

Dry air와 공기의 절연파괴전압 특성 비교에 관한 연구

강형규*, 남석호*, 김홍규*
충주대학교*

Study on the comparison of breakdown voltage characteristics between dry air and air

Hyoungku Kang*, Seok Ho Nam*, Hong-Gyu Kim*,
Chungju National University*

Abstract - 고압배전반과 같은 고전압 전력기기의 절연매질로는 고체 절연매질이 사용되기도 하지만 주로 공기나 SF₆와 같은 기체가 사용된다. 공기를 절연매질로 사용하고 있는 고압배전반과 같은 경우에는 장시간 운전 시 먼지나 수분 등과 같은 이물질에 의한 열화현상이 보고되고 있으며, SF₆를 사용하는 고압배전반의 경우에는 최근 온실효과와 같은 환경오염의 원인으로 지목되고 있는 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 열화현상이나 환경오염 유발과 같은 문제점을 해결하기 위한 방안 중의 하나로서 공기 중의 수분을 제거한 dry air를 이용한 친환경 고압배전반의 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 dry air의 절연내력특성에 관한 실험을 수행하여 일반 공기의 절연내력특성과 비교하였다.

1. 서 론

고압배전반과 같은 전력기기용 절연매질로는 기체와 고체 절연매질이 사용되고 있는데 그 중에서 기체 절연매질로서는 공기와 SF₆등이 주로 사용되고 있다. 기체 절연매질은 절연파괴현상이 발생한 이후에 절연특성의 복원능력이 우수할 뿐만 아니라 유지, 보수가 고체나 액체 절연매질에 비하여 용이하다는 장점을 가지고 있다 [1]. 이와 같은 기체 절연매질 중에서도 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 것이 공기이다. 공기를 이용한 절연법은 절연을 위한 별도의 비용이 발생하지 않는다는 점과 함께 양호한 절연내력특성을 가지는 장점을 가지고 있다. 그러나 공기는 이러한 장점 이외에도 수분이나 먼지 등의 이물질에 의한 열화특성이 발생하여 고압배전반의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 계통 안정성 저하의 원인이 되고 있다 [2]. 또한 SF₆는 온실가스의 한 종류로서 환경파괴의 원인으로 지적되고 있어 교토의정서 등과 같은 사용 규제에 관한 논의가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 대한 대책으로서 공기와 같은 조성이어 환경친화적이며 절연내력특성도 양호할 뿐만 아니라 가격이 저렴한 dry air를 사용하는 고압배전반 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 친환경 전력기기용 절연매질로 알려져 있는 dry air의 절연내력특성을 실험을 통하여 확인하고 일반 공기의 절연내력특성과 비교하였다. 본 논문에서 확인한 연구결과는 친환경 전력기기 개발을 위한 연구의 초석으로 고압배전반을 비롯한 여러 가지 분야로의 응용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 실험수행 및 결과분석

2.1 실험조건

본 논문에서는 스테인레스 306 재질의 구 대 평판 전극 시스템을 이용한 AC 전압과 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴전압특성을 살펴보았다. AC 전압의 주파수는 60Hz이며, 전압상승속도는 1kV/s로 조절하였다. 뇌임펄스 전압의 파두는 1.2μs이며 파미는 50μs였으며, 또한 공기 중에서의 절연내력특성 실험을 수행한 조건은 23℃이고 습도는 76%로 측정되었다. 또한, 실험에 사용된 dry air는 N₂ 79%와 O₂ 21%의 조성비를 가졌다. 본 실험에 사용된 고전압이 인가되는 구 전극의 직경은 6mm, 40mm, 그리고 60mm로 세 가지이며, 접지극인 평판 전극의 직경은 200mm이고 두께는 10mm이며 곡률반경은 5mm로 제작하였다. 모든 AC 절연내력특성 실험은 동일한 조건 하에서 10회씩 반복 수행되었으며, 그 중에서 최대값과 최소값을 제외한 8개의 데이터만을 이용하여 절연내력특성을 분석하였다. 데이터 분석에는 일반적으로 고장해석을 수행하는데 이용되는 Weibull 분포해석을 이용하여 절연파괴 확률이 50%가 되는 확률을 계산하였다. 이와 같은 Weibull 분포해석을 통하여 절연파괴 전압을 전력기기의 절연파괴 사고로 판단하여 전력계통 내의 신뢰성 평가의 기준으로 가정하였다 [3].

2.2 실험결과

먼저 2.1절에서 기술한 조건의 공기 중에서 구 대 평판 전극시스템의

<표 1> 공기 중에서의 AC 전압에 대한 절연파괴전압

(kV)

구 직경 \ 갭 간격	3mm	10mm	20mm	25mm	35mm	45mm
40mm	-	-	-	33.2	38.5	43.4
50mm	7.7	20.1	33.4	-	-	-

<표 2> 공기 중에서의 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴전압

(kV)

구 직경 \ 갭 간격	10mm	20mm	30mm	40mm
6mm	16.8	31.0	38.9	51.9
40mm	-	44.6	-	67.1
50mm	28.6	46.1	59.0	-

<표 3> Dry air 중에서의 AC 전압에 대한 절연파괴전압

(kV)

구 직경 \ 갭 간격	10mm	30mm	50mm
6mm	8.6	17.9	27.0
40mm	18.2	37.0	50.3
50mm	20.1	43.6	54.6

<표 4> Dry air 중에서의 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴전압

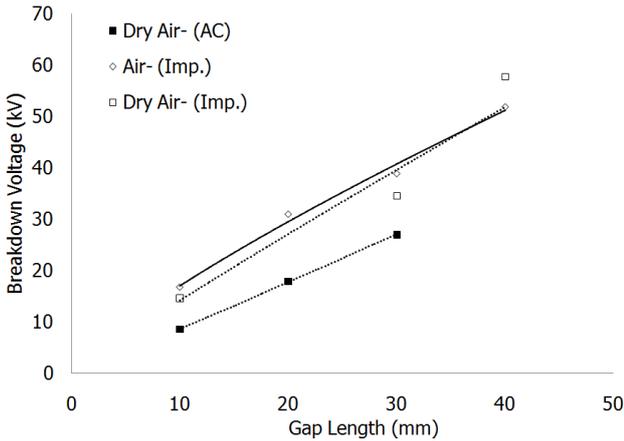
(kV)

구 직경 \ 갭 간격	10mm	30mm	50mm
6mm	14.6	34.6	57.8
40mm	40.2	61.8	81.1
50mm	43.5	64.6	89.9

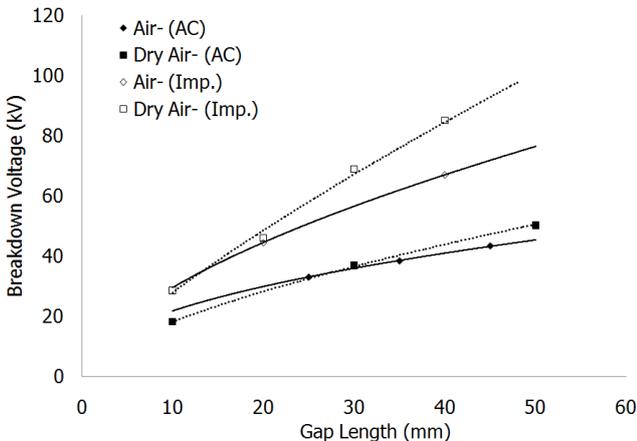
AC 전압에 대한 절연내력특성 실험 결과는 위의 표 1과 같이 나타내었으며 표 2에는 뇌임펄스 전압에 대한 절연내력특성 실험 결과를 나타내었다. 이와 반해 dry air의 AC 전압과 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴 전압을 표 3과 표 4에 각각 나타내었다.

2.3 실험결과 분석

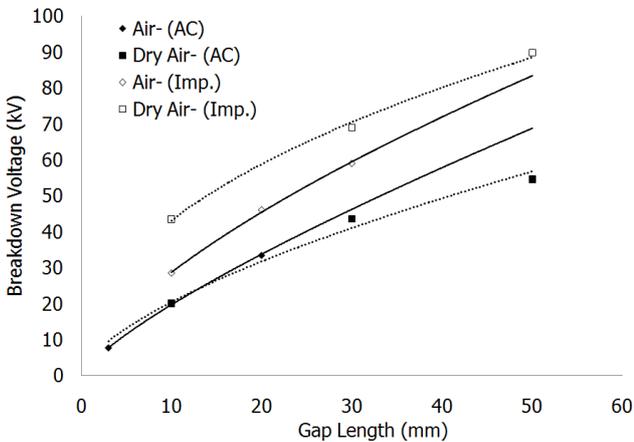
2.2절에는 공기와 dry air에 대한 AC와 뇌임펄스 절연파괴전압을 표로 나타내었다. 본 절에서는 공기와 dry air의 절연파괴전압값을 비교, 분석하였다. 구 전극의 직경이 6mm인 경우에는 갭간격과 무관하게 뇌임펄스 전압에 대하여 공기와 dry air의 절연내력특성이 거의 유사하게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 구 전극의 직경이 6mm인 경우의 실험 결과를 그림 1에 나타내었다. 또한 다음의 그림 2에는 공기와 dry air에서의 AC 절연파괴전압값을 비교하여 나타내었다. 그림 2에서 보는



〈그림 1〉 구 전극의 직경이 6mm인 경우의 절연파괴전압 비교



〈그림 2〉 구 전극의 직경이 40mm인 경우의 절연파괴전압 비교



〈그림 3〉 구 전극의 직경이 50mm인 경우의 절연파괴전압 비교

바와 같이 구 전극 직경이 40mm인 경우에는 AC 전압에 대한 절연파괴 전압 특성은 공기와 dry air가 갭간격의 변화에 따라 유사하였다. 그러나 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴전압 특성은 갭간격이 20mm까지는 유사하지만 그 이상 조건에서는 공기에 비하여 dry air의 절연파괴전압 값이 크다는 사실을 알 수 있었다. 그림 3에는 구 전극의 직경이 50mm인 구 대 평판 전극시스템에서의 공기와 dry air의 절연파괴전압값을 비교하여 나타내었다. 그림 3에서 보는 바와 같이 AC 전압에 대한 절연파괴전압 특성은 공기와 dry air가 서로 유사하게 나타났으며 뇌임펄스 전압에 대한 절연파괴전압 특성은 dry air가 공기에 비하여 크게 나타났다. 그림 1, 그림 2, 그림 3에서 보는 바와 같이 구 전극의 직경에 따른 공기와 dry air의 절연파괴전압값은 추세선을 이용하여 다음의 표 5와 같이 나타낸 식으로 표현할 수 있다. 표 5에서 보는 바와 같이 기체 절연매질의 절연파괴전압은 간략한 지수함수식으로 표현할 수 있다. 고전압이 인가되는 구 전극에서 직경이 작은 경우에는 공기의 뇌임펄스 전

〈표 5〉 구 전극 직경에 따른 절연파괴전압식

구 전극 직경 (mm)	절연파괴전압식			
	AC 전압		임펄스전압	
	공기	Dry air	공기	Dry air
6	-	$y = 0.78 \times x^{1.04}$	$y = 2.74 \times x^{0.79}$	$y = 1.65 \times x^{0.94}$
40	$y = 7.67 \times x^{0.45}$	$y = 4.24 \times x^{0.53}$	$y = 7.63 \times x^{0.59}$	$y = 4.45 \times x^{0.80}$
50	$y = 3.30 \times x^{0.78}$	$y = 4.75 \times x^{0.63}$	$y = 6.25 \times x^{0.66}$	$y = 15.5 \times x^{0.45}$

압에 대한 절연내력특성이 dry air에 비하여 다소 높지만 구 전극의 직경이 큰 경우에는 오히려 dry air가 공기에 비하여 뇌임펄스 절연내력특성이 우수하다는 사실을 알 수 있었다. 모든 절연내력특성 실험에서 알 수 있듯이 전극 간격이 증가할수록 절연파괴전압값의 크기는 지수함수적으로 포화하면서 증가하는 경향을 가지고 있음을 확인하였다.

3. 결 론

SF₆는 높은 절연내력특성을 가지고 있지만 온실가스로서 환경파괴의 주범으로 여겨지고 있으므로 사용자제에 대한 논의가 전 세계적으로 광범위하게 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이에 대한 대책으로서 최근 친환경 전력기기 개발의 일환으로서 연구가 활발하게 진행되고 있는 dry air에 대한 절연내력특성을 실험을 수행하고 그 결과를 공기의 절연내력특성과 비교, 분석하였다. Dry air는 질소와 산소의 합성기체로서 일반 공기와 유사한 특성을 가지지만 수분을 제거하여 그로 인한 열화특성을 배제하여 고신뢰성 전력기기의 개발에 적합한 특성을 가지고 있다. 또한, SF₆를 사용하는 CGIS와 같이 큐비를 밀폐하여 dry air를 가압할 수 있는 구조로 절연내력특성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 실험 결과, dry air의 AC 절연내력특성은 공기와 유사하다는 사실을 알 수 있었으며, 뇌임펄스 절연내력특성은 공기에 비하여 다소 우수하다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, 구 전극의 직경에 따른 절연파괴전압값을 전극 간격에 대한 지수함수식으로 표현하여 나타내었다. 이와 같은 연구 결과는 dry air를 사용하는 친환경 고압 배전반의 설계에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 남석호, 강형구, "고전압 전력기기 개발을 위한 기중 절연파괴특성 분석에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol. 60, No. 5, pp. 1005-1010, 2011
- [2] 강형구, 고태국, "과냉질소 냉각시스템 가압용 기체의 절연내력특성 분석", 한국초전도·저온공학회논문지, 13권, 1호, pp. 27-30, 2011
- [3] 나진배, 고태국, 강형구, 석복렬, 김태중, "액체질소를 사용하는 초전도 고전압 전력기기의 절연특성 연구", 한국초전도·저온공학회논문지, 13권, 1호, pp. 46-49, 2011
- [4] 강형구, 고태국, "이용률을 이용한 과냉질소 냉각시스템용 절연가스의 절연특성에 관한 연구", 한국초전도·저온공학회논문지, 12권, 1호, pp. 52-55, 2010
- [5] S. Chigusa, H. Maeda, Y. Taniguchi, H. Okubo, "Breakdown characteristics of pressurized liquid helium under quench condition of superconducting wires", Conference records of IEEE International Symposium on electrical Insulation, Virginia, USA, pp. 195-201, 1998
- [6] Yasuo Nishikori, Soji Kojima, and Teruya Kouno, "A Study on 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
- [7] 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

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"