

인공신경망을 이용한 이종절연재의 절연성 평가

(Assess of Breakdown Characteristics of Different Media used to the Neural Network)

최은혁·이정환·박혜리·박광서*·최상태**·김이국*·이광식

(Eun-Hyuck Choi · Jung-Hwan Lee · Herie Park · Kwang-Seo Park · Sang-Tae Choi · Lee-Kook Kim · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, *경일대학교, **경주대학교

Abstract

현재 산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성의 확보가 요구되고 있다. 또한 SF₆을 대체할 친환경적인 절연매체의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 본 연구는 모의 GIS내 제조공기의 압력 및 갭 변화에 따른 전원별 절연특성을 구명하였다. 또한 배전급 전력설비에 적용을 위하여 제조공기와 SF₆의 절연특성을 비교 평가하였다.

제조공기의 절연특성을 구명함으로써 각종 전력용용 설비의 절연설계에 SF₆ 대신 친환경적인 모의공기를 사용 가능함을 본 연구에서 구명하였다. 현재 송배전 설비의 절연매체로 사용하고 있는 SF₆ 3[atm]에 상응하는 제조공기의 압력을 인공신경망을 이용하여 추정하여 제조공기를 이용한 친환경적인 절연재 사용으로 지구의 온난화현상 감소에 크게 기여할 것으로 기대된다.

1. 서론

SF₆ 가스는 22[kV]급부터 800[kV]에 이르기까지 신뢰성 높은 양질의 절연가스로 유용하게 사용되고 있다. 그러나, 인체에 무해한 SF₆는 방전시 고독성, 고부식성 화합물이 발생하며, 수증기, 도전성 입자 및 도체 표면 거칠음에 대한 파괴전압의 민감성, 저온하에서의 액화로 인한 사고의 위험들을 가지고 있다. 특히, 지구온난화 계수(GWP)가 이산화탄소의 약 23,900배로 매우 높고 화학적으로도 매우 안정화되어 대기중 수명도 길기 때문에 이에 따라 대기 중에 방출되었을때 장시간 축적되어 지구 온난화에 끼치는 영향이 지대하므로 2005년 "Kyoto Protocol"에 의해 온실가스중 하나로 지정되었으며 CO₂, CH₄, HFC, PFC와 더불어 대표적인 절연가스인 SF₆가스도 오스트레일리아, 캐나다, 일본, EU 등 여러 국가에서 규제물질로 정하였다. 비록 우리나라는 온난화가스에 대한 개도국으로 선정되어 있지만 앞에서 언급한 여러 국가들은 강제 이행국으로써 온난화물질 대체 연구 및 새로운 전력설비에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 우리나라도 온난화가스에 대한 강제 이행국이 될 것이 확실시 되고 있으며 향후 전력선진국으로 도약하기 위해서는 우리나라도 다양한 대체 절연

재 개발에 많은 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 건조공기(Dry-Air), 제조공기(I-Air)와 SF₆의 절연파괴특성을 비교분석하여 배전급 전력설비에 사용 가능성을 검토한 연구이다

2. 실험장치 및 방법

사진 1은 본 연구에 사용된 챔버의 외관으로서 그 주요사양은 다음과 같다. 실험용 챔버 내부온도를 관측하기 위하여 온도센서(UNICON, -90[°C]~90[°C])를 실험용 챔버 내부 중심부에 전극부와 평행하게 전극 수직 중심축과 8[cm] 떨어진 곳 온도센서를 상·중·하 3개와 실험용 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부 온도센서와 전극부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 존재한다. 이 관측창의 재질은 투명 아크릴이며, 원통형으로 제작 설치하였다. 실험용 챔버 내부를 진공펌프 (SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60ℓ/min)로 5×10⁻⁴[Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 열 절연을 위하여 챔버 내·외부사이에 진공층을 두었

다. 또한 챔버는 압력 변화(1~7[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 압력 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 온도변화(90~90℃) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을 가진 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다. 또한 챔버내 가압상태에서 외부에서 갭을 75[mm]까지 상부에서 조정할 수 있도록 설계하였다.

전원장치는 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였다.

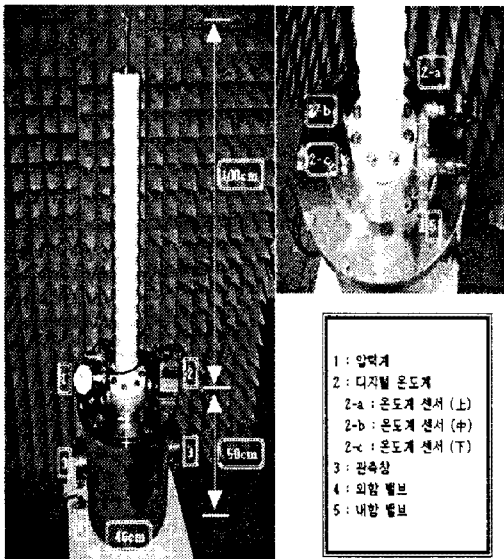


사진 1. 실험용 챔버

사용전극은 스테인레스 스틸인 Sphere-Sphere (구직경 41[mm], S-S)을 사용하였다.

SF₆의 실험방법은 가스를 투입하기전 챔버 내를 5×10^{-4} [torr]까지 배기시킨 후 SF₆가스를 2~4[atm]까지 0.5[atm]씩 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시(1~4[mm]) 절연파괴전압(V_B) 특성 연구하였다. I-Air도 SF₆와 같은 방법으로 배기시킨후 I-Air를 2~4[atm]까지 0.5[atm]씩 주입하여 d 변화시(1~15[mm]) V_B를 측정하였다. V_B는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

절연파괴측정방법은 리더방전에 의한 초기방전 전압을 측정하였다. 리더방전은 PD를 이용하여 전류파형과 전압파형을 확인함으로써 초기방전전압을 측정할 수 있는 방법으로 아래의 그림 1과 같이 부분방전 전전에 의한 전압 전류 파형에서 전압파형이 급감하는 시점에서 동시에 전류의 파형이 급증하게 될 때의 전압을 본 연구의 절연파괴

전압으로 채택하였다.

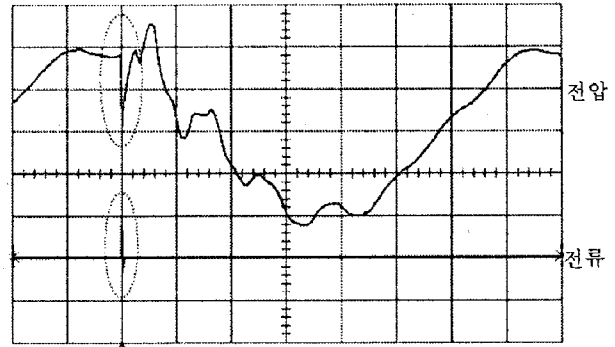
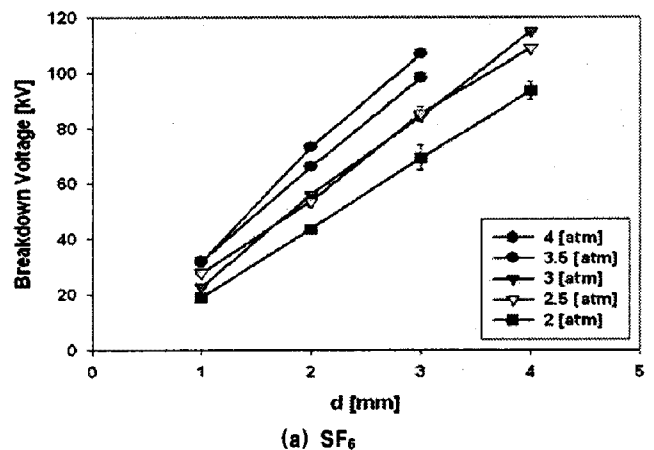


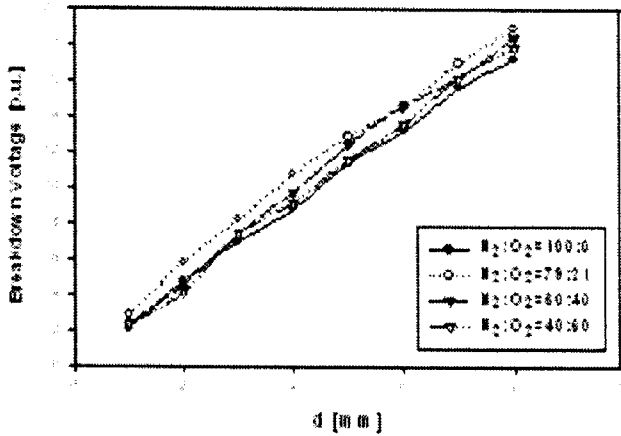
그림 1. Leader 방전에 따른 전압전류파형

3. 실험결과 및 고찰

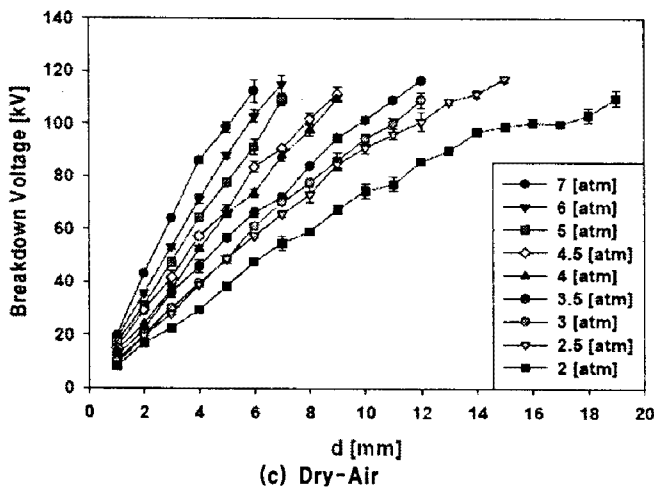
3.1. SF₆, I-Air와 Dry-Air의 절연파괴특성

그림 2은 절연매체별 절연파괴 특성을 보여주고 있다. 그림 1-a는 SF₆ S-S 전극인 경우 평등전계 영역의 실험결과이므로 d의 증가에 따라 선형적 상승을 보여주고 있다. 그림 1-(b)는 일정압력(4[atm])일때 N₂와 O₂의 성분비에 따른 d 변화에 따른 절연파괴전압특성을 나타내고 있다. 그림과 같이 성분비가 79:21일 때 가장 높은 V_B특성을 가지고 있음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 대기와 비슷한 성분비 79:21일 때 상대적으로 절연파괴특성이 안정화되며, Paschen 법칙에 의해 평등전계에 가까운 전극중의 기체의 파괴전압은 압력에 비례하여 높아지고 있음을 확인하였다. 또한 그림 1-c는 Dry-Air의 일정압력에 대하여 갭 변화시 V_B특성을 나타내었다. 평등전계에서는 SF₆나 혼합가스와 같이 Paschen 법칙에 의해 선형적으로 증가함을 확인하였으며, 4[atm]의 경우 약 1.3배정도의 갭변화시 V_B 증가율을 보여주었다.





(b) N₂ : O₂ 혼합비별 V_B 특성



(c) Dry-Air

그림 2. SF₆, 혼합가스 및 Dry-Air의 V_B 특성

현재 사용되고 있는 송배전급에는 SF₆가 3[atm] 정도가 충전되어 운용되고 있다. 따라서 앞에서 실험한 모의공기(79:21), 건조공기 제조장치를 이용한 Dry-Air와 SF₆ 1, 2, 3[atm]의 V_B를 비교하여 모의공기와 Dry-Air의 절연특성을 평가하고 SF₆ 3[atm]일때 상응하는 모의공기와 Dry-Air의 압력을 도출하고자 그림 3과 같은 신경망 알고리즘을 이용하여 산출하였다.

그림 3의 인공신경망을 이용하여 SF₆에 상응하는 I-Air의 V_B를 추정하기 위하여 평등전계에 대한 압력별 갭 변화에 따른 V_B의 실험데이터를 기초로하여 심경망 모델은 2입력(갭길이, 압력), 1출력(절연과괴전압) 및 중간층 1개, 중간층의 유닛은 7개로 설계하였으며, 각 유닛에서의 응답함수는 시그모이드 함수를 사용하였다.

그 결과 그림 4에서 보는바와 같이 각 d에서 SF₆의 1~3[atm] 사이 V_B값 내에 포함되는 I-Air

특성을 보면 그 압력이 3~7[atm]일 경우이다. 여기서 주목할 사항은 I-Air일 경우 7[atm]일 경우에도 SF₆ 2[atm]에 크게 미치지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 d가 각각 1, 2, 3, 4[mm]일 경우 SF₆에 대한 I-Air의 V_B값의 백분율 오차가 2.0[%], -10.1[%], -12.4[%], -21.6[%]로 크게 나타남을 알 수 있다. 이 결과에서 SF₆ 2[atm]과 3[atm]사이 존재하는 I-Air의 기압을 그림 4와 같이 인공신경망을 이용하여 추정하면 10[atm]가 되어야 할 것으로 판단되어 제작시 큰 압력에 이겨내는 챔버의 설계가 요구되어 재질, 두께, 기밀성 등 난제가 많은 것으로 생각된다. 그러므로 일정 전극간 거리에서 압력만으로 SF₆의 V_B에 상응하는 I-Air의 압력을 고려하여 설계에 반영하는 것 보다 압력과 체적을 동시에 증대시키는 방법을 제안하고자 한다.

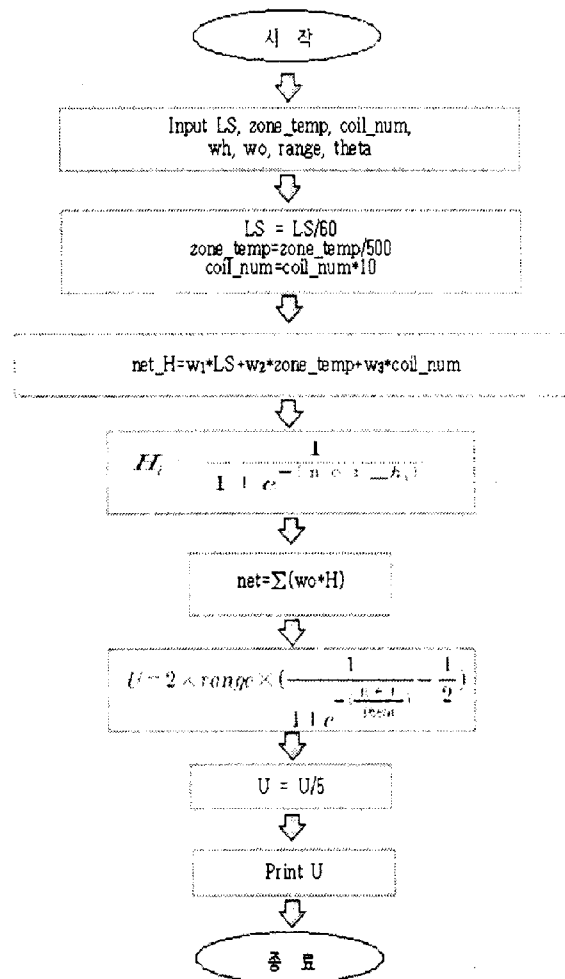


그림 3. 신경망 알고리즘

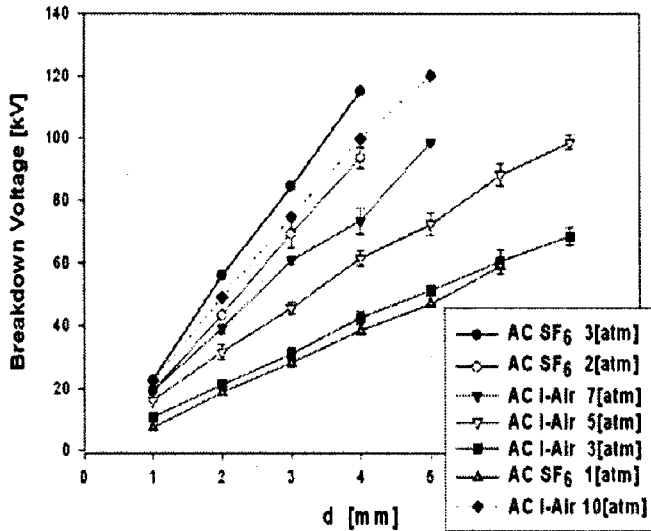


그림 4. SF₆와 I-Air의 절연파괴전압 비교

4. 결론

본 논문은 SF₆, Dry-Air 및 혼합가스의 절연특성을 구명하고, 제조공기를 송배전급 전력기기에 사용가능성을 평가한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. SF₆는 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압도 비례적으로 상승함을 확인하였으며, Paschen의 법칙에 의존한 결과를 얻었다.
- 나. 제조공기 및 Dry-Air도 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압이 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서는 갭 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였으며, SF₆의 절연내력에 비하여 모의 공기의 절연내력은 2.5배에서 3배정도로 절연내력이 현저히 떨어짐을 확인하였다.
- 다. SF₆ 2[atm]과 3[atm]사이에 존재하는 I-Air의 기압은 인공신경망에 의하여 추정하면 10[atm]가 되어야 할 것으로 판단되어 제작시 큰 압력에 이겨내는 챔버의 설계가 요구되어 재질, 두께, 기밀성 등 난제가 많은 것으로 생각된다. 따라서 일정 전극간 거리에서 압력만으로 SF₆의 V_B에 상응하는 I-Air의 압력을 고려하여 설계에 반영하는 것 보다 압력과 체적을 동시에 증대시키는 방법을 제안하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Landry, M. et al. " Dielectric withstand and breaking capacity of SF₆ circuit breakers at low temperatures " Power Delivery, IEEE Transactions on, pp. 1029~1035, July 1988
- [2] Gong Guoli et al, " The influence of SF₆ and SF₆/N₂ dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995
- [3] T.Ueda et al, " Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF₆ Gas from External Noise Using Phase Gate Control Method ", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 117~120, 1996
- [4] Kwang-Sik Lee, " A Study on the discharge characteristics of liquid nitrogen at atmospheric pressure ", KIEE Vol 45 No 7, 1996.7.
- [5] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF_x Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [6] Kwang-Sik Lee, " A Study on the Discharge Characteristics of Liquid Nitrogen and Gases at Very Low Temperature ", KEPCO, 1993.8.
- [7] Kyeong-Tae Park, " The Characteristics of Discharge and Radiated Electromagnetic Waves with a Variation of Temperature in SF₆ ", Yeungnam Univ. , 2002.12.
- [8] Kwang-Sik Lee, " The Characteristics of Insulation with Temperature Variations of SF₆ "KIEE Vol 52C No 8, 2003.8
- [9] Naoki "Streamer and Leader Discharge Propagation Characteristics Leading to Breakdown in Electron in Electronegative Gases" IEEE, 2006
- [10]Kwang-Sik Lee, Eun-Hyuck Choi, " Breakdown characteristics of SF₆ at various temperature under AC High-Voltage" IEEE - ICPADM 2006, 2006.06
- [11] 이광식, 최은혁 외, "인공신경망을 이용한 방전하량 추정에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 추계 학술대회논문집, 2006.11