

AC 전압하에 Dry-air, N₂/O₂ 합성 가스, N₂ 가스의 절연특성 비교 분석

이영조, 구자윤, 장용우, 정승용, 박재홍, 손의권, 이슬기
한양대학교

A study for breakdown characteristics of dry-air, N₂/O₂ and N₂ gas with AC voltage

Y.J.Lee, J.Y.Koo, Y.M.Chang, S.Y.Jung, J.H.Park, U.K.Son, S.K.Lee
Hanyang University

Abstract - 현재 초고압 송변전기기에 적용되고 있는 SF₆가스는 절연 및 소호성능이 우수하며 회복특성이 뛰어나기 때문에 초고압 기기의 절연매체로서 널리 사용되고 있으나 가격이 비싸고 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 대기 중으로 방출될 경우에는 온실효과를 야기 시키는 단점을 가지고 있다. 최근 환경에 대한 관심과 규제가 높아지면서 온실가스에 대한 규제로서 교토 의정서가 정식 발효됨에 따라 SF₆가스는 금후 총량 제한에 의해 사용량이 규제 받을 가능성이 대단히 높다. 따라서 SF₆ 가스와 Air, N₂, CO₂, N₂/O₂ 합성가스, He 등과 혼합된 절연매체들이 하나의 대안으로 연구되었다.

본 연구에서는 대체 절연가스로 주목받고 있는 Dry-air(공기 중에서 수분과 각종 불순물을 제거한 공기), N₂/O₂ 합성가스, N₂ 가스를 4mm 간격의 준평등(구대구전극) 전계에서 0.5atm에서 9atm까지 변화시켰을 때 절연내력을 비교하였다. 또한, 보다 평등전계에 가까운 10mm의 간격에서도 0atm에서 4atm까지 동일한 전압을 인가하여 절연내력을 비교 분석하였다.

Dry-air를 제조하게 된다. Dry-air의 공기 성분은 N₂(78.088%), O₂(20.949%), Ar(0.93%), CO₂(0.03%) 이다.

2.2 실험장치 및 방법

절연가스의 절연과특성 실험을 하기 위해서 Hipotronics사의 절연과피시험기(100kV)를 이용하여 절연가스에 1.8kV/sec의 전압상승 속도로 교류 전압을 인가하였다.

절연가스는 N₂, N₂/O₂ 합성가스, Dry-air를 사용하였다. 절연가스 N₂, N₂/O₂ 합성가스는 상업용 가스를 구입하였고, Dry-air는 그림 1과 같이 Dry-air gas generator를 사용하여 생성하였다. N₂/O₂ 합성가스(N₂:79.1%, O₂:20.9%)와 달리 Dry-air generator를 통해서 만들어진 Dry-air는 일반공기에서 수분과 이물질을 제거한 가스이므로 일반적인 공기성분이 그대로 유지된다.(N₂:78.088%, O₂:20.949%, Ar:0.93%, CO₂:0.03%)

1. 서 론

전 세계적 환경에 대한 관심 증대와 규제 강화로 인하여 전력설비 시장에서의 친환경 전력기기 제품에 대한 요구가 급증할 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 전력설비 세계 시장에서의 수요는 기존의 성능 및 가격 위주의 경쟁 방식에서 환경영향 평가를 우선시하는 방식으로 바뀔 것이며, 모든 전력기기 제품은 환경 유해물질의 포함 여부 및 그 사용량의 기록이 의무화 될 것으로 여겨진다. 이 경우 현재 지구 온난화 물질로 규정되어있는 SF₆ 가스를 절연 및 소호매질로 사용하는 제품들은 환경 유해 평가로 인하여 시장 진입이 어려워질 것으로 여겨지며, 따라서 전력기기에서 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 대체 절연 및 소호 기술과 친환경 전력기기 제품을 개발 되어야 한다. 또한, 환경규제를 대비한 친환경 전력기기의 기술적 혁신이 계속되고 있기 때문에, 특히 SF₆ 가스를 사용하는 전력기기의 교체 및 신규수요가 급증할 것으로 예상된다.

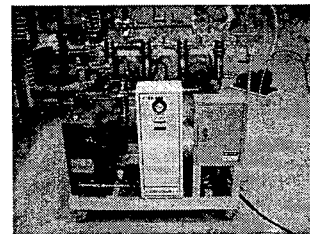
현재 SF₆가스의 대체 절연가스로서 친환경 가스가 활발하게 연구되고 있다. 선행된 연구에 의하면 이중에서 Dry-air, N₂가스의 절연특성은 다른 친환경 가스에 비해서 높은 것으로 나타났다. 본 논문은 이점에 주의하여 Dry-air와 N₂/O₂ 합성가스 및 N₂ 가스간의 절연내력을 준평등 전계를 중심으로 하여 100kV 이내의 AC 전압을 인가하여 절연과피 실험을 시행하였다.

4mm 간격의 경우 Dry-air의 절연과피 전압은 CO₂의 영향에 의해서 0.5-9atm까지의 압력범위에서 N₂, N₂/O₂ 합성가스의 절연과피 전압보다 높다. 10mm의 전극 간격에서 Dry-air, N₂/O₂ 합성가스의 절연과피 전압은 2.5atm이하의 압력에서는 N₂ 가스의 절연과피 전압보다 높지만 3atm 이상의 압력에서는 N₂ 가스의 절연과피 전압보다 낮다.

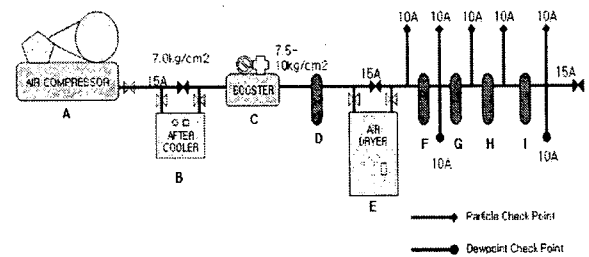
2. 본 론

2.1 Dry-air 제조

그림 1과 같은 Dry-air gas generator에서 Dry-air를 제조하는 과정은 아래와 같다. 먼저, Air compressor에서 대기중의 공기를 약 6기압까지 가압을 시킨다. 가압된 공기는 After Cooler로 유입되며 After Cooler내부의 두 개(1차, 2차)의 열교환기를 거치면서 고온다습한 공기는 2차측 열교환기로부터 들어오는 차고 건조한 공기로 냉각되어진 1차 열교환기(Air to Air)에서 예냉되고 2차 열교환기(Air to Refrigerant)에 들어가 냉매에 의해 냉각된다. 냉각 건조된 공기는 다시 1차 열교환기로 들어가 처음과 반대로 더운 공기와 열교환 되어 가온된 상태가 된다. 냉각기로부터 나오는 고온, 고압 냉매가스는 냉매용 Condenser로 보내지고 농축된 열은 대기공기나 냉각수에 의해 제거되어 고압 액화냉매로 바뀐다. Condenser로부터 냉매는 Receiver, Filter/Dryer를 거쳐 팽창변을 통과하면서 조절되어 고압액체 상태에서 저압 액화냉매로 된다. 이후에 차례로 Main Filter(40micron까지 유분 및 이물질 제거), Pre Filter(5micron까지 유분 및 이물질 제거), Line Filter(1micron까지 유분 및 이물질 제거), Coalescing Filter(0.01micron까지 유분 및 이물질 제거)를 거치면서 단계별로 수분 및 이물질을 제거한



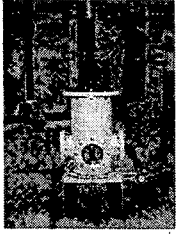
(a)



(b)

〈그림 1〉 (a) Dry-air gas generator (b) System 구성도

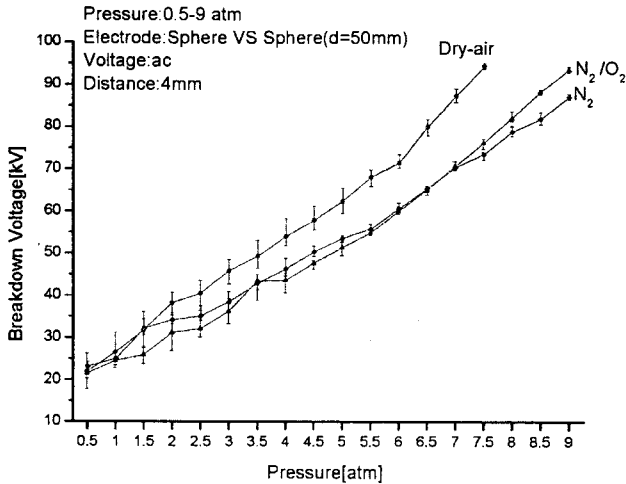
그림 2의 기초실험용 챔버(AC 200kV 이상, 10기압) 내부의 습도를 유지하기 위해서 10⁻³ torr의 진공도에 도달한 후 실험목적에 부합되도록 연구 대상 절연매체의 가스 압력을 다양하게 유지하였다. 투입되는 절연매체의 양을 측정하기 위하여 Dwyer사의 Flow Meter(Max1L/min)를 사용하였으며, 압력 측정은 0.5 급 압력계를 사용하였다. 이러한 과정을 거친후 그림 3과 같은 준평등전계 상태로 100kV이내의 인가 전압에서 4mm, 10mm 각각의 전극간격에 대하여 절연 과피실험을 수행하였다.



〈그림 2〉 절연파괴 챔버 〈그림 3〉 챔버내에 장착된 Sphere gap

2.3. 4mm의 간격에서 준평등전계의 절연파괴 특성

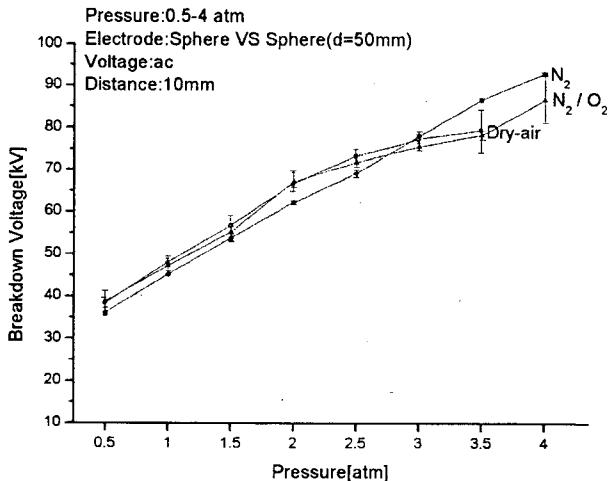
Sphere gap 4mm에서 N₂, N₂/O₂ 합성가스, Dry-air 각각의 절연파괴 특성은 그림 4와 같다. 절연가스의 압력을 0.5atm씩 증가시키면서 각 압력별로 10회의 절연파괴 시험을 수행한 결과 가스의 압력이 증가하면서 절연파괴 전압이 증가하는 현상이 나타났다.



〈그림 4〉 4mm 간격의 준평등전계에서 가스별 절연특성

그림 4에서 1atm 이하의 압력에서는 세 종류 가스들의 절연내력이 비슷하지만 고압측으로 갈수록 절연파괴 전압은 Dry-air, N₂/O₂ 합성가스, N₂ 가스순으로 높은 특성을 나타낸다. 이 중 Dry-air의 절연파괴 전압이 가장 높은 이유는 가스내에 함유된 CO₂(1%미만)에 의한 것으로 7.5 atm에서 N₂ 가스에 비해서 최대 약 1.2배의 절연특성을 가진다. N₂/O₂ 합성가스와 N₂ 가스는 6.5atm 미만에서는 N₂ 가스의 절연파괴 전압이 N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압보다 높으나 7.0atm 이상의 압력에서는 N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압이 N₂ 가스보다 높게 나타난다.

2.3. 10mm의 간격에서 준평등전계의 절연파괴 특성



〈그림 5〉 10mm 간격의 평등전계에서 가스별 절연특성

4mm 전극 간격에 비해서 10mm 전극 간격이 준평등 전계 조건에 더욱 가까우므로 10mm의 전극 간격에서도 실험을 수행하였다. 그림 5와 같이 전극 간격이 10mm일 때 절연파괴 전압은 2.5atm까지는 Dry-air, N₂/O₂ 합

성가스, N₂ 가스 순으로 높은 특성을 나타내지만, 3atm 이상에서는 N₂ 가스의 절연파괴 전압이 가장 높은 특성을 나타낸다. Dry-air, N₂/O₂ 합성가스는 약 2.5 atm 이후부터 절연파괴 전압의 증가율이 감소되는 특성을 보인다.

3. 결 론

1. 4mm의 전극 간격에서 Dry-air는 CO₂의 영향에 의해서 N₂ 가스에 비해서 7atm에서 약 1.2배정도 절연파괴 전압이 높다.
2. 4mm의 전극 간격에서 N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압은 6.5atm 이하의 압력에서 N₂ 가스의 절연파괴 전압보다 낮으나, 7.0atm 이상의 압력에서는 N₂ 가스의 절연파괴 전압보다 높아진다.
3. 10mm의 전극 간격에서 Dry-air, N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압은 2.5atm 이하의 압력에서는 N₂ 가스의 절연파괴 전압보다 높지만 3atm 이상의 압력에서는 N₂ 가스의 절연파괴 전압보다 낮다.
4. 10mm의 전극 간격에서 Dry-air, N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압의 증가율은 2.5atm 이후부터 감소하는 특성을 보인다.
5. Sphere gap이 4mm에서 10mm로 증가하면 N₂ 가스의 절연파괴 전압이 Dry-air, N₂/O₂ 합성가스의 절연파괴 전압보다 높게 나온다.
6. 4mm와 10mm 간격의 준평등 전계에 대해서 Dry-air와 N₂ 가스의 절연 내력 특성이 서로 상방된 결과를 보이므로 10mm 이상의 절연 간격에 대해서 보다 추가적인 실험이 필요하다.

이 논문은 산업자원부에서 실행하는 청정생산기술개발사업에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Toshiaki Rokunohe, Yoshitaka Yagihashi, Kenji Aoyagi, Takashi Oomori, and Fumihiko Endo, "Development of SF₆-Free 72.5 kV GIS", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 22, pp 1869-1876, 2007
- [2] Chathan M. Cooke, Roberto Velazquez, "The Insulation of Ultra-High Voltage in Coaxial System", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Volume 96, pp 1491-1497, 1997
- [3] Juan M. Elizondo, Jay W. Benze, Wilian M. Moeny, James G. Small, "High-performance electrode profile generation method", American Institute of Physics, Volume 56, pp 532-534, 1985
- [4] S.Ohtsuka, S.Nagara, K.Miura, M.Nakamura, M.Hikita, "Effect of Mixture of a small Amount of CO₂ in SF₆/N₂ Mixed Gas on the Insulation Performance under Nonuniform Field", Conf. Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Anaheim, CA USA, pp 288-291, 2000
- [5] Sang-hwa LEE, Hyun-jae Jung, Seung-young Jeong, Cheol-hwi Ryu, Hang-kwon Bang, Ja-yoon Koo, "Breakdown Characteristics of Mixtures of SF₆ and Dry-air under Uniform and Nonuniform Electric Field", 대한전기학회 하계학술대회 논문집. pp 1502-1504, 2006