

건조공기(Dry-Air)의 교류 및 직류전압에 대한 절연특성 연구

(A study of breakdown characteristics of Dry-Air under AC & DC Voltage)

김영수* · 김도석 · 김정배* · 이광식

(Young-Su Kim · Do-Seok Kim · Jeong-Bea Kim · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, *효성중공업

Abstract

본 연구는 SF₆를 대체하기 위한 건조공기(Dry-Air)의 특성을 연구할 목적으로 교류 및 직류고전압 인가 시 압력(P)변화 및 갭 길이의 변화에 따른 절연파괴특성을 연구하였다. 본 연구를 통해 챔버 내의 P가 증가 할수록 절연파괴특성은 증가하는 것을 확인했다. 그리고 불평등전계 보다 평등전계에서 절연파괴특성이 더 증가하고 전극간거리(d)가 증가 할수록 절연파괴특성이 증가하는 것을 확인했다.

1. 서론

산업 발달로 송전전압이 격상하고 있는 추세이며, 도시기능의 고도화 등으로 좁은 지역에서 막대한 전력이 사용되고 있다. 그러나 전원 및 전력수송설비의 대도시 근교로의 입지는 제안되어 발·변전소용 부지의 효율적 사용 및 환경조화를 위해 설비의 축소화, 밀폐화가 불가피하므로 가스절연방식을 이용한 소형이면서 초고압·대용량 전력기기의 사용이 확대되고 있다. 이들 기기는 종래의 대기절연방식을 탈피하여 절연성능이 우수하고 불활성을 갖고 안전한 SF₆가스를 절연매체로 하여 활선부를 밀폐하며 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성과 콤팩트한 구조로 사용하고 있다.

그 대표적 전력기기인 가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작된 이래 22[kV]급에서 765[kV]급까지 광범위하게 사용되고 있으나, 방전 시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH₄와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건(-50℃ 이하)에서 SF₆가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같이 주위 환경에 따라 아주 낮은 온도에서 나타나는 비 이상적인 기체 거동 등이 단점이라 할 수 있다.

또한 SF₆가스는 적외선 흡수력이 크고, 화학적 불활성 때문에 지구 대기권으로부터 신속히 제거되지 못한다.

이러한 이유에서 화학적 불활성으로 성층권 오존 파괴에 관해 영향이 없음에도 불구하고 1997년 12월 일

본 Kyoto에서 개최된 제 3차 당사국회의 (COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC에 더하여 SF₆ 가스도 지정된 것이다. 이에 따라 SF₆ 가스의 배출량이 정식으로 보고되어야 할 뿐만 아니라, 현재 이 가스의 주된 사용자인 중전기회사는 이 가스의 사용에 대한 정당성과 또한 동시에 환경에 대한 보존성을 제시할 수 있어야 하게 되었다.

따라서, 본 논문은 SF₆를 대체할 수 있는 물질로 대두되고 있는 건조공기(Dry-Air)에 대한 교류 및 직류고전압에 따른 절연파괴전압(V_B)특성을 분석해 보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

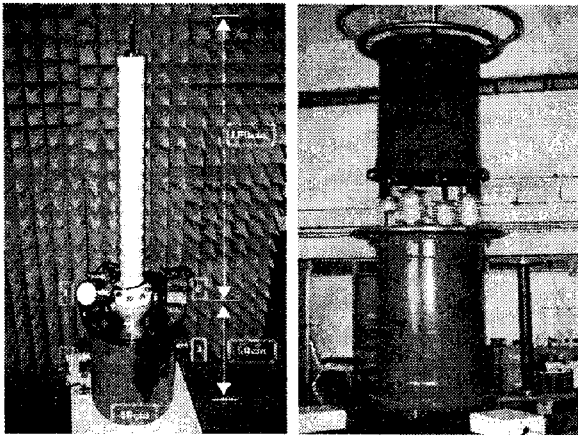
2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 챔버의 외관은 그림 1과 같고 이것은 SF₆의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버이다. 전원은 AC용 DY-106 AC 300[kV] / 120[mA]와 DC(-)용 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N 150[kV]/1[mA]을 사용하였다.

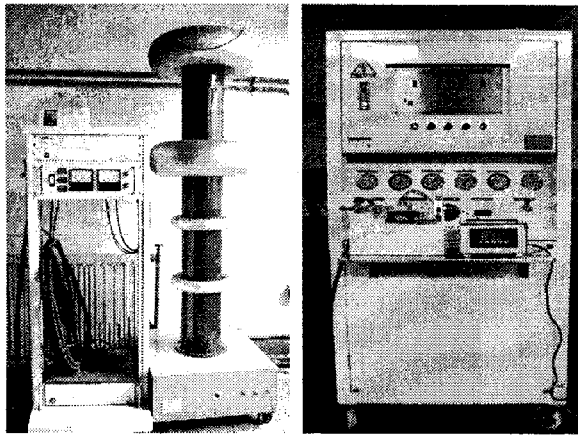
실험용 모의 챔버의 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 모의 GIS 내부를 진공펌프 (SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60ℓ/min)로 5×10⁻⁴[Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 전극부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 설치하였다.

실험용 모의 챔버의 주요 사양은 압력(P) 변화

($20 \sim 60 [N/cm^2]$)를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 P 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치



(c) DC(-) 전원장치 (d) Dry-Air 건조장치

그림 1. 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300 [kV] 전원장치, DC (-) 150 [kV] 전원장치 & Dry-Air 건조장치
Fig. 1. The Experimental model GIS and AC 300 [kV] Power Supply and DC (-) 150 [kV] Power Supply & Dry-Air System

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인리스 스틸로서 전극의 배치는 수직 배치하였으며, 구 전극(직경 41[mm]), 평판전극(직경 59[mm]) 및 침 전극(직경 5[mm], 침단각도 20°)을 제작하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Sphere-Sphere 전극(S-S), Plane-Plane 전극(P-P) 및 Needle-Plane 전극(Needle; 상부, Plane; 하부, N-P)을 사용하였다.

표 1. 전극의 모양
Table 1. Shape of electrodes.

	Diameter [mm]		Angle[°]
	41	59	20
Shape			
Kind of electrodes	Sphere (S)	Plane (P)	Needle (N)
Gap Spacing	1.0 ~ 12.0 [mm]		
Material	Stainless steel		

2.2. 실험방법

Dry-Air 실험은 우선 모의 GIS 챔버 내부를 진공 상태 (5×10^{-4} [torr])로 유지하였다. 이 때 Dry-Air만의 순수한 성분을 주입시키기 위해 가스와 챔버간에 연결된 호스내부도 진공을 시켰다.

사용된 전극은 S-S, P-P 및 N-P를 사용하였으며, 전극형상에 따른 각각의 전극간거리(d)는 평등전계, 준평등전계, 불평등전계 모두 1[mm]씩 증가시켜가며 교류 및 직류전압을 인가(초당 3.15[kV] 상승, 누설전류 10[μ A]기준)하여 측정하였다.

V_B 는 5회 측정하여 평균한 값을 이용하였다. 전극 배치는 수직배치이며, 각 전극에서 d 및 P의 변화에 따른 실험이 끝나면 전극과 Dry-Air를 교체 투입 후 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. AC 전원 인가 시 V_B

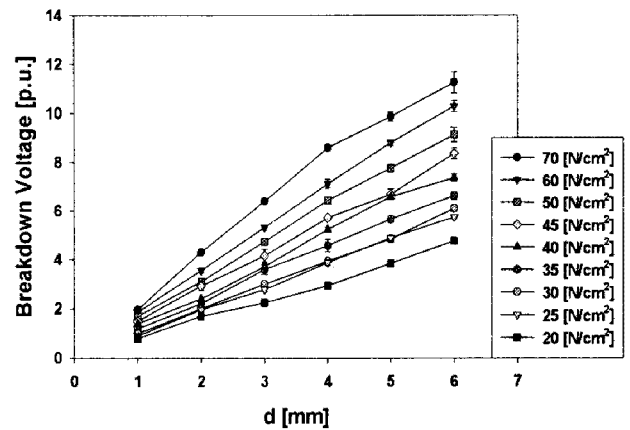


그림 2. Dry-Air에서 S-S의 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)
Fig 2. Breakdown Characteristics of S-S in Dry-Air

그림 2는 Dry-Air 중의 평등전계인 구대구 전극으로 형성하여 Dry-Air 가스 중에서 방전 챔버의 P를

20~70[N/cm²]으로 변경하면서 d에 따른 절연 파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B도 증가함을 알 수 있다. V_B의 평균 증가 비율은 20[N/cm²]에서는 1.17배, 25[N/cm²]에서는 1.22배, 30[N/cm²]에서는 1.26배, 35[N/cm²]에서는 1.24배, 40[N/cm²]에서는 1.30배, 45[N/cm²]에서는 1.30배, 50[N/cm²]에서는 1.38배, 60[N/cm²]에서는 1.37배, 70[N/cm²]에서는 1.46배로 나타났다.

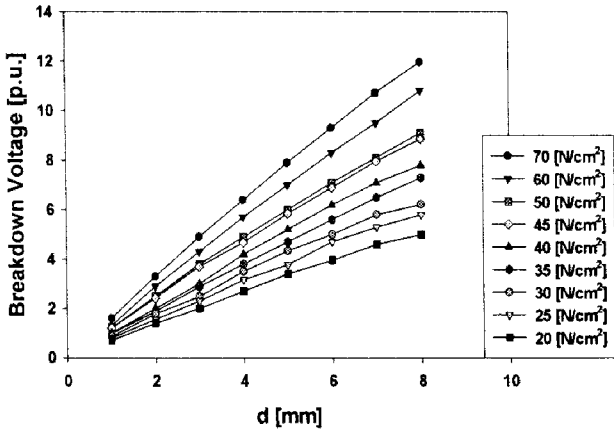


그림 3. Dry-Air에서 P-P의 절연 파괴 특성 (Plane & Plane Electrode)
Fig 3. Breakdown Characteristics of P-P in Dry-Air

그림 3은 Dry-Air에 준평등전계인 평판대평판 전극으로 형성시키고 방전 챔버의 P를 0.2~0.7[N/cm²]으로 변경한 경우 d에 따른 V_B특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B도 증가함을 알 수 있다. V_B의 평균 증가 비율은 20[N/cm²]에서는 1.04배, 25[N/cm²]에서는 1.07배, 30[N/cm²]에서는 1.09배, 35[N/cm²]에서는 1.12배, 40[N/cm²]에서는 1.17배, 45[N/cm²]에서는 1.20배, 50[N/cm²]에서는 1.23배, 60[N/cm²]에서는 1.34배, 70[N/cm²]에서는 1.36배로 나타났다.

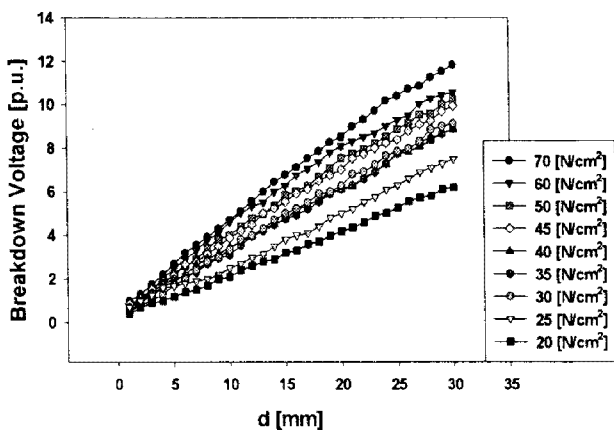


그림 4. Dry-Air에서 N-P의 절연 파괴 특성 (Needle & Plane Electrode)
Fig 4. Breakdown Characteristics of N-P in Dry-Air

그림 4은 Dry-Air에 불평등전계인 침대평판 전극으로 형성시키고 방전 챔버의 P를 0.2~0.7[N/cm²]으로 변경한 경우 d에 따른 V_B특성을 나타낸 것이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B도 증가함을 알 수 있다. V_B의 평균 증가 비율은 20[N/cm²]에서는 1.06배, 25[N/cm²]에서는 1.06배, 30[N/cm²]에서는 1.08배, 35[N/cm²]에서는 1.07배, 40[N/cm²]에서는 1.08배, 45[N/cm²]에서는 1.07배, 50[N/cm²]에서는 1.08배, 60[N/cm²]에서는 1.08배, 70[N/cm²]에서는 1.09배로 나타났다.

3.2. DC(-) 전원 인가 시 V_B

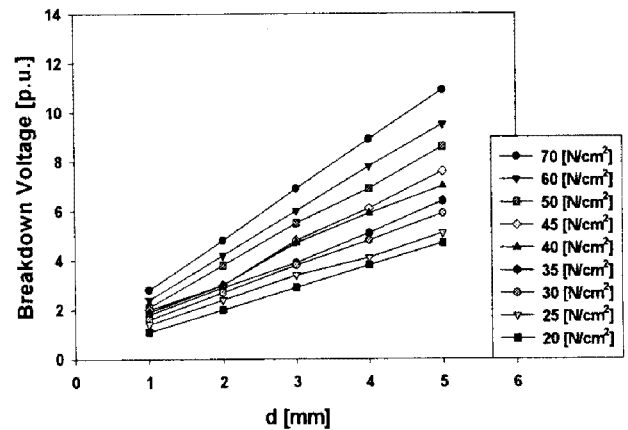


그림 5. Dry-Air에서 S-S의 절연 파괴 특성 (Sphere & Sphere Electrode)
Fig 5. Breakdown Characteristics of S-S in Dry-Air

그림 5는 Dry-Air 중의 평등전계인 구대구 전극으로 형성하여 Dry-Air 가스 중에서 방전 챔버의 P를 0.2~0.7[N/cm²]으로 변경하면서 d에 따른 절연 파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B도 증가함을 알 수 있다. V_B의 평균 증가 비율은 20[N/cm²]에서는 1.17배, 25[N/cm²]에서는 1.20배, 30[N/cm²]에서는 1.22배, 35[N/cm²]에서는 1.24배, 40[N/cm²]에서는 1.26배, 45[N/cm²]에서는 1.29배, 50[N/cm²]에서는 1.34배, 60[N/cm²]에서는 1.37배, 70[N/cm²]에서는 1.41배로 나타났다.

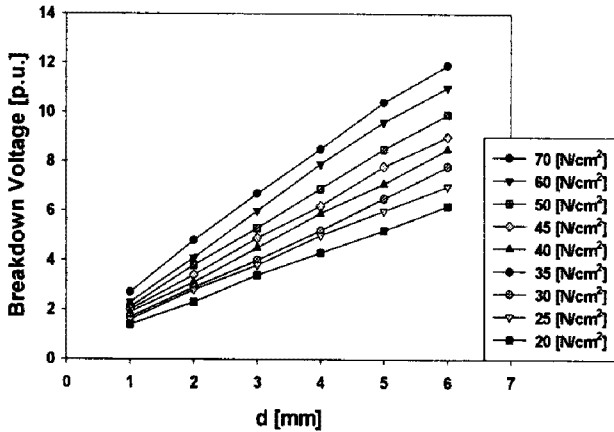


그림 6. Dry-Air에서 P-P의 절연파괴특성
(Plane & Plane Electrode)
Fig 6. Breakdown Characteristics of P-P in Dry-Air

그림 6은 Dry-Air에 준평등전계인 평판대평판 전극으로 형성시키고 방전 챔버의 P를 $0.2 \sim 0.7 [N/cm^2]$ 으로 변경한 경우 d에 따른 V_B 특성을 나타낸 것이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B 도 증가함을 알 수 있다. V_B 의 평균 증가 비율은 $20 [N/cm^2]$ 에서는 1.09배, $25 [N/cm^2]$ 에서는 1.11배, $30 [N/cm^2]$ 에서는 1.15배, $35 [N/cm^2]$ 에서는 1.18배, $40 [N/cm^2]$ 에서는 1.21배, $45 [N/cm^2]$ 에서는 1.23배, $50 [N/cm^2]$ 에서는 1.29배, $60 [N/cm^2]$ 에서는 1.38배, $70 [N/cm^2]$ 에서는 1.36배로 나타났다.

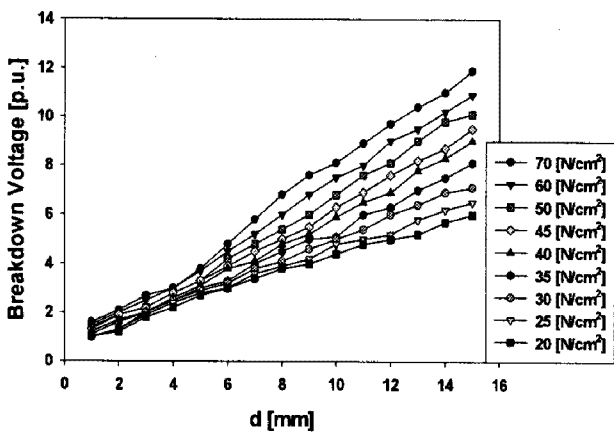


그림 7. Dry-Air에서 N-P의 절연파괴특성
(Needle & Plane Electrode)
Fig 7. Breakdown Characteristics of N-P in Dry-Air

그림 7은 Dry-Air에 불평등전계인 침대평판 전극으로 형성시키고 방전 챔버의 P를 $0.2 \sim 0.7 [N/cm^2]$ 으로 변경한 경우 d에 따른 V_B 특성을 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B 도

증가함을 알 수 있다. V_B 의 평균 증가 비율은 $20 [N/cm^2]$ 에서는 1.09배, $25 [N/cm^2]$ 에서는 1.10배, $30 [N/cm^2]$ 에서는 1.11배, $35 [N/cm^2]$ 에서는 1.12배, $40 [N/cm^2]$ 에서는 1.13배, $45 [N/cm^2]$ 에서는 1.13배, $50 [N/cm^2]$ 에서는 1.13배, $60 [N/cm^2]$ 에서는 1.14배, $70 [N/cm^2]$ 에서는 1.15배로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 건조공기(Dry-Air)의 압력(P), 전극 간거리(d) 및 전극의 종류의 변화에 따른 절연파괴전압(V_B)의 변화특성으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 교류고전압 인가 시 평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.30배, 준평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.18배, 불평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.07배인 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 직류고전압 인가 시 평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.27배, 준평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.22배, 불평등전계에서의 V_B 의 평균 증가 비율은 1.12배인 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 본 연구의 P 및 d범위에서는 SF_6 는 과센범칙을 이탈하는 현상을 보이는 반면 Dry-Air에서는 나타나지 않으므로 P 혹은 d를 증가시켜 가면 SF_6 의 V_B 에 근접한 값을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Gong Guoli et al, " The influence of SF_6 and SF_6/N_2 dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995
- [2] 이광식 외 4명, " SF_6 와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8
- [3] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF_6 Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF_6 Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [4] 이광식 외 4명, " SF_6 가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [5] Sayed A ward " Optimun SF_6-N_2 , SF_6-Air , SF_6-CO_2 Mixtures Based on Particle Contamination", Conf. Record of the IEEE Intern. Symp. on Elect. Insul., Anaheim, CA USA, April 2000
- [6] 최은혁 외 5명, " 액체 SF_6 중 기포거동과 절연파괴특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.5.
- [7] 이동희, " SF_6 대체가스 연구동향 ", 대한전기학회 논문지, 2002.7