

평등 및 불평등 전계하에서 순수 Ar, N₂ 가스와 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성

(AC Breakdown Characteristics of Pure Ar, N₂ Gas and
Ar/N₂ Gas Mixtures under Uniform and Non-Uniform Fields)

이상우* · 김인식** · 이동인*** · 이광식*** · 김이국**

(Sang-Woo Lee · In-Sik Kim · Dong-In Lee · Kwang-Sik Lee · Lee-Kook Kim)

요 약

본 연구에서는 평등 및 불평등 전계하에서 58.8~137.3[kPa]의 가스 압력 변화에 따른 순수 Ar 및 N₂ 가스의 교류절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 가스 압력 변화에 따른 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성과 비교하였다. 실험 결과를 요약하면, 평등 및 불평등 전계하에서 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 약 4.8배 및 1.1배 증가된 것으로 나타났으며, 압력이 증가됨에 따라 교류절연파괴전압은 증가되었다. Ar/N₂ 혼합 가스의 절연파괴전압은 순수 N₂ 가스의 혼합비가 적을수록 감소되었으며, 혼합 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Ar 가스에 비해 Ar 가스 혼합 비율이 각각 85[%] 및 70[%]인 경우, 교류절연파괴전압은 평등 전계하에서는 약 1.5 및 2.1배 증가되었으며, 불평등 전계하에서는 약 1.1 및 1.3배 증가되었다. 또한, 불평등 전계하에서 Ar(70%)/N₂(30%) 혼합 가스의 코로나개시전압은 순수 Ar 가스에 비해 약 1.5배 증가되었다.

Abstract

In this paper, the AC breakdown characteristics of pure Ar and N₂ gas with gas pressure range of 58.8~137.3[kPa] under uniform and non-uniform fields were investigated, and the measured values were compared with those in Ar/N₂ gas mixtures with pressure varying. Summarizing the experimental results, the breakdown voltages of pure N₂ gas, under uniform and non-uniform fields, were increased about 4.8 and 1.1 times than those of pure Ar gas, and the AC breakdown voltage increased with the pressure increasing. The breakdown voltages of Ar/N₂ gas mixtures were decreased with decreasing the mixture ratio of N₂ gas. In case of Ar(85%)/N₂(15%) and Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures comparing to the pure Ar gas, the breakdown voltages under uniform field were increased about 1.5 and 2.1 times, and under non-uniform field were increased about 1.1 and 1.3 times at the pressure of 101.3[kPa]. Also, corona inception voltage of Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures under non-uniform fields were increased about 1.5 times than those of pure Ar gas.

Key Words : Ar gas, N₂ gas, Ar/N₂ gas mixtures, Corona, Breakdown voltage.

* 정회원 : 영남대 대학원 전기공학과 에너지 및
환경전자 연구실 박사

E-mail : lesawo77@dreamwiz.com

*** 정회원 : 영남대 공대 전자정보공학부 교수

** 정회원 : 경일대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2001년 7월 11일

최종완료 : 2001년 8월 8일

1. 서론

일반적으로 불연성 가스인 질소(N₂), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 및 크세논(Xe) 등은 자체 연소가 되지 않을 뿐만 아니라 액화 온도가 낮으며, 무해하고 지구 온난화의 영향도 거의 없다. 또한, 순수 Ar 및 Kr 가스는 공기 중에 함유되어 있는 체적비가 대략 0.93 및 0.00011[%]로 미소하여 희유(稀有)가스라 하며, 다른 물질과 화학적인 작용을 하지 않는다. 그리고 순수 Ar 가스에 미량의 순수 N₂ 가스를 주입한 혼합 가스는 조명용 전구에서 필라멘트의 증발을 억제하며, 발광 효율[lm/w]를 높이고 수명 증대를 위해 적정 비율로 혼합 붐입하여 사용하고 있다. 그러나 관련 회사마다 혼합 가스의 절연파괴 특성에 대한 데이터가 불충분하여 그 차이가 큰 것이 현실이다.

또한, 방전을 기본 원리로 점등하는 방전 램프는 방전시 고조파 발생으로 인한 장애가 항상 존재할 우려가 있으며, 자연환경에 유해한 미소량의 수은 등을 혼합가스로 사용하고 있다. 이러한 관점에서 조명용 전구의 발광 효율 및 수명 증대를 사용 중인 전구식 형광등 기구와 같은 고효율 제품을 가일층 향상시키기 위해 높은 효율을 가진 순수 Ar, Kr 및 Xe 가스를 사용하고 있다[1]. 그러므로 arc 방전이 발생하기 쉬운 고효율을 가진 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나개시전압 및 절연파괴 특성 등을 연구할 필요성이 있다. 순수 N₂ 가스보다 분자량이 큰 Ar 및 Kr 가스를 사용하면 열전도율이 낮아서 열의 전도나 대류에 의한 필라멘트가 열을 빼앗기는 현상이 줄어들어 에너지의 소비가 줄어들며, 원자량이 큰 경우 필라멘트의 증발 속도가 느려지는 것으로 보고되고 있다[2][3]. 전구내의 압력이 점차 낮아지면 분자량의 밀도 변화보다 열의 전도나 대류에 의한 열전달이 중요시된다[4]. 조명용 전구의 경우, 점등 시간이 늘어남에 따라 텅스텐이 점진적으로 증발하여 저항은 증가하는데 비해 전류는 감소되며, 이로 인하여 전구의 광속은 점차 감소하게 된다. 이러한 주원인은 주로 텅스텐 재질, 붐입 가스의 순도, 혼합 주입 가스의 비율, 유리구 크기, 점등 조건 등에 의해 큰 영향을 받는다[5][6].

따라서 본 연구에서는 방전 챔버에 수평으로 설치한 평등 및 불평등 전계하에서 상용주파수 전압을 인가하였을 때, 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가

스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 조사하였으며, 전극간 갭 길이를 3, 5 및 7[mm]로 변경하였을 때, 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나개시 및 그에 따른 특성 등을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 가스 혼합 방법

그림 1은 여러 가지 특성을 조사하기 위한 실험 장치이고, 혼합 가스를 일정 비율로 혼합할 수 있도록 설계하였으며, 혼합된 가스를 방전 챔버에 주입할 수 있도록 제작하였다. 그림 1에 나타낸 방전 챔버의 압력은 3[kgf/cm²]이며, Ar/N₂ 가스를 혼합하기 위한 혼합 가스 챔버의 압력은 5[kgf/cm²]로 설계하였다.

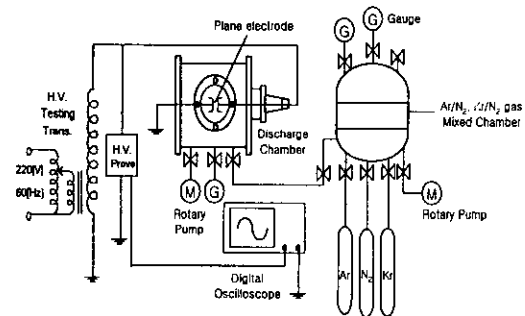


그림 1. 실험 장치
Fig. 1. Experimental setup

Ar/N₂ 혼합 가스에 있어서 게이지 상의 진공도를 완전 진공(760torr)으로 배기 한 후, 가스의 혼합비가 적은 순수 N₂ 가스(순도99.99%)를 먼저 주입하고, 혼합비가 높은 순수 Ar(99.99%) 가스를 적정 비율로 충전하였다. 그리고 혼합 가스의 주입 방법은 챔버의 압력 5[kgf/cm²]를 기준으로 그에 따른 분압 법칙을 적용하였으며, 챔버에 Ar(70%)/N₂(30%) 가스를 혼합하려면, 순수 Ar 가스 3.5[kgf/cm²]와 순수 N₂ 가스 1.5[kgf/cm²]의 비율로 혼합하였다. 또한, 혼합된 가스는 방전 챔버로 해당 압력까지 노즐을 통하여 주입한 후, 교류절연파괴 특성을 조사하였다.

2.2 실험 장치 및 방법

사진 1은 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스

평등 및 불평등 전계하에서 순수 Ar, N₂ 가스와 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성

의 절연파괴 특성을 조사하기 위한 실험 장치의 사진을 나타낸 것이다. 순수 Ar 및 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 조사하기 위해 평등 및 불평등 전계를 형성하고, 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력을 58.8~137.3[kPa]으로 변화하여 실험하였다. 그리고 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 실험에서 전극간 갭 길이는 3, 5 및 7[mm]로 변경하여 실험하였으며, 갭 길이는 gauge block set.(code no. 516-968, set no. bml-32-2, mitutoyo)으로 측정하였다. 평등 전계의 경우, 평판 전극은 직경 75.0[mm], 두께 15.0[mm]인 stainless steel 재질을 사용하였으며, 불평등 전계의 경우에 있어서도 침 전극의 재질은 stainless steel을 사용하였으며, 침 전극의 직경은 10.0[mm], 선단 각은 90도가 되도록 연마하여 실험하였다.



사진 1. 실험 장치 사진
Photo. 1. Photograph of experimental setup
① Ar gas ② N₂ gas ③ Kr gas ④ Gas mixed chamber ⑤ Discharge chamber ⑥ Rotary pump

코로나개시 및 절연파괴 부근의 전류 펄스를 측정하기 위해 평판 전극과 접지 사이에 측정용 무유도 저항 47[Ω]을 삽입하였으며, 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하여 전류 펄스를 관측하였다. 고전압 발생 장치는 입력전압 220[V], 60[Hz], 최대 출력전압 50[kV]인 측정 시스템(Tokyo Transformer Co., Ltd.)으로 실험하였다.

상용 주파수의 인가 전압을 정밀하게 측정하기 위해 분압비가 2000:1인 고압 프로브(High Voltage Probe, type: EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다. 상용 주파수의 인가 전압은 승압 속도 0.1[kV/s]로 전압을 인가하여 절연파괴

특성을 실험하였으며, 절연파괴 측정값은 동일한 조건에서 5회 측정하여 평균한 값을 취하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 순수 Ar 및 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성

3.1.1 평등 전계인 경우

그림 2는 순수 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이며, 그림 3은 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림 2 및 그림 3은 순수 Ar 및 N₂ 가스의 방전 챔버에서 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우, 압력 변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다. 그림 2 및 그림 3에서 나타난 바와 같이 순수 Ar 및 N₂ 가스의 압력이 증가됨에 따라 절연파괴전압은 증가된 것으로 나타났다. 가스 압력의 증가에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 순수 Ar 및 N₂ 가스일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 Ar 가스는 1.13/78.45, 1.81/78.45 및 2.47/78.45[kV/kPa]이었으며, 순수 N₂ 가스는 5.05/78.45, 9.28/78.45 및 12.21/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다. 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 약 4.5, 5.1 및 5.0배 증가된 것으로 나타났다. 순수 Ar 및 N₂ 가스의 갭 길이가 3[mm]에서 5 및 7[mm]로 증가됨에 따라 그에 따른 절연파괴전압 비율은 순수 Ar 가스인 경

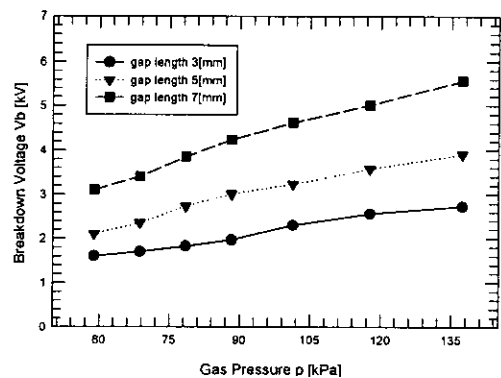


그림 2. 순수 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 2. Breakdown characteristics with pressure variation of pure Ar gas (plane-plane)

우 약 1.6 및 2.2배 이었으며, 순수 N₂ 가스인 경우 약 1.8 및 2.4배 증가된 것으로 나타났다.

그림 2 및 그림 3에서 나타난 바와 같이 순수 Ar 및 N₂ 가스의 절연파괴 특성은 가스 압력이 101.3 [kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 Ar 가스는 2.30, 3.23 및 4.63[kV]이였으며, 순수 N₂ 가스는 7.46, 12.12 및 16.14[kV]인 것으로 나타났다. 그리고 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7 [mm]인 경우, 순수 N₂ 가스의 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 약 3.2, 3.7 및 3.5배 증가된 것으로 나타났으며, 갭 길이가 3[mm]에서 5 및 7[mm]로 증가됨에 따라 그에 따른 절연파괴전압 비율은 순수 Ar 가스인 경우 약 1.4 및 2.0배 이었으며, 순수 N₂ 가스인 경우 약 1.6 및 2.2배 증가된 것으로 나타났다. 평등 전계에서 순수한 Ar 및 N₂ 가스의 절연파괴전압은 원자량이 큰 Ar 및 N₂ 가스의 순으로 인가 전압 증가에 따라 아크 방전으로 인한 전로파괴가 발생하였으며, 가스의 압력이 증가됨에 따라 전로파괴전압은 증가되었다.

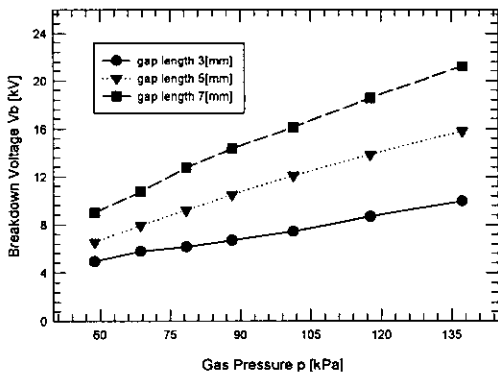


그림 3. 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 3. Breakdown characteristics with pressure variation of pure N₂ gas (plane-plane)

3.1.2 불평등 전계인 경우

그림 4는 순수 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이며, 그림 5는 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림 4 및 그림 5는 순수 Ar 및 N₂ 가스의 방전 챔버의 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우, 압력 변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다.

그림 4 및 그림 5에 나타난 바와 같이 순수 Ar 및 N₂ 가스의 압력이 증가됨에 따라, 절연파괴전압은

증가된 것으로 나타났다. 가스 압력의 증가에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 순수 Ar 및 N₂ 가스 일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 Ar 가스는 1.28/78.45, 2.44/78.45 및 3.38/78.45[kV/kPa]이였으며, 순수 N₂ 가스는 2.18/78.45, 2.46/78.45 및 1.34/78.45 [kV/kPa]인 것으로 나타났다. 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 1.7, 1.0 및 0.4배인 것으로 나타났다. 순수 Ar 및 N₂ 가스의 갭 길이가 3 [mm]에서 5 및 7[mm]로 증가됨에 따라 그에 따른 절연파괴전압의 비율은 순수 Ar 가스인 경우 약 1.9 및 2.6배 이었으며, 순수 N₂ 가스인 경우 약 1.1 및 0.6 배인 것으로 나타났다.

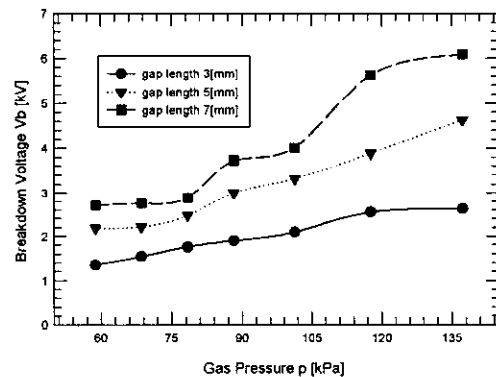


그림 4. 순수 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 4. Breakdown characteristics with pressure variation of Ar gas (needle-plane)

그림 4 및 그림 5에서 나타난 바와 같이 순수 Ar 및 N₂ 가스의 절연파괴 특성은 가스 압력이 101.3 [kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 Ar 가스는 2.10, 3.32 및 4.01[kV]이였으며, 순수 N₂ 가스는 4.34, 5.67 및 6.42[kV]인 것으로 나타났다. 그리고 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 순수 N₂ 가스의 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 2.0, 1.7 및 1.6배 증가된 것으로 나타났으며, 갭 길이가 3[mm]에서 5 및 7[mm]로 증가됨에 따라 그에 따른 절연파괴전압의 비율은 순수 Ar 가스인 경우 약 1.6 및 1.9배 이었으며, 순수 N₂ 가스인 경우 약 1.3 및 1.5배 증가된 것으로 나타났다. 불평등 전계에서 순수 Ar 및 N₂ 가스의 절연파괴전압은 평등 전계에 비해 N₂ 가스에 대한 Ar 가스의 경우,

평등 및 불평등 전계하에서 순수 Ar, N₂ 가스와 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성

갭 길이가 증가됨에 따른 전로파괴전압의 비율이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 또한 가스 압력 변화에 따른 전로파괴전압의 비율도 낮은 것으로 나타났다.

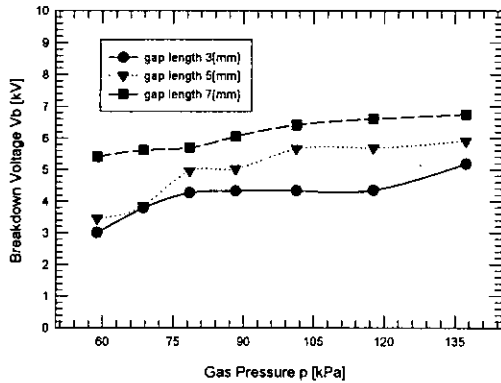


그림 5. 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 5. Breakdown characteristics with pressure variation of N₂ gas (needle-plane)

3.2 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성

3.2.1 평등 전계인 경우

그림 6, 그림 7 및 그림 8은 평등 전계의 경우 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

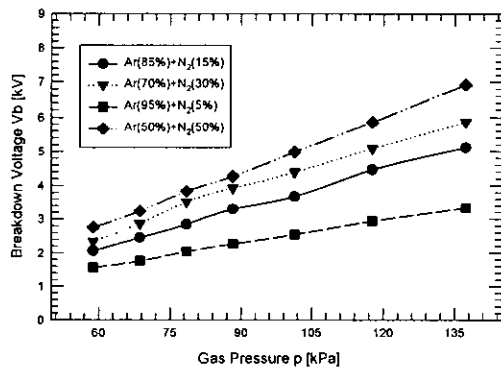


그림 6. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 6. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (plane-plane, gap length 3 [mm])

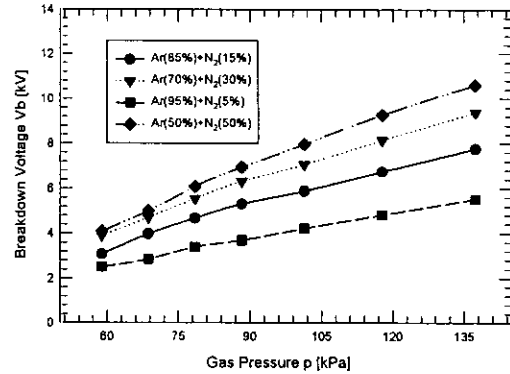


그림 7. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 7. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (plane-plane, gap length 5 [mm])

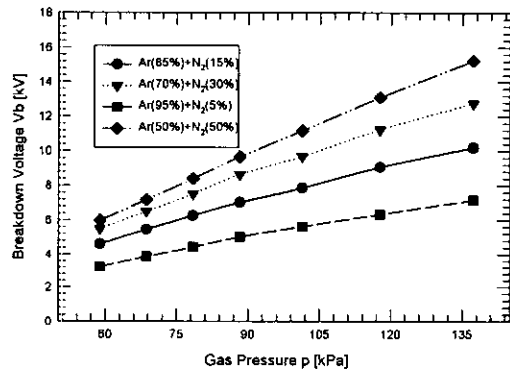


그림 8. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 8. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (plane-plane, gap length 7 [mm])

그림 6, 그림 7 및 그림 8에서 나타난 바와 같이 절연파괴 특성은 일정한 Ar/N₂ 혼합 가스 비율인 경우, 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 혼합 가스 및 가스 압력의 변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]에서 Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 갭 길이가 3[mm]에서는 1.76/78.45, 3.06/78.45, 3.51/78.45 및 4.16/78.45[kV/kPa]이며, 5[mm]에서는 3.02/78.45, 4.69/78.45, 5.49/78.45 및 6.52/78.45[kV/kPa]이고, 7[mm]에서는 3.93/78.45, 5.60/78.45, 7.27/78.45 및 9.27/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다.

갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, Ar 혼합 가스 비

율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 갭 길이 3[mm]에서는 1.6, 2.7, 3.1 및 3.7배 이었으며, 5[mm]에서는 1.7, 2.6, 3.0 및 3.6배 이었고, 7[mm]에서는 1.6, 2.3, 2.9 및 3.8배 증가된 것으로 나타났다.

Ar/N₂ 혼합 가스의 경우 절연파괴 특성은 순수 N₂ 가스의 혼합 비율이 적을수록 절연파괴전압이 저하되는 것으로 나타났으며, 압력 변화에 따른 절연파괴의 변화율도 저하된 것으로 나타났다.

그림 6, 그림 7 및 그림 8에서 나타난 바와 같이 혼합 가스의 절연파괴전압은 가스 압력이 101.3[kPa]인 경우, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]에서 Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 갭 길이가 3[mm]에서는 2.55, 3.68, 4.39 및 4.99[kV]이며, 5[mm]에서는 4.22, 5.89, 7.07 및 7.97[kV]이고, 7[mm]에서는 5.63, 7.87, 9.70 및 11.18[kV]인 것으로 나타났다. 그리고 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]에서 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 갭 길이가 3[mm]에서는 1.1, 1.6, 1.9 및 2.2배 이었으며, 5[mm]에서는 1.3, 1.8, 2.2 및 2.5배 이었고, 7[mm]에서는 1.2, 1.7, 2.1 및 2.4배 증가된 것으로 나타났다.

3.2.2 불평등 전계인 경우

그림 9, 그림 10 및 그림 11은 불평등 전계의 경우, Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

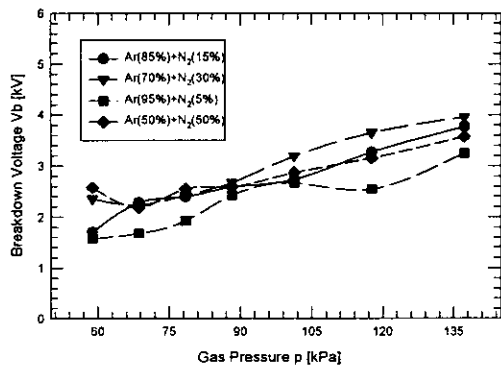


그림 9. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 9. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (needle-plane, gap 3 [mm])

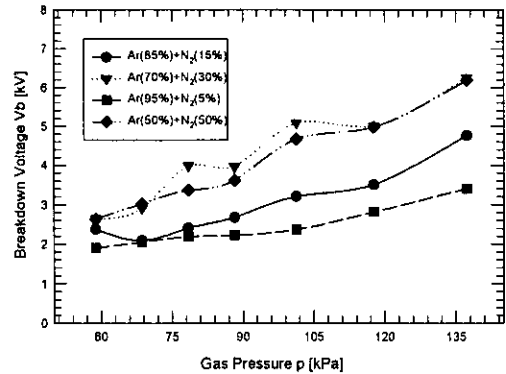


그림 10. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 10. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (needle-plane, gap 5 [mm])

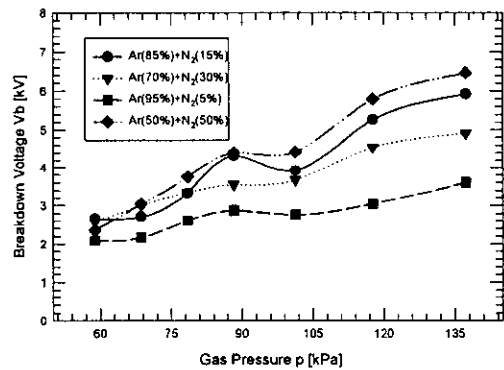


그림 11. 혼합 가스 비율과 압력 변화에 따른 절연파괴
Fig. 11. Breakdown characteristics with gas mixtures ratio and pressure variation (needle-plane, gap length 7 [mm])

그림 9, 그림 10 및 그림 11에서 나타난 바와 같이 절연파괴 특성은 일정한 Ar/N₂ 혼합 가스 비율인 경우, 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 혼합 가스 및 가스 압력의 변화에 따른 절연파괴전압의 증가, 비율은 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]에서 Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 갭 길이가 3[mm]에서는 1.68/78.45, 2.06/78.45, 1.61/78.45 및 1.0/78.45[kV/kPa]이며, 5[mm]에서는 1.51/78.45, 2.39/78.45, 3.61/78.45 및 3.56/78.45[kV/kPa]이고, 7[mm]에서는 1.51/78.45, 3.26/78.45, 2.33/78.45 및 4.11/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다.

갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, Ar 혼합 가스 비

평등 및 불평등 전계하에서 순수 Ar, N₂ 가스와 Ar/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성

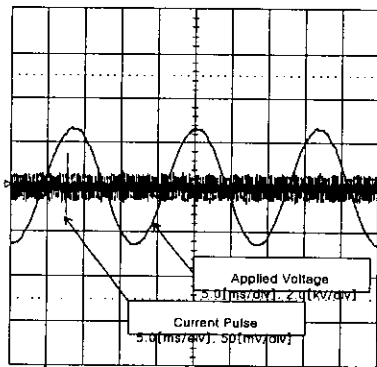
율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 순수한 Ar 가스에 비해 갭 길이가 3 [mm]에서는 1.3, 1.6, 1.3 및 0.8배 이었으며, 5[mm]에서는 0.6, 1.0, 1.5 및 1.5배 이었고, 7[mm]에서는 0.5, 1.0, 0.7 및 1.2배 증가된 것으로 나타났다.

그림 9, 그림 10 및 그림 11에서 나타난 바와 같이 혼합 가스의 절연파괴전압은 가스 압력이 101.3 [kPa]인 경우, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]에서 Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 갭 길이 3 [mm]에서는 2.67, 2.74, 3.19 및 2.87[kV]이며, 5[mm]에서는 2.37, 3.21, 5.09 및 4.67[kV]이고, 7[mm]에서는 2.77, 3.92, 3.67 및 4.43[kV]인 것으로 나타났다. 그리고 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, Ar 혼합 가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]에서 절연파괴 특성은 순수 Ar 가스에 비해 갭 길이 3[mm]에서는 1.3, 1.3, 1.5 및 1.4배 이었으며, 5[mm]에서는 0.7, 1.0, 1.5 및 1.4배 이었고, 7[mm]에서는 0.7, 1.0, 0.9 및 1.1배인 것으로 나타났다.

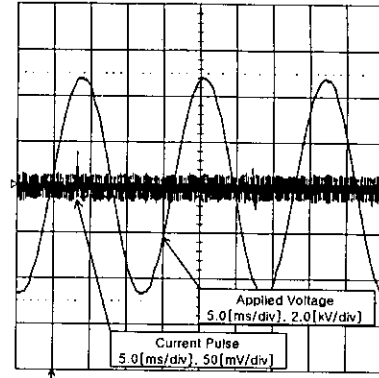
혼합 가스 주입 비율에 의한 시험 결과, 순수 N₂ 가스인 경우에 비해, Ar/N₂ 혼합 가스에서 열전도율에 의한 가스 손실이 줄어들 뿐만 아니라 발광 효율이 증가된 것으로 나타났다.

3.3 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나 특성

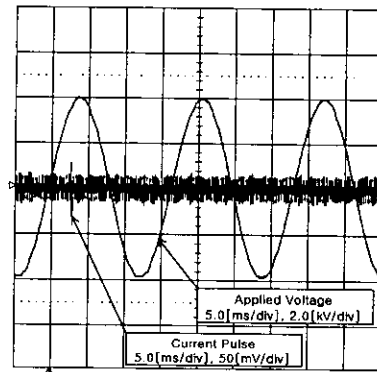
그림 12(a), (b) 및 (c)은 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나 특성을 조사하기 위해 불평등 전계를 형성하여, 코로나개시에 따른 전압 및 전류 파형을 측정하여 나타낸 것이다.



(a) Ar gas



(b) N₂ gas



(c) Ar/N₂ gas mixtures

그림 12. 코로나 개시에 따른 전압 및 전류 파형.
Fig. 12. Voltage and current wave-forms with corona inception

그림 12의 경우, 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력은 101.3[kPa]이고, 갭 길이는 5[mm]로 하였으며, Ar/N₂ 혼합 가스 비율은 Ar(70%)/N₂(30%)로 혼합 주입하였다.

그림 12(a), (b) 및 (c)에서 나타난 바와 같이 코로나개시전압은 순수 Ar 가스, Ar/N₂ 혼합 가스 및 순수 N₂ 가스 순으로 발생된 것으로 나타났다. 그리고 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나개시전압은 1.9, 3.4 및 2.9[kV]인 것으로 나타났다.

또한, 순수 Ar 가스에 비해 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나개시전압은 약 1.5배 증가된 것으로 나타났다. 순수 가스 및 혼합 가스의 경우, 가스 압력이 증가함에 따라 코로나개시전압이 증가된 것으로 나타났으며, 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 코로나

방전에 따른 육안으로 관측한 가시광선의 분포는 순수 Ar 가스는 연한 주황색, N₂ 가스는 파랑색, Ar/N₂ 혼합 가스는 연한 보라색인 것으로 관측되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 불활성 가스인 순수 Ar, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 평등 및 불평등 전계하에서 가스의 압력을 58.8~137.3[kPa]으로 변화시켜, 교류절연파괴 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 평등 및 불평등 전계하에서 순수 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Ar 가스에 비해 약 4.8배 및 1.1배 증가되었으며, 가스 압력이 높을수록 절연파괴전압은 증가되었다.

2) 갭 길이가 증가됨에 따라 절연파괴전압은 평등 전계하에서는 순수 Ar 가스에 비해 순수 N₂ 가스가 1.1배 증가되었으나, 불평등 전계하인 경우에는 0.8배인 것으로 나타났다.

3) Ar/N₂ 혼합 가스에서 순수 Ar 가스에 비해 Ar 가스의 비율이 85[%] 및 70[%]인 경우, 절연파괴전압은 평등 전계하에서는 약 2.5 및 3.0배 증가되었으며, 불평등 전계하에서는 약 1.2 및 1.16인 것으로 나타났다.

4) Ar/N₂ 혼합 가스의 경우, 절연파괴 특성은 순수 N₂ 가스의 혼합 비율이 줄어들수록 절연파괴전압이 저하되는 것으로 나타났으며, 압력 변화에 따른 절연파괴의 변화율도 저하된 것으로 나타났다.

5) Ar/N₂ 혼합 가스에서 갭 길이가 증가됨에 따라 절연파괴전압은 순수 Ar 가스에 비해 Ar 가스의 비율이 85[%] 및 70[%]인 경우 평등 전계하에서는 약 0.6 및 0.65배 이었으며, 불평등 전계하에서는 약 0.5배 및 0.47배인 것으로 나타났다.

6) 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Ar 가스에 비해 Ar(70%)/N₂(30%) 혼합 가스의 코로나개시전압은 약 1.5배 증가된 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

(1) W. E. Thouret, R. Kaufman and J. W. Orlando, "Energy and cost saving Krypton filled incandescent lamps", Journal of IES Tran., pp. 188-197, 1975.
 (2) I. Amdur and E. A. Mason, "Properties of Gases at Very

High Temperatures", The Physics of Fluids, Vol. 1, No. 5, pp. 370-383, 1958.

(3) Richard H. Clapp, "Thermionic Emission in gas-filled incandescent lamps", Illuminating Engineering, pp. 357-362, 1950.
 (4) J. R. Coaton, C. Eng., M. I. E. E. and L. Inst. P., "The optimum operating gas pressure for incandescent tungsten filament lamps", Lighting Research and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 98-103, 1969.
 (5) R. C. Koo, L. J. Parascandola and J. Shungan "Pressure Effects of the Fill Gas on the Filament Life of an Incandescent Lamp", Journal of IES Tran., pp. 317-322, 1974.
 (6) G. Bergmann and P. Certhsen, "Electrical breakdown in gas-filled incandescent lamps", Lighting Research and Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 159-165, 1972.

◇ 저자소개 ◇

이 상 우 (李相雨)

1967년 4월 11일생. 1992년 경일대학교 전기공학과 졸업. 2000년 영남대 공대 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남이공대학 강사.

김 인 식 (金寅湜)

1953년 10월 3일생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990~1991년 美國 University of Southern California대 초빙 교수. 현재 경일대학교 전기공학과 교수.

이 동 인 (李東仁)

1936년 10월 19일생. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(박사). 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문 교수. 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수.

이 광 식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology대 초빙 교수. 현재 당 학회 부회장. 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 영남대 산업대학원장.

김 이 국 (金利國)

1946년 9월 30일생. 1969년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경일대학교 전기공학과 부교수.