

FC의 전기적 특성연구

허창수, 박상덕, 이승녕, 오영주.
인하대학교 전기공학과

A STUDY ON THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF THE FLUOROCARBON

Huh Chang Soo, Park Sang Durk, Lee Sung Nyeong, Oh Young Ju
DEPT. OF ELECTRICAL ENGINEERING, INHA UNIVERSITY

ABSTRACT

In this paper, We treated the electrical characteristic of fluorocarbon. We found that its properties - dielectric properties, resistivities, dielectric characteristics, etc - are sufficient to use as coolants for GAS INSULATED TRANSFORMER.

이 화합물은 염소나 수소를 전혀 포함하지 않기 때문에 현재 환경 문제를 일으키며 사용되고 있는 hydrocarbon 이나 chlorofluorocarbon 등과는 전혀 다른 매우 안정하고 무해한 특성을 갖고 있다. 이 물질의 일반적 특성을 표 1에 나타내었다.

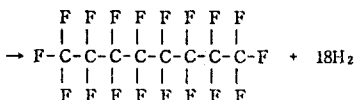
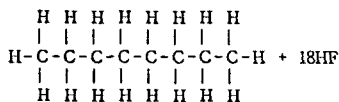
표 1. FC의 물리적 성질

1. 서론

최근 대도시의 인구집중과 건물의 대형화로 대규모의 전력공급이 필요하게 되었다. 그러나 종래의 변압기는 광유를 절연 및 냉각매체로 사용하여 단락시 화재, 폭발 등의 사고를 유발하게 되어 새로운 형태의 변압기가 필요하게 되었다. 따라서 이에 대해 새로이 대두된 것이 가스절연변압기로서 현재 미국 및 일본에서는 가스절연변압기를 시험 운전중에 있다. 또한 대규모의 전력공급을 위한 변전소의 total gas insulation화를 위해서도 변압기의 가스절연화는 적절하다 하겠다. 그러므로 본 연구에서는 최근의 많이 연구되고 있는 가스절연변압기에서 냉매로 사용되는 FC가 가스변압기 설계시 기초자료로서 활용될 수 있게 하기 위해 AC내전압 특성, 유전특성, 체적저항 등을 조사하였으며, 실제조건과 비슷한 FC + SF₆ 혼합가스의 온도에 따른 압력변화와 이 압력에 따른 절연내력을 조사하였다.

2. FC의 물리적 성질

FC(fluorocarbon)은 불연소성에 무색, 무취의 투명한 액체이며 화학적으로 매우 안정한 액체로서 전기절연성도 매우 우수한 물질이다. FC는 일반 유기화합물의 수소 원자를 전기화학적 방법으로 모두 불소로 치환한 물질로서 그 과정은 다음과 같다.



Typical Boiling Point	97°C	Pour Point	-110°C
Density, 25°C	1.78g/cm ³	Vapor Pressure 25°C	42 torr
Density, -54°C	1.97g/cm ³	Refractive index 25°C	1.280
Heat of Vaporization at Boiling Point	20 g-cal/g	Specific Heat 25°C	0.25g-cal/g-°C
Thermal Conductivity 25°C	0.00063 watts/(cm ²)(°C/cm)	Coefficient of Expansion	0.0014 cm ³ /(cm ³)°C
Surface Tension 25°C	15 dynes/cm	Volume Resistivity 25°C	1.9*10 ¹⁵ ohm-cm
Dielectric Strength 25°C	40 KV 2.54mmgap	Dielectric constant 25°C (1KHz)	1.86
Average Molecular Weight	415	Dissipation factor 25°C (1KHz)	<0.0003
Solubility of Water 25°C	13 ppm(wt)	Solubility of Air 25°C	41 ml gas/ 100ml Liq
Kinematic Viscosity 25°C	0.8 cs	Kinematic Viscosity -54°C	6.9 cs

3. 실험 방법 및 장치

FC의 내압 실험은 안정된 값을 얻기 위해 10~20회 반복하여 시험을 했다. 시험 후 액체의 자체 절연회복을 돕기 위해 매 시험 후 액체의 유동이 충분히 이루어지게 했고 또한 시험시 액체의 유동이 일어나지 않게 외부의 충격이 거의 없게 했다. FC의 내압시험 및 FC + SF₆ 혼합가스에서의 전원은 마산 전기계기

제작소에서 제작한 시험용 변압기를 이용했다. FC + SF₆ 혼합 가스에서의 절연 파괴 시험은 압력용기를 사용하였으며, 시험은 먼저 용기를 깨끗하게 세척하여 이물질이 들어가지 않도록 하였으며, 그 후 로타리 펌프를 이용하여 진공을 유지한 후 FC를 주입하고 다시 SF₆가스를 넣어 압력이 1.2 KG/cm²정도가 되도록 하였다. FC의 유전상수 측정은 기초전력공학공동연구소 소제의 TETTEX社의 CAPACITOR & tanδ 측정기를 사용하였다. 체적저항률 측정은 JIS규정에 따라 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

(1) 전극구조에 따른 FC의 절연내력특성

침 대 평판 전극에서 절연파괴 특성은 아래 Fig 1과 같다. 그림에서 보면 간극이 3[mm]까지는 절연파괴전압은 전극간 거리와 함께 상승하는 특성을 보이다 어느정도 전계가 증가하면 거리에 따른 파괴전압증가율은 급격히 둔화되고 그림에서처럼 파괴전압은 포화특성을 가진다. 계속해서 전극간 거리를 증가시키면 파괴전압은 다시 증가하게 된다. 이것은 침전극에서의 왜곡된 전계가 상승하여 어느정도가 넘으면 전자의 주입으로 인한 전극의 연장과 같은 효과로 인하여 거리에 따른 절연내력의 증가가 나타나지 않으며, 이러한 전극연장효과는 액체내에서 무한히 성장할 수 없으므로 다시 파괴전압의 상승이 일어난다고 사료된다.

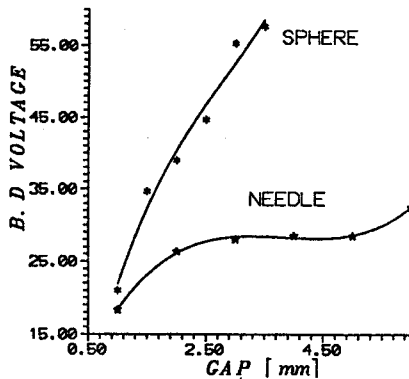


Fig 1. AC breakdown voltage of the FC as a function of gap length

절연유의 절연내력은 2.5mm의 전극간극에서 정현파교류전압의 실효치로 30kV이상이라고 규정되고 있으나 새로운 잘 정제된 신유는 거의 50kV이상의 내력을 갖는다고 보고되고 있다. 본 실험에서 사용한 FC에서의 구대구전극간극에서의 절연파괴특성은 Fig 1에서도 알 수 있듯이 잘 정제된 신유보다 우수한 절연내력 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 위의 그림에서 절연내력은 극간 거리가 1.5mm까지는 급격히 증가하다가 1.5mm이후에는 파괴전압은 완만하게 증가하는 특성을 보인다. 이는 극간격이 작은 1.5mm까지는 구-구 간극의 전계가 균등전계로 작용하며, 1.5mm이상으로 극간격이 증가하면 균등전계에서 이렇듯 준균등전계로 작용하여 파괴전압의 상승율이 둔화되기 때문인 것으로 여겨진다. 본실험에서는 전원장치의 제한으로 절연파괴시험을

3.5mm까지만 하였으며, 그 이상의 거리에서 절연파괴시험을 하기 위해서는 전원장치의 교환이 불가피하나 유입에너지의 차이가 있어 3.5mm까지만 실험을 행하였다.

(2) FC + SF₆ 혼합가스에서의 절연 파괴

실제의 변압기에서 FC는 SF₆가스와 함께 쓰여 냉각을 담당하게 된다. FC는 상온 약 50°C에서 증발하게 되어 변압기의 tank에서 온도상승에 따라 높은 압력상승을 유발하게 된다. 이렇게 FC는 SF₆와 혼합되어 사용될 때는 전혀 다른 특성을 보인다. 따라서 본 논문에서는 압력에 따른 절연내력 실험과 FC증기의 절연내력시험을 행하였다. 다음 아래의 Fig 2, Fig 3에서 압력에 따른 절연내력을 나타내고 있다.

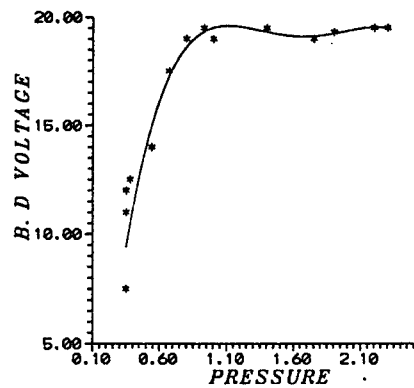


Fig 2. Breakdown voltage of FC GAS as a function of the pressure

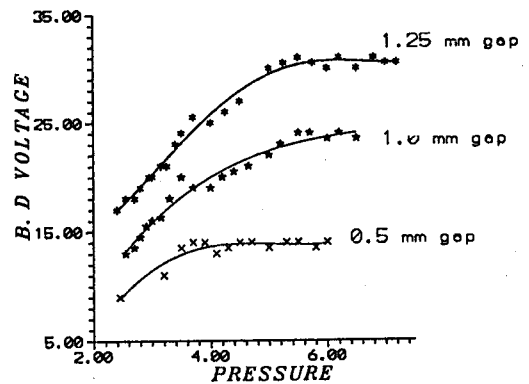


Fig 3. Breakdown voltage of FC + SF₆ GAS as a function of the pressure

FC증기의 절연내력은 Fig 2에서 알 수 있듯이 온도가 증가하면 FC 압력이 증가하는데 이 압력이 증가하면서 증가하다가 어느 정도에서 포화되는 특성을 보인다. Fig 3에는 FC + SF₆ 혼합 가스에서의 절연내력을 나타내고 있다. 이 경우의 절연내력은 증기압의 증가와 함께 증가하며 어느 정도의 전압에서 포화되는 특성을 보인다. FC + SF₆혼합가스의 압력이 약 4기압일때의 절연내력은 FC액체자체의 절연내력보다 더 우수하다는 것을 Fig 1와 Fig 3를 비교하였을 때 알 수 있다.

(3) FC의 유전상수 측정

FC의 유전상수의 온도의존성 측정결과는 Fig 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 유전상수는 온도에 반비례하는 특성을 보이는데 이는 유전상수가 분극도와 관련있기 때문이다. 분극은 유전체에 전계를 가했을 때 그 각 분자들이 전계에 방향으로 배향하려는 성질을 말하는데 온도가 증가하면 액체의 분자들이 열진동을 하며, 이 열진동이 쌍극자의 배향을 방해하여 분극도를 감소시킨다. 따라서 온도가 증가할 때 쌍극자 배향의 정도인 분극은 감소하고, 유전상수도 감소하게 된다. 그리고 전압의 변화에 따른 유전상수의 변화를 관찰, 측정하여 이를 Fig 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 전압의 변화에는 유전상수의 변화가 이루어지지 않고 있다.

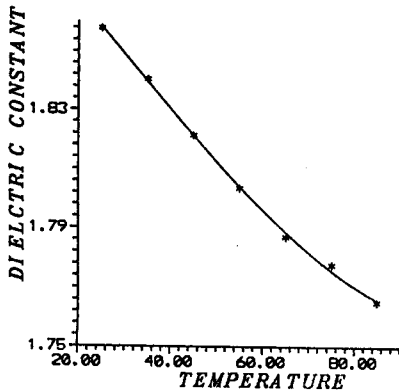


Fig 4. Temperature dependence on the dielectric constant

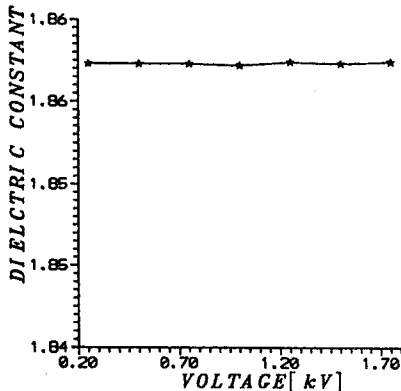


Fig 5. Relation between voltage and dielectric constant

(4) FC의 체적저항률 측정.

체적저항률은 다음식으로 계산된다.

$$\rho = 3.6\pi CR_x \quad (1)$$

단 여기서 ρ : 체적저항률 [$\Omega \text{ cm}$], C : 시료를 넣지 않은 상태의 전극간의 정전용량 [pF], R_x : 시료의 저항치 [Ω]이다.

JIS규정에 의하면 체적저항률은 250V의 직류전압을 인가한 후 1분후의 전류치로서 계산된다. 식 (1)에서 $3.6\pi C$ 는 전극계수로써 본 실험장치의 전극계수는 637이다. $R_x = \text{인가전압/전압인가 1분후의 전류치}(0.085\text{nA}) = 2.94 * 10^{12}$ 로서 계산되고 이것으로 FC의 체적저항률을 계산하면 $\rho = 1.87 * 10^{15}$ [$\Omega \cdot \text{cm}$]로서 FC의 아주 우수한 절연특성을 보이고 있다.

5. 결론

본 연구에서 우리는 FC(fluorocarbon)의 전기적 기초특성을 조사, 고찰하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. FC는 액체자체만으로도 절연내력이 아주 우수하며, FC + SF₆ 혼합하여 사용되었을 때의 압력과 절연내력과의 관계를 규명하여 변압기설계자료로 활용할 수 있게 하였다.
2. FC는 상압 약 50°C에서 증발하기 때문에 기존의 가스변압기 설계기준을 적용될 수 없고 기계적으로 고압용기의 설계에 근거해야함을 확인할 수 있다.
3. 비유전율이 작고 점성이 크기 때문에 가스변압기의 냉매로서 아주 적합하다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. K. GOTO, T. YAMAZAKI "STUDIES ON STRUCTURAL INTEGRITY FOR SEPERATE-COOLING /SHEET-WINDING GAS INSULATED TRANSFORMER" IEEE TRANS. ON POWER DELIVERY, VOL. 4, NO. 2, APRIL, PP 1079-1085, 1989
2. I. TAKAGI, 외5 "BASIC INSULATION CHARACTERISTIC OF PERFLUOROCARBON FOR LARGE POWER TRANSFORMERS" IEEE TRANS. ON POWER DELIVERY, VOL. 3, NO. 4, OCTOBER PP 1809-1815, 1988
3. R. H. HOLLISTER "GAS VAPER AND FIRE RESISTANT TRANSFORMERS" CH1510-7/79, PP. 239-242, 1979
4. JOHN R. MORIES, SANBORN F. PHILIP "A NEW CONCEPT FOR A COMPRESSED GAS-INSULATED POWER TRANSFORMER" 7 TH IEEE/PES TRNS. AND DISTRI. CONFERENCE AND EXPOSITION, APRIL1-6 PP 176-183, 1979
5. K. GOTO, 외5 "DEVELOPMENT OF INSULATION TECHNOLOGY FOR HIGH-VOLTAGE GAS-INSULATED TRANSFORMER" IEEE TRANS. ON PD, VOL. 4, NO. 2, PP 1096-2004, 1989

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.