

압력변화에 따른 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

(Breakdown Characteristics of Ar/N₂ and Kr/N₂ Gas Mixtures with Pressure Variation)

이상우* · 이동인 · 이광식 · 김인식 · 김이국 · 배영호

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

요 약

본 연구는 방전챔버내에 각종 가스의 압력(58.8-137.3[kPa]) 변화에 따른 순수가스인 Kr, Ar 및 N₂가스의 절연 특성을 조사하고, 혼합가스인 Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 절연 특성과 비교하였다. 또한, 실용 백열전구내의 혼합가스에 위한 각종 특성을 조사하였다. 실험 결과, N₂가스의 압력변화에 따른 절연 특성은 큰 분자량을 가진 Kr 및 Ar가스에 비하여 증가되었으며, 가스의 압력이 증가됨에 따라 절연파괴전압은 증가되었다. Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 절연파괴전압은 N₂가스의 혼합비가 적을수록 감소되었으며, Kr(70%)/N₂(30%)가스의 코로나개시전압은 Ar(70%)/N₂(30%)가스에 비해 증가되었다. 일반 백열전구에서 Ar(70%)/N₂(30%)가스인 경우에 비해, Kr(70%)/N₂(30%)가스에서 광속과 수명이 대략 94[lm] 및 380[hr]으로 증가되었다. 백열전구내의 냉각온도가 20 [°C]일 때 혼합가스 주입압력은 40[°C]에 비해 대략 13[%] 증가되었다.

Abstract

In this paper, breakdown characteristics of pure Kr, Ar and N₂ gas with gas pressure range were investigated, and the measured values were compared with those in Ar/N₂ and Kr/N₂ gas mixtures with pressure varying. Also, various characteristics with gas mixtures in practical incandescent lamps were investigated. Summarizing the experimental results, the breakdown voltages of N₂ gas were increased than those of Kr and Ar gas with large molecular weight, and the breakdown voltage increased with gas pressure increasing. The breakdown voltages of Ar/N₂ and Kr/N₂ gas mixtures were decreased with decreasing the mixtures ratio of N₂ gas, and corona inception voltage of Kr/N₂ gas mixtures under non-uniform fields were increased than those of Ar/N₂ gas mixtures. In case of practical incandescent lamps, luminous and lifetime of Kr(70%)/N₂(30%) gas mixtures were increased about 94[lm] and 380[hr] than those of Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures, and injection pressure of gas mixtures with cooling temperature of 20[°C] in incandescent lamps were increased about 13[%] than those with cooling temperature of 40[°C].

Key Words : Ar/N₂ and Kr/N₂ gas mixtures, Luminous and Lifetime, Gas injection pressure, Corona

* 주저자 : 영남대 대학원 전기공학과 에너지 및 환경전자
연구실 박사

Tel : 053-810-1517, Fax : 053-813-8230

E-mail : lesawo77@dreamwiz.com

접수일자 : 2001년 12월 1일

1차심사 : 2001년 12월 4일

최종완료 : 2001년 12월 20일

1. 서 론

순수 Ar 및 Kr가스는 다른 물질이나 불순물에 화학적인 작용을 하지 아니하며, 순수 Ar가스에 미량의 순수 N₂가스를 주입한 혼합가스는 조명용 백열전구

에서 필라멘트의 증발을 억제할 뿐만 아니라 발광효율[lm/W]를 높이고, 수명을 증대시키기 위해서 적정 비율로 혼합 봉입하여 사용하고 있다. 또한, 발광효율 및 수명을 증대시키기 위한 목적으로 크립톤전구의 봉입가스를 Kr/N₂가스에서 N₂/Ar/Kr/Xe가스로 교체하려는 연구가 진행되고 있다[1].

조명용 백열전구의 경우, 각종 고효율 램프와 같이 발광효율 및 수명 특성 등을 가일층 향상시키기 위하여 높은 발광효율을 가진 순수 Kr 및 Xe가스를 사용하고 있다[2][3]. 그러나 이들 가스들은 높은 발광 효율성을 가지고 있는 것에 비해서 전구내 미립자로 인해 부분적으로 방전이 발생하여 필라멘트의 단선을 초래하는 경우가 있다. 그러므로 arc방전이 발생하기 쉬운 고효율을 가진 순수 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나개시 및 절연파괴 특성 등을 연구할 필요성이 있다.

순수 N₂가스보다 분자량이 큰 순수 Ar 및 Kr가스를 사용하면 열전도율이 낮아서 열의 전도나 대류에 의해 필라멘트가 열을 빼앗기는 현상이 줄어들어 발광효율을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 에너지의 소비가 줄어드는 이점이 있으나, 양극에서 arc방전이 발생하기 쉽다는 결점이 있다. 또한, 원자량이 큰 경우 발광원에서 발산하는 열전도율이 느려지므로 필라멘트의 증발 속도가 저하되어 조명용 백열전구의 경우 수명이 연장되는 것으로 알려지고 있다[4][5].

조명용 백열전구의 점등 시간이 늘어남에 따라 필라멘트가 점진적으로 증발하여 저항은 증가하는데 비해 전류는 감소되며, 이로 인하여 전구의 광속은 점차 감소하게 된다. 이러한 주요 원인은 필라멘트의 재질, 봉입가스의 순도, 주입가스의 비율, 유리구의 크기, 점등조건 등에 의해 큰 영향을 받는 것으로 알려지고 있다[6][7].

따라서 본 연구는 방전챔버내에 수평으로 설치한 평등 및 불평등전계하에서 상용주파수 전압을 인가하였을 때, 가스의 압력(58.8-137.3[kPa])변화에 따른 Kr, Ar, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂가스의 절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 평등 및 불평등전계하에서 갭길이를 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우, 압력변화에 따른 절연파괴 특성을 조사하였다.

순수 Kr, Ar, N₂가스, Ar/N₂와 Kr/N₂가스의 코로나개시 및 절연파괴전압을 조사하였으며, 실용 백열전구내에 Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스를 주입한 경우, 그에

따른 발광효율[lm/W], 광속[lm] 및 수명[hr]을 조사하였다. 그리고 가열된 백열전구내의 냉각온도에 따른 전구내의 가스 압력을 시험하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 순수 Kr, Ar 및 N₂가스의 혼합법

사진 1은 순수 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂가스의 절연파괴전압을 조사하기 위한 실험장치의 사진을 나타내었으며, 저진공에서 고기압까지 유지할 수 있도록 설계하였다. 사진 1의 방전챔버내의 압력은 294.2[kPa]이며, Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스를 혼합하기 위한 혼합가스 챔버내의 압력은 490.3[kPa]로 설계하였다. Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 경우, 혼합가스를 주입하기 전에 혼합 챔버내를 절대압력을 기준으로 대략 0[kPa 진공]으로 배기 한 후, 가스의 혼합비가 높은 N₂가스(순도99.99%)를 먼저 주입하고, 혼합비가 높은 Ar(99.99%) 및 Kr가스(순도99.99%)를 적정 비율로 충전하였다. 그리고 혼합가스의 주입 방법은 챔버내 압력 490.3[kPa]를 기준으로 그에 따른 분압법칙을 적용하였다. 그 예로 챔버내에 Ar(70%)/N₂(30%)가스를 혼합하려면, 챔버에 Ar가스 343.2[kPa]와 N₂가스 147.1[kPa]의 비율로 혼합하였다. 혼합가스는 방전 챔버내로 해당 시험 압력까지 노즐을 통하여 주입한 후, 절연파괴 특성을 조사하였다.

2.2 실험장치 및 방법

사진 1에서 방전챔버내에 평등 및 불평등전계를 각각 형성하였다. 그리고 방전챔버내 가스의 압력변화에 따른 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂가스의 절연파괴전압을 조사하였다. 순수가스 및 혼합가스의 절연파괴 특성에서 전극간 갭은 3, 5 및 7[mm]로 변경하여 실험하였으며, 전극간 갭길이는 gauge block set.(code no. 516-968, set no. bml-32-2, mitutoyo)으로 측정하였다.

전극의 형상은 평등전계인 경우, 평판전극은 직경 75.0[mm], 두께 15.0[mm]인 stainless steel 재질을 사용하였다. 그리고 불평등전계인 경우, 침전극은 직경 10.0[mm], 선단각은 90도로 연마하였으며 전극의 재질은 평판전극과 동일한 stainless steel을 사용하였다.

코로나개시에 따른 전류펄스를 측정하기 위해서 평판전극과 접지 사이의 도선에 무유도저항 47[Ω]을

압력변화에 따른 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

삽입하였으며, 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하여 전류펄스를 관측하였다.

고전압 발생장치는 상용주파수 입력전압 220[V], 최대출력전압 50[kV]인 측정시스템(Tokyo Transformer Co., Ltd.)으로 실험하였다. 인가전압을 정밀하게 측정하기 위하여 분압비가 2000 : 1인 고압프로브(High Voltage Probe, type: EP-50K, 일본 Pulse Electronic Eng. Co.)를 사용하였으며, 인가전압은 승압 속도 0.1 [kV/s]로 인가하여 절연파괴전압을 조사하였다.



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

3. 실험결과 및 고찰

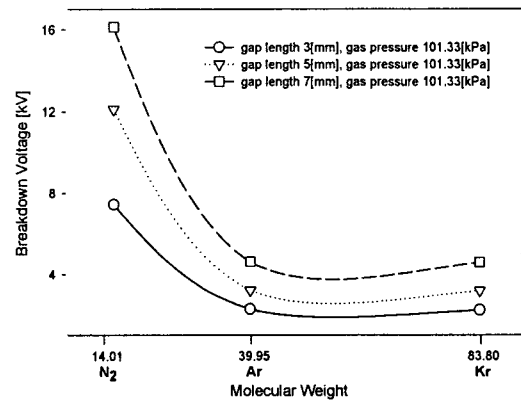
3.1 Ar, Kr 및 N₂가스의 절연파괴 특성

그림 1(a) 및 2(a)는 평등전계인 평판대평판전극, 그림 1(b) 및 2(b)는 불평등전계인 침대평판전극으로 형성하였다. 그리고 그림 1(a) 및(b)에서 가스의 압력을 101.3[kPa]으로 일정하게 유지하고 전극간 갭길이를 3, 5 및 7[cm]로 변경한 경우, N₂, Ar 및 Kr가스의 분자량에 따른 교류절연파괴전압을 나타내었다.

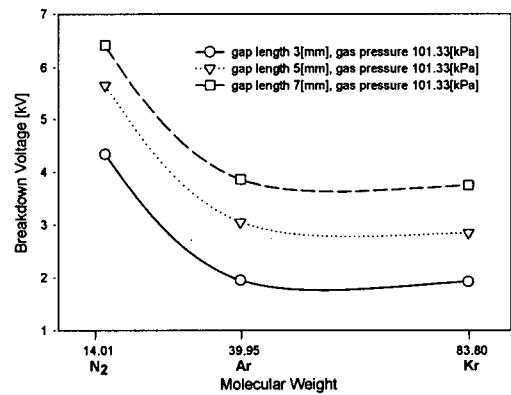
그림 1(a) 및(b)의 경우, Kr, Ar 및 N₂가스의 절연파괴전압은 분자량이 큰 순수 Kr, Ar 및 N₂가스의 순으로 인가전압이 증가됨 따라 방전으로 인한 전로 파괴가 발생된 것으로 나타났다. 이는 분자량이 증가됨에 따라 분자들의 거리가 짧아지는 것은 물론이고 평균자유행로가 짧아지므로 인하여 gas 방전이 가속화되는 것이라고 생각된다.

그림에서 나타난 바와 같이 가스의 압력이 101.3 [kPa]일 때, 갭길이가 3[mm]에서 5 및 7[mm]로 증가됨에

따라 그에 따른 절연파괴전압 비율은 평등전계에서는 Ar가스 약 1.4 및 2.0배, Kr가스 약 1.4 및 2.0배, N₂가스 약 1.6 및 2.2배 증가되었다. 그리고 불평등전계에서는 Ar가스는 약 1.5 및 1.9배, Kr가스는 약 1.4 및 1.9배, N₂가스는 약 1.3 및 1.5배 증가되었다.



(a) 평등전계



(b) 불평등전계

그림 1. 일정한 가스압력하에서 분자량과 절연파괴전압의 관계

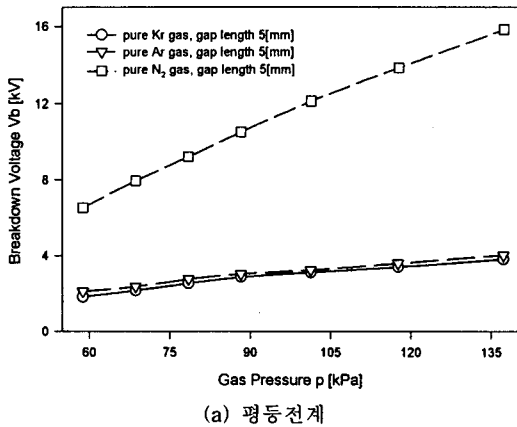
Fig. 1. Relation between molecular weight and breakdown voltages under gas pressure 101.3 [kPa]

그림 2(a) 및(b)은 대표적으로 전극간 갭길이를 5 [cm]로 하였을 때, Kr, Ar 및 N₂가스의 압력변화에 따른 교류절연파괴 특성을 나타내었다.

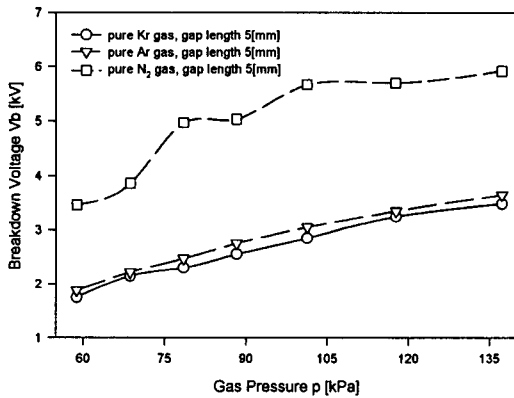
그림 2(a) 및(b)에 나타난 바와 같이 Kr, Ar 및 N₂가스의 주입 압력이 증가함에 따라 절연파괴전압은 증가되었다. 그리고 N₂가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압은 Kr 및 Ar가스에 비해 평등전계인 경우

에는 대략 5.0배 증가되었으며, 불평등전계에서는 대략 1.4배 증가된 것으로 나타났다.

그림 2(a)의 평등전계에 비해 그림 2(b)의 불평등전계인 경우, Kr, Ar 및 N₂가스의 절연파괴전압의 비율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한, 가스압력 변화에 따른 절연파괴전압의 비율도 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 불평등전계하에서는 매우 강한 전계가 침단 부분에 집중적으로 형성됨으로 인하여 gas방전이 쉽게 일어나기 때문이라고 생각된다.



(a) 평등전계



(b) 불평등전계

그림 2. Kr, Ar 및 N₂가스의 압력변화에 따른 절연파괴 특성

Fig. 2. Breakdown characteristics with pressure variation of pure Ar, Kr and N₂ gas

3.2 Ar/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

3.2.1 평등전계인 경우

Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스에서 전극간 갭길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, 압력변화에 따른 절연파괴전압의 특성

은 혼합가스의 비율에 따라서 거의 일치하는 특성이므로 대표적으로 전극간 갭길이를 5[mm]로 하였다.

그림 3은 평등전계인 경우이고, 그림 4는 불평등전계인 경우, Ar/N₂가스를 방전챔버내에 주입하여 대표적으로 전극간 갭길이가 5[mm]인 경우, 혼합가스의 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다.

그림 3에 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 일정한 Ar/N₂가스 비율에서 가스의 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 그리고 혼합가스 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 Ar가스 비율이 85[%]인 경우, 대략 4.69/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다. 그리고 Ar가스 비율이 85[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 대략 2.6배 증가된 것으로 나타났다.

그림 3에 나타난 바와 같이 혼합가스의 절연파괴전압은 가스의 압력이 101.3[kPa]일 때, Ar가스 비율이 85[%]인 경우, 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 대략 1.8배 증가된 것으로 나타났다.

그림 3에 나타난 바와 같이 Ar/N₂가스의 경우, 절연파괴전압은 N₂가스의 혼합 비율이 적을수록 절연파괴전압이 저하된 것으로 나타났으며, 압력변화에 따른 절연파괴전압의 변화율도 저하되었다.

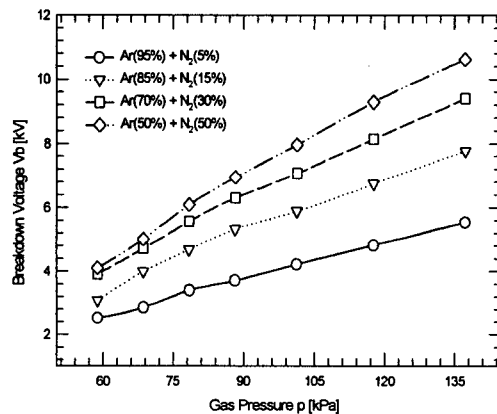


그림 3. Ar/N₂가스 비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성

Fig. 3. Breakdown characteristics with Ar/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.2.2 불평등전계인 경우

혼합가스로 주입 봉입된 각종 전구내의 경우, 미

압력변화에 따른 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

량의 공기나 이물질이 함유되어 있거나, 필라멘트 연결부 등의 전계가 불균일한 곳에서 부분적으로 방전이 발생하면 필라멘트가 발열하여 단선 되는 경우가 있다. 그림 4에 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 3.2.1절의 평등전계인 경우와 동일하게 일정한 Ar/N₂ 가스의 주입 비율에서 가스의 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다.

Ar/N₂가스 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 Ar가스의 비율이 85[%]인 경우, 대략 2.48/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났으며, Ar가스의 주입 비율이 85[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 대략 1.4배인 것으로 나타났다.

혼합가스인 Ar/N₂가스의 평등전계인 경우에 비해, 불평등전계하에서 대표적인 갭길이가 5[mm]인 경우, Ar가스 비율이 85[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 대략 0.5배로 감소된 것으로 나타났다.

그림 4에 나타난 바와 같이 Ar/N₂가스의 절연파괴전압은 가스의 압력이 101.3[kPa]일 때, Ar가스 비율이 85[%]인 경우, 대략 3.21[kV]인 것으로 나타났다. 그리고 가스압력이 101.3[kPa]일 때, Ar가스 비율이 85[%]에서 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 대략 1.1배인 것으로 나타났다.

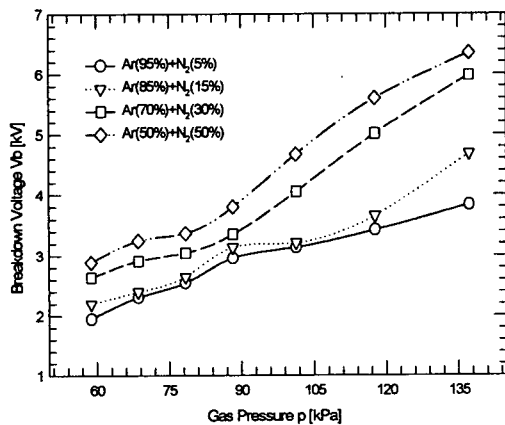


그림 4. Ar/N₂가스 비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성
Fig. 4. Breakdown characteristics with Ar/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.3 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

3.3.1 평등전계인 경우

그림 5는 평등전계인 경우이고, 그림 6은 불평등전계인 경우, Kr/N₂가스를 방전챔버내에 주입하여 대표적으로 갭길이가 5[mm]인 경우, 혼합가스의 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 일정한 Kr/N₂가스의 비율에서 가스의 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 그리고 혼합가스의 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 Kr가스 비율이 85[%]인 경우 대략 4.42/78.45 [kV/kPa]인 것으로 나타났다. 또한, Kr가스 비율이 85[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Kr가스에 비해 대략 2.2배 증가되었다.

그림 5에 나타난 바와 같이 혼합가스의 절연파괴전압은 가스의 압력이 101.3[kPa]일 때, Kr가스 비율이 85[%]인 경우, 절연파괴전압은 순수 Kr가스에 비해 대략 1.7배 증가된 것으로 나타났다.

Kr/N₂ 및 Ar/N₂가스의 경우, 절연파괴전압은 N₂ 가스의 혼합 비율이 적을수록 저하되었으며, 분자량이 Ar가스에 비해 큰 Kr가스에서 N₂가스의 혼합 비율에 따라 Ar/N₂가스에 비해 Kr/N₂가스인 경우 절연파괴 전압이 저하된 것으로 조사되었다.

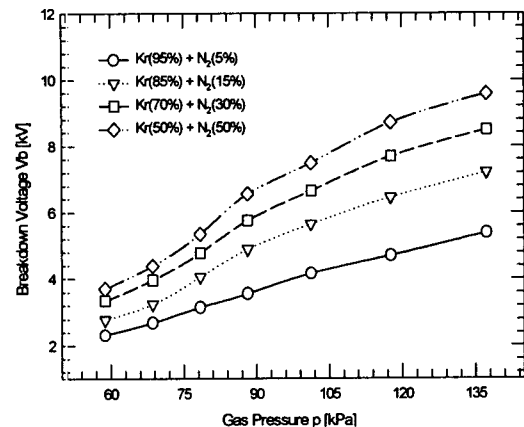


그림 5. Kr/N₂가스 비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성
Fig. 5. Breakdown characteristics with Kr/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.3.2 불평등전계인 경우

그림 6에 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 일정한 Kr/N₂가스의 주입 비율에서 가스의 압력이 높아짐에 따라 증가되었으나, 평등전계인 경우에 비해 증

가된 비율이 매우 낮은 것으로 나타났다. Kr/N₂가스의 비율과 가스의 압력변화에 따른 절연과피 전압의 증가 비율은 Kr가스의 비율이 85%인 경우, 대략 2.01/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다. 그리고 Kr가스의 주입 비율이 85%일 때, 압력변화에 따른 절연과피전압은 순수 Kr가스에 비해 대략 1.2배인 것으로 나타났다.

혼합가스인 Kr/N₂가스의 평등전계인 경우에 비해, 불평등전계하에서 대표적인 갭길이가 5[mm]인 경우, Kr가스의 비율이 85%일 때, 압력변화에 따른 절연과피전압은 대략 0.5배로 감소된 것으로 나타났다.

또한, Kr/N₂가스의 절연과피전압은 가스의 압력이 101.3[kPa]일 때, Kr가스의 비율이 85%에서 절연과피전압은 순수 Kr가스에 비해 대략 1.0배인 것으로 나타났다.

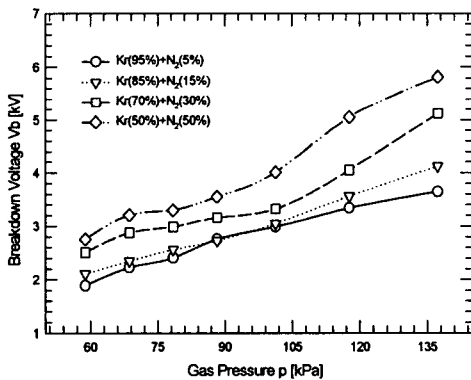


그림 6. Kr/N₂가스 비율과 압력변화에 따른 절연과피 특성
Fig. 6. Breakdown characteristics with Kr/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.3 Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 코로나 특성

그림 7은 Ar/N₂가스에서 코로나개시에 의한 특성을 조사하기 위해 불평등전계를 형성하여, 대표적인 Ar/N₂가스의 코로나개시에 의한 전압 및 전류펄스 파형을 측정하여 나타낸 것이다.

그림 7의 경우, Ar/N₂가스의 압력은 101.3[kPa]이고, 전극간 갭길이는 5[mm]로 하였다. 그리고 Ar/N₂가스의 주입 비율은 Ar(70%)/N₂(30%)로 주입하였다. 그림 7과 같이 불평등전계인 경우에는 코로나방전을 거쳐 arc방전으로 이행되며, 순수가스 및 혼합가스에 있어서 코로나개시전압이 발생하는 순서는 Kr, Ar,

Kr/N₂, Ar/N₂ 및 N₂가스 순으로 관측되었다.

또한, 가스의 압력이 증가됨에 따라 코로나개시전압이 증가된 것으로 관측되었다.

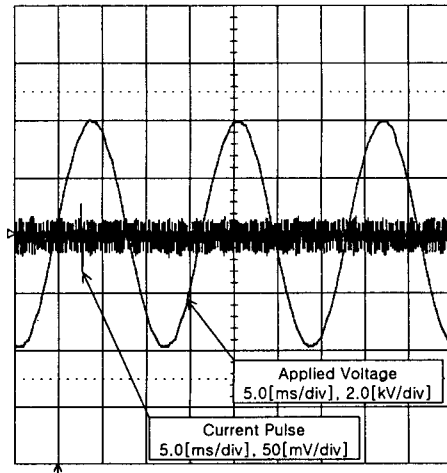


그림 7. Ar/N₂가스의 코로나개시에 따른 전압 및 전류 파형
Fig. 7. Voltage and current wave-forms with corona inception of Ar/N₂ gas mixtures

3.4 실용 백열전구의 경우 혼합가스에 따른 발광효율, 광속 및 수명 특성

백열전구의 경우 적정 혼합가스비는 전구내의 발광효율, 광속 및 수명 특성에 매우 중요한 영향을 차지하고 있다. 또한, 적절한 가스혼합비는 필라멘트의 증발을 억제하며, 광속 및 수명을 증가시킬 뿐만 아니라 arc방전을 미연에 방지하여 발열로 인한 필라멘트의 단선을 방지하는 중요한 역할을 하고 있다.

그림 8은 백열전구의 혼합가스비에 따른 광속 및 수명 특성을 실측하여 나타낸 것이다.

그림 8의 경우, 백열전구의 체적은 134[mm]이고 일반용 필라멘트를 사용하였으며 상용주파수 220[V]를 인가하였다. 그리고 백열전구에 혼합된 가스를 주입하기 전에 절대압력을 기준으로 0.04[Pa]의 압력까지 배기 한 후, 해당 비율로 혼합가스를 충전하여 백열전구의 발광효율, 광속 및 수명 등을 실측하여 나타낸 것이다. 그림 8에 나타난 바와 같이 혼합가스비가 70 및 85%인 경우, Ar가스를 기준으로 한 혼합가스비는 Ar(70%)/N₂(30%) 및 Ar(85%)/N₂(15%)로 혼합하여 충전하였으며, Kr가스를 기준으로 한 혼합가스비는 Kr(70%)/N₂(30%) 및 Kr(85%)/N₂(15%)로 충전하였다.

압력변화에 따른 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

그림 8에서 혼합가스비에 대한 광속의 변화 비는 Ar(70%)/N₂(30%)가스에 비해 Kr(70%)/N₂(30%)가스의 경우, 발광효율, 광속 및 수명 특성은 16, 15 및 21[%]로 증가된 것으로 나타났으며, Ar(85%)/N₂(15%)가스에 비해 Kr(85%)/N₂(15%)가스의 경우, 발광효율, 광속 및 수명 특성은 12, 11 및 0.5[%]로 나타났다. 또한, 혼합가스 주입비가 Kr(85%)/N₂(15%)가스의 경우, 순수 Kr가스의 혼합비가 증가됨에 따라 arc방전이 빈번히 발생하여 전구의 수명이 급격히 저하된 것으로 관측되었다. 이러한 이유는 분자량이 순수 Ar가스에 비해 큰 순수 Kr가스는 필라멘트의 증발을 억제하는 역할을 하는 반면, 절연파괴전압이 낮아 arc방전에 의한 영향이 큰 것이라고 생각된다.

백열전구의 가스혼합 비율에 대한 시험결과, Ar/N₂ 혼합가스인 경우에 비해, Kr/N₂ 혼합가스에서 열전도율에 의한 가스의 손실이 줄어들 뿐만 아니라 전구의 발광효율 및 광속이 증가되었으며 또한, 수명이 연장된 것으로 나타났다.

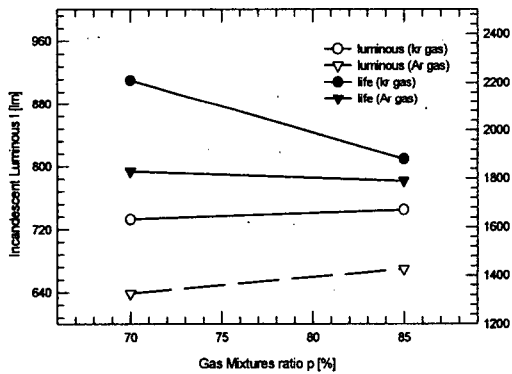


그림 8. 백열전구내의 혼합가스비에 따른 광속 및 수명 특성
Fig. 8. Characteristics of luminous and lifetime with gas mixtures ratio in incandescent lamps

3.5 실용 백열전구의 경우 전구의 가열 및 냉각온도에 따른 혼합가스 주입 특성

백열전구내의 혼합가스 주입비는 전구의 광속 및 수명에 큰 영향을 주므로 매우 중요하다. 백열전구에 있어서 혼합가스 주입비를 최적화 하면, 발광효율을 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 다른 불순물의 존재를 최대한 억제 할 수 있으므로 점등 초기 arc방전을 미연에 방지 할 수 있는 효과가 있다.

그림 9는 백열전구의 경우, 가열된 전구내의 냉각 온도에 따른 혼합가스 주입비를 측정하여 나타낸 것이다. 그림 9의 경우, 혼합가스의 주입 압력시험은 백열전구의 전체 체적 134[mm]에 대한 대기압하에서 액체의 부피를 먼저 측정하고, 시험용 전구에서 주입된 가스의 압력에 액체를 투입하여 그 투입량을 제외함으로써 시험용 전구의 가스 주입 압력을 산출하였다. 그림 9의 경우, 혼합가스는 Ar(70%)/N₂(30%)의 비율로 혼합하여 주입하였으며, 혼합된 가스를 주입하기 전에 전구내의 진공도는 0.04[Pa]로 일정하게 유지하였다. 그림 9에 나타난 바와 같이 백열전구의 가스 주입 압력을 최적화 하기 위해 혼합된 가스를 주입하기 전에 가열시킨 전구를 냉각장치로 25[°C]까지 냉각한 경우, 혼합된 가스 주입 압력은 94[kPa]인 것으로 나타났으며, 가열된 전구내의 냉각온도가 40[°C]인 경우에 비해 대략 13[%]의 혼합가스 주입 압력이 증가된 것으로 나타났다.

이러한 이유는 전구내 혼합가스를 주입하기 전에, 전구내를 고온으로 가열하여 공기의 팽창을 크게 한 상태에서 그 팽창된 공기를 진공으로 배기 하였다. 그리고 전구내를 실온까지 급냉하여 잔류된 공기 밀도를 수축케 하고 나서, 혼합가스를 주입함으로써 가스 주입 압력이 크게 증가된 것으로 나타났다.

따라서 전구내 혼합된 가스의 압력을 최대화하면, 공기 등으로 인한 초기 arc방전을 억제하는 것은 물론이고 발광효율 및 수명의 극대화가 가능하다.

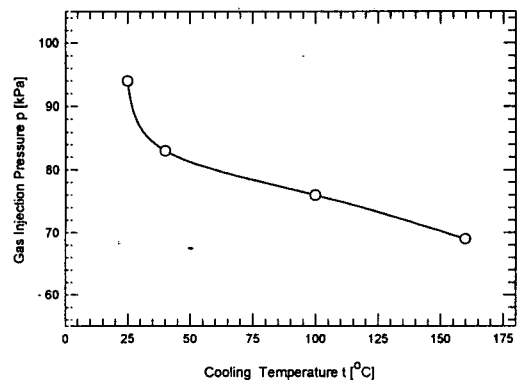


그림 9. 백열전구내의 냉각온도에 따른 혼합가스 주입 압력 특성
Fig. 9. Characteristics of gas injection pressure with cooling temperature in incandescent lamps

4. 결 론

본 연구는 Kr, Ar, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂가스의 평등 및 불평등전계하에서 가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압을 실험하였다. 그리고 실용 백열전구의 경우, 전구내의 혼합가스에 따른 발광효율, 광속 및 수명을 시험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 가스의 압력에 따른 절연파괴전압은 가스의 주입 압력이 높을수록 증가되었으며, Kr, Ar 및 N₂가스 순으로 절연파괴전압이 저하되었다.

2) Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 절연파괴전압은 가스의 압력이 높아짐에 따라 증가되었으며, 평등전계인 경우에 비해 불평등전계하에서 증가된 비율이 낮은 것으로 나타났다.

3) Kr/N₂가스에서 분자량이 Ar가스에 비해 큰 Kr가스에서 N₂가스 혼합 비율에 따라 Ar/N₂가스에 비해 Kr/N₂가스인 경우 절연파괴전압이 저하되었다.

4) Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스의 경우, 절연파괴전압은 N₂가스의 혼합비가 줄어들수록 절연파괴전압이 저하되었으며, 압력변화에 따른 절연파괴전압의 변화율도 저하되었다.

5) 백열전구내의 혼합가스 주입이 Ar(70%)/N₂(30%)에 비해, Kr(70%)/N₂(30%)인 경우 광속은 대략 94[lm], 수명은 380[hr]으로 증가되었다. 그리고 열전도율에 의한 가스의 손실이 줄어든 것으로 나타났다.

6) 백열전구내의 가스 주입비를 최적화 하기 위해 고온으로 가열시킨 전구를 진공으로 배기 한 후, 냉각장치를 사용하여 40[°C]으로 냉각한 경우에 비해, 25[°C]로 냉각하여 혼합가스를 주입하였을 때, 가스의 주입 압력이 대략 13[%] 증가되었다.

References

- [1] Akihiro Kamiya, "Incandescent Lamps" J. Illum. Engng. Inst. Jpn., Vol. 80, No. 8B, pp. 586-587, 1996.
- [2] 이상우, 이동인, 이광식, 김인식, 김이국, 배영호, "압력 변화에 따른 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성", 한국조명·전기설비학회, 2001년도 학술대회논문집, pp. 1744-1746, 2001.11.1.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Richard H. Clapp, "Thermionic Emission in gas-filled incandescent lamps", Illuminating Engineering, pp. 357-362, 1950.
- [6] R. C. Koo, L. J. Parascandola and J. Shurgan "Pressure Effects of the Fill Gas on the Filament Life of an Incandescent Lamp", Journal of IES Tran., pp. 317-322, 1974.
- [7] G. Bergmann and P. Gerthsen, "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.

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 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 영남대 산업대학원장.

김 인 식 (金寅澁)

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

김 이 국 (金利國)

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

배 영 호 (裴英鎬)

1953년 9월 11일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 버지니아 주립대학 방문 교수. 현재 경일대학교 전기공학과 교수.