

Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성

이상우* · 김이국** · 김인식** · 구경철* · 이동인* · 이광식*
*영남대학교 전기공학과 · **경일대학교 전기공학과

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

Sang-Woo Lee* · Lee-Kook Kim** · In-Sik Kim** · Kyung-Chul Cu* · Dong-In Lee* · Kwang-Sik Lee*
School of Elect. Eng., Yeungnam University*, Elect. Eng., Dept., Kyungil University**

Abstract - In this paper, we investigated the breakdown characteristics of Ar, Kr and N₂ gas in pure states with pressure range of 58.8-137.3(kPa) under uniform and non-uniform fields, and the measured values are compared with those in Ar/N₂ gas mixtures. From these results, the breakdown voltages of N₂ gas in uniform field were increased about 4.8 and 4.4 times than those of Ar and Kr gas, respectively. Breakdown voltages of Ar/N₂ gas mixtures were decreased with decreasing the mixture ratio of N₂ gas. Breakdown voltages of Ar(70%)/N₂(30%) gas mixtures in the pressure of 101.3(kPa)(gap length: 3(mm)) were increased 1.9 times than those of pure Ar gas.

1. 서론

일반적으로 불연성가스인 질소(N₂), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 및 크세논(Xe) 등은 자체 연소가 되지 않을 뿐만 아니라 액화온도가 낮으며, 무해하고 지구 온난화의 영향도 거의 없다. 또한 Ar가스와 Kr가스는 기체중 함유량이 미소하여 회유가스와 다른 물질과 화학적인 작용을 하지 않는다. 그리고 Ar가스에 미량의 N₂ 가스를 혼합한 가스는 조명용 전구에서 필라멘트의 증발을 억제하며, 발광효율(lm/w)을 높이고 수명 증대를 위하여 적정비로 혼합 봉입하여 사용하고 있다. 그러나 제조회사마다 혼합 가스의 절연파괴 특성에 대한 데이터가 불충분하여 그 차이가 큰 것이 현실이다. 루미네센스를 기본적인 바탕으로 한 램프는 방전시 고조파 발생으로 인한 장애가 항상 존재하며, 환경에 유해한 혼합 가스를 사용하고 있다. 이러한 관점에서 조명용 전구의 발광효율 및 수명 증대를 사용 중인 전구식 형광등기구와 같은 고효율 기구재로 가일층 향상시키기 위해 높은 효율을 가진 Kr가스와 Xe가스를 사용하고 있다. 그러나 Ar가스에 비해 Kr가스와 Xe가스는 고가이며, 아크방전이 발생하기 쉬우므로 방전개시전압 및 절연파괴특성을 조사할 필요성이 있다.

또한, Ar가스보다 분자량이 큰 Kr가스를 사용하면 열전도율이 낮아서 열의 전도나 대류에 의한 필라멘트가 열을 빼앗기는 현상이 적어서 에너지의 소비가 적어지며, 원자량이 큰 경우 필라멘트의 증발 속도가 느려지는 것으로 보고되고 있다. [1]

전구내의 압력이 점차 낮아지면 분자량의 밀도 변화보다 열의 전도나 대류에 의한 열전달이 중요시된다. 조명용 전구의 경우, 점등 시간이 늘어남에 따라 텅스텐이 점진적으로 증발하여 저항은 증가하는데 비해 전류는 감소되며, 이로 인하여 전구의 광속은 점차 감소하게 된다. 이러한 원인은 주로 텅스텐 재질, 봉입 가스의 순도 및 성분, 유리구 크기, 점등 조건 등에 의해 큰 영향을 받는다. [2]

따라서 본 연구에서는 방전 체임버에 수평으로 설치한 침-평판 및 평판-평판 전극을 사용하여 상용주파수의 교

류전압을 인가하였을 때, Ar, Kr, N₂ 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하였다. 그리고 평등 및 불평등전계의 경우, 전극간 갭 길이를 3, 5 및 7(mm)로 변경하였을 때 압력 변화에 대한 교류절연파괴 특성을 조사하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 가스 혼합 방법

그림 1은 여러 가지 특성을 조사하고자 저진공에서 고기압까지 유지할 수 있는 실험장치이며, 또한 혼합 가스를 일정 비율로 혼합할 수 있도록 설계하였고, 혼합된 가스를 방전 체임버에 주입할 수 있도록 제작하였다. 그림 1에 나타나 있는 방전 체임버의 압력은 3(kg/cm²)이며, Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 가스를 혼합하기 위한 가스 체임버의 압력은 5(kg/cm²)로 설계하였다.

Ar/N₂ 및 Kr/N₂ 가스 혼합에 있어서 게이지상의 진공도를 진공으로 배기한 후, 혼합가스의 혼합비가 적은 N₂ 가스(순도99.999%)를 먼저 주입하고, 혼합비가 높은 Ar(99.999%) 및 Kr(순도99.999%) 가스를 적정비로 충전하였다. 그리고 혼합가스의 주입방법은 체임버의 압력 5(kg/cm²)를 기준으로 그에 따른 분압 법칙을 적용하였으며, 체임버에 Ar(70%)와 N₂ (30%)을 혼합하려면, 체임버에 Ar 3.5(kg/cm²)와 N₂ 1.5(kg/cm²)의 비율로 혼합하였다. 또한 혼합된 가스는 방전 체임버로 해당 압력까지 노즐을 통하여 주입한 후, 교류절연파괴 특성을 조사하였다. 혼합 가스 체임버의 혼합 가스비는 Ar 및 Kr 가스는 50-90(%)으로 변화시켜 주입하였을 때, N₂ 가스는 50-10(%)으로 변화시켜 주입하였다.

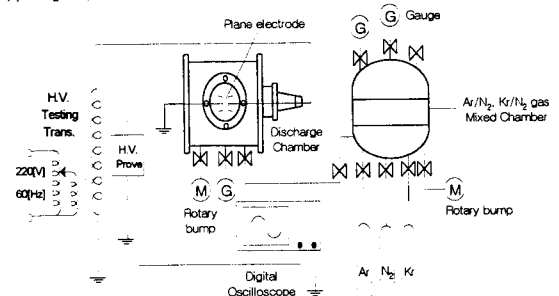


그림 1 실험장치
Fig 1. Experimental setup

2.2 실험 장치 및 방법

Ar, Kr, N₂ 가스 및 Ar/N₂, Kr/N₂ 혼합 가스의 교류절연파괴 특성을 조사하기 위하여, 평등 및 불평등전계를 형성하여 실험하였으며, 교류절연파괴 특성에서 전극간 갭 길이는 3, 5, 7(mm)로 변경하여 실험하였고, 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 스테인레스 스틸 재질을 사용하였으며, 불평등전계인 경우, 침 전극의 재질도 스테인레스 스틸을 사용하였다. 그리고 침 전극의 직경은 10.0(mm), 선단 각은 90도인 것을 사용하였다.

전류펄스를 측정하기 위하여 평판전극과 접지 사이에 측정용 무유도저항 47(Ω)을 설치하였으며, 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하여 전류펄스를 관측하였다.

고전압 발생 장치는 입력전압 220(V), 60(Hz), 최대 출력전압 50(kV)인 측정 시스템(Tokyo Transformer Co.)을 사용하였다. 상용주파수의 인가전압을 정밀하게 측정하기 위하여 분압비가 2000:1인 고압 프로브(High Voltage Probe, type: EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다. 상용주파수 인가전압은 승압속도 0.1(kV/s)로 전압을 인가하여 절연파괴전압을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력 변화에 따른 Ar, Kr 및 N₂ 가스의 절연 파괴 특성

평등 및 불평등전계를 형성하고, Ar, Kr, N₂ 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하기 위하여 가스의 종류에 따라 가스 압력을 58.6~137.3(kPa)로 변화하여 실험하였다. 또한, 가스의 종류에 따라 전극간 갭 길이를 3, 5 및 7(mm)로 변경한 경우 절연파괴 특성을 실험하였다.

3.1.1 평등전계인 경우

불활성가스인 Ar, Kr 및 N₂ 희유가스의 Arc방전 특성을 조사하기 위하여 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하였다.

그림 2는 대표적으로 Ar 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 교류절연파괴 특성은 가스압이 높아짐에 따라 증가되었으나, 그 증가된 비율은 Ar 가스일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 1.13/78.45, 1.81/78.45 및 2.47/78.45(kV/kPa), Kr 가스일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 1.21/78.45, 1.98/78.45 및 2.7/78.45(kV/kPa), N₂ 가스일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 5.05/78.45, 9.28/78.45 및 12.21/78.45(kV/kPa)인 것으로 나타났다.

전극간 갭 길이가 3(mm)인 경우 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성은 Ar 가스에 비해 4.5배, Kr 가스에 비해 4.2배 높은 것으로 나타났다. 또한 전극간 갭 길이가 3(mm)에서 5(mm)로 증가됨에 따라 그에 대한 비율이 약 11(%)높게 나타났다.

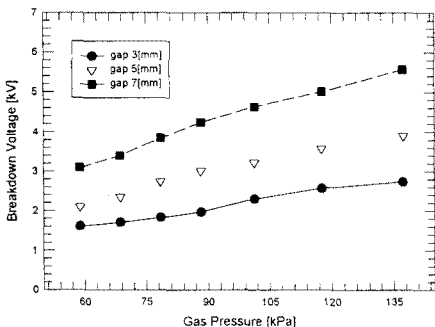


그림 2 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성.

Fig. 2 Breakdown characteristics due to pressure variation of Ar gas

표 1은 Ar, Kr 및 N₂ 가스중 방전 체임버의 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)로 변경한 경우 압력 변화에 따

른 절연파괴전압을 5회 측정하여 평균한 값을 나타내었다. 표에서 나타난 바와 같이 Ar 가스의 교류절연파괴 특성은 가스압이 101.3(kPa)일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 2.30, 3.23 및 4.63(kV)이었고, Kr 가스의 교류절연파괴 특성은 가스압이 101.3(kPa)일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 2.25, 3.20 및 4.60(kV)이였으며, N₂ 가스의 절연파괴 특성은 가스 압력이 101.3(kPa)일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 7.46, 12.12 및 16.14(kV)인 것으로 나타났다.

전극간 갭길이 3(mm)인 경우 가스 압력이 101.3(kPa)일 때 N₂ 가스의 교류절연파괴 특성은 Ar 가스에 비해 3.2배, Kr 가스에 비해 3.3배 높은 것으로 나타났다. 또한 전극간 갭길이 3(mm)에서 5(mm)로 증가됨에 따라 그에 대한 비율이 약 15(%)증가된 것으로 나타났다.

표 1 Ar, Kr 및 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 Table 1. Breakdown characteristics due to pressure variation of Ar, Kr and N₂

압력 (kPa)	Breakdown Voltage(kV)								
	gap 3(mm)			gap 5(mm)			gap 7(mm)		
	Ar	Kr	N ₂	Ar	Kr	N ₂	Ar	Kr	N ₂
58.84	1.61	1.48	4.94	2.10	1.92	6.55	3.10	2.8	9.01
68.65	1.71	1.7	5.80	2.35	2.25	7.95	3.40	3.38	10.75
78.45	1.83	1.8	6.18	2.74	2.62	9.22	3.85	3.76	12.77
88.26	1.97	1.91	6.72	3.01	2.95	10.52	4.24	4.14	14.34
101.33	2.30	2.25	7.46	3.23	3.20	12.12	4.63	4.60	16.14
117.68	2.57	2.50	8.70	3.58	3.49	13.86	5.01	4.92	18.57
137.29	2.74	2.69	9.99	3.91	3.90	15.83	5.57	5.50	21.22

3.1.2 불평등전계인 경우

전극내 미량의 공기나 이물질이 함유되어 있거나 또는 텅스텐 이음매 등의 전계가 불균일한 장소에서 부분방전이 발생하면 텅스텐의 발열로 인하여 단선되는 경우가 있다. 그러므로 불평등전계를 형성하여 Ar 및 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 조사하였다.

그림 3은 불평등전계의 경우 대표적으로 Ar 가스의 압력 변화에 따른 교류절연파괴 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 바와 같이 교류절연파괴 특성은 가스압이 높아짐에 따라 증가되었으나, 그 증가된 비율은 Ar 가스일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 1.28/78.45, 2.44/78.45 및 3.38/78.45(kV/kPa), N₂ 가스일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 2.18/78.45, 2.46/78.45 및 1.34/78.45(kV/kPa)인 것으로 나타났다. 전극간 갭길이 3(mm)인 경우 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 Ar 가스에 비해 1.7배 높은 것으로 나타났다. 또한 전극간 갭길이 3(mm)에서 5(mm)로 증가됨에 따라 그에 대한 비율이 약 30(%)감소된 것으로 나타났다.

표 2는 Ar 및 N₂ 가스중 방전 체임버의 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)로 변경한 경우 압력 변화에 따른 교류절연파괴전압을 5회 측정하여 평균한 값을 나타내었다. 표에서 나타난 바와 같이 Ar 가스의 교류절연파괴 특성은 가스압이 101.3(kPa)일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 2.10, 3.32 및 4.01(kV)이였으며, N₂ 가스의 교류절연파괴 특성은 가스 압력이 101.3(kPa)일 때 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)인 경우 4.34, 5.67 및 6.42(kV)인 것으로 나타났다. 전극간 갭길이 3(mm)인 경우 가스 압력이 101.3(kPa)일 때 N₂ 가스의 교류절연파괴 특성은 Ar 가스에 비해 2배 높은 것으로 나타났다. 또한 전극간 갭길이 3(mm)에서 5(mm)로 증가됨에 따라 그에 대한 비율이 약 17(%)감소된 것으로 나타났다.

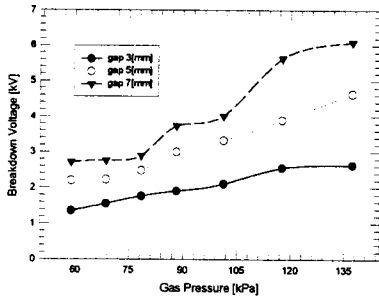


그림 3 Ar 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성
Fig. 3 Breakdown characteristics due to pressure variation of Ar gas

표 2 Ar 및 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Table 2. Breakdown characteristics due to pressure variation of Ar and N₂

압력 [kPa]	Breakdown Voltage(kV)					
	gap 3[mm]		gap 5[mm]		gap 7[mm]	
	Ar	N ₂	Ar	N ₂	Ar	N ₂
58.84	1.35	3.01	2.19	3.46	2.71	5.41
68.65	1.55	3.79	2.22	3.86	2.76	5.62
78.45	1.76	4.27	2.47	4.97	2.89	5.70
88.26	1.90	4.33	3.00	5.03	3.73	6.06
101.33	2.10	4.34	3.32	5.67	4.01	6.42
117.68	2.55	4.35	3.89	5.70	5.63	6.61
137.29	2.63	5.19	4.63	5.92	6.09	6.75

3.2 압력 변화에 따른 Ar/N₂ 혼합 가스의 절연파괴 특성

혼합 가스는 고전압 절연기기의 절연 매체나 방전 매체 등의 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있으나, 전구 내의 혼합 가스에 의한 교류절연파괴 특성을 실험하기 위하여 평등전계를 형성하였다. 그리고 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 조사하기 위하여 가스 압력을 58.8-137.3(kPa)로 변화하여 실험하였으며, 또한 전극간 갭 길이를 3, 5 및 7(mm)로 변경한 경우 절연파괴 특성을 실험하였다.

Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 아크방전 특성을 조사하기 위하여 상용주파수 전압을 인가하였으며, 대표적으로 전극간 갭 길이가 3(mm)인 그림 4는 Ar/N₂ 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 교류절연파괴 특성은 가스압이 높아짐에 따라 증가되었으나, 그 증가된 비율은 전극간 갭 길이가 3(mm)에서 가스 혼합비가 Ar(95%), Ar(85%), Ar(70%) 및 Ar(50%)인 경우 1.76/78.45, 3.06/78.45, 3.51/78.45 및 4.16/78.45(kV/kPa)이었고, 전극간 갭 길이 5(mm)인 경우 가스 혼합비가 갭 길이 3(mm)과 동일할 때 3.02/78.45, 4.69/78.45, 5.49/78.45 및 6.52/78.45(kV/kPa)이었으며, 전극간 갭 길이 7(mm)인 경우 가스 혼합비가 갭 길이 3(mm)과 동일할 때 3.93/78.45, 5.60/78.45, 7.27/78.45 및 9.27/78.45(kV/kPa)로 나타났다. Ar/N₂ 혼합 가스에서 N₂의 혼합비가 적을수록 절연파괴전압이 저하되는 것으로 나타났으며, 또한 압력 변화에 따른 절연파괴의 변화율이 적은 것으로 나타났다. 일정한 Ar/N₂ 혼합 가스비에서 가스 압력이 증가함에 따라 절연파괴전압이 증가되는 것으로 나타났다.

표 3은 Ar/N₂ 혼합 가스를 가스 체임버에 주입하였을 때, 전극간 갭 길이가 3, 5 및 7(mm)로 변경한 경우 압력 변화에 따른 절연파괴전압을 5회 측정하여 평균값을 나타내었다. 표에서 나타난 바와 같이 혼합 가스의 절연파괴전압은 가스 압력이 101.3(kPa)인 경우, 전극간 갭 길이 3(mm)에서 가스 혼합비가 Ar(95%), Ar(85%), Ar(70%) 및 Ar(50%)에 따라 2.55, 3.68, 4.39 및 4.99(kV)이었고, 전극간 갭 길이가 5

(mm)에서 가스 혼합비가 갭 길이 3(mm)과 동일할 때 4.22, 5.89, 7.07 및 7.97(kV)이었으며, 전극간 갭 길이가 7(mm)에서 가스 혼합비가 갭 길이 3(mm)과 동일할 때 5.63, 7.87, 9.70 및 11.18(kV)로 나타났다.

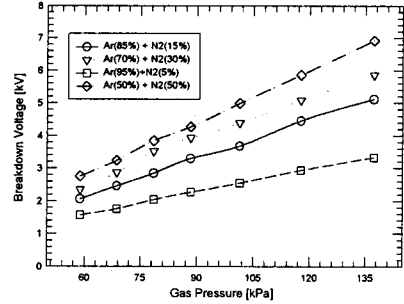


그림 4 혼합비 및 압력에 따른 Ar/N₂ 절연파괴전압
Fig. 4 Breakdown voltage due to gas mixed ratio and pressure variation

표 3 혼합 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴
Table 3. Breakdown characteristics due to pressure variation of mixed gas injection

압력 [kPa]	절연파괴전압[kV]											
	gap 3[mm]			gap 5[mm]				gap 7[mm]				
	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
58.84	1.57	2.06	2.35	2.76	2.52	3.08	3.91	4.10	3.24	4.61	5.49	5.98
68.65	1.76	2.46	2.87	3.24	2.86	3.99	4.71	5.01	3.87	5.46	6.51	7.18
78.45	2.04	2.85	3.52	3.84	3.40	4.68	5.56	6.09	4.43	6.27	7.52	8.39
88.26	2.27	3.30	3.93	4.27	3.70	5.32	6.31	6.95	5.03	7.03	8.64	9.67
101.33	2.55	3.68	4.39	4.99	4.22	5.89	7.07	7.97	5.63	7.87	9.70	11.18
117.68	2.94	4.46	5.09	5.86	4.82	6.75	8.15	9.29	6.35	9.07	11.25	13.10
137.29	3.33	5.12	5.86	6.92	5.54	7.77	9.40	10.62	7.17	10.21	12.76	15.25

4. 결론

본 연구에서는 압축가스이며 불활성가스인 Ar, Kr, N₂ 가스 및 Ar/N₂ 혼합 가스의 절연파괴 특성을 조사하기 위하여 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴전압을 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 평등전계의 경우 N₂ 가스의 압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 Ar가스에 비해 4.8배, Kr가스에 비해 4.4배 높았으며, 가스 압력이 증가됨에 따라 절연파괴전압이 증가되었다.
- 2) 불평등전계의 경우 가스압의 높고 낮음에 따라 절연파괴 특성은 크게 변화하였으나, 가스압 101.33(kPa)인 경우 N₂ 가스의 절연파괴 특성은 Ar가스에 비해 1.8배 높은 것으로 나타났다.
- 3) Ar/N₂ 혼합 가스의 경우 N₂ 가스 혼합비가 적을수록 절연파괴전압이 저하되었으며, 가스압 101.33(kPa) 전극간 갭 길이 3(mm)인 경우 순도 100(%)인 Ar 가스에 대한 Ar(95%) 및 Ar(70%) 혼합 가스의 절연파괴전압 비율은 10.8(%) 및 90(%)으로 증가되었다.

[참고 문헌]

- [1] 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.
- [2] E. Fischer, J. Fitzgerald and H. Horster, "Heat and mass transport in gas filled incandescent lamps", Journal of IES Tran., pp. 271-278, 1975.