

SF₆가스와 절연지의 절연계에서 가스압력에 따른 부분방전현상

50C-2-4

Partial Discharge Phenomenon with SF₆ Gas Pressures in Insulation consisting of Insulation Paper and SF₆ Gas

宣鍾好* · 金光和** · 朴正后*** · 曹正守***

(Jong-Ho Sun · Kwang-Hwa Kim · Jung-Hoo Park · Jung-Soo Cho)

Abstract - This paper describes partial discharge phenomenon with SF₆ gas pressures in insulation consisting of insulation paper and SF₆ gas. We made the specimens with SF₆ gas gaps which exist between aramid papers and electrodes and calculated the electric field intensity in the these gaps. We measured the partial discharge inception voltages and the AC breakdown voltages with the test method of IEC 60060-2 and did the partial discharge degradation experiments with a constant voltage. According to gas pressures, the breakdown voltages in SF₆ gas gaps were calculated by Paschen's law. And these results showed the ability applying partial discharge inception voltages evaluation to Paschen's law and the relationship between the PD quantities occurring insulation breakdown and PD occurring area.

Key Words : Partial Discharge, Paschen's Law, SF₆ Gas Gap, Aramid Paper

1. 서 론

SF₆가스는 1900년대 초 처음 발견된 이래 우수한 절연특성 때문에 고전압기기의 절연체로써 널리 사용되고 있으며, 가스 자체의 절연과피특성에 관해서 많은 연구가 수행되어 이론적으로도 거의 그 현상이 해명되어 가고 있다. 그러나 SF₆가스는 지지절연물, 스페이서 혹은 권선절연으로서 사용되는 고체절연체와 주로 함께 사용되기 때문에[1] 최근 전력용기기가 대용량 고전압, 콤팩트화 되어 가면서 절연내력과 신뢰성 향상을 위하여 SF₆가스자체뿐만 아니라 고체절연체와 함께 사용될 때의 절연특성에 관한 연구도 진행되고 있다.

일반적으로 SF₆가스와 고체절연체가 같이 사용되는 절연구조에서는 전극과 고체절연체사이 혹은 고체절연체와 고체절연체사이에 SF₆가스갭이 형성될 수가 있으며, 고전압기기 중 특히 SF₆가스절연변압기는 턴간 및 권선간에 많은 가스갭을 가지고 있다. 이러한 가스갭에서는 고체와 기체절연체사이의 유전율차이 때문에 가스부분에 큰 전압이 분담되며, 또한 일반적인 사용압력에서 SF₆가스의 절연강도는 고체절연체보다 약하기 때문에 가스부분에서는 부분방전의 발생이 용이해지고, 가스부분에서의 부분방전발생은 절연시스템 전체의 절연특성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[2]-[6]. 이와 같은 절연특성때문에 가스갭에서의 부분방

전특성과 관련된 연구결과도 다수 보고되고 있어 가스갭의 절연과피는 가스부분에 분담되는 전압이 파센전압과 일치한다고 실험결과가 보고되었고[7], Inui 등은 가스갭에서의 부분방전개시전압은 가스압력에 비례하며, 가스압력에 따른 교류 부분방전개시전압과 계산된 가스과피전압과의 관계를 분석하였으며[4], Matsubara 등은 SF₆ 가스절연변압기의 턴간 절연을 모의한 부분모델을 사용하여 일정한 가스압력에서의 장기열화에 따라 평균부분방전량은 절연과피전 급격히 증가하며, V-t 특성곡선에서 변곡점이 존재함을 조사하였다[6].

이와 같이 가스갭에서의 부분방전과 절연특성에 대한 여러 가지 연구가 수행되었음에도 불구하고 가스갭에서의 부분방전현상에 영향을 미치는 요인이 매우 다양하기 때문에 아직 미해명된 부분이 많으며, 특히 복합절연 가스갭에서 가스압력과 인가전계에 대한 부분방전량이나 펄스수와 같은 부분방전특성과 그에 따른 절연열화특성에 대한 연구는 거의 조사되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 가스압력과 인가전계에 따른 가스갭에서의 부분방전현상을 분석하기 위하여 SF₆가스절연변압기에서 권선의 절연물이나 프레스보드로서 많이 사용되고 있는 아라미드계 절연지와 SF₆가스로 구성된 가스갭을 가진 모델시료를 제작하였고, 모델시료에 대한 전계계산과 단시간 전압인가방식에 의한 부분방전개시전압 및 절연과피전압을 측정하였으며, 장시간 전압인가방식에 의한 부분방전열화실험을 실시하였다. 파센곡선식을 사용하여 가스압력에 따른 모델전극의 절연과피전압을 계산하였으며, 이들의 실험결과와 파센곡선의 절연과피전압과의 비교를 통하여 SF₆가스와 절연지로 구성된 절연계의 부분방전 개시전압 평가를 위한 파센곡선식의 적용가능성과 부분방전 의한 절연과피에 영향을 미치는 요소에 대한 연구를 수행하였다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 新電力機器그룹 先任研究員

** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 新電力機器그룹 責任研究員 · 工博

*** 正 會 員 : 釜山大 工大 電子電氣通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 6月 19日

最終完了 : 2001年 1月 10日

2. 실험장치 및 방법

2.1 시료 및 전극제작

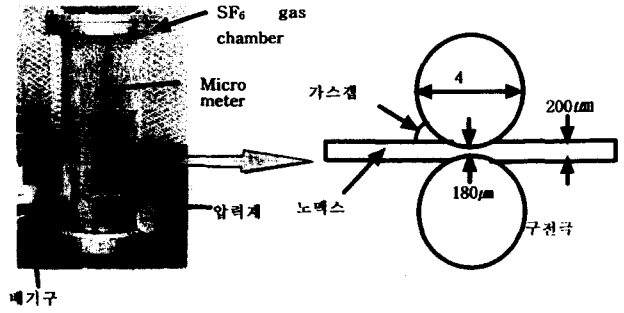
가스절연변압기에서는 권선의 턴간 혹은 섹션간, 지지스페이서 등에 도체와 고체절연체, 가스갭으로 구성되는 복합절연시스템이 존재하며, 이러한 복합절연시스템에 결합이 발생하면 부분방전이 일어나게 된다. 본 연구에서는 부분방전발생시 복합절연이 어떠한 부분방전특성으로 열화하는가와 가스변압기에서 어느 정도까지의 부분방전량을 허용할 것인가의 관점에서 접근하기 위하여 부분방전의 발생과 평가가 용이한 준평등전계형태의 전극시스템을 시료로서 사용하였으며, 그림 1은 본 연구에서 사용된 가스챔버와 전극시스템의 구성을 보여주고 있다.

그림 1(a)와 같이 챔버는 아크릴 튜브로 되어 있으며, 챔버 내에는 고체절연물을 삽입하기 위한 전극시스템을 설치하였다. 전극시스템은 고전압전극과 접지전극 모두 직경 40mm의 구전극으로 하였고, 고전압전극부에 전극간 거리를 0에서 25mm까지 조정할 수 있으며, 최소 조정거리가 1 μ m인 마이크로메타로서 조정할 수 있도록 하였다. 고체절연체는 아라미드지인 두께 50 μ m의 NOMEX(T-410)를 사용하였으며, 직경 100mm의 원형으로 오려낸 후 수분을 제거하기 위하여 약 100 $^{\circ}$ C에서 24시간동안 건조하였다. 일반적으로 변압기 권선에는 적절한 내전압을 유지할 수 있는 범위에서 부분적 결합인 약점(weakpoint)을 감소시키기 위하여 절연지가 여러 장 중첩하여 감는다. 이러한 사용조건과 실험설비의 사용범위를 고려하여 건조된 아라미드지를 4장 겹쳐 구전극 사이에 삽입하여 시료로써 사용하였다. 삽입된 아라미드지는 전극과의 접촉을 충분히 하기 위하여 그림 2의 (b)에서와 같이 시료가 전극과 접촉되는 부분의 두께를 마이크로메타로서 20 μ m 압축하여 최소두께를 180 μ m로 유지하였다.

2.2 부분방전 실험회로

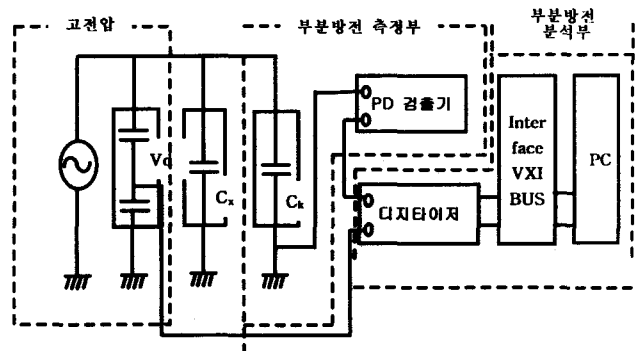
본 실험에서 부분방전을 측정하고 분석하기 위하여 사용된 부분방전 측정회로는 그림 2와 같다. 이 그림에서와 같이 본 시스템은 크게 고전압인가부와 부분방전측정부, 부분방전분석부로 구성되어 있다. 고전압인가부는 고전압을 발생하는 시험용 변압기와 전압을 측정하는 분압기로 되어 있으며, 시험용 변압기는 교류 50kV까지 전압을 인가할 수 있고, 분압기는 인가전압을 측정하여 디지털이저로 입력하며 그 분압비는 2000대 1이다. 부분방전측정부는 결합콘덴서와 부분방전 검출기로 구성되어 있다. 시료에서 발생된 부분방전 전류펄스는 정전용량이 667pF인 결합 콘덴서의 저압측과 접지사이에 설치되어 있는 50 Ω BNC 출력단자를 통하여 연속적으로 부분방전 검출기로 입력된다. 검출기에 입력된 부분방전 펄스는 검출회로와 필터 및 증폭 회로, 펄스 변형 회로를 거쳐 전압 형태로 측정된다. 부분방전분석부는 디지털변환기와 컴퓨터로 되어 있다. 디지털변환기는 VXI시스템(NI-VXI)으로 되어 있는 디지털이저(Tettex-TVS610)로서 분해능은 8bit이며, 1회의 sweep 시간을 교류 60Hz의 1주기인 16.67ms로 하였고, 그 때의 샘플링조건은 부분방전 크기분포의 신뢰도와 신호처리시간 등을 고려하여 샘플링수는

4667, 샘플링율은 250kS/s로 하였다[10]. 분압기에서 측정된 인가전압파형과 부분방전 검출기에서 측정된 부분방전펄스열은 디지털이저의 채널 1과 채널 2에 입력되어 A/D변환되며, A/D변환된 인가전압파형과 부분방전펄스열은 VXI bus를 통하여 컴퓨터로 전송된다. 컴퓨터는 디지털이저의 동작을 제어하고 측정파형을 화면에 나타내며 그 결과를 분석한다.



(a) 가스챔버 전체의 구성 (b) 전극과 시료의 구성

그림 1 SF₆ 가스챔버 및 전극구성도
Fig. 1 SF₆ gas chamber and electrode system



V_D: 분압기, C_k: 결합콘덴서, C_x: 시료

그림 2 부분방전측정시스템의 블록도
Fig. 2 Block diagram of PD measurement system

2.3 실험방법

본 연구실험에서는 일반적으로 사용되는 가스절연변압기의 사용압력[1][18]을 고려하여 절대압력 200, 250, 300kPa의 3종류 SF₆가스압력에 대해서 단시간 전압인가방식과 장시간 전압인가방식의 2가지 전압인가방식을 사용하여 절연파괴 및 장시간 부분방전열화를 실시하였다.

단시간 전압인가방식에서는 우선 부분방전 개시전압을 구한 다음 전압을 완전히 내려 차단한 후 같은 시료에 대하여 절연파괴전압을 구하였다. 부분방전 검출감도는 0.5pC 이상이며, 부분방전 개시전압은 부분방전검출기에서 최초로 약 1pC 이상의 부분방전이 관측된 가장 낮은 인가전압으로 하였고[11], 2kV까지는 약 500V/s의 속도로, 그 이후는 약 80-100V/s의 속도로 인가전압을 상승시켰다[19]. 절연파괴 실험에서는 전극간 절연파괴가 일어날 때까지 인가전압을 약 500V/s의 속도로 연속적으로 상승시켰으며, 절연파괴전

압은 전극사이의 전압이 영으로 되기 직전의 인가전압으로 하였다[12][13]. 절연파괴전압은 아라미드지를 삽입했을 때와 아라미드지 전체 두께와 같은 갭 간격 180 μ m에서의 SF₆가스 내에서 측정되었다. 이러한 실험은 동일 가스압력에서 3회가 실시되었으며, 부분방전개시전압과 절연파괴전압을 측정 한 후 아라미드지와 SF₆가스를 교체하여 다음 실험을 수행 하였다.

장시간 전압인가방식에서는 각 가스압력에서 단시간 전압인가방식에서 측정된 부분방전 개시전압보다 높고 절연과 파괴전압보다 낮은 일정전압을 시료가 절연파괴될 때까지 인가하였다. 인가전압의 범위는 200kPa에서 4.0-6.2kV, 250kPa에서 4.4-6.3kV, 300kPa에서 4.9-8.0kV로 하였으며, 각 가스압력에서 낮은 전압범위에서는 0.2kV 씩, 높은 전압 범위에서는 0.5-1kV 씩 인가전압 크기의 차를 두어 시료의 개수는 200kPa와 300kPa에서는 각각 13개, 250kPa에서는 14개로 하였다. 실험은 일정 전압인가후 약 15분까지 2에서 3분간격으로 그 이후에 약 12에서 13분간격으로 인가전압의 위상에 대한 부분방전량과 펄스발생을 측정하였으며, 본 실험은 장시간에 걸쳐 주기적으로 측정되는 실험이므로 컴퓨터의 신호처리시간 및 기억용량을 고려하여 1회의 부분방전 측정시간을 인가전압의 20주기로 하였다. 따라서 본 실험에서 사용된 부분방전량은 20주기동안 측정된 부분방전량의 합을 그 동안 발생된 펄스수로 나눈 값으로 하였고, 부분방전펄스수는 초당 발생한 수[pps]로 환산한 값으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단시간 전압인가방식에서 방전현상

그림 1과 같은 본 실험에 사용된 전극계에 전압을 인가하였을 때 방전현상은 다음과 같이 이해할 수 있다. 그림 2에서 전극계는 아라미드절연지와 가스로 구성되어 있는 복합 절연형태로 되어 있으며, 일반적으로 고체의 비유전율이 가스의 비유전율보다 크므로 가스에 상대적으로 높은 전계가 걸리며, 절연파괴과정에서 가스의 절연내력이 고체의 절연내력보다 낮으므로 기체에서 방전이 시작되어 전체적인 절연 파괴에 이르게 된다.

그림 3은 그림 1의 전극시스템에 대한 SF₆가스부분과 아라미드지부분의 전계계산 결과를 보여주고 있으며, Y축은 전극에 1V의 전압을 인가하였을 때의 전계강도이고 X축은 구면과 구면의 가장 가까운 점에서 구면상 일정지점에 대한 원주거리를 나타낸다. SF₆가스의 비유전율은 1에 가깝고, 아라미드지의 비유전율은 2.5정도로 알려져 있으며, 이 그림의 결과로부터도 가스부분에서의 전계강도가 아라미드지부분의 전계강도보다 두 절연체의 유전율비[14]인 2.5배정도 높은 것을 알 수 있고, 전극이 구전극이므로 전극의 중심에서 멀어질수록 전계강도가 급격히 저하하는 현상을 보여주고 있다. 또한 그림 4는 절연지를 삽입했을 때와 삽입하지 않았을 때의 절연파괴전압비교결과를 보여주고 있으며, 절연지를 삽입했을 때가 삽입하지 않았을 때보다 약 2-3배정도 절연파괴전압이 높음을 알 수 있어 그림 3과 그림 4의 결과로부터 본 전극시스템에서도 가스부분에서 먼저 방전이 시작됨을 알 수 있다. 또한 가스의 압력과 갭간격에 따른 파

괴과정은 식(1)과 같은 파센법칙에 의존하여 발생하는 것으로 보고되고 있다[15][16].

$$V_s = \frac{Bpd}{\ln \left[\frac{Apd}{\ln \left(\frac{1}{\gamma} + 1 \right)} \right]} \quad (1)$$

식(1)을 식(2)와 같이 수정할 수 있으며,

$$V_s = \frac{Bpd}{\ln(pd) + k} \quad (2)$$

SF₆가스에서 B는 2189.25[V/kPa·cm]로, k는 pd 크기에 따라 두 가지로 분류되어 0.3-3[kPa·cm]에서는 ln[4.1227(pd)^{-0.4331}], 3-1200[kPa·cm]에서는 ln[6.4541(pd)^{-0.8374}] 인 것으로 보고되고 있다[15].

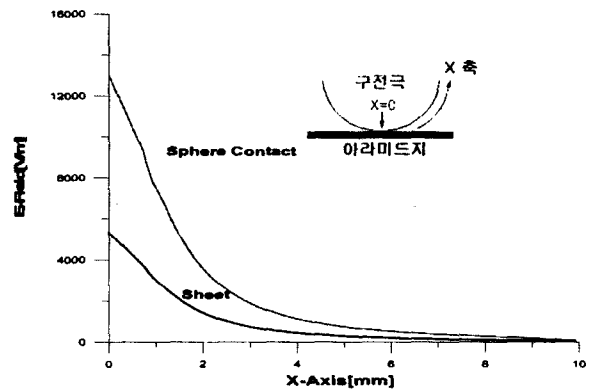


그림 3 고체부분과 가스부분의 전계분포

Fig. 3 Electric field distribution of solid part and SF₆ gas part

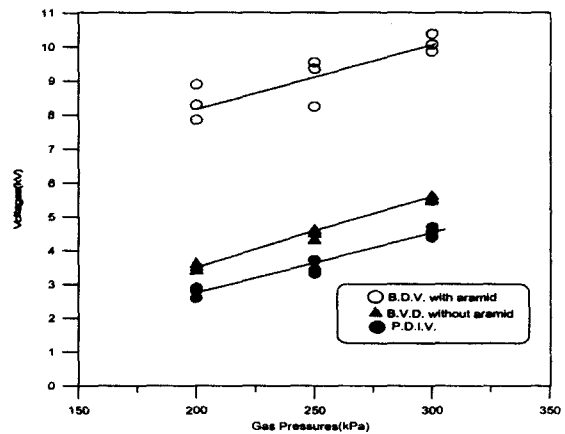


그림 4 절연파괴전압과 부분방전 개시전압특성

Fig. 4 Characteristics of breakdown voltages and partial discharge inception voltages

3.2 장시간 인가전압방식에서 부분방전량 및 펄스수의 특성

본 연구에서는 아라미드지에 실험전압이 인가된 직후와 절연파괴전에 측정된 부분방전량 q, 펄스수 n의 분포를 통하여 SF₆가스분위기에서 아라미드지가 부분방전으로 장시간 열화될 때 가스압력에 따른 부분방전량 q와 펄스수 n의

변화특성을 조사하였다. 그림 5는 6kV의 동일 인가전압에서 각 가스압력에 대한 전압인가초기와 절연파괴직전의 부분방전량과 펄스수의 분포결과를 보여주고 있으며, 표 1은 각 가스압에서 전압별 부분방전량과 펄스 수 및 파괴까지의 시간을 나타내고 있다. 이 결과에서 부분방전량은 전압인가초기보다 절연파괴직전이 더 적지만 펄스수는 반대로 증가하는 경향이 나타나고 있다. 그리고 인가전압 6kV에서의 결과에 의하면 전압인가후와 절연파괴전 모두 300kPa에서의 부분방전량은 200kPa와 250kPa에 비하여 현저히 작은 값을 보이고 있으며 펄스수는 전압인가후에만 300kPa에서 낮은 경향을 보이고 있다. 또한 모든 압력에서 전압인가초기보다 절연파괴직전의 부분방전량의 크기의 편차가 줄어드는 것으로 나타났다.

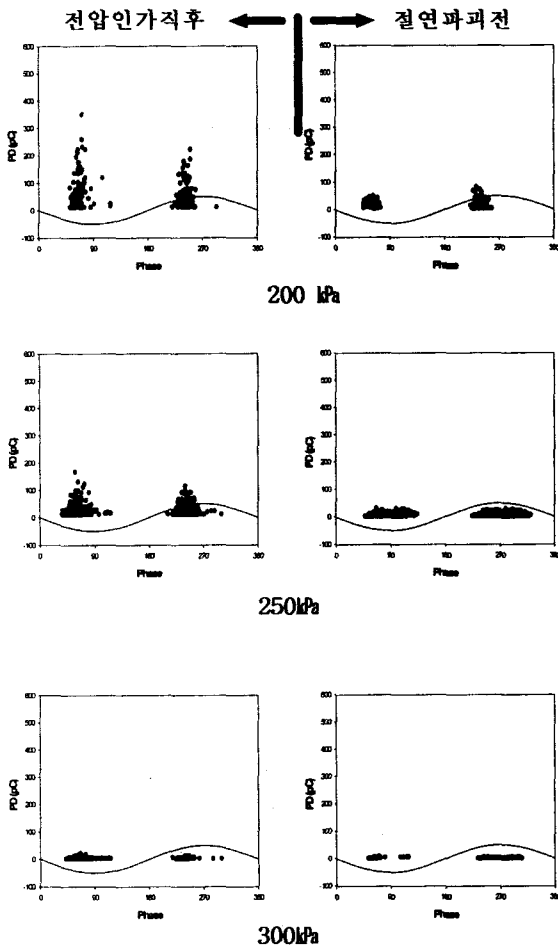


그림 5 q, n의 분포
Fig. 5 Distributions of q, n

이상과 같이 전압인가초기에서부터 시간이 지남에 따라 부분방전량과 펄스 수가 변하므로 일정 가스압력 및 인가전압하에서 파괴직전까지 측정된 부분방전량의 총합을 총 펄스수로 나눈 평균부분방전량과 총펄스수를 시간으로 나눈 평균펄스수로 실험된 전체 40개의 시료에 대한 결과는 그림 6, 그림 7과 같다. 이 그림들로부터 인가전압이 같을 때 가스압력이 높을수록 부분방전량과 펄스수가 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 각 가스압력에서 부분방전량과 펄스수는

표 1 부분방전량과 펄스수의 변화특성

Table 1 Characteristics of quantities and pulses in partial discharge

가스 압력 (kPa)	인가 전압 (kV)	인가 시간 (min)	부분방전량		펄스수(pps)	
			전압 인가후	절연 파괴전	전압 인가후	절연 파괴전
200	4.4	722	15	1.8	165	816
	5.2	55	22.7	5.0	258	2076
	6.0	2	51.8	21.9	867	1353
250	4.4	2955	8.2	1.15	42	78
	5.2	150	57.0	21.2	174	579
	6	14	55.4	28.0	1176	2295
300	5	1551	2.6	0.7	189	879
	6	94	5.3	1.1	105	1692
	8	2	19.7	19.9	1161	1182

그림 내의 화살표가 지시하고 있는 인가전압 부근에서 그 증가율이 다른 변곡점이 있음을 알 수 있다. 변곡점은 측정된 각 점을 선형적으로 근사화하여 구한 것으로서 변곡점에 해당되는 전압은 부분방전량의 경우 가스압력 200kPa에서 4.3kV, 250kPa에서 4.9kV, 300kPa에서 5.6kV이고, 펄스수의 경우 200kPa에서 4.2kV, 250kPa에서 4.6kV, 300kPa에서 5.2kV로서 유사한 경향을 보이고 있지만 방전량과 펄스수가 변곡되는 전압은 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 특성곡선을 근사화하는 계산상의 과정에서 발생한 것으로 생각되며, 부분방전량과 펄스수가 변곡점전압 보다 낮은 영역에서는 높은 영역에 비하여 상대적으로 인가전압에 대한 부분방전량과 펄스수의 기울기가 크기 때문에 전압의 변동에 쉽게 영향을 받는 반면 높은 영역에서는 낮은 영역에 비하여 영향을 덜 받는 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 변곡점이 존재하는 원인은 전계크기에 따른 부분방전량 및 펄스수의 증가율차이가 가스갭에서의 전계완화효과가 영향을 미치기 때문인 것으로 알려져 있다[6]. 즉 전압이 낮을 때는 부분방전발생 크기 및 수가 작기 때문에 전자 혹은 SF6 부이온 등 공간전하의 수도 작아서 가스갭에서의 전계완화효과 미약해지며 그 결과 작은 전압변동에도 방전전하의 신장과 펄스수의 증가가 쉽게 되지만 전압이 높아지면 전압상승에 의한 부분방전발생수의 증가로부터 SF6분자의 전자친화성에 의한 SF6 부이온수가 증가하여 가스갭부의 전계가 완화되므로써 방전발생과 방전전하의 신장이 억제된다고 사료된다.

4. 실험결과의 검토

본 전극 시스템에서 발생하는 부분방전은 구와 절연지 사이에서 발생하며 부분방전이 발생하는 영역의 갭간격에 비하여 구의 지름이 매우 크고 절연지를 평판전극으로 생각할 수 있으므로 부분방전이 발생하는 영역은 준평등전계로 생각할 수 있다. 또한 식 (2)에 의하면 SF6가스에서 파센곡선이 성립하는 pd는 0.3-1200kPa·cm로 알려져 있으며, 본

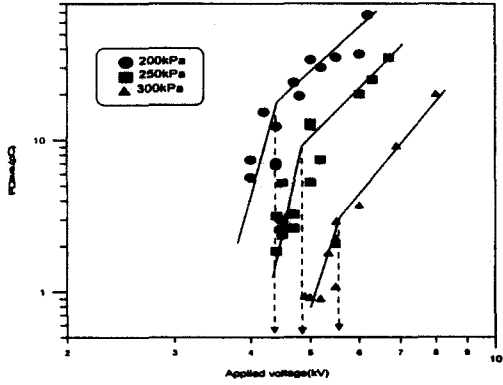


그림 6 인가전압별 평균부분방전량
Fig. 6 Applied voltage vs average PD quantity

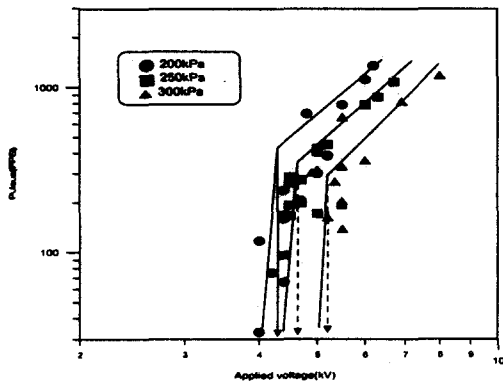


그림 7 인가전압별 평균펄스수
Fig. 7 Applied voltage vs average pulses

연구에서 사용된 pd 범위는 약 40-50kPa·cm이기 때문에 충분히 SF6가스의 pd 조건을 만족하고 있는 것으로 생각할 수 있다.

본 실험에 사용된 전극 및 시료의 조건으로 구면을 따라 SF6가스 절연부분에 해당하는 파셴곡선을 가스압력별로 나타내면 그림 8의 점선과 같이 표시되고, 단시간 실험결과인 가스압력별 부분방전개시전압을 구면을 따라 전계강도를 계산하면 실선과 같이 표시된다. 그림 8의 결과에서 압력별 파셴의 법칙으로 계산된 파괴전계강도보다 그림 4에서 실제의 부분방전개시 평균전계강도가 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 절연지가 없는 180 μm의 구갭 간격에 대한 압력 200kPa, 250kPa, 300kPa에서의 식(2)의 파셴법칙에 의한 파괴전압은 각각 3.8kV, 4.7kV, 5.6kV로 계산된다. 그림 4의 실제 결과에서 파괴전압의 평균치는 200kPa에서 3.6kV, 250kPa에서 4.5kV, 300kPa에서 5.5kV로 계산결과와 거의 같은 값으로 나타났다.

이와 같이 식(2)에 의한 계산결과에서 부분방전 개시전압은 계산결과보다 낮게 나타났으며, 절연지가 없는 상태에서 파괴전압은 계산결과와 거의 일치하고 있다. 이것은 절연지의 표면상태 및 계산시 사용되는 계수의 선정과 2차전자방출계수 등에서 정확한 값을 얻을 수 없기 때문인 것으로 사료된다.

앞의 그림 6의 결과에서 압력이 높을수록 부분방전량이

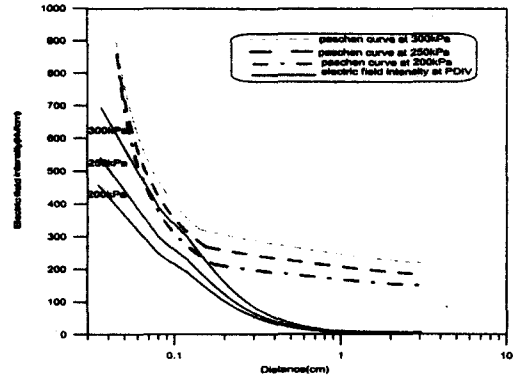


그림 8 계산된 파셴파괴전계강도와 부분방전개시 전계강도

Fig. 8 Breakdown electric field Intensity calculated by Paschen law and electric field intensity at partial discharge inception voltages

작아지는 것으로 나타나고 있으며, 이들의 작은 부분방전량으로도 결국 절연파괴에 이르는 결과를 얻었다. 이에 관한 검토를 위하여 압력별 파셴의 전계강도곡선과 인가전압 6kV일 때 전계강도곡선을 함께 나타내면 그림 9와 같다. 그림 9에서 각 압력별 인가전계강도곡선과 파셴전계강도곡선이 접치는 부분은 300kPa에서 구전극 X축방향으로 약 0.15cm이고 200kPa에서 약 0.2cm인 것으로 나타났다. 따라서 부분방전의 발생영역 압력이 200kPa에서 300kPa로 증가하면서 크게 감소하였으며, 면적으로는 56%정도 되는 것으로 나타났다. 따라서 부분방전량이 적더라도 발생영역이 좁기 때문에 상대적으로 에너지는 크게 줄어들지 않으므로 적은 부분방전량에도 불구하고 절연파괴가 일어나는 것으로 사료된다.

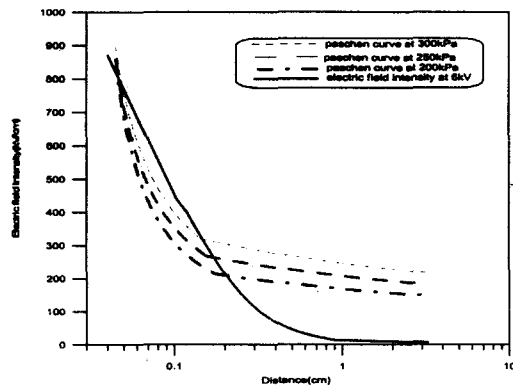


그림 9 계산된 파셴파괴전계강도와 6kV에서의 전계강도

Fig. 9 Breakdown electric field intensity calculated by Paschen law and electric field intensity at 6kV

이상과 같은 분석결과로부터 부분방전 개시전압은 파셴법칙에 의한 이론적 해석결과와 약간의 차이를 보이고 있었지

만 전극간의 직접적인 파괴에서는 거의 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 부분방전 개시전압의 해석에는 파센법칙의 관련정수들에 대한 값의 재도출이 필요하다고 사료된다. 또한 부분방전에 의한 절연파괴는 부분방전량과 펄스수 등에 관련이 있는 것으로 연구되어 왔으며[17][18], 본 연구결과에서도 표 1의 결과에서와 같이 인가전압의 증가에 따른 부분방전량과 펄스수의 증가는 파괴되기까지의 시간을 급격히 감소시켜 절연특성에 영향을 주는 것으로 나타났고, 그림 9의 결과를 고찰한 것에 따르면 부분방전이 발생하는 영역의 면적과도 관련된다고 사료되므로 이와 관련한 연구가 더 필요하다고 생각된다.

5. 결론

이상과 같은 SF₆가스와 아라미드절연지로 구성된 복합절연계의 부분방전실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) SF₆가스와 절연지로 구성된 절연계에서 부분방전 개시 전압은 파센법칙으로 평가가 가능함을 보여주었다.
- (2) 부분방전에 의한 절연파괴가 부분방전량과 펄스수도 관계되지만 가스압력에 따른 부분방전의 발생영역의 면적과도 관련있는 것으로 사료된다.
- (3) 이상의 부분방전 개시전압의 평가정확성 향상과 부분방전 발생면적에 따른 절연파괴 또는 열화와의 관련성을 규명할 수 있는 연구가 필요한 것으로 사료된다.
- (4) 300kPa의 가스압력에서 인가전압에 따라 수 pC 정도의 작은 부분방전량도 절연파괴시에 나타나기 때문에 높은 가스압력을 절연계로 사용하는 전력기기 등에서 고감도의 부분방전측정이 가능해야 기기의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 日本電氣學會, “不燃性, 燃性變壓器の現狀とその動向”, 電氣學會技術報告 第459号, pp. 30-60, 1993. 4
- [2] H. Masahiro et al., “Insulating Characteristics of SF₆ Small Gaps against Lightning Impulse Voltages”, T.IEE Japan, Vol. 109-A, No. 6, 1989
- [3] T. Inoue et al., “Dielectric Characteristics of Turn-to-To Insulation Models of Gas-Insulated Transformer under Very Fast Transient Voltages”, T.IEE Japan, Vol. 116-B, No. 10, 1996
- [4] A. Inui et al., “Characteristics of Partial Discharge in SF₆ Gas Wedge Gap”, T IEE Japan, Vol. 110-A, No. 2, 1990
- [5] K. Goto et al., “Development of Insulation Technology for High-voltage Gas Insulated Transformer”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989
- [6] Y. Matsubara et al., “Partial Discharge of the Windings of SF₆ Gas Insulated Transformer and Monitoring System”, 日新電機技報, Vol. 39, No. 2, 1994. 7

- [7] “不平等電界沿面放電特性”, 電氣學會技術報告(II부), No.184, 1985
- [8] T.Nitta et al., “Voltage-Time Characteristics of Electrical Breakdown in SF₆”, IEEE Trans. vol. PAS-94, No. 1, pp. 108-115, 1975
- [9] SF₆ 가스 V-t 特性 調査專門委員會, “SF₆ 가스의短時間領域 V-t 特性”, 電氣學會技術報告 II部 第206号, 1986
- [10] 선종호 외, “장시간 절연체 열화실험을 위한 부분방전 측정기술 연구”, 전기학회논문지 제49C권 12호, 2000
- [11] “Partial discharge measurements”, IEC 60270, 2000
- [12] “Standard Test Method for Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies”, ASTM D 149-97a
- [13] “High-voltage test techniques:Part 1:General definitions and test requirements”, IEC 60060-1, 1989
- [14] “노멕스절연지 NOMEX 410호”, 듀폰한국지사
- [15] E. Husain, R. S. Nema, “Analysis of Paschen Curves for Air, N₂, and SF₆ using the Townsend Breakdown Equation”, IEEE Trans. on Electrical Insulation Vol. EI-17 No. 4, Aug. 1982
- [16] T.W.Dakin et al., “Breakdown of Gases in Uniform Fields Paschen Curves for Nitrogen, Air and Sulfur Hexafluoride”, ELECTRA Study Committee No. 15, 1972
- [17] A. Krivda, “Recognition of discharges”, Delft Univ., pp. 107-153, 1995
- [18] E. Takahashi et al., “Development of Large Capacity Gas Insulated Transformer”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, April 1996
- [19] IEC 60060-2, “High Voltage Test Techniques”, 1994

저 자 소 개



선 증 호 (宣 鍾 好)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과. 1988년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1989-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 선임연구원

Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1589

E-mail : jhsun@keri.re.kr



박 정 후 (朴 正 后)

1945년 4월 8일생. 1975년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~1983년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수

Tel : 051-510-2369, Fax : 051-513-0212

E-mail : Parkch@hyowon.cc.pusan.ac.kr



김 광 화 (金 光 和)

1956년 5월 12일생. 1983년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1992년 부산대 대학원 전기공학과(공학). 1993년-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 책임연구원

Tel : 055-280-1570, Fax : 055-280-1589

E-mail : khkim124@keri.re.kr



조 정 수 (趙 井 守)

1935년 2월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 공대 전기공학과 대학원 졸업(공학). 1983년~1984년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수

Tel : 051-510-2367, Fax : 051-513-0212

E-mail : chojs@hyowon.cc.pusan.ac.kr