

전극 간격에 따른 공기의 절연파괴 특성에 관한 연구

A Study on the Electrical Breakdown Characteristics of Air according to Electrode Gap

강 중 오* · 이 온 유* · 김 준 일* · 방 승 민* · 이 홍 석* · 이 중 득** · 강 형 구†
(Jong O Kang · Onyou Lee · Junil Kim · Seungmin Bang · Hongseok Lee ·
Jong Doug Lee · Hyoungku Kang)

Abstract - Recently in accordance with the rapid development of the industrial society, the accidents caused by dielectric breakdown have been increasing in power grid. It is important to prevent the dielectric breakdown of a high voltage apparatus to reduce the damage from electrical hazards. To establish an electrically reliable database of insulation design criteria for high voltage apparatus, a study on dielectric characteristics test is indispensable. In this study, dielectric characteristics according to field utilization factors (ξ) which are represented as the ratio of mean electric field to maximum electric field are investigated. the dielectric breakdown experiments by using several kinds of electrode systems made with stainless steel are performed by AC breakdown voltage under air-insulation. Also, the experimental results are analyzed by the Weibull distribution. As a result, it is found that the dielectric characteristics of air-insulation are determined by ξ as well as arrangement of electrode systems. It is considered that the results of this study would be applicable to designing the air-insulated high voltage apparatuses.

Key Words : AC breakdown voltage, Dielectric characteristics, Field utilization factor, High voltage apparatus

1. 서 론

전력손실로 인한 경제적 손실을 최소화하고자 하는 방안으로서 여러 가지 방안이 활발하게 연구진행 되고 있으며 그중에서 유력한 방안 중의 하나로 여겨지는 것이 전력계통의 고전압화이다. 그러나 이처럼 고전압화된 전력계통 및 전력기기에서 발생하는 절연사고로 인하여 생기는 경제적 손실과 인명피해 역시 갈수록 증가하고 있는 실정이다[1]. 따라서 고전압 전력기기의 절연 안정성 향상을 위하여 여러 가지 종류의 고체절연체, 절연유 및 절연가스 등이 개발되어 사용되고 있으며, 각 절연매질의 절연특성 향상 방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일본과 독일, 그리고 미국 등과 같은 기술 선진국에서는 전력계통의 안정성 향상을 위하여 고신뢰성의 고전압 전력기기 개발을 위하여 필수적인 절연설계 기법 개발에 관한 연구를 지속해서 수행하고 있으나 국내에서는 이에 대한 체계적이고도 꾸준한 연구가 상대적으로 미흡한 실정이다. 높은 신뢰성을 가지는 고전압 전력기기를 개발하기 위해서는 여러 가지 절연 매질의 절연특성

에 관한 연구가 반드시 필요하며, 그중에서도 공기의 절연파괴 특성 분석을 통한 절연설계기술 연구는 반드시 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 스테인리스 스틸 재질의 구 대 평판 전극 시스템을 제작하고, AC 전압에 대한 공기 중에서의 절연파괴 특성을 측정하고 분석하였다. 특히 기존에 발표된 논문에서는 전극 간격이 비교적 짧은 전극시스템에서의 절연특성에 관한 연구가 진행되었지만, 본 논문에서는 전극 간격을 최대 150mm까지 설정하여 연구를 수행하였다[1]. 60Hz의 주파수를 가지는 AC 전압에 대한 절연파괴 실험을 수행하였으며, 구 전극의 직경과 전극 간격을 다양하게 변화시켜 다양한 조건에서 절연파괴 실험을 수행하였다. 이와 같은 절연파괴 실험을 통하여 얻은 실험결과는 Weibull 분포해석을 통하여 절연파괴가 발생할 확률이 50%가 되는 절연파괴 전압을 계산하였다. 전극 간격에 따른 공기의 절연파괴 특성을 분석하기 위하여 구 전극의 직경이 서로 다른 7가지 종류의 구 전극을 실험에 사용하였으며, 다양한 조건에 대한 유한요소해석을 시행하여 절연파괴 시 최대전계와 실험을 통하여 얻은 절연파괴 전압을 이용하여 전계 이용률에 대한 절연파괴 시 최대전계를 계산할 수 있는 함수식을 도출하였다. 이와 같은 연구를 통하여 기중에서 전극 간격에 따라 AC 전압에 대한 절연파괴 특성을 분석할 수 있었다.

2. 전극 시스템의 설계 및 제작

고전압 전력기기의 절연파괴 특성을 시험하기 위해서는 주로 AC 전압과 뇌 임펄스 전압에 대한 절연파괴 특성을 분석하고 있다. 기존의 연구에서는 전극 간격이 100mm 이

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea

E-mail : kang@ut.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea

** Guju Technology, Inc., Chungju, Korea

접수일자 : 2014년 11월 18일

수정일자 : 2014년 11월 25일

최종완료 : 2014년 11월 26일

내로서 비교적 짧은 조건에서의 실험 결과를 주로 다루었지만, 본 논문에서는 전극 간격이 10mm에서부터 150mm까지 다양한 조건 하에서의 실험 결과를 바탕으로 연구를 수행하였다[1]. 표 1에는 본 실험에 사용된 구 대 평판 전극 시스템의 사양을 나타내었으며, 그림 1은 실제로 제작된 구 대 평판 전극 시스템의 모습을 도시화하여 나타낸 것이다. 그림 1에서 ‘spacer’는 구 전극과 평판 전극 간의 간격을 조절하기 위한 링 모양의 삽입 가능한 도구이며, 전극 간격이 짧은 경우에는 간격을 세밀하게 조절하기 위하여 전극 지지대의 상판에 micrometer를 설치하였다. 또한, 고전압이 인가되는 micrometer 상부에는 전계가 국부적으로 상승하여 발생할 수 있는 부분방전 현상을 최소화하기 위하여 shield ring을 가공하여 설치하였다. 또한, 고전압이 인가되는 구 전극은 반복된 실험으로 인하여 발생할 수 있는 전극표면의 변형을 최소화하기 위하여 기계적 강도와 경도가 높은 스테인리스 스틸 재질을 사용하였다.

표 1 전극 시스템의 사양

Table 1 Specifications of electrode system.

전극의 재질	스테인리스 스틸
전극의 종류	구 대 평판 전극
구 전극 지름 (mm)	4, 6, 10, 20, 30, 40, 50
전극간 거리 (mm)	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150
평판 전극의 크기 (mm)	가로, 세로 : 860, 두께 : 3

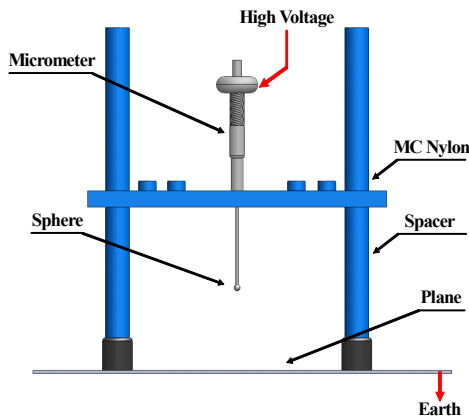


그림 1 구 대 평판 전극 시스템의 구조

Fig. 1 Structure of a sphere-to-plane electrode system.

3. 절연파괴 실험

3.1 절연파괴 실험조건

본 연구에서는 고압배전반과 같이 공기를 절연매질로 사용하는 전력기기의 절연특성을 분석하기 위하여 일반적인 실내 환경이라고 할 수 있는 25℃의 온도와 37%의 습도, 그리고 대기압 조건에서 절연파괴 실험을 수행하였다. 절연파괴 실험을 수행하기 위하여 인가된 교류전압의 주파수는 60Hz이며, 전압은 절연파괴가 발생할 때까지 1kV/s의 속도

로 상승시켰다. 이미 알려진 바와 같이 절연파괴 특성은 전극의 표면 조도 및 이물질 유무 등에 따라 다소 변화할 수 있으므로 이에 의한 영향을 최소화하기 위하여 실험을 수행하기 전에 전극 표면을 1500 # 샌드페이퍼로 50번씩 연마하여 반복하였다. 그림 2에는 절연파괴 실험 구성도를 나타내었다. 모든 실험은 각 조건 당 10회씩 반복하여 측정하였으며, 그중에서 최댓값과 최솟값을 제외한 8개의 측정값에 대하여 Weibull 분포를 통하여 절연파괴 확률이 50%가 되는 전압 값($V_{BD,50\%}$)을 계산하였다. 전극 지지대는 MC Nylon 재질을 이용하여 제작하였으며, 전극 제작 시 발생할 수 있는 오차가 다른 전극에 비하여 작을 뿐만 아니라 구 전극의 중심축 변형으로 인하여 발생할 수 있는 전계의 왜곡률이 다른 전극 시스템에 비하여 최소화될 수 있는 구 대 평판 전극 시스템을 사용하여 연구를 수행하였다[1].

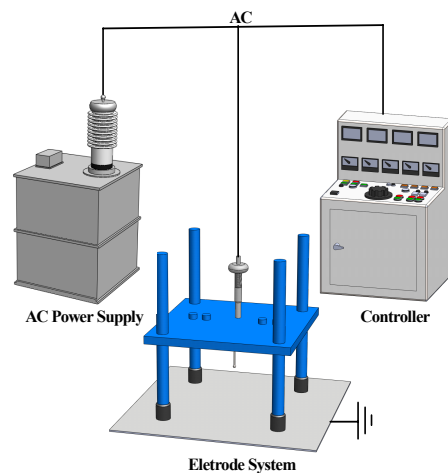


그림 2 기중 절연파괴 실험 구성도

Fig. 2 Schematic drawing of experiments.

3.2 절연파괴 실험결과 분석

절연파괴 실험결과는 인가된 AC 전압에 의하여 공기가 sparkover된 결과를 절연파괴 값으로 기록하였다. 그림 3은 공기 중에서 절연파괴가 발생하는 모습을 나타내고 있으며, 그림 4는 구 전극의 직경별 전극 간격의 변화에 따른 $V_{BD,50\%}$ 를 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 구 전극 직경의 크기가 클수록, 또한 전극 간격이 클수록 $V_{BD,50\%}$ 은 지수 함수적으로 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 이와 같은 실험 결과는 기존의 연구와도 일치하는 결과이다[1]. 그러나 전극 간격이 90mm인 조건에서 구 전극의 직경이

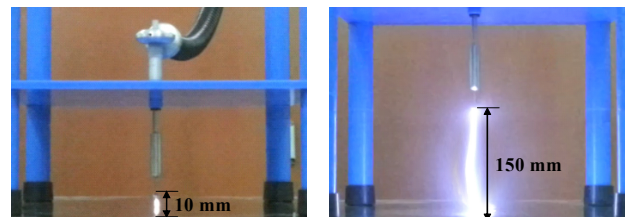


그림 3 기중 절연파괴 시 절연파괴현상

Fig. 3 Photograph of the electrical breakdown phenomenon.

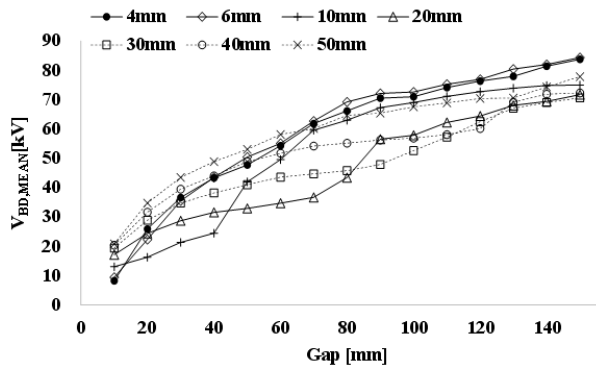


그림 4 구 대 평판 전극 시스템의 기중 절연파괴 전압
 Fig. 4 Electrical breakdown voltage of air according to the gap and electrode diameter.

4mm인 경우와 50mm인 경우를 비교해 보면, 구 전극의 직경이 4mm인 경우일 때의 $V_{BD,50\%}$ 이 직경이 50mm인 경우의 $V_{BD,50\%}$ 보다 더 높게 나타나는 현상이 관측되었다. 이와 같은 절연파괴 전압의 역전 현상은 구 전극의 직경이 작을수록 그리고 전극 간격이 클수록 뚜렷하게 나타났다. 즉, 이용률이 낮을수록 이와 같은 절연파괴 전압의 역전현상이 뚜렷하게 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다. 반면에 구 전극의 직경이 크거나 전극 간격이 짧을수록 즉, 이용률이 높은 구간에서는 절연파괴 전압의 역전현상이 발생하지 않고 구 전극의 크기가 증가할수록, 구 전극과 평판 전극 간격이 증가할수록 절연파괴 전압값이 높다는 사실을 확인할 수 있었다.

4. 전계해석 및 이용률 계산

기체 절연매질의 절연파괴 특성은 최대전계의 크기에 의해서 결정된다고 알려져 있다[2]. 따라서 공기를 절연매질로 사용하는 전력기기를 설계할 때에는 이와 같은 기준 전계값이 절연설계의 기준이 되고 있다. 공기 중 평등전계 조건에서의 AC 전압에 대한 절연파괴 시 전계는 다음의 식 (1)과 같다고 알려져 있다[4].

$$E_{MAX,BD} = 24.05 \times \delta \times \left(1 + \frac{0.328}{\sqrt{\delta \times d}}\right) [kV/mm] \quad (1)$$

식 (1)에서 δ 는 25°C, 1기압인 공기 조건 하에서의 상대적 공기밀도를 나타내며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 이 식에서 d 는 전극 간격을 나타내며, p 는 측정 시 기압 [Torr], t 는 측정 시의 기온 [°C]를 의미한다.

$$\delta = \left(\frac{0.386 \times p}{273 + t}\right) \quad (2)$$

그림 5는 전극 간격이 10mm인 경우, 식 (1)을 이용하여 계산한 평등전계 하에서의 절연파괴 시 최대전계 값 ($E_{MAX,BD,50\%}$)와 실제 준 평등전계 조건 하에서의 실험결과에 따른 $E_{MAX,BD,50\%}$ 를 전극 직경의 크기에 따라 비교하였

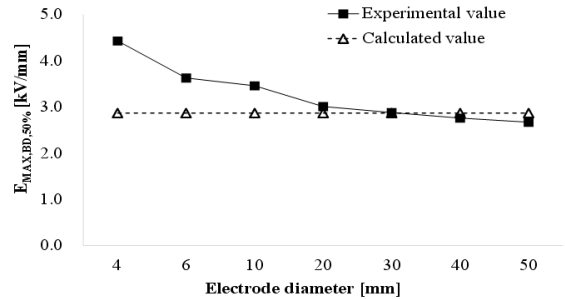


그림 5 전극 크기에 따른 계산결과와 실험결과와의 절연파괴 전계 비교 (@ 전극 간격: 10mm)
 Fig. 5 Comparison with calculated electric field and experimental electric field at sparkover according to the electrode diameter (@ gap: 10mm).

다. 식 (1)은 평등전계 조건 하에서 습도와 전계 이용률 등과 같은 실제 절연파괴 전압값에 영향을 미칠 수 있는 요소들은 고려되지 않았기 때문에 전극 직경의 크기와 무관하게 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 항상 동일하게 계산된다. 그러나 그림 5에서 보는 바와 같이 실제 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 전극 직경이 20mm 이상인 준 평등전계 조건 하에서는 계산값과 유사한 $E_{MAX,BD,50\%}$ 를 나타내지만, 전극 직경이 20mm 이하인 경우에는 실제 실험을 통하여 얻은 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 계산값과 최대 35%의 차이를 보이는 사실을 확인할 수 있었다.

4.1 전계해석

본 연구에서는 25°C의 온도와 37%의 습도 조건에서 다양한 종류의 구 전극과 전극 간격에 대한 AC 절연파괴 실험을 수행하고, 동일한 실험 조건에 대한 유한요소해석을 통하여 실험결과를 분석하였다. 그림 5는 실제 유한요소해석 결과를 나타내며, 전계해석에 사용된 전극 시스템은 구 직경이 40mm, 전극 간격은 100mm이고 평판 전극은 가로, 세로 860mm이며 두께는 3mm인 스테인리스 재질의 평판 전극이었다. 유한요소해석 시에 전극 시스템의 상부에 위치한 구 전극에는 1kV의 전압을 인가하였으며, 평판 전극은 접지하여 전극 시스템 내에 분포하는 전계의 세기를 분석하였다. 유한요소해석을 통하여 구 전극에 1kV를 인가한 경우의 최대전계값 ($E_{MAX,1kV}$)과 AC 절연파괴 실험결과를 바탕으로 Weibull 분포해석을 통하여 계산한 절연파괴 확률이 50%인

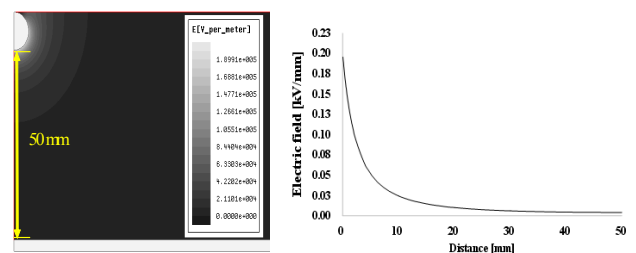


그림 6 구 대 평판 전극 시스템의 FEM 해석 결과
 Fig. 6 FEM analysis result of a sphere-to-plane electrode system.

절연파괴 전압 ($V_{BD,50\%}$)을 곱하여 $E_{MAX,BD,50\%}$ 을 다음 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$E_{MAX,BD,50\%} = E_{MAX,1kV} \times V_{BD,50\%} \quad (3)$$

이처럼 절연파괴 시 최대전계값은 자계와 같이 포화하지 않고 전압의 크기에 따라 비례하기 때문에 식 (3)과 같은 함수식으로서 계산할 수 있다. 식에서 $V_{BD,50\%}$ 는 절연파괴 전압을 의미하는 비례상수로서 단위가 없는 무차원의 수이다.

4.2 전계 이용률

전계 이용률이란, 전극 시스템 내에서 최대전계에 대한 평균전계의 비로서 전극 시스템의 전계평행도를 나타내는 척도로 사용된다. 전계 이용률은 0에서부터 1 사이에 존재하며, 다음의 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{전계이용률}(\xi) = \frac{V}{dE_{MAX}} = \frac{\text{평균전계}(E_{mean})}{\text{최대전계}(E_{MAX})} \quad (4)$$

식 (4)에서 d 는 전극 간격을 의미하며, V 는 인가전압을 나타내며 전계 이용률의 값이 1에 가까울수록 전극 시스템 내의 전계평행도가 높음을 의미한다[3].

각 실험 조건에 대하여 유한요소해석법을 이용하여 전계 값을 산출하고 식 (4)와 같은 관계를 이용하여 전계 이용률을 각각 계산하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보는 바와 같이 본 연구에서 수행된 실험에서의 전계 이용률은 최소 0.0149에서부터 최대 0.7810까지의 값을 가진다는 사실을 확인할 수 있었다.

표 2 전극 시스템 조건에 따른 이용률
Table 2 Utilization factors according to electrode systems

구 지름 전극 간격	4 mm	6 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm
10 mm	0.1867	0.2606	0.3777	0.5695	0.6726	0.7396	0.7810
20 mm	0.1005	0.1452	0.2254	0.3783	0.4888	0.5652	0.6277
30 mm	0.0670	0.1008	0.1595	0.2814	0.3788	0.4570	0.5161
40 mm	0.0526	0.0772	0.1237	0.2245	0.3093	0.3792	0.4378
50 mm	0.0428	0.0630	0.1004	0.1868	0.2613	0.3232	0.3798
60 mm	0.0359	0.0527	0.0851	0.1591	0.2249	0.2828	0.3326
70 mm	0.0309	0.0457	0.0740	0.1395	0.1969	0.2515	0.2972
80 mm	0.0273	0.0401	0.0651	0.1238	0.1764	0.2245	0.2697
90 mm	0.0243	0.0359	0.0584	0.1110	0.1588	0.2040	0.2448
100 mm	0.0220	0.0325	0.0527	0.1007	0.1452	0.1860	0.2254
110 mm	0.0200	0.0295	0.0481	0.0921	0.1332	0.1718	0.2077
120 mm	0.0184	0.0270	0.0442	0.0851	0.1237	0.1597	0.1940
130 mm	0.0170	0.0252	0.0412	0.0787	0.1151	0.1485	0.1806
140 mm	0.0160	0.0235	0.0382	0.0684	0.1077	0.1394	0.1687
150 mm	0.0149	0.0221	0.0358	0.0654	0.1010	0.1313	0.1597

5. 절연파괴 실험결과 및 분석

공기 중에서 AC 전압에 대한 $E_{MAX,BD,50\%}$ 와 전계 이용률 간의 함수 특성을 분석하여 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 전반적으로 전계 이용률이 높을수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 지수 함수적으로 작아진다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 전계 이용률의 크기가 0.3 이상인 준 평등전계 범위에서는 전계 이용률의 변화에 따라 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 더 이상 작아지지 않고 포화하며 거의 일정한 값을 유지하는 경향을 나타내었다. 전계 이용률의 크기가 0.3 이하인 불평등전계 범위에서는 전계 이용률의 크기가 작을수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 지수 함수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 전계 이용률이 0.3 이하인 불평등전계 범위에서는 구 전극의 직경에 따라 전계 이용률에 따른 $E_{MAX,BD,50\%}$ 함수가 상이하게 나타남을 확인할 수 있었다. 즉, 구 전극의 직경이 작을수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 큰 값을 가지며, 구 전극의 직경이 클수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 작은 값을 가진다는 사실을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 구 전극의 직경이 작을수록 식 (3)에서의 $V_{BD,50\%}$ 는 작아지지만 구 전극 끝 부분에 집중되는 최대전계인 $E_{MAX,1kV}$ 가 더욱 커지기 때문인 것으로 판단된다. 결과적으로 전계 이용률이 0.3 이하인 불평등전계 범위 하에서는 고전압이 인가되는 전극의 크기가 증가할수록 구 전극 표면에 절연파괴를 유발할 수 있는 전자가 분포하는 확률이 높아지기 때문에 절연파괴

$$E_{MAX,BD,4mm} = f(\xi_{Air,4mm}) = 1.9971 \times \xi^{-0.74} \quad (5)$$

$$E_{MAX,BD,6mm} = f(\xi_{Air,6mm}) = 1.8746 \times \xi^{-0.73} \quad (6)$$

$$E_{MAX,BD,10mm} = f(\xi_{Air,10mm}) = 1.4058 \times \xi^{-0.738} \quad (7)$$

$$E_{MAX,BD,20mm} = f(\xi_{Air,20mm}) = 1.8908 \times \xi^{-0.467} \quad (8)$$

$$E_{MAX,BD,30mm} = f(\xi_{Air,30mm}) = 2.3458 \times \xi^{-0.257} \quad (9)$$

$$E_{MAX,BD,40mm} = f(\xi_{Air,40mm}) = 2.5483 \times \xi^{-0.146} \quad (10)$$

$$E_{MAX,BD,50mm} = f(\xi_{Air,50mm}) = 2.597 \times \xi^{-0.101} \quad (11)$$

전압이 오히려 낮아지는 면적효과에 의한 결과로도 설명할

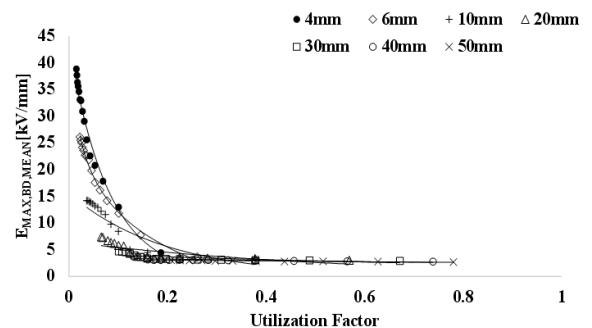


그림 7 AC 절연파괴 전압 조건에서의 $E_{MAX,BD,50\%}$ 와 전계 이용률과의 관계

Fig. 7 Functional relations between $E_{MAX,BD,50\%}$ and field utilization factor under AC electrical breakdown voltage.

수 있다[2].

본 연구를 통하여 계산한 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 전계 이용률이 0.3 이상인 준 평등전계 조건에서는 전계 이용률과 구 전극의 크기와 무관하게 일정하지만, 전계 이용률이 0.3 이하인 불평등전계 조건에서는 구 전극의 크기에 따라 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 결정되며 그 함수식은 다음의 식 (5)~(11)과 같이 나타낼 수 있다. 위의 식에서 ξ 는 전계 이용률을 의미하며, 구 전극의 직경과 관계없이 모든 함수식은 전계 이용률이 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소한다는 사실을 확인할 수 있다. 결론적으로 어떤 전극 시스템의 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 전계 이용률에 대한 함수식으로 나타낼 수 있으며, 전계 이용률이 0.3 이상의 준 평등전계 또는 평등전계에서는 구 전극의 직경과 무관하게 거의 일정한 값을 가지지만 전계 이용률이 0.3 이하의 불평등전계 조건에서는 구 전극의 직경에 따라 전계 이용률의 변화가 각각 다른 함수식을 가진다는 사실을 알 수 있었다. 특히 구 전극의 직경이 작을수록 $V_{BD,50\%}$ 값은 작아지지만, 전극 시스템 내에서는 더욱 불평등한 전계가 형성되기 때문에 $E_{MAX,1kV}$ 의 값이 커져서 $E_{MAX,BD,50\%}$ 의 값이 준 평등전계 조건에서의 값보다 더 커지게 된다. 이와 같은 이유로 그림 4에서 보는 바와 같이 전극 간격이 동일할 때, 구 전극의 직경이 작은 경우의 절연과피 전압이 직경이 큰 경우의 절연과피 전압보다 높게 측정되는 현상이 발생할 수 있는 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 공기의 AC 전압에 대한 절연과피 특성을 다양한 구 전극의 직경과 전극 간격의 변화에 따른 실험과 각 조건에 대한 유한요소해석을 수행하였으며, 그 결과를 분석하였다.

결과적으로 공기의 절연과피 특성은 전극 시스템의 전계 이용률이 낮을수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 커지는 지수함수 관계를 가진다는 사실을 확인할 수 있었다. 특히 전극 간격이 크거나 구 전극의 직경이 작아서 전계 이용률의 크기가 0.3 이하로 작은 불평등전계를 가지는 조건에서는 구 전극의 직경이 작은 경우의 $E_{MAX,1kV}$ 값이 구 전극의 직경이 큰 경우의 $E_{MAX,1kV}$ 에 비하여 커져서 $E_{MAX,BD,50\%}$ 의 값이 구 전극의 직경이 작을수록 커지는 역전현상이 발생하게 된다는 사실을 알 수 있었다. 이와 같은 해석을 통하여 전극 간격이 충분히 큰 불평등전계 하에서 구 전극의 직경이 큰 경우의 절연과피 전압값이 구 전극의 직경이 작은 경우의 절연과피 전압보다 작아지는 현상을 설명할 수 있다. 그러나 특정한 불평등전계 조건에서의 절연과피 전압이 준 평등전계 이상에서의 절연과피 전압보다 높기 때문에 불평등전계 조건으로 설계되었을 때 전력기기가 안정하다는 것을 의미하는 것은 아니다. 왜냐하면, 불평등전계가 심할수록 $E_{MAX,BD,50\%}$ 는 커져서 절연과피 전압이 상대적으로 조금 상승할 수는 있지만, 부분방전 개시전압은 준 평등전계 이상의 조건에 비하여 빨리 발생하게 되고 그 결과, 전력기기의 절연안정성은 더욱 저하될 수 있으므로 전력기기 설계 시에 전극 시스템이 불평등전계가 되는 것은 바람직하지 않다.

본 연구결과에서 알 수 있듯이 AC 전압 하에서 전계 이

용률이 0.3 이상인 준 평등전계 이상의 조건에서는 전극의 형상과 전극 간격과 무관하게 $E_{MAX,BD,50\%}$ 가 AC 2.7kV/mm 임을 알 수 있었다. 또한, 공기 중에서 전계 이용률 변화에 따른 부분방전이 개시되는 최대전계의 값에 관한 연구결과는 추후 발표할 논문에서 다룰 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 정부의 재원으로 한국산업단지공단 산업 집적지 경쟁력 강화 사업(클러스터)의 지원을 받아 수행된 것임.

References

- [1] Seokho Nam, Hyoungku Kang, "A Study on the Lightning Impulse Dielectric Characteristics of Air for the Development of Air-Insulated High Voltage Apparatus," The Transactions of the Korean Institute of electrical Engineers Vol. 60, no. 5, pp. 1005-1010, 2011.
- [2] Yasuo Nishikori, Soji Kojima, and Teruya Kouno, "A Study of the Field Utilization Factor and the Maximum Electric Field at Sparkover of the standard Sphere Gaps," Electrical Engineering in Japan, Vol. 139, no. 4, pp. 399-404, 2002.
- [3] Hyoungku Kang, Jin Bea Na, Yoon Do Chung, Min Cheol Ahn, Duck Kweon Bea, and Tea Kuk Ko, "Study on the Breakdown Voltage Characterization of Insulation Gases for Developing a High Voltage Superconducting Apparatus," IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 20, no 3, pp. 1646-1649, 2010.
- [4] 林泉, "High voltage Plasma Engineering," dongilbook, pp 58-61, 1996.

저 자 소 개



Jong O Kang (姜 宗 吾)

He received the B.S. degree in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju Korea, in 2014. He is Currently a M.S course in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of the Transportation, Chungju Korea.

Tel : 010-7756-5494

E-mail : kjo@ut.ac.kr



Onyou Lee (李 溫 柔)

She is Currently a faculty course in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of the Transportation, Chungju Korea.

Tel : 010-4729-0231

E-mail : onyou@ut.ac.kr



Junil Kim (金 僑 溢)

He is Currently a faculty course in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of the Transportation, Chungju Korea.

Tel : 010-4924-3145

E-mail : kji9085@ut.ac.kr



Seungmin Bang (房 勝 馨)

He is Currently a faculty course in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of the Transportation, Chungju Korea

Tel : 010-2792-2038

E-mail : chsd13@ut.ac.kr



Hongseok Lee (李 鴻 碩)

He received the B.S. degree in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju Korea, in 2014.

He is Currently a M.S course in the Department of Electrical Engineering, Korea National University of the Transportation, Chungju Korea.

Tel : 010-4447-9565

E-mail : hsuk@ut.ac.kr



Jong Doug Lee (李 鍾 得)

He received the B.S. degree in the Department of Electrical Engineering, Kyungnam University, Changwon Korea, in 1998. He is currently a Director of Research Center in the Technical Research Center, Guju Technology, Inc., Chungju, Korea.

Tel : 043-852-8500

E-mail : lee@gujutec.co.kr



Hyoungku Kang (姜 亨 求)

He received the B.S and M.S degree in the Department of Electrical Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea, in 1997 and 1999, respectively and the Ph.D. in the School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea, in 2005. He was Chief Researcher in Electro-Mechanical Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., Gyeonggi-do, Korea, during 2005-2009. He is currently a Professor in the Dept. of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea.

Tel : 043-841-5145

Fax : 043-841-5140