

AC Breakdown Characteristics of Ar/N₂ and Kr/N₂ Gas Mixtures

李相雨* · 金寅湜** · 李東仁*** · 李廣植*** · 金利國**

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

Abstract - In this paper, the ac breakdown characteristics of pure Ar, Kr 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 and Kr/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 about 4.4 and 1.2 times than those of pure Kr 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 pure 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 1.8 and 2.2 times, and under non-uniform field were increased about 1.1 and 1.3 times at the pressure of 101.3[kPa]. Also, in case of Kr(85%)/N₂(15%) and Kr(70%)/N₂(30%) gas mixtures comparing to the pure Kr gas, the breakdown voltages under uniform field were increased about 1.7 and 2.0 times, and under non-uniform field were increased about 1.0 and 1.2 times. Corona inception voltage of Kr(70%)/N₂(30%) gas mixtures under non-uniform fields were increased about 1.28 times than those of Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures. In case of practical incandescent lamps, luminous and lifetime of Kr(70%)/N₂(30%) gas mixtures were increased about 1.15 and 1.21 times than those of Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures.

Key Words : pure Ar, Kr and N₂ gas, Ar/N₂ and Kr/N₂ gas mixtures, Breakdown voltage, Incandescent lamp.

1. 서 론

아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 및 제논(Xe) 등의 불연성 가스는 자체 연소가 되지 않을 뿐만 아니라 액화 온도가 낮으며, 무해하고 지구 온난화의 영향도 거의 없는 실정이다.

순수 Ar 및 Kr가스는 공기 중에 함유되어 있는 체적 비율이 약 0.93 및 0.00011[%]로 미소하여 희유(稀有)가스라고도 하며, 다른 물질이나 불순물과 화학적인 작용을 하지 아니한다. 그리고 순수 Ar가스에 미량의 순수 N₂가스를 주입한 혼합된 가스는 조명용 전구에서 필라멘트의 증발을 억제하여 수명을 증대하고, 발광 효율[lm/w]를 높일 수 있으므로 적정 비율로 붐핑하고 있다. 그러나 여러 관련 회사마다 혼합가스의 적정 비율이나 절연파괴 특성 등에 대한 데이터가 불충분하여 그 차이가 큰 것이 현실이다.

전력 에너지 저감형 전구나 형광램프는 동일한 크기의 경우에도 소비되는 전력을 감소시키고 발광 효율을 극대화하기 위해 순수 Kr가스를 혼합하여 사용하고 있다. 조명용 백열전구에서도 각종 고효율 램프와 같이 발광 효율 및 수명

특성 등을 가일층 향상시키기 위해 높은 발광 효율을 가진 순수 Kr 및 Xe가스를 사용하고 있다[1][7]. 그러나 이들 가스들은 높은 발광 효율성을 가지고 있는 것에 비해 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 교류절연파괴 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 발광 효율을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 에너지의 소비가 줄어드는 이점이 있으나, 양극에서 arc방전이 발생하기 쉬운 결점이 있다.

또한, 순수 Ar, Kr 및 Xe가스와 같이 원자량이 큰 경우 발광원에서 발산하는 열전도율이 느려지므로 인하여 조명용 전구에서 필라멘트의 증발 속도가 느려지고 전구 수명이 연장되는 것으로 알려지고 있다[2][3].

조명용전구의 경우, 전구내의 압력이 점차 낮아지면, 원자량의 밀도 변화보다 열의 전도나 대류에 의한 열전달이 매우 중요시된다[4]. 그리고 전구의 점등시간이 늘어남에 따라 필라멘트가 점진적으로 증발하여 저항은 증가하는데 비해 전류는 감소되며, 이로 인하여 전구의 광속은 점차 감소하게 된다. 이러한 주요 원인은 주로 필라멘트의 재질, 붐핑가스의 순도, 혼합 주입가스의 비율, 유리구의 크기, 점등조건 등

* 正會員 : 嶺南大 電氣工學科 에너지 및 環境電磁研

** 正會員 : 慶一大 電氣工學科 教授 · 工博

*** 正會員 : 嶺南大 電子情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 9月 17日

最終完了 : 2001年 11月 8日

에 따라 큰 영향을 받는 것으로 알려지고 있다[5][6].

따라서 본 연구에서는 방전 챔버에 수평으로 설치한 평등 및 불평등전계하에서 상용주파수 전압을 인가하였을 때, 58.8~137.3[kPa]의 압력 변화에 따른 순수 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 평등 및 불평등전계하에서 갭 길이를 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우, 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 조사하였다. 또한, 순수 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나개시 및 그에 따른 특성 등을 조사하였으며, 백열 전구에 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스를 주입한 경우, 그에 따른 발광효율[lm/w], 광속[lm] 및 수명[hr] 특성을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 혼합법

그림 1은 여러 가지 특성을 조사하기 위한 실험장치이며, 저진공에서 고기압까지 유지할 수 있도록 하였다. 그리고 순수가스를 일정 비율로 혼합할 수 있도록 설계하였으며, 혼합된 가스를 방전 챔버에 주입할 수 있도록 제작하였다. 그림 1에 나타난 방전 챔버의 압력은 294.2[kPa]이며, Ar/N₂ 및 Kr/N₂가스를 혼합하기 위한 혼합 가스 챔버의 압력은 490.3[kPa]으로 설계하였다. Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 경우, 혼합가스를 주입하기 전에 혼합 챔버내에 절대압력을 기준으로 거의 완전진공(계기압력인 경우 101.3[kPa 진공]) 상태로 배기 한 후, 가스의 혼합비가 적은 N₂가스(순도99.99%)를 먼저 주입하고, 혼합비가 높은 Ar(99.99%) 및 Kr(순도 99.99%)가스를 적정 비율로 충전하였다. 그리고 혼합 가스의 주입 방법은 챔버의 압력 490.3[kPa]을 기준으로 그에 따른 분압 법칙을 적용하였으며, 챔버에 Ar(70%)/N₂(30%)가스를 혼합하려면, 챔버에 Ar가스 343.2[kPa]와 N₂가스 147.1[kPa]의 비율로 혼합하였다.

또한, 혼합된 가스는 방전 챔버로 해당 시험압력까지 노즐을 통하여 주입한 후 교류절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 혼합가스 챔버의 혼합가스비율은 Ar 및 Kr가스를 50-90[%]으로 변화시켜 충전하였을 때, N₂가스를 50-10[%]으로 변화시켜 충전하였다.

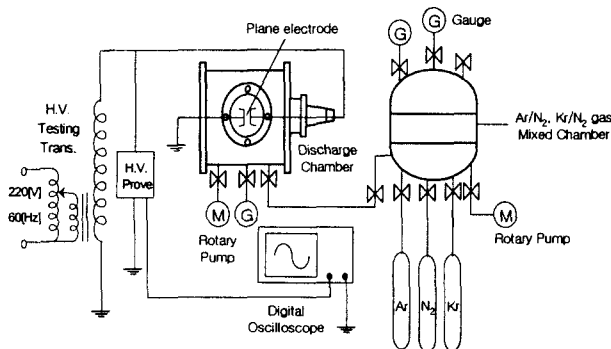


그림 1 실험장치의 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

2.2 실험장치 및 방법

그림 2는 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성을 조사하기 위한 실험 장치 사진을 나타 내었다. 그리고 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하기 위해 평등 및 불평등전계를 형성하고, 58.8~137.3[kPa]의 압력을 변화하여 실험하였다.

순수가스 및 혼합가스의 교류절연파괴 실험의 경우, 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.

평등전계의 경우, 평판전극은 직경 75.0[mm], 두께 15.0[mm]인 stainless steel 재질을 사용하였다. 그리고 불평등전계의 경우에도 침전극의 재질은 stainless steel을 사용하였으며, 침전극의 직경은 10.0[mm], 선단 각은 90도가 되도록 연마하여 실험하였다. 코로나개시에 의한 방전전류펄스를 측정하기 위해 평판 전극과 접지 사이의 도선에 무유도저항 47[Ω]을 삽입하였으며, 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하여 전류펄스를 관측하였다.

고전압 발생장치는 입력전압 220[V], 60[Hz], 최대출력전압 50[kV]인 측정시스템(Tokyo Transformer Co., Ltd.)으로 실험하였다. 상용 주파수의 인가전압을 정밀하게 측정하기 위해 분압비가 2000:1인 고압프로브(High Voltage Probe, type: EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다. 상용 주파수 인가전압은 승압 속도 0.1[kV/s]로 인가하여 절연파괴 특성을 조사하였으며, 그에 따른 측정값은 동일한 조건에서 5회 측정하여 평균한 값을 취하였다.



그림 2 실험장치의 사진
Fig. 2 Photograph of experimental setup

- ① Ar ② N₂ ③ Kr ④ Gas mixed chamber ⑤ Discharge chamber ⑥ Rotary pump.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력변화에 따른 순수한 Ar, Kr 및 N₂가스의 절연파괴 특성

3.1.1 평등전계인 경우

그림 3(a), (b) 및 (c)은 평등전계인 평판대평판전극으로 형성하여 순수 Ar, Kr 및 N₂가스 중에서 방전 챔버의 전극

간 갭길이를 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우 압력변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

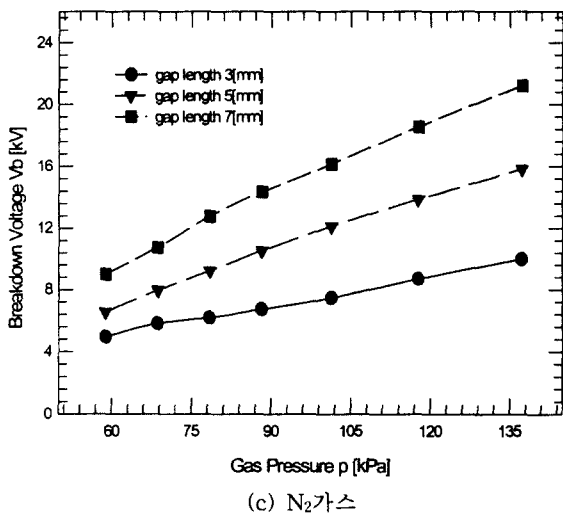
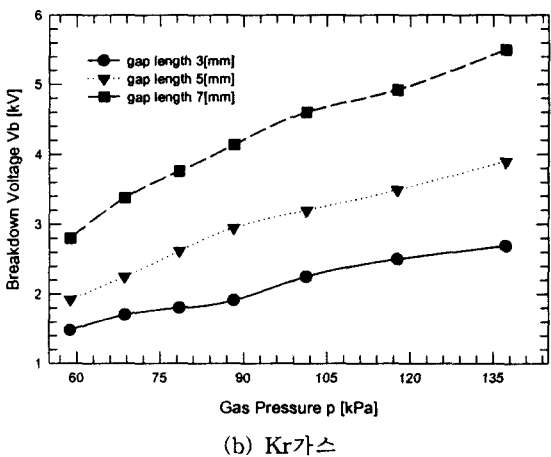
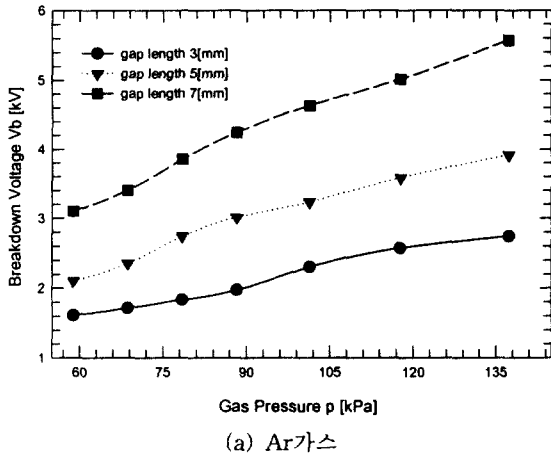


그림 3 평등전계하에서 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성

Fig. 3 Breakdown characteristics with pressure variation of pure Ar, Kr and N₂ gas under uniform field

그림 3(a), (b) 및 (c)에 나타난 바와 같이 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 압력이 증가됨에 따라 절연파괴전압은 증가되었다. 그리고 갭길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우, N₂가스의 압력 변화에 따른 절연파괴전압은 Ar가스에 비해 약 4.5, 5.1 및 5.0배, Kr가스에 비해 약 4.2, 4.7 및 4.5배 증가된 것으로 나타났다. 그림 3(a), (b) 및 (c)에서 Ar, Kr 및 N₂가스의 절연파괴전압은 가스압력이 101.3[kPa]일 때, 갭 길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우 Ar가스는 2.30, 3.23 및 4.63[kV], Kr가스는 2.25, 3.20 및 4.60[kV], N₂가스는 7.46, 12.12 및 16.14[kV]인 것으로 나타났다.

그림 3(a), (b) 및 (c)에서 나타난 바와 같이 평등전계인 경우, 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 절연파괴전압은 원자량이 큰 순수 Kr, Ar 및 N₂가스의 순으로 인가 전압 증가에 따라 gas방전으로 인한 전로파괴가 발생한 것으로 나타났다.

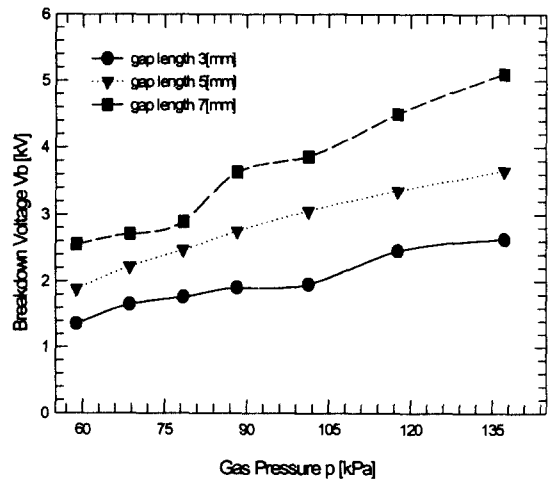
이러한 이유는 원자량이 증가됨에 따라 분자들의 거리가 짧아지는 것은 물론이고 평균자유행로가 짧아지므로 인하여 gas방전이 가속화되는 것으로 생각된다.

3.1.2 불평등전계인 경우

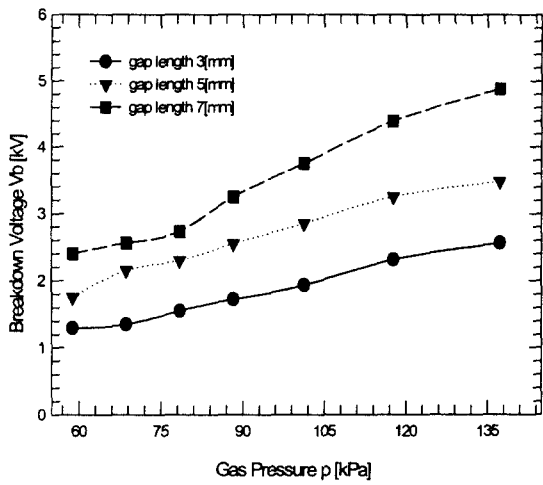
혼합가스로 주입된 전구의 경우 미량의 공기나 이물질이 함유되어 있거나, 필라멘트 연결부 등의 전계가 불균일한 부근에 부분적으로 방전이 발생하면 필라멘트가 발열하여 단선 될 수 있다. 그림 4(a), (b) 및 (c)은 불평등전계인 침대 평판전극으로 형성하여 순수 Ar, Kr 및 N₂가스 중에서 방전 챔버의 전극간 갭길이를 3, 5 및 7[mm]로 변경한 경우 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

그림 4(a), (b) 및 (c)에 나타난 바와 같이 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 가스압력이 증가됨에 따라 3.1.1절의 평등전계인 경우의 특성과 동일하게 절연파괴전압은 증가되었다.

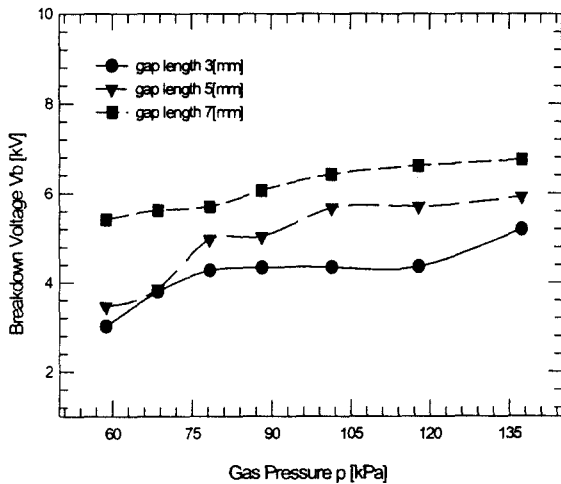
그림 4에서 갭길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우 N₂가스의 압력 변화에 따른 절연파괴전압은 Ar가스에 비해 약 1.7, 1.3 및 0.5배, Kr가스에 비해 약 1.7, 1.4 및 0.5배인 것으로 나타났다. 그림 4(a), (b) 및 (c)에서 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 절연파괴전압은 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 갭길이가 3, 5 및 7[mm]인 경우 Ar가스는 약 1.95, 3.05 및 3.86[kV], Kr가스는 약 1.93, 2.85 및 3.75[kV], N₂가스는 약 4.34, 5.67 및 6.42[kV]인 것으로 나타났다.



(a) Ar가스



(b) Kr가스



(c) N2가스

그림 5에서 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 일정한 Ar/N₂ 혼합가스 비율에서 가스압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 혼합가스비율과 가스 압력의 변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 대표적으로 갭길이가 5[mm]에서 순수 Ar 혼합가스비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우 약 3.02, 4.69, 5.49/78.45 및 6.52/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다. 그리고 그림 5에 나타난 바와 같이 순수 Ar 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력 변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 약 1.7, 2.6, 3.0 및 3.6배 증가되었다. 그림 5에 나타난 바와 같이 혼합 가스의 절연파괴전압은 가스압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Ar 혼합가스비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 약 4.22, 5.89, 7.07 및 7.97[kV]인 것으로 나타났다.

그림 5에서 나타난 바와 같이 Ar/N₂ 혼합가스의 경우, 절연파괴전압은 순수 N₂가스의 혼합 비율이 적을수록 절연파괴전압이 저하되는 것으로 나타났으며, 압력변화에 따른 절연파괴의 변화율도 저하되었다.

그림 4 불평등전계하에서 순수 Ar, Kr 및 N₂가스의 압력변화에 따른 절연파괴 특성

Fig. 4 Breakdown characteristics with pressure variation of pure Ar, Kr and N₂ gas under non-uniform field

그림 4(a), (b) 및 (c)의 불평등전계에 순수 Ar, Kr 및 N₂ 가스의 절연파괴전압은 그림 3(a), (b) 및 (c)의 평등전계에 비해 N₂가스에 대한 Ar 및 Kr가스의 경우, 갭길이 증가에 따라 절연파괴전압 비율이 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한, 가스 압력변화에 따른 절연파괴전압의 비율도 매우 낮은 것으로 나타났다.

3.2 압력변화에 따른 Ar/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

3.2.1 평등전계인 경우

그림 5는 평등전계인 경우, 대표적인 Ar/N₂ 혼합가스의 압력변화에 따른 교류절연파괴 특성을 나타낸 것이다. 그리고 그림 5 및 그림 6은 Ar/N₂ 혼합가스를 챔버에 주입하여 대표적으로 갭길이가 5[mm]인 경우, 혼합가스 비율과 가스 압력변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다.

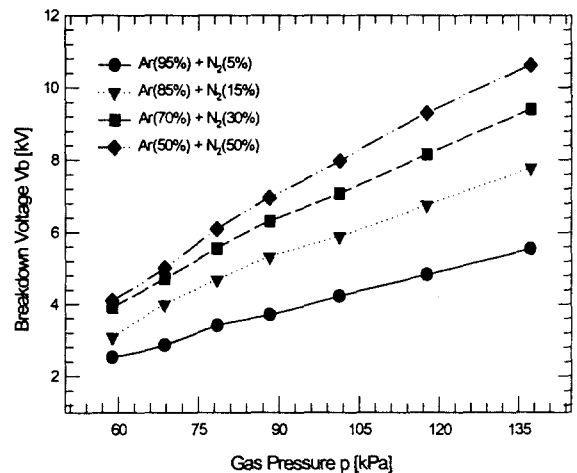


그림 5 대표적인 Ar/N₂ 혼합가스비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성 (평판-평판전극, 갭길이 5[mm])

Fig. 5 Breakdown characteristics with typical Ar/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.2.2 불평등전계인 경우

그림 6은 불평등전계의 경우 대표적인 Ar/N₂ 혼합가스의 압력변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

그림 6에서 나타낸 바와 같이 Ar/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성은 가스압력이 높아짐에 따라 증가되었다.

Ar/N₂ 혼합가스비율과 가스압의 변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 Ar 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 약 1.88, 2.48, 3.34/78.45 및 3.46/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다.

그림 6에 나타난 바와 같이 순수 Ar 혼합가스 주입비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Ar가스에 비해 약 1.1, 1.4, 1.8 및 1.9배인 것으로 나타났다. 혼합가스인 Ar/N₂의 평등전계인 경우에 비해 불평등전계하에서 대표적인 갭길이가 5[mm]인 경우, 순수 Ar 혼합가스비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력변화에 따른

절연파괴전압은 약 0.6, 0.5, 0.6 및 0.5배로 감소된 것으로 나타났다.

그림 6에 나타난 바와 같이 Ar/N₂ 혼합가스의 절연파괴 전압은 가스압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Ar 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우 약 3.14, 3.21, 4.05 및 4.67 [kV]인 것으로 나타났다.

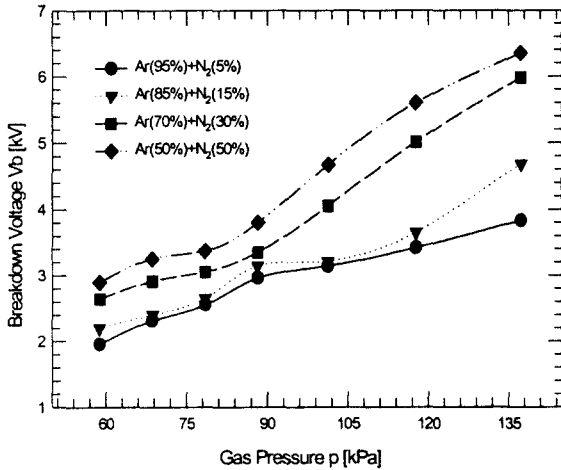


그림 6 대표적인 Ar/N₂ 혼합가스비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성 (침-평판전극, 갭길이 5[mm])

Fig. 6 Breakdown characteristics with typical Ar/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.3 압력변화에 따른 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성

3.3.1 평등전계인 경우

그림 7은 평등전계인 경우 대표적인 Kr/N₂ 혼합가스의 압력변화에 따른 절연파괴전압 특성을 나타낸 것이다. 그리고 그림 7 및 그림 8은 Kr/N₂ 혼합가스를 챔버에 주입하여 대표적으로 갭길이 5[mm]인 경우, 혼합가스 비율과 가스 압력변화에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것이다.

그림 7에 나타난 바와 같이 절연파괴전압은 일정한 Kr/N₂ 혼합가스 비율에서 가스 압력이 높아짐에 따라 증가된 것으로 나타났다. 그리고 혼합가스비율과 가스압력변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 순수 Kr 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우 약 3.07, 4.42, 5.14/78.45 및 5.88/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다.

그림 7에 나타난 바와 같이 순수 Kr 혼합가스비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전압은 순수 Kr가스에 비해 약 1.5, 2.2, 2.6 및 3.0배 증가되었다. 그림 7에 나타난 바와 같이 혼합가스의 절연파괴전압은 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Kr 혼합가스비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우 약 4.16, 5.65, 6.65 및 7.49[kV]인 것으로 나타났다.

Kr/N₂ 및 Ar/N₂ 혼합가스의 경우 절연파괴전압은 순수 N₂가스의 혼합비율이 적을수록 저하되었으며, 분자량이 순수 Ar가스에 비해 큰 순수 Kr가스에서 순수 N₂가스 혼합비율에 따라 Ar/N₂ 혼합가스에 비해 Kr/N₂ 혼합가스인 경우 절연파괴전압이 저하된 것으로 조사되었다.

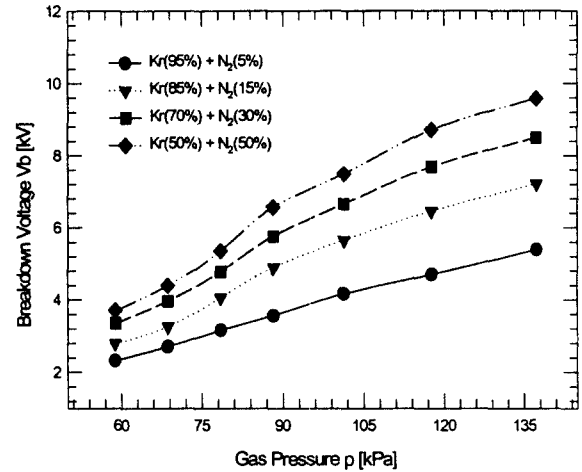


그림 7 대표적인 Kr/N₂ 혼합가스비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성 (침-평판전극, 갭길이 5[mm])

Fig. 7 Breakdown characteristics with typical Kr/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

3.3.2 불평등전계인 경우

그림 8은 불평등전계의 경우 대표적으로 Kr/N₂ 혼합가스의 압력변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

그림 8에 나타난 바와 같이 교류절연파괴 특성은 일정한 Kr/N₂ 혼합가스 주입 비율에서 가스압력이 높아짐에 따라 증가되었으나, 평등전계인 경우에 비해 증가된 비율이 매우 낮은 것으로 나타났다. Kr/N₂ 혼합가스비율과 가스압력의 변화에 따른 절연파괴전압의 증가 비율은 순수 Kr 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 약 1.76, 2.01, 2.61/78.45 및 3.06/78.45[kV/kPa]인 것으로 나타났다.

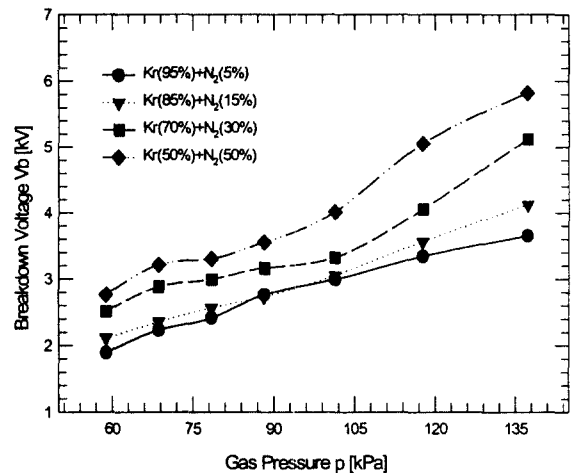


그림 8 대표적인 Kr/N₂ 혼합가스비율과 압력변화에 따른 절연파괴 특성 (침-평판전극, 갭길이 5[mm])

Fig. 8 Breakdown characteristics with typical Kr/N₂ gas mixtures ratio and pressure variation

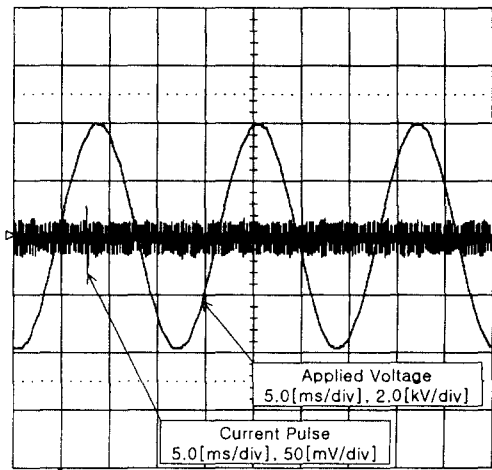
그림 8에 나타난 바와 같이 순수 Kr 혼합가스 주입 비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력변화에 따른 절연파괴전

압은 순수 Kr가스에 비해 약 1.0, 1.2, 1.5 및 1.7배인 것으로 나타났다. 혼합가스인 Kr/N₂의 평등전계인 경우에 비해, 불평등전계하에서 대표적인 갭길이가 5[mm]인 경우, 순수 Kr 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]일 때, 압력 변화에 따른 절연파괴전압은 약 0.6, 0.5, 0.6 및 0.5배로 감소된 것으로 나타났다.

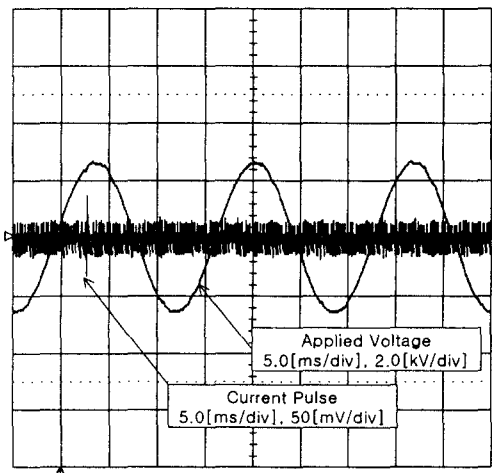
그림 8에 나타난 바와 같이 Kr/N₂ 혼합가스의 절연파괴 전압은 가스 압력이 101.3[kPa]일 때, 순수 Kr 혼합가스 비율이 95, 85, 70 및 50[%]인 경우, 약 2.99, 3.05, 3.32 및 4.01 [kV]인 것으로 나타났다.

3.3 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나 특성

그림 9(a) 및 (b)은 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스에서 코로나 개시에 의한 특성을 조사하기 위해 불평등전계를 형성하여 대표적인 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나개시에 의한 전압 및 전류 파형을 측정하여 나타낸 것이다.



(a) Ar/N₂ 혼합가스



(b) Kr/N₂ 혼합가스

그림 9 대표적인 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나개시에 따른 전압 및 전류 파형 (침-평판전극, 갭길이 5[mm])

Fig. 9 Voltage and current wave-forms with corona inception of typical Ar/N₂ and Kr/N₂ gas mixtures

그림 9(a) 및 (b)의 경우, Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 압력은 101.3[kPa]이고, 전극간 갭길이는 5[mm]로 하였다. 그리고 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스 주입 비율은 각각 Ar(70%)/N₂(30%) 및 Kr(70%)/N₂(30%)로 주입하였다.

그림 9와 같이 불평등전계인 경우에는 corona방전을 거쳐 전로파괴로 이행되며, 순수가스 및 혼합가스의 경우, 코로나개시가 발생하는 순서는 Kr, Ar, Kr/N₂, Ar/N₂ 및 N₂가스 순으로 일어나는 것으로 관측되었다.

Kr(70%)/N₂(30%) 혼합가스에 비해 Ar(70%)/N₂(30%) 혼합가스의 코로나개시전압은 약 1.28배 증가되었으며, 가스압력이 증가됨에 따라 코로나개시전압이 증가된 것으로 관측되었다. Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 코로나개시에 따른 육안으로 관측한 가시광선 영역의 분포는 Ar/N₂ 혼합가스는 연한 보라색, Kr/N₂ 혼합가스는 진한 보라색인 것으로 관측되었다.

3.4 백열전구의 경우, 혼합가스비율 및 종류에 따른 발광효율, 광속 및 수명 특성

백열전구에서 혼합가스 주입비율은 전구의 발광효율, 광속 및 수명 특성에 매우 중요한 영향을 차지하고 있는 실정이다. 또한, 백열전구의 경우 적절한 혼합가스 주입비율은 필라멘트의 증발을 억제하며, 광속 및 수명을 증가시킬 뿐만 아니라 arc방전을 미연에 방지하여 발열로 인한 필라멘트의 단선을 방지하는 중요한 역할을 하고 있다.

그림 10은 백열전구의 혼합가스 주입비율에 따른 광속 및 수명 특성을 실측하여 나타낸 것이다.

그림 10의 경우, 백열전구의 체적은 134[mm³]이고 일반 전구용 필라멘트를 사용하였으며 상용주파수 220[V]를 인가하였다. 그리고 백열전구에 혼합된 가스를 주입하기 전에 전구내의 절대압력을 기준으로 0.04[Pa]의 압력으로 배기 한 후, 해당 비율로 혼합가스를 충전하여 광속 및 수명을 실측하여 나타낸 것이다.

그림 10에 나타난 바와 같이 혼합가스비율이 70[%] 및 85[%]인 경우, Ar가스를 기준으로 한 혼합가스비율은 각각 Ar(70%)/N₂(30%) 및 Ar(85%)/N₂(15%)로 혼합 충전하였으며, 그리고 Kr가스를 기준으로 하였을 때 혼합가스비율은 각각 Kr(70%)/N₂(30%) 및 Kr(85%)/N₂(15%)로 혼합 충전하였다. 그림 10에서 혼합가스 주입비율에 대한 광속의 변화 비율은 Ar(70%)/N₂(30%)인 혼합가스에 비해 Kr(70%)/N₂(30%)인 혼합가스의 경우, 발광효율, 광속 및 수명 특성은 16[%], 15[%] 및 21[%]로 증가된 것으로 나타났다. 그리고 Ar(85%)/N₂(15%)인 혼합가스에 비해 Kr(85%)/N₂(15%)인 혼합가스의 경우 발광효율, 광속 및 수명 특성은 12[%], 11[%] 및 0.5[%]인 것으로 나타났다.

또한, 혼합가스 주입비율이 Kr(85%)/N₂(15%)인 혼합가스의 경우, 순수 Kr가스의 혼합비율이 증가됨에 따라 arc방전이 빈번히 발생하여 전구의 수명이 급격히 저하된 것으로 관측되었다. 이러한 이유는 원자량이 Ar가스에 비해 큰 Kr가스는 필라멘트의 증발을 억제하는 역할을 하는 반면, 절연

파괴전압이 낮아 arc방전에 의한 영향이 큰 것이라고 생각된다. 백열전구의 혼합가스 주입비율에 대한 시험결과, 적정 비율의 Ar/N₂ 혼합가스인 경우에 비해, Kr/N₂ 혼합가스에서 열전도율에 의한 가스 손실이 줄어들 뿐만 아니라 전구의 발광효율 및 광속이 증가되었으며, 수명이 연장되었다.

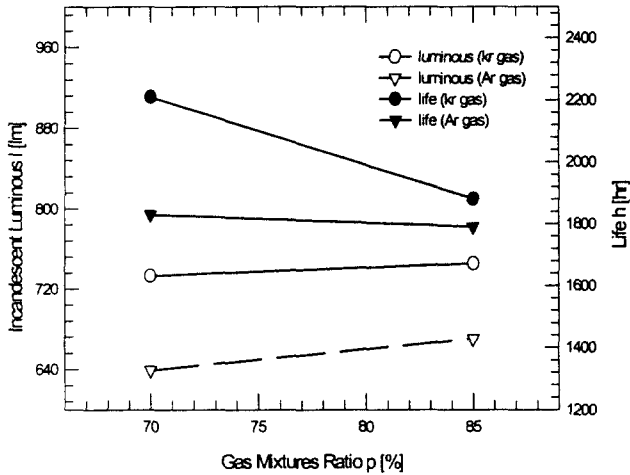


그림 10 백열전구의 혼합가스비율에 따른 광속 및 수명특성
Fig. 10 Characteristics of luminous and lifetime with gas mixtures ratio in incandescent lamps

3.5 백열전구의 가열 및 냉각온도에 따른 가스주입 압력 시험

백열전구의 경우 혼합가스 주입압력을 최적화 하면 발광 효율을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 다른 불순물의 존재를 최대한 억제할 수 있으므로 arc방전을 미연에 방지할 수 있어서 점등 초기 필라멘트의 단선을 예방할 수 있다.

그림 11은 백열전구의 경우 가열된 전구내의 냉각온도에 따른 혼합가스 주입압력을 측정하여 나타낸 것이다.

그림 11의 경우, 혼합된 가스의 주입압력시험은 백열전구의 전체 체적 134[mm³]에 대한 대기압하에서 액체의 부피를 먼저 측정하고, 시험용 전구에서 주입된 가스압력에 액체를 투입하여 그 투입량을 제외함으로써 시험용 전구의 가스주입압력을 산출하였다.

그림 11의 경우, 혼합가스는 Ar(70%)/N₂(30%)의 비율로 혼합하여 주입하였으며, 혼합된 가스를 주입하기 전에 전구내는 절대압력을 기준으로 0.04[Pa]로 일정하게 유지하였다.

그림 11에 나타난 바와 같이 백열전구의 혼합가스 주입압력을 최적화 하기 위해 혼합된 가스를 주입하기 전에 가열시킨 전구를 냉각장치로 25[°C]까지 냉각한 경우, 혼합된 가스의 주입압력은 94[kPa]인 것으로 나타났으며, 가열된 전구내의 냉각온도가 40[°C]인 경우에 비해 약 13[%]의 혼합가스 주입압력이 증가된 것으로 나타났다.

이러한 이유는 전구내 혼합된 가스를 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, 혼합된 가스를 주입함으로써 혼합가스 주입압력이 증가되었

다. 따라서 전구내 혼합된 가스압력을 최대화하면, 여분의 공기나 기타 불순물 등으로 인한 초기 arc를 억제하는 것은 물론이고 발광효율 및 수명 특성 등을 극대화 할 수 있다.

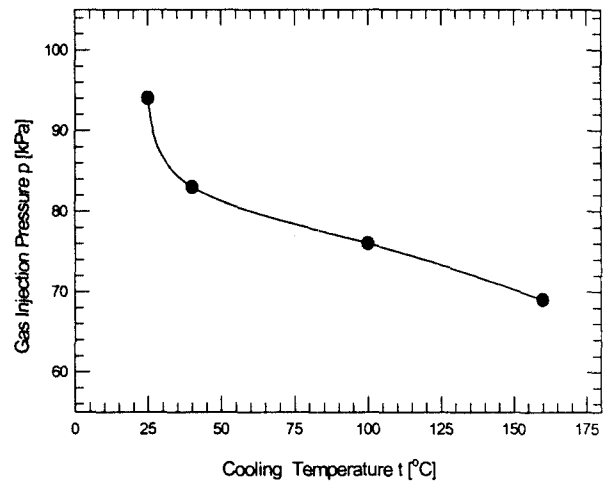


그림 11 백열전구의 냉각온도에 따른 혼합가스 주입 압력 특성
Fig. 11 Characteristics of gas mixtures injection pressure with cooling temperature in incandescent lamps

4. 결 론

본 연구에서는 순수 Ar, Kr, N₂가스 및 Ar/N₂와 Kr/N₂ 혼합가스의 평등 및 불평등전계하에서 가스의 압력을 58.8-137.3[kPa]으로 변화시켜 절연파괴 특성을 실험하였다. 그리고 실용 백열전구의 혼합가스 비율에 따른 발광효율, 광속 및 수명을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 평등 및 불평등전계하에서 압력변화에 따른 절연파괴전압은 가스주입압력이 높을수록 증가되었으며, N₂가스보다 Ar가스, Ar가스보다 Kr가스에서 절연파괴전압이 저하된 것으로 나타났다.
- 2) 전극간 갭길이가 증가됨에 따라 절연파괴전압은 평등전계인 경우 Ar 및 Kr가스에 비해 N₂가스는 약 1.1배 증가되었으나, 불평등전계인 경우에는 약 0.6배인 것으로 나타났다.
- 3) 평등 및 불평등전계하에서 Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스에서 절연파괴전압은 혼합가스 주입압력이 높아짐에 따라 증가되었으며, 평등전계인 경우에 비해 불평등전계하에서 증가된 비율이 낮은 것으로 나타났다.
- 4) Kr/N₂ 혼합가스에서 분자량이 Ar가스에 비해 큰 Kr가스에서 N₂가스 혼합 비율에 따라 Ar/N₂ 혼합가스에 비해 Kr/N₂ 혼합가스인 경우 절연파괴전압이 저하되었다.
- 5) Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합가스의 경우, 절연파괴전압은 N₂가스의 혼합비율이 줄어들수록 절연파괴전압이 저하되었으며, 압력변화에 따른 절연파괴전압의 변화율도 저하된 것으로 나타났다.
- 6) 코로나개시전압은 Kr(70%)/N₂(30%) 혼합가스에 비해 Ar(70%)/N₂(30%) 혼합가스에서 약 1.28배 이었으며, 혼합가스 주입압력이 높아짐에 따라 코로나개시전압은 증가되었다.
- 7) 백열전구의 혼합가스 주입비율이 Ar(70%)/N₂(30%)에 비해, Kr(70%)/N₂(30%)인 경우, 광속은 94[lm], 수명은 380[hr]으로 증가되었으며, 열전도율에 의한 가스손실이 줄어든 것으로 나타났다.

8) 백열전구에 주입 가스 압력을 최대화하기 위해 고온으로 가열시킨 전구를 진공으로 배기 한 후, 냉각장치로 40 [°C]으로 냉각한 경우에 비해, 25[°C]로 냉각한 경우, 혼합된 가스를 주입하였을 때, 그에 따른 주입압력이 약 13[%] 증가된 것으로 나타났다.

이러한 결과는 취급 및 실용성이 매우 뛰어난 조명용전구에서 발광효율과 수명 특성을 증대할 수 있을 뿐만 아니라 전구내 적정 혼합가스 주입비와 주입량을 최적화 할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

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. Shurgan "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. Gerthsen, "Electrical breakdown in gas-filled incandescent lamps", Lighting Research and Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 159-165, 1972.
 [7] 이상우, 김이국, 김인식, 이동인, 이광식, "Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합 가스의 교류절연과피 특성", 01 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1744-1746, 2001.7.18-20

저 자 소 개



이 상 우 (李 相 雨)
 1967년 4월 11일 생. 1992년 경일대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학 산업대학원 졸업(석사). 1997~현재 영남대 공대 전기전자공학부 박사과정 수료.
 Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230
 E-mail : lesawo77@dreamwiz.com



이 광 식 (李 廣 植)
 1948년 10월 20일 생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology대 초빙교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 영남대 학생처장
 Tel : 053-810-2486, Fax : 053-813-8230
 E-mail : kslee@ynucc.yeungnam.ac.kr



김 인 식 (金 寅 澁)
 1953년 10월 3일 생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990~1991年 美國 University of Southern California대 초빙교수. 현재 경일대 전기공학과 교수.
 Tel : 053-850-7143, Fax : 053-850-7602
 E-mail : iskim@bear.kyungil.ac.kr



김 이 국 (金 利 國)
 1946년 9월 30일 생. 1969년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경일대학 전기공학과 부교수
 Tel : 053-850-7145, Fax : 053-850-7602,
 E-mail : lkkim@bear.kyungil.ac.kr



이 동 인 (李 東 仁)
 1936년 10월 19일 생. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(공학). 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수.
 Tel : 053-810-2480, Fax : 053-813-8230
 E-mail : dilee@ynucc.yeungnam.ac.kr