

# 친환경 고압배전반 개발을 위한 dry air의 압력별 절연내력특성 분석에 관한 연구

논 문
60-8-16

## Analysis on the Dielectric Characteristics of Dry Air According to Pressures for Developing an Eco-friendly High Voltage Switchgear

남 석 호\* · 강 형 구†  
(Seok Ho Nam · Hyoungku Kang)

**Abstract** - The environmental pollution caused by green-house gases such as CO<sub>2</sub> and SF<sub>6</sub> has been becoming the main issue of industrial society. Many developed countries are making efforts to minimize the amount of CO<sub>2</sub> emission come from the operation of high voltage electrical apparatuses. As a part of these efforts, 180 countries signed the Kyoto Protocol in 1997 to cut back on their green-house gas emissions. Nowadays, the study on the development of dry air insulated switchgear (DAIS) which is known as an eco-friendly electrical apparatus is in progress. A DAIS is advantageous for minimizing the effect of impurities and enhancing the dielectric characteristics over an air insulated switchgear (AIS) by applying constant pressure to an enclosed cubicle. Therefore, a study on the electrical insulation performance of dry air as a gaseous insulation medium is conducted in this paper to substitute a gas insulated switchgear (GIS) for DAIS. As results, it is verified that the AC dielectric characteristics of dry air are similar to those of air and the lightning impulse dielectric characteristics of dry air are superior to those of air at 1bar pressure condition. However, dry air is of inferior dielectric characteristics to SF<sub>6</sub> at 4bar pressure condition. Finally, it is suggested that the internal pressure of DAIS should be over 4bar pressure to develop a high voltage switchgear which has similar electrical performance to a conventional GIS. Also, the empirical formulae on calculating the maximum electric field intensity at sparkover of dry air are deduced by experiments according to pressures. It is expected that these results are helpful to design and develop a high voltage electrical apparatus.

**Key Words** : Eco-friendly electrical machine, Electrical breakdown, High voltage switchgear, Insulation design, Utilization factor

### 1. 서 론

최근 급격한 산업사회의 발달에 따라 전력기기의 종류와 설치개수가 꾸준히 증가하고 있다. 이와 같이 수많은 고전압 전력기기의 제작 및 재료가공에 필요한 에너지뿐만 아니라 운전 시에 발생하는 ohmic loss 등에 의하여 발생하는 온실가스는 지구온난화와 같은 환경파괴를 유발하는 등의 문제를 야기하므로 그에 따른 대책이 시급하게 요구되고 있다. 현재 전 세계적으로 온실가스 배출량 저감에 대한 노력이 활발히 이루어지고 있으며 이와 같은 노력의 일환으로 1997년 일본 교토에서 개최된 UN 산하의 UNFCCC 3차 회의에서는 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)를 비롯한 6가지의 환경파괴를 유발하는 온실가스를 규정하였다 [1]. 또한, 세계 각국에서 이와 같은 온실가스의 감축 의무를 분담하고자 교토의정서를 채택하여 2012년까지 평균 5.2%의 온실가스 감축 결의안을 결정하였다. 이와 같은 6가지의 온실가스는 이산화탄소와 메탄 (CH<sub>4</sub>), 아산화질소 (N<sub>2</sub>O), 과불화탄소 (PFCs), 수소

불화탄소 (HFCs), 그리고 육불화황 (SF<sub>6</sub>)으로서 이산화탄소의 지구온난화 지수를 1이라고 기준화하였을 때, 육불화황의 환산된 지구온난화 지수는 무려 23,900으로서 6가지의 온실가스 중에서 지구온난화 지수가 가장 높다 [1]. 그러나 육불화황의 절연내력특성은 지금까지 알려진 다른 기체 절연매질에 비하여 가장 우수할 뿐만 아니라 열전달특성이 우수하므로 고전압 전력기기의 부피축소화와 전기적 안정성뿐만 아니라 열적 특성 향상에 효과적이다. 이와 같은 특성으로 인하여 육불화황은 현재 배전반과 차단기, 그리고 변압기와 같은 고전압 전력기기용 절연매질로 널리 사용되고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 육불화황의 지구온난화 지수는 이산화탄소의 23,900배로 환경파괴의 영향성이 높기 때문에 최근에는 육불화황을 대체할 수 있는 친환경 전력기기 개발에 관한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 친환경 고전압 배전반으로는 에폭시 등을 절연매질로 사용하는 고체절연 배전반 (solid insulated switchgear: SIS)과 dry air를 절연매질로 사용하는 dry air 배전반 (dry air insulated switchgear: DAIS)과 기체절소를 이용하는 기체절소 배전반 (nitrogen insulated switchgear: NIS), 그리고 고체 절연매질과 기체 절연매질을 함께 사용하는 hybrid 배전반 등이 있다 [2]. 그러나 ABB와 Siemens 및 AREVA와 같은 유럽의 선진 중전기 회사에서는 현재까지 육불화황을 대체할 수 있는 우수한 절연매질을 연구하기 보다는 육불화

\* 준 회원 : 충주대 첨단과학기술대 전기공학과 석사과정

† 교신저자, 정회원 : 충주대 첨단과학기술대 전기공학과  
전임강사

E-mail : kang@cjnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 7월 14일

최종완료 : 2011년 7월 26일

황을 이용한 밀폐형의 배전반 (gas insulated switchgear: GIS)을 제작하여 운전, 유지보수 및 폐기까지의 누출 관리를 철저히 함으로서 환경에 대한 영향성을 최소화하는 것이 더욱 경제적이고 효과적이라고 판단하고 있다. 따라서 육불화황을 중심으로 한 GIS의 연구 및 개발을 지속적으로 수행하고 있다. 이에 반하여 일본과 우리나라를 비롯한 국가 등에서는 육불화황을 대체할 수 있는 여러 가지의 절연매질에 관한 연구를 활발히 수행하고 있다. 본 논문에서는 친환경 배전반용 기체 절연매질로서 기체질소와 기체산소를 79:21의 비율로 혼합하고 수분을 제거한 dry air에 대한 절연내력 특성 분석에 관한 연구를 수행하였다. 이와 같은 dry air의 절연내력특성에 관한 연구는 DAIS와 같은 친환경 고압배전반 개발의 절연설계 데이터로서 이용될 수 있을 것이다.

## 2. 모의전극의 제작 및 전계해석

### 2.1 모의전극의 제작

Dry air의 절연내력특성에 관한 실험을 수행하기 위하여 본 연구에서는 여러 가지 형상을 가지는 스테인레스 스틸 315 재질의 구 대 평판 전극시스템을 설계, 제작하였다. 스테인레스 스틸 315는 가공이 비교적 용이할 뿐만 아니라 기계적 강도가 우수하여 AC 및 뇌임펄스 절연과피로 인한 전극 표면의 손상을 최소화할 수 있다. 구 대 평판 전극시스템의 구 전극에는 고전압을 인가하였으며 평판 전극은 접지하였다. 본 연구에서는 다음의 표 1과 같은 사양의 구 대 평판 전극시스템을 제작하였다. 다음의 그림 1에는 구 전극의 직경이 50mm이고 두 전극의 간격은 30mm인 전극시스템의 구조도를 나타내었다.

### 2.2 전계해석

육불화황이나 dry air와 같은 기체 절연매질은 AC 및 뇌임펄스 절연내력특성 모두 전극시스템에서의 최대전계의 크기에 의하여 결정되는 것으로 알려져 있다 [2, 4]. 공기와 육불화황과 같은 기체 절연매질의 절연과피전압을 나타내는 실험식은 각 조건에 따라 이미 여러 연구자에 의하여 발표된 바 있다 [2]. 본 논문에서는 친환경 고압배전반 개발용 기체 절연매질인 dry air의 AC 및 뇌임펄스 절연내력특성을 분석하기 위하여 구 대 평판 전극시스템에서의 전계해석을 수행하였다. 전계해석을 위해서 유한요소해석법을 사용하였는데 전극시스템의 구조는 구 대 평판으로서 비교적 간단하기 때문에 2차원 축대칭 해석을 하였다 [4]. 전계해석 시에

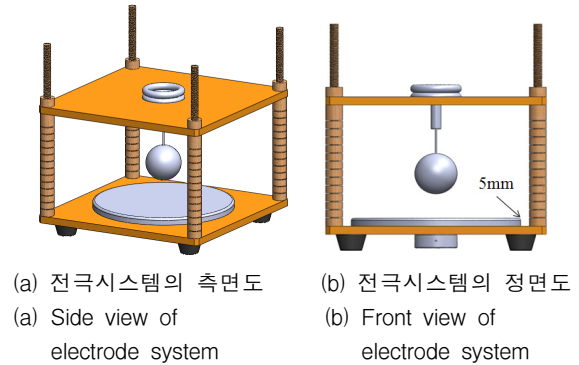


그림 1 구 대 평판 전극시스템의 구조

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

구 전극에는 편의상 1kV의 전압을 인가하였으며 평판 전극은 접지하였다. 유한요소 해석 시 구 전극에 입력한 전압값이 1kV이므로 1kV 입력 시의 최대전계값에 실제 측정된 절연과피 시의 전압값을 곱하면 AC 및 뇌임펄스 절연과피 시의 최대전계값을 계산할 수가 있다. 이와 같은 관계는 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (1)에서  $E_{MAX, V_{BD}}$ 는 절연과피 시 전극시스템에서의 최대전계값을 의미하고  $V_{BD, 50\%}$ 는 AC 및 뇌임펄스 절연과피전압값이며,  $E_{MAX, 1kV}$ 는 전계해석 시에 구 전극에 1kV를 입력하였을 때 계산되는 전극시스템에서의 최대전계값을 의미한다. 이때  $V_{BD, 50\%}$ 는 절연내력특성실험을 통하여 얻은 실험값을 Weibull 분포해석을 통하여 계산한 절연과피확률이 50%가 되는 값을 의미한다. 일반적으로 Weibull 분포해석은 전력기기의 고장해석에 사용되고 있다. 따라서 식 (1)에서와 같이  $V_{BD, 50\%}$ 를 이용한다면 고압배전반에서의 절연과피현상이 발생할 확률이 50%가 되도록 절연설계를 수행함을 의미한다. 이와 같은 의미에서 고압배전반을 비롯한 많은 고전압 전력기기의 절연설계 시에는 Weibull 분포해석 결과를 도입하여 절연과피현상이 발생할 확률이 자체적으로 정한 기준값 이하가 되도록 한다. 일반적으로 이와 같은 절연과피 기준값은 1%에서 2% 이하가 되도록 하여 100대의 전력기기 중에서 1대 내지는 2대 미만의 불량품이 발생하도록 설계한다. 이와 같이 절연과피현상이 발생할 확률이 작을수록 제품의 안정성이 높다는 것을 의미하지만 그

표 1 구 대 평판 전극시스템의 사양

Table 1 Specifications of the electrode systems

전극의 재질	스테인레스 스틸 315
전극의 종류	구 대 평판 전극
전극 간 간격 (mm)	10, 30, 50
구 전극의 직경 (mm)	2, 6, 8, 15, 30, 40, 50
평판 전극의 크기 (mm)	직경: 200, 두께: 10, 곡률반경: 5

표 2 전극시스템 조건에 따른 이용률

Table 2 Utilization factors according to electrode systems

구 직경 (mm) \ 전극 간격	2	6	8	15	30	40	50
10 mm	0.1016	0.2146	0.3078	0.4748	0.6373	0.6940	0.7324
30 mm	0.0350	0.0841	0.1261	0.2184	0.3680	0.4353	0.4861
50 mm	0.0226	0.0554	0.0813	0.1439	0.2581	0.3225	0.3741

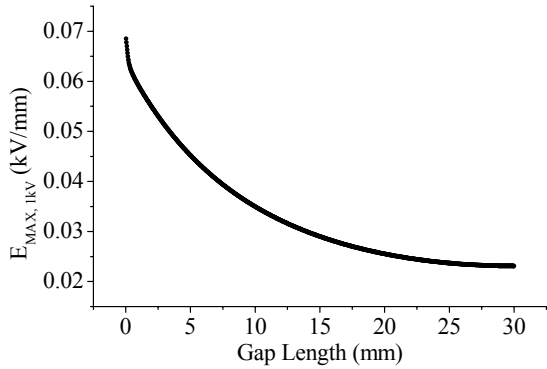


그림 2 구 대 평판 전극시스템의 전계분포해석 결과 (구 전극의 직경: 50mm, 전극 간격: 30mm, 입력전압: 1kV)

Fig. 2 Distribution of  $E_{MAX,1kV}$  of sphere-plane electrode system (Dia. of sphere: 50mm, gap length: 30mm, input voltage: 1kV)

에 따라 상대적으로 제품의 부피가 증가할 뿐만 아니라 그에 따른 원자재 가격의 증가분이 발생하므로 이러한 기준값을 효과적으로 설정하여야 한다.

전계해석 시  $E_{MAX,1kV}$ 와 전극시스템의 전계평등도를 나타내는 이용률을 계산하기 위하여 위의 그림 2와 같은 전계분포도를 전극시스템의 각 조건에 대하여 작성하였다 [5]. 이와 같은 전계분포는 구 전극의 하단에서부터 평판 전극까지의 전위경도에 수직인 경로에서의 값을 나타낸다. 또한, 각 조건 하에서 전극시스템의 전계평등도를 나타내는 이용률을 계산하기 위하여  $E_{MAX,1kV}$ 에 대한 평균전계값을 나타내는  $E_{MAX,mean}$ 의 비율을 표 2와 같이 계산하였다 [5].

### 3. 절연파괴실험

#### 3.1 절연파괴실험 조건

기체 절연매질의 종류는 질소와 산소가 79:21로 혼합되었으며 수분함량은 0.05%이하인 dry air를 사용하였다. 전통적으로 고압배전반용 기체 절연매질로는 공기를 이용하고 있다. 그러나 일반 공기는 계절, 장소 등에 따라 온도와 수분의 양이 달라지기 때문에 그에 따른 공기의 절연내력특성도 달라진다. 또한, 공기 중에 존재하는 먼지 등으로 인하여 장시간 운전 시에 절연내력특성의 열화현상이 발생할 수 있기 때문에 고압배전반의 높은 안정성 확보가 어렵다. 따라서 최근에는 고압배전반의 부피축소와 전기적 안정성 향상을 위하여 육불화황을 기체 절연매질로 사용하기도 한다. 육불화황은 절연내력특성이 매우 우수할 뿐만 아니라 고압 배전반을 제작할 때 일정한 압력을 유지하기 위하여 육불화황이 누출되지 않도록 밀봉을 하기 때문에 먼지로 인한 열화현상도 발생하지 않는 장점도 가지고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 육불화황은 온실가스로서 지구환경파괴를 유발하는 것으로 알려져 있기 때문에 대체 절연매질에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 그러한 연구결과로서 경제성이나 절연내력특성, 환경파괴 등의 측면을 고려하였을 때, 공기가 많은 장점을 가지고 있다는 사실을 알 수

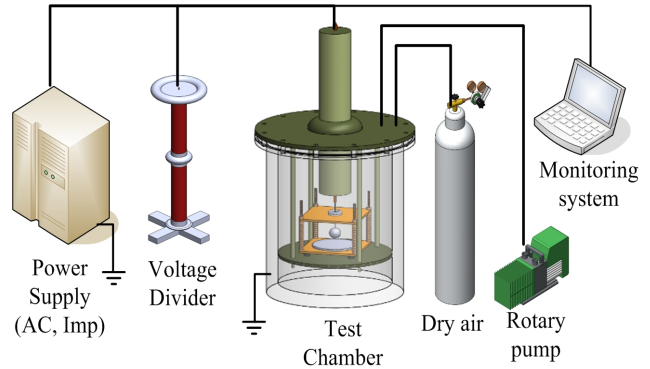


그림 3 절연파괴실험 구성도

Fig. 3 Experimental setup for electrical breakdown voltage test

있었다. 그러나 공기는 수분이나 먼지 등으로 인한 열화현상에 의하여 고압배전반의 특성에 변화가 생길 수 있기 때문에 이와 같은 수분과 먼지 등의 영향을 최소화하기 위하여 dry air를 이용한 밀폐형 고압배전반을 개발하기 위한 연구가 시작되었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 DAIS 개발의 요소기술로서 dry air의 절연내력특성 분석에 관한 연구를 수행하였다.

Dry air의 절연내력특성 실험으로는 전력기기 시험에 주로 사용되는 AC전압과 뇌임펄스전압에 대한 실험을 수행하였다. AC전압에 대한 절연파괴실험을 위하여 사용한 AC전원의 주파수는 60Hz이며, 최대 전압용량은 200kV, 60kVA급이다. 또한, 1초당 1kV의 전압을 상승시켰을 때의 절연파괴 전압값을 각 조건 당 10회씩 반복 측정하여 기록하였다. 또한 뇌임펄스전압에 대한 절연파괴시험기의 용량은 500kV이며 파두는 1.2 $\mu$ s, 파미는 50 $\mu$ s이다. 그림 3에는 AC 및 뇌임펄스전압에 대한 절연파괴실험의 구성도를 나타내었다. AC 및 뇌임펄스 절연파괴실험을 위하여 실험챔버 안에 구 대 평판 전극시스템을 위치시킨 후에 로터리 펌프를 약 20분간 운전하여 챔버 내의 진공도를 10<sup>-2</sup>Torr 이하로 하여 이물질에 의한 영향을 최소화하였다. 본 연구에서 사용된 압력조건은 실험의 기준이 되는 1기압과 실제 DAIS나 GIS 운전조건과 유사한 4기압에 대한 절연내력특성을 측정하고 분석하였다.

#### 3.2 절연파괴실험 결과

질소와 산소의 비율이 79:21인 dry air를 1기압과 4기압 조건 하에서 여러 가지 전극시스템을 이용하여 AC와 뇌임펄스 절연파괴실험을 실시하였다. 그림 4에는 1기압 하에서 dry air의 구 전극의 직경별, 전극 간격별 AC 절연파괴전압의 변화를 나타내었다. 또한, 그림 5에는 1기압 dry air에서 구 전극의 직경별, 전극 간격별 뇌임펄스 절연파괴전압의 변화를 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 뇌임펄스 절연파괴전압은 AC 절연파괴전압에 비하여 동일 조건 하에서 약 2배 정도 크다는 사실을 알 수 있었다. 그림 6과 그림 7에는 4기압 하에서 dry air의 구 전극의 직경별, 전극 간격별 AC와 뇌임펄스 절연파괴전압의 변화를 각각 나타내었다. 4기압 조건에서의 절연파괴실험은 1기압과 같이 다양한 조

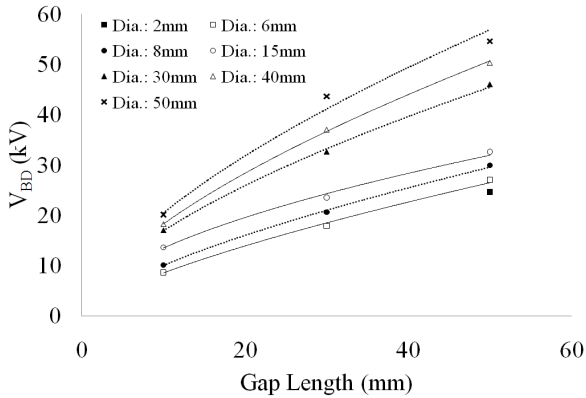


그림 4 Dry air 1기압 하에서 AC 절연파괴전압  
Fig. 4 AC electrical breakdown voltage of dry air at 1bar pressure

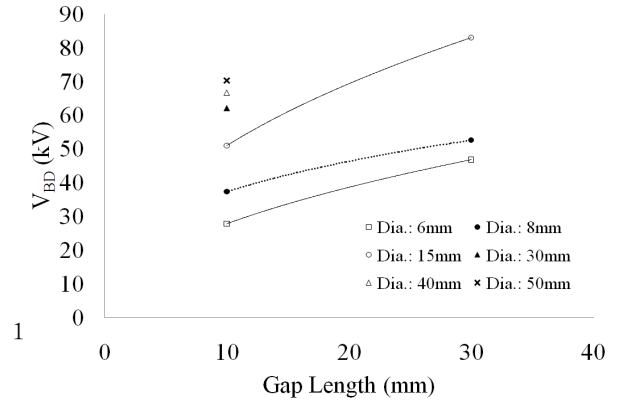


그림 6 Dry air 4기압 하에서 AC 절연파괴전압  
Fig. 6 AC electrical breakdown voltage of dry air at 4bar pressure

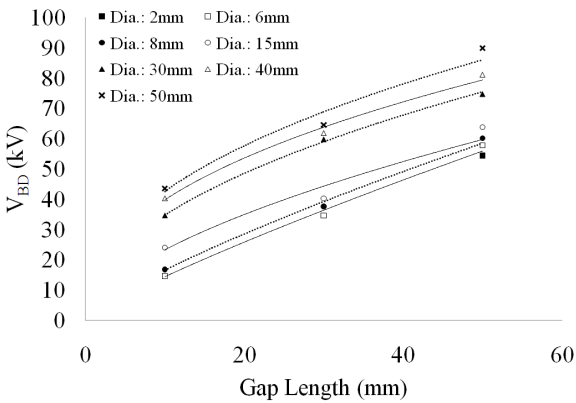


그림 5 Dry air 1기압 하에서 뇌임펄스 절연파괴전압  
Fig. 5 Lightning impulse electrical breakdown voltage of dry air at 1bar pressure

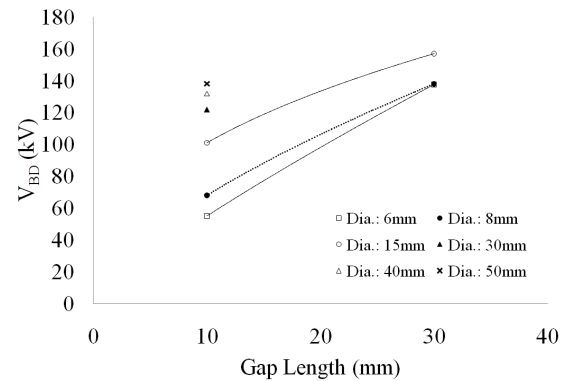


그림 7 Dry air 4기압 하에서 뇌임펄스 절연파괴전압  
Fig. 7 Lightning impulse electrical breakdown voltage of dry air at 4bar pressure

건 하에서 실험을 수행하지 않고 전계평등도에 따른 개괄적인  $E_{MAX,VBD}$ 의 특징을 살펴보기 위하여 이용률의 범위가 0.1에서 0.7 이상까지 분포할 수 있도록 고려하여 선별적인 조건 하에서의 실험을 수행하였다. 4기압 조건 하에서 구 전극의 직경이 6mm이고 전극 간격이 10mm인 경우를 기준으로 할 때, AC 및 뇌임펄스 절연파괴전압은 1기압 조건 하에서의 값에 비하여 약 3배 이상 크다는 사실을 알 수 있었다.

### 3.3 절연파괴실험 결과분석

그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 dry air의 절연파괴전압은 구 전극의 직경이 8mm 이하인 경우에 비하여 직경이 15mm 이상인 경우에 보다 높게 측정된다는 사실을 알 수 있었다. 또한, 구 전극의 직경이 크고 전극 간격이 클수록 절연파괴전압은 크게 나타나며, 구 전극의 직경이 일정 크기 이상이 되면 절연파괴전압의 크기가 포화되는데 이와 같은 전극의 면적과 관계된 특징은 공기와 육불화황과 같은 기체 절연매질에서도 나타나는 특징으로서 체적효과로 설명할 수 있다 [6]. 본 논문에서 전극 표면의 조도 등에 의한 조건은 고려하지 않았으며, 절연파괴실험을 통하여 측정된  $V_{BD,50\%}$ 와 전계해석을 통하여  $E_{MAX,1kV}$ 를 계산한 후, 식 (1)

을 이용하여 절연파괴확률이 50%가 되는 최대전계값  $E_{MAX,VBD}$ 를 계산하였다. 또한, 이와 같이 계산된 각각의  $E_{MAX,VBD}$ 값을 이용률에 대하여 그림 8과 같이 나타내었다. 그림 8에서 보는 바와 같이 dry air의 이용률에 대한  $E_{MAX,VBD}$ 의 관계는 압력과 전압의 종류에 따라 항상 지수함수 관계를 가진다는 사실을 확인할 수 있었다. 다음의 식 (2)에는 압력과 전압에 따른 dry air의 이용률과  $E_{MAX,VBD}$ 의 일반적 함수식을 나타내었으며 표 3에는 각 파라미터의 값을 나타내었다.

$$E_{MAX,VBD} = A_1 \times \exp(-\xi/t_1) + y_0 \quad (2)$$

그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 dry air의 압력별, 전압별  $E_{MAX,VBD}$ 은 이용률이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소한다는 사실을 확인할 수 있었다. 즉, 위의 식 (2)와 표 3의 파라미터를 이용하여 이용률에 따른 dry air의 압력별, 전압별  $E_{MAX,VBD}$ 를 계산할 수 있다. 또한, 그림 8에서와 같이 이용률이 약 0.5 이상 되는 준평등전계 범위에서는  $E_{MAX,VBD}$ 이 이용률의 증가에 따라 감소하지 않고 포화되어 일정한 값을 가지는 것으로 보인다. 일반적으로 고압배전반을 비롯한 고전압 전력기기를 설계함에 있어서 운전 시 시스템 내부의 금속 구조물에서 발생하는 최대전계는 최대한

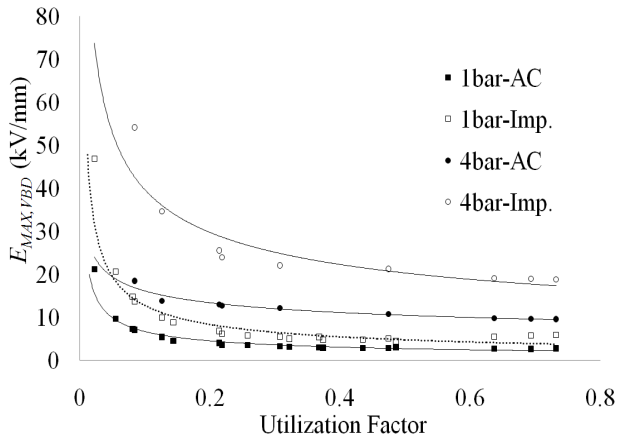


그림 8 Dry air의 이용률과 E<sub>MAX,VBD</sub> 간의 함수관계  
 Fig. 8 Functional relation between E<sub>MAX,VBD</sub> and utilization factor in dry air

표 3 Dry air의 절연파괴전계 일반식의 파라미터  
 Table 3 Parameters of empirical formula for maximum electric field intensity at sparkover in dry air

		y <sub>0</sub>	A1	t <sub>1</sub>
1기압	AC	3.14	31.47	0.039
	Imp.	5.58	74.18	0.038
4기압	AC	9.83	14.41	0.134
	Imp.	20.09	138.91	0.059

작은 값을 가지도록 설계한다. 즉, 전력기기의 시스템 내부의 전계는 불평등전계가 아닌 최대한 준평등전계가 되도록 절연설계를 실시하고 있다. 따라서 그림 8에서 이용률이 0.5 이상이 되는 범위에서의 E<sub>MAX,VBD</sub> 값을 알면 dry air를 이용하는 DAIS의 절연설계를 함에 있어서 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 그림 9에는 이와 같은 1기압 하 dry air의 준평등전계 영역에서의 포화된 E<sub>MAX,VBD</sub>를 공기와 육불화황의 준평등전계 영역에서의 E<sub>MAX,VBD</sub>를 비교하여 나타내었다. 그림 9에서 사용된 1기압의 공기 하에서 AC 및 뇌임펄스 전압의 E<sub>MAX,VBD</sub> 값은 기 발표된 논문의 데이터를 참고하였으며, 그림 9와 그림 10에서 사용된 1기압과 4기압 육불화황 하에서의 E<sub>MAX,VBD</sub>와 관련된 자세한 연구 내용은 향후 논문에 투고할 계획이다. 그림 9와 그림 10을 통하여 각 조건에 따른 기체별 절연내력특성을 비교할 수 있다. 그림 9를 통하여 1기압 조건에서 AC 절연내력특성은 일반 공기와 dry air가 유사하며, 육불화황은 두 기체에 비하여 약 2.2배 크다는 사실을 알 수 있다. 또한, 1기압 조건에서의 뇌임펄스 절연내력특성은 일반 공기에 비하여 dry air가 약 1.6배 이상 우수하다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 dry air를 사용하는 DAIS가 일반 공기를 절연매질로 사용하는 고압배전반에 비하여 동일 압력 조건 하에서는 수분이나 이물질 등에 의한 열화특성에 우수할 뿐만 아니라 뇌임펄스 절연내력특성도 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 육불화황의 뇌임펄스 절연내력특성은 dry air에 비하여 약 2.4배

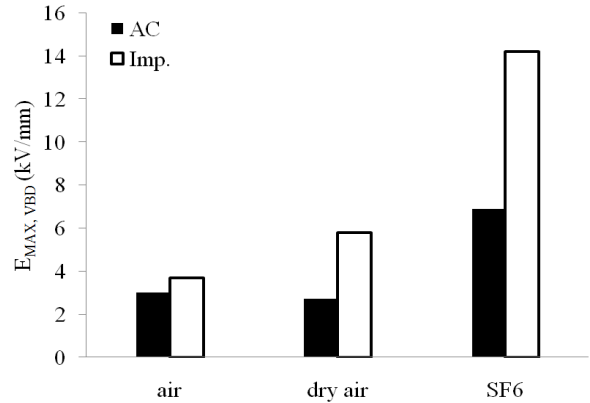


그림 9 1기압 하 dry air와 공기 및 SF<sub>6</sub>의 AC 및 뇌임펄스 전압의 포화 E<sub>MAX,VBD</sub> 비교  
 Fig. 9 Comparison of saturated E<sub>MAX,VBD</sub> for dry air, air, and SF<sub>6</sub> at 1bar pressure

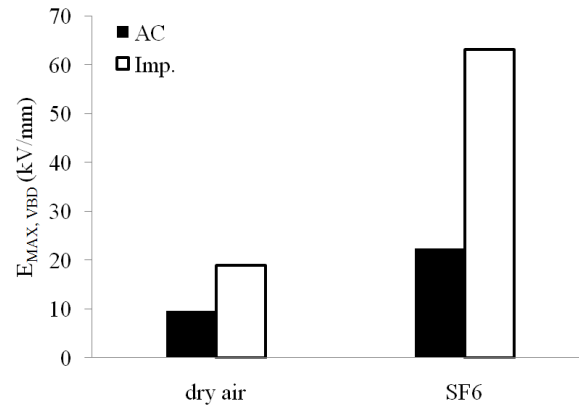


그림 10 4기압 하 dry air와 공기 및 SF<sub>6</sub>의 AC 및 뇌임펄스 전압의 포화 E<sub>MAX,VBD</sub> 비교  
 Fig. 10 Comparison of saturated E<sub>MAX,VBD</sub> for dry air, air, and SF<sub>6</sub> at 4bar pressure

이상 우수함을 확인할 수 있었다. 다음으로 그림 10의 결과를 살펴보면 4기압 하에서의 AC 절연내력특성은 육불화황이 dry air에 비하여 약 2.3배 이상 우수하다는 사실을 알 수 있었으며, 뇌임펄스 절연내력특성은 dry air에 비하여 육불화황이 약 3.3배 이상 우수하다는 사실을 알 수 있었다. 육불화황은 온실가스로서 환경파괴의 위험성을 가지고 있다는 사실을 제외하고 절연내력 측면만을 살펴보면 공기나 dry air에 비하여 우수한 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 환경파괴 등의 논란으로 인하여 dry air와 같은 대체 절연매질의 절연내력특성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 dry air의 절연특성은 육불화황에 비하여 상대적으로 낮으므로 이와 같은 절연내력특성을 보완하기 위하여 실제로 ABB사에서 개발하고 있는 육불화황을 절연매질로 사용하는 GIS의 경우 4기압 하에서 운전하고 있는 것에 반하여 Hitachi사에서 개발하고 있는 DAIS의 경우에는 4.5기압, Nissin사에서 개발하고 있는 DAIS는 5기압 조건으로 운전하여 GIS에 비하여 dry air의 압력을 다소 높은 조건 하에서 운전하는 제품을 개발하고 있다. 본 연구에서는 육불화황이나 공기와 동일 조건 하에서 dry air의 절연

내력특성을 살펴보았으며, 5기압에서의 dry air의 절연내력 특성 실험은 향후에 추가적으로 실시할 계획이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 최근 산업사회의 발달로 인하여 유발되고 있는 각종 환경오염을 최소화하기 위한 신기술 중의 하나로써 부각되고 있는 친환경 고압배전반인 DAIS의 요소기술개발과 관련된 연구를 수행하였다. DAIS의 절연매질로 사용되고 있는 dry air의 AC 및 뇌임펄스 절연내력특성에 관한 실험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 1기압 조건 하에서 dry air의 AC 절연내력특성은 공기와 유사하였지만 뇌임펄스 절연내력특성은 공기에 비하여 우수하므로 DAIS는 기존의 공기절연방식을 사용하는 고압배전반에 비하여 절연특성 측면에서 효율적이라고 할 수 있다. 또한, 4기압 조건 하에서 dry air의 절연내력특성은 육불화황에 비하여 AC 절연내력특성은 2.3배, 그리고 뇌임펄스 절연내력특성은 3.3배 이상 작으므로 절연특성 측면 상 기존의 육불화황을 기체 절연매질로 사용하는 GIS에 비하여 불리하다고 할 수 있다. 따라서 dry air를 이용하여 기존의 GIS와 동일한 특성의 DAIS를 개발하기 위해서는 일반적인 GIS의 운전 압력조건인 4기압 이상으로 설계되어야 함을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 dry air의 AC 및 뇌임펄스  $E_{MAX,VBD}$ 는 이용률에 대하여 함수관계를 가진다는 사실을 확인하였으며, 이러한  $E_{MAX,VBD}$ 와 이용률의 관계를 압력과 전압별의 각 조건에 따라 실험식으로 도출하였다. 이와 같은 연구결과는 친환경 고압배전반을 비롯한 고전압 전력기기 개발의 설계에 도움이 될 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (2010-0003558)

이 논문은 2011년도 충주대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박선희, “유럽연합과 교도의정서”, 한국프랑스학회, 2008년 추계학술발표회, pp. 125-144, 2008.
- [2] 김준연, 김용한, 석복렬, “친환경 전력기기 개발을 위한 dry air 절연과피특성 연구”, 대한전기학회 제 41회 하계학술대회 논문집, pp. 1124-1125, 2010.
- [3] Hyoungku Kang, Jin Bae Na, Yoon Do Chung, Min Cheol Ahn, Duck Kweon Bae, and Tae 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] 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.
- [5] 강형구, 고태국, “이용률을 이용한 과냉질소 냉각시스템용 절연가스의 절연특성에 관한 연구”, 한국초전도저온공학회논문지. Vol. 12, No. 1, Mar, pp. 52-55, 2010.
- [6] Hyoungku Kang and Tae Kuk Ko, “Analysis on the Dielectric Characteristics of Insulation Gases for Developing a High Voltage Superconducting Fault Current Limiter,” IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 21, no. 3, pp. 1332-1335, 2011.
- [7] 최재형, 최진욱, 이해근, 송정빈, 김해중, 성기철, 김상현, “고온초전도 시스템 냉각용 고화질소의 기초 절연특성”, 대한전기학회논문지. Vol. 58, No. 1, Jan, pp. 132-136, 2009.
- [8] 남석호, 강형구, “고전압 전력기기 개발을 위한 기중 절연과피특성 분석에 관한 연구”, 대한전기학회논문지. Vol. 60, No. 5, May, pp. 1005-1010, 2011.

### 저 자 소 개



#### 남 석 호 (南 碩 昊)

1986년 05월 08일생. 2011년 충주대 철만과학대학 전기공학과 졸업. 2011년~현재 충주대 전기공학과 대학원 석사과정.

Tel : 010-3109-2191

E-mail : smalliberty@cjnu.ac.kr



#### 강 형 구 (姜 亨 求)

1973년 08월 04일생. 1997년 성균관대 공과대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사). 2005년 연세대 대학원 전기·전자공학과 졸업 (공학박사). 2005년~2009년 현대중공업 선임연구원, 2009년~현재 충주대 전기공학과 전임강사.

Tel : 043-841-5145

FAX : 043-841-5140

E-mail : kang@cjnu.ac.kr