버의 사양은 표 1과 같으며 시험절차는 샘플 조립 - 챔버 진공 작업 - 가스주입 - 시험 순서로 실시하였다.

표 1 시험용 챔버 사양
Table 1 Property of test chamber

높이	내경	두께	최고사용압력	최고시험전압
990mm	60mm	30(18.5)mm	5kg/cm ² G	400kV BIL

3. AC 시험

SF₆ 가스변압기 권선의 색션간 절연구조는 유전율이 높은 절연지와 스페이서 사이에 유전율이 낮은 가스가 존재하므로 전계는 가스중에 집중되는 구조를 갖고 있다. 따라서 변압기가 정상적으로 운전되더라도 이 부위에서 부분방전이 일어날 가능성이 높다[4]. 부분방전은 변압기의 수명에 직접

적인 영향을 미치므로 부분방전 전압을 측정하여 설계된 절연구조가 부분방전에 안전하다는 것을 반듯이 확인하여야 한다[5]. 색션간격 7.5mm인 경우 각 압력별 부분방전 시험 결과를 그림 4에 나타내었다. 일반적으로, %임피던스가 20%인 용량이 20MVA 초고압변압기의 경우 색션간 전압은 2.1kV ~ 2.6kV로 주어지므로 SF₆ 가스의 압력이 1kg/cm²G인 경우 부분방전 전압이 15kV로 측정되어 부분방전에 매우 안전함을 알 수 있다.

한편, SF₆ 가스변압기의 색션간 AC절연특성을 측정하기 위해 절연두께가 1mm인 두 도체를 절연거리가 각각 3, 7.5, 12mm되게 제작한 샘플을 압력 2kg/cm²G에서 절연파괴 전압을 측정하였다. 일반적으로 SF₆ 가스의 절연파괴전압(B.D.kV)은 다음과 같이 표현된다[6][7].

$$B.D.kV = 8.9 \cdot P \cdot d \cdot \mu \quad (1)$$

- P : 압력 [atm]
- d : 절연거리 [mm]
- μ : 전계이용율 [V/(d · Emax)]

식 (1)에서 알 수 있는바와 같이 압력이 일정할 때 절연파괴전압은 전극의 형상 factor인 전계이용율에 따라 변한다. 시험 샘플의 절연파괴 전압을 예측하기 위해 그림 2와 같이 모델링하여 해석을 행하였다. 해석결과 그림 2의 전계해석 line에 대한 전계의 세기는 그림 3과 같다. 등전위선은 두 도체 중심선에 대칭이며 도체의 edge부위에 전계가 집중되는 것을 알 수 있다. 식 (1)을 이용하여 절연파괴전압을 예측하기 위해서는 각각의 시험모델의 전계이용율을 구해야 한다. 그림 2, 3에서 절연거리 7.5mm, 절연두께 1mm에서 상부도체에 100V, 하부도체에 0V로 입력하여 해석한 결과 최대 전계는 21.1V/mm로 계산되었다. 따라서, 전계이용율은 100V/(7.5mm × 21.1V/mm) = 0.6319이다. 따라서, 식 (1)을 이용하여 AC절연파괴전압을 계산하면 84kV이다. 같은 방법으로, 절연거리 3, 12mm에서도 그림 2와 같이 모델링하여 최대전계 및 전계이용율을 구하면 예상 절연파괴전압은 표 2와 같다.

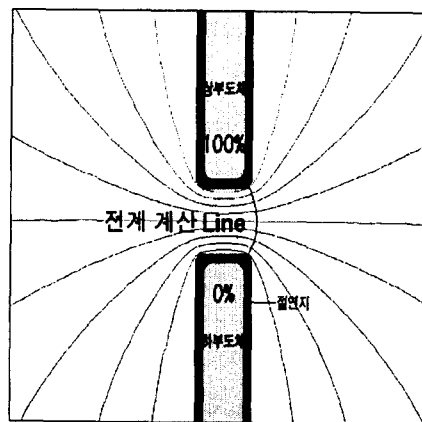


그림 2 해석 모델
Fig. 2 Simulation model

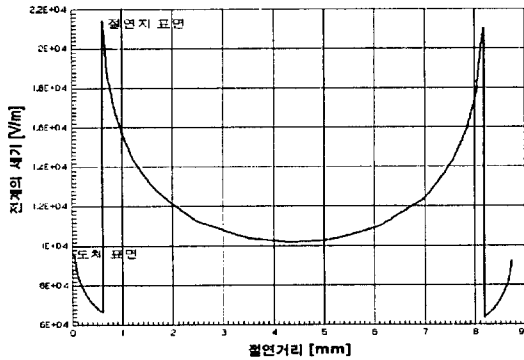


그림 3 전계의 세기
Fig. 3 Electric field intensity

표 2 절연파괴전압 측정치 (챔버압력 : 2kg/cm²G)
Table 2 Test value of B.D. voltage
(Chamber pressure : 2kg/cm²G)

절연거리		3mm	7.5mm	12mm
항 목				
	최대전계 (V/mm)	38.1	21.1	16.1
	전계이용율	0.8749	0.6319	0.5176
AC 파괴 전압 (kV)	계산치	47	84	110
	측정치	49	73	112
부분방전 소멸전압측정치		27.0	36.5	41.2

표 2에서 알 수 있는바와 같이 AC 절연파괴전압은 계산치와 실험치가 일치하는 만족스러운 결과를 얻었으며, 부분방전 소멸전압은 실제 절연파괴전압 보다 약 2배 정도 낮음을 알 수 있다. 또한 파괴전압은 절연거리가 3mm에서 12mm로 증가함에 따라 2.3배 증가 하나 방전소멸전압은 1.5배 증가한다.

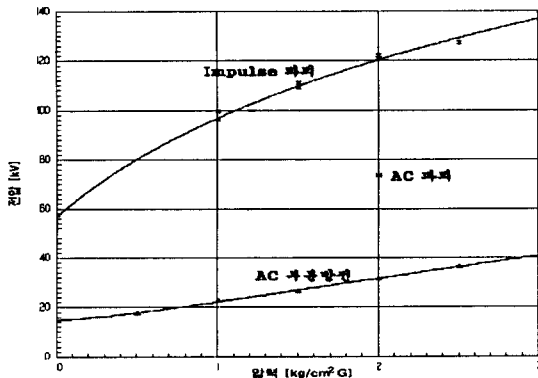


그림 4 AC 절연파괴특성(절연거리 7.5mm)
Fig. 4 AC Test result(Insulation creep 7.5mm)

절연파괴전압은 표 2와 같이 절연거리가 증가함에 따라 포화하는 경향이 있다. 이는 스페이서와 도체절연지 사이에

존재하는 썩기갭의 전계가 거리에 크게 영향을 받지 않아 나타난 현상으로 추정된다. 그러나, 부분방전 소멸전압은 절연거리 증가에 따라 직선적으로 증가하는 특성이 있다.

4. Impulse 시험

일반적으로, SF₆ 가스 중에서는 AC절연파괴특성보다 임펄스절연파괴가 더 가혹한 조건으로 작용한다[2]. 따라서 SF₆ 가스변압기 설계를 위해서는 임펄스 절연파괴 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 변압기 권선에 임펄스전압이 인가되면 권선의 전위분포는 권선의 정전용량에 따라 달라진다. 따라서, 권선 설계를 위해서는 임펄스전압 인가시의 전위분포를 해석하여 권선의 절연내력이 스트레스보다 크게 되도록 설계해야 한다[7]. 가스변압기의 경우, 기존의 기름변압기와 구조는 같으나 절연매체의 유전율이 2.2에서 1로 바뀌므로 정전용량이 달라진다. 따라서, 시험 샘플을 이용하여 임펄스에 대한 절연내력을 측정하여도 권선이 실제로 받는 스트레스가 파악되지 않는다면 설계가 불가능하다. 따라서, 권선 스트레스를 알기 위한 권선의 임펄스 전위분포의 계산이 필요하다

변압기 권선의 임펄스 전위 분포는 다음과 같이 표현된다.[3].

$$V(x) = V \frac{\cosh \alpha(1-x/L)}{\cosh(\alpha)} ; \text{중성점 비접지 (2)}$$

$$V(x) = V \frac{\sinh \alpha(1-x/L)}{\sinh(\alpha)} ; \text{중성점 접지 (3)}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_G}{C_S}} ; \text{분포정수 (4)}$$

여기서 x : 코일거리, L : 코일의 전체길이, C_G : 권선과 대지간 정전용량[F], C_S : 권선간 정전용량[F]이다. 식(4)에서 권선의 C_G , C_S 는 코일과 대지간 정전용량, 섹션간 정전용량으로 판전하에 의한 정전용량으로 등가화 할 수 있으며 이는 다음과 같다[8].

$$C = \frac{\epsilon S}{d} ; \text{판전하에 의한 정전용량 (5)}$$

식 (5)에서 정전용량은 유전율에 비례하여 증가하므로 변압기 내의 절연 매체가 기름에서 가스로 바뀌어도 분포정수는 동일하다. 그러므로 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{\text{기름}} = \alpha_{\text{SF}_6} \quad (6)$$

식 (6)에서 알 수 있는바와 같이 가스변압기의 전위분포가 기존 기름변압기와 동일하므로 스트레스는 기존 기름변압기와 같은 계산방법으로 계산할 수 있으므로 절연내력만 확인하면 절연설계가 가능하다.

SF₆ 가스변압기 권선의 섹션간 절연구조는 SF₆ 가스, 절연지, 스페이서등이 복합적으로 작용하는 절연구조이므로 실제 변압기 설계시 이들 3가지 특성을 파악하여 설계하는 것은 매우 난해하다. 특히 절연물 연면의 절연파괴특성은 연

면파괴가 SF₆ 가스중에서 일어나므로 각각을 분리하는 것은 거의 불가능하다.

반면, 섹션구조에 대한 기존 기름변압기의 절연파괴특성은 실험식이 매우 잘 적용되고 있고 전극의 형상이 동일하므로 본 논문에서는 기름변압기의 권선의 섹션간 절연내력을 이용하여 스페이서 연면에 대한 영향을 추정하고 이를 사용하여 SF₆ 가스의 절연파괴특성을 계산하여 실제 시험치와 비교하였다. 기름의 특성 파악에 앞서 권선의 섹션간 절연구조는 다음과 같은 특성으로 나눌 수 있다고 가정하였다.

$$S_s = S_t + S_m - S_c \quad (7)$$

$$\%S_{ceff} = \left(1 - \frac{S_s}{S_t + S_m}\right) \times 100 = \frac{S_c}{S_t + S_m} \times 100 \quad (8)$$

여기서, S_s : 섹션간 절연내력, S_t : 절연지의 절연내력,

S_m : 순수기름 및 SF₆ 절연내력

S_c : 스페이서 연면의 절연내력,

%S_{ceff} : 연면의 영향도 [0 ≤ %S_{ceff} < 1]

이다.

순수한 기름의 절연내력은 변압기 권선을 나도체로 하여 절연파괴시험을 행하여 파악할 수 있으며, 절연지의 절연내력은 권선의 Turn간 절연 내력으로 파악할 수 있다. 그러므로, 연면파괴 특성이 전체 권선의 섹션 구조에 주는 영향은 식 (8)에 의해 결정되며 S_{ceff}가 0인 경우는 스페이서 없는 경우, S_{ceff}가 1에 가까우면 기름과 스페이서의 비유전율차이가 큰 경우이다.

기름의 의한 절연 파괴특성은 식 (9)과 같이 표현되며 계수 B, m은 B=32.7, m=0.4843이 된다[5]. 식 (9)에 의하면 기름의 절연파괴전압은 절연거리의 약 1/2승에 비례하는 특성이 있다.

$$B.D.kV = Bd^m \quad (9)$$

여기서 d : 기름 Gap길이 [mm]

표 3 기름 Gap 길이에 따른 절연파괴특성

Table 3 Characteristics of oil gap length

절연거리 (mm)	3.2	4.8	6.4	8.0	9.6	11.2
계산치 (kV)	57.4	69.9	80.3	89.5	97.7	112.4
시험치 (kV)	58.5	68.2	82.1	88.4	94.1	112.6

또한, 절연지에 의한 절연파괴전압은 식 (10)와 같이 표현되며 기름 Gap에서와 마찬가지로 지수함수로 표현되고 계수 C, n은 C=72.3, n=1.285가 된다.

$$B.D.kV = Ct^n \quad (10)$$

여기서 t : 절연지두께 [mm]이다.

표 4 절연지두께에 따른 절연파괴특성

Table 4 Characteristics of tapping thickness in oil

절연거리 (mm)	0.56	0.66	0.76	0.86	0.96	1.06
계산치 (kV)	34.3	42.4	50.8	59.6	68.6	77.9
시험치 (kV)	30.2	42.4	51.2	57.4	68.1	75.3

절연된 도체와 스페이서로 일정한 절연거리를 유지한 실제 변압기의 권선의 섹션간 절연파괴전압은 식 (11)같이 표현되며, 절연거리와 절연지두께의 평면함수로 표현된다.

$$B.D.kV = A_c + A_1 \cdot t + A_2 \cdot d \quad (11)$$

여기서 A₀~A₂ : constant, t : 절연지 두께 [mm],

d : 절연거리 [mm]

표 5 섹션의 절연파괴

Table 5 Breakdown voltage of section

절연지두께 (mm) \ 절연거리(mm)		0.56	0.66	0.76	0.86	0.96	1.06
		계산치 (kV)	114	117	121	125	129
9.6	시험치 (kV)	113	115	122	127	131	134
	계산치 (kV)	123	127	131	135	139	142
11.0	시험치 (kV)	121	128	131	134	137	141

표 5의 실험 결과로부터 A₀ = 36.1, A₁ = 38.9, A₂ = 6.2로 구해진다.

위의 결과로부터 식 (8)를 이용하여 연면의 영향도 %S_{ceff}를 계산하면 표 6과 같다.

표 6 연면의 영향도[%]

Table 6 Influence of creep distance[%]

절연지두께 (mm) \ 절연거리 (mm)		0.56	0.66	0.76	0.86	0.96
		4.8	18.2	20.8	23.2	25.5
6.4		17.3	19.7	22.0	24.2	26.3
8.0		15.7	18.0	20.3	22.4	24.5
9.6		13.7	16.0	18.2	20.4	22.5
11.0		11.5	13.8	16.0	18.2	20.4

표 6에서 알 수 있는바와 같이 연면에 대한 영향은 절연 두께가 증가할수록 증가하나 절연거리에 대하여는 반비례하는 특성을 가지고 있다. 권선의 섹션 간 절연구조에서 유전율이 높은 절연지두께의 증가는 유전율이 낮은 기름의 스트레스를 증가시킨다고 볼 수 있으며 절연거리가 절연지두께보다 큰 경우 연면의 영향은 같은 이유로 줄어들게 된다. 표 6을 이용하여 SF₆ 가스의 절연파괴전압을 추정할 수 있다.

5. 가스중 절연내력

SF₆ 가스중에서의 절연파괴전압은 식 (7)의 관계에서 순수 SF₆ 가스의 절연파괴특성과 절연지의 파괴특성 및 연면의 영향으로 나눌 수 있으며 이를 정리하면 다음과 같다.

$$B.D.kV = (B_1 \cdot P^r \cdot d \cdot \mu + C \cdot t^n) \times (1 - S_{eff}) \quad (12)$$

연면의 영향은 SF₆ 가스 변압기와 기존기름변압기의 권선의 섹션간 구조가 동일하므로 기름에서 구한 값을 사용한다. SF₆ 가스중 Nomex 절연지의 절연파괴특성은 2kg/cm²G에서 유함침 절연지와 같으므로 식 (10)과 동일한 식이 된다.

SF₆ 가스중 권선의 섹션간 임펄스시험을 위하여 AC시험 샘플과 같은 형상의 시료를 절연두께 1mm, 절연거리 7.5mm로 제작하여 압력별 절연파괴전압을 측정하였다.

시험파형은 1.2×50μsec 전파이며 SF₆ 가스중 압력별 권선의 섹션간 절연내력에 대한 시험결과는 다음과 같다.

표 7 임펄스 파괴전압

Table 7 Impulse breakdown voltage

순번	압력 (Gauge)	주위 온도 (°C)	파괴전압 (kV)	비고
1	0	18.2	57.4	○
2		"	57.7	○
3		"	57.4	○
4		18.7	56.0	○
5		"	54.0	○
6	1	19.1	99.5	○
7		20.6	107.0	△
8		"	96.3	○
9	1.5	20.6	111.0	○
10		"	117.0	△
11		"	109.0	○
12	2	22.1	121.0	○
13		"	122.0	○
14	2.5	22.1	127.0	○
15		"	127.0	○

※ ○ : 스페이서 연면 방전 △ : 도체간 방전

위의 시험결과를 이용하여 식 (12)의 계수를 구하면 B₁ = 1.8, γ = 0.565가 된다.

실제 변압기 권선은 변압기의 특성에 따라 도체가 달라지므로 설계 가능한 모든 도체에 대해 시험하여 절연내력을 구하는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 따라서 설계 가능한 도체에 대해 전계이용율을 구하고 위에서 구한 시험식을 이용하면 시험하지 않은 도체에 대한 절연파괴전압을 예측할 수 있다.

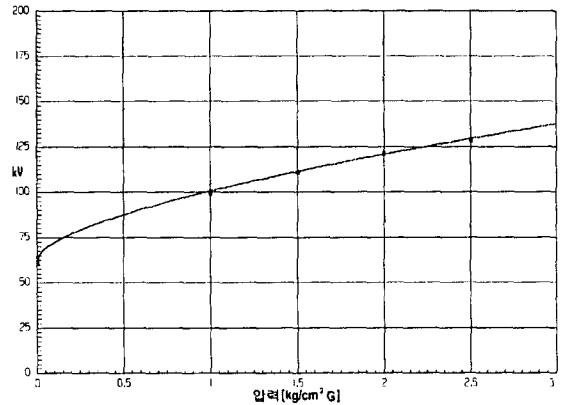


그림 5 섹션간 절연파괴특성
Fig. 5 Breakdown voltage in section model

변압기 권선의 섹션간 절연거리와 절연두께에 따른 전계이용율을 구하기 위해 그림 1과 같은 모델을 이용하여 절연거리 및 절연두께별로 해석조건을 바꾸어 해석하였다. 해석결과를 그림 6에 나타내었으며 절연두께가 증가하고 절연거리가 감소할수록 평등전계에 가까워진다는 것을 알 수 있다.

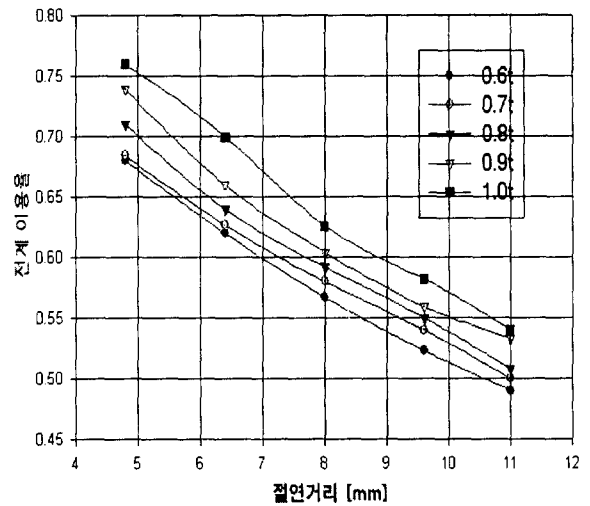


그림 6 도체별 전계이용율 및 최대전계 [V/mm]
Fig. 6 Utilization factor & E_{max}[V/mm]

그림 6에서 구한 전계이용율과 표 6의 연면의 영향도를 식 (12)에 대입하여 섹션간 거리가 7.5mm에서 도체절연두께에 따른 절연파괴전압을 구하면 그림 7과 같다. 그림 7에서 절연파괴전압은 도체절연두께와 압력에 따라 증가하며 압력이 2.2kg/cm²G 일때 기름과 비슷한 절연파괴전압을 갖게 된다.

참 고 문 헌

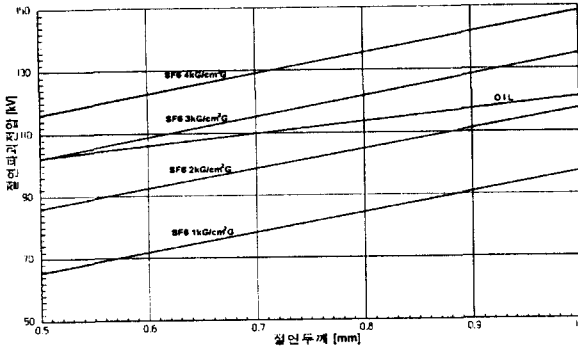


그림 7 섹션간 압력-도체절연두께별 절연파괴전압
Fig. 7 Breakdown voltage in section

6. 결 론

이상의 SF₆ 가스절연변압기 권선의 섹션간 절연강도 해석을 위한 샘플시험 및 전계해석 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. IEC 76-3에 의하면 임펄스내전압 325kV와 AC내전압 140kV의 비가 2.4:1이다. AC파괴전압 73kV를 임펄스파괴전압으로 환산하면 169kV이며 이 값은 표 7의 임펄스파괴전압 121kV보다 높으므로, 실제 같은 구조의 피서품에서 임펄스 절연파괴 특성이 AC 절연파괴특성보다 가혹하다.

나. 절연파괴전압은 절연거리에 따라 증가하는 반면 부분방전 소멸전압은 절연거리가 증가함에 따라 거의 영향을 받지 않는다. 이는 절연된 도체와 스페이서 사이의 썸기갭 부위의 전계가 절연거리에 크게 영향을 받지 않아 나타난 현상이다.

다. 권선의 절연지에 의한 절연효과로 인해 전계이용율이 증가하므로 절연파괴전압을 증가시키는 효과가 있다.

라. 동일한 구조의 변압기 권선의 섹션에 임펄스 인가시 절연파괴 특성은 가스 압력이 2.2kg/cm²일 때 일반 절연유와 비슷하다.

마. 임펄스에 대한 변압기 권선의 전위분포는 절연매체가 기름에서 SF₆ 가스로 바뀌어도 권선구조가 동일하다면 분포 정수가 동일하므로 전위분포는 동일하다.

감사의 글

본 연구는 공업기반기술개발사업에 의하여 이루어진 것입니다.

[1] Shigemitsu Okabe, " 가스 절緣變壓器의異常診斷のための分解ガスの研究", 電氣學會研究會資料, SA-96-47, pp.4~9, 1996

[2] 조 광제 "SF₆ 가스 절연변압기" 대한전기학회 논문지 pp.1~5, 1990

[3] 朴旻鎬, "誘導機器", 東明社, pp.172~178, 1977

[4] K.Karsai D.Sc. " Large Power Transformers", Elsevier, pp.187~200, 1987

[5] K. Fuji, "가스 절緣變壓器 捲線モデルのインパルス絶緣特性", 電氣學會研究會資料 放電研究會 ED-97-96, pp 4~5, 1997

[6] J. K Nelson, " An Assessment of the Physical Basis for the Application of Design Criteria for Dielectric Structures", IEEE EI-Vol.24 No. 5, pp. 840~841, 1989

[7] 서길수, " SF₆ 가스중 V-t 절연파괴특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 1770~1772, 1997

[8] 이복희, "高電壓大電流工學", 청운각, pp.45~67, 1997

[9] IEC Standard, "Power Transformer", IEC Std 76-3, pp.21~23, 1980

저 자 소 개



허우행 (許遇行)

1969년 12월 1일 생. 1995년 인하대 전자공학과 졸업(학사). 현재 (주)효성 중공업 연구소 창원분소 선임연구원

Tel : 0551-268-9914

Fax : 0551-268-9926

E-mail : anytime@pop3.hyosung.co.kr



하영식 (河永湜)

1948년 3월 23일 생. 1975년 서울대 공과대학 공업교육과 졸업(학사). 1998년 창원대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)효성 중공업연구소 창원분소 수석연구원.

Tel : 0551-268-9910

Fax : 0551-268-9926

E-mail : hysik@pop3.hyosung.co.kr



홍정표 (洪正杓)

1959년 4월 17일 생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원 1990년~1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 조교수

Tel : 0551-279-7517

E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr



김규탁 (金圭卓)

1961년 11월 12일 생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수. 1996년~1997년 일본

早稻田大 客員研究員

Tel : 0551-279-7515

E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr