

대용량 변압기 개발을 위한 FLUOROCARBON 의 전기적 특성연구

허창수* (인하대학교 전기공학과)
김진봉 (한국전기연구소 전력기기실)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF FLUOROCARBON FOR LARGE POWER TRANSFORMER

CHANGSU HUH* (DEPT. OF ELECTRICAL ENGINEERING, INHA UNI.)
JINBONG KIM(KERI)

1. 서론

전력공급의 주요설비들은 전력수요의 증가에 따라서 고전압및 대용량화가 추진되고 있으며 또한 대도시의 밀집화로 인한 도시근교의 대용량 POWER SITE 건설에 따른 적절한 형태의 전력기기들이 개발되고있다. 이에따라 변압기도 고압 대용량화가 추진되며 이에따라 GIS 와의 TOTAL GAS INSULATION 을 위한 GAS 변압기의 개발이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 특히 근래에는 인구 밀집지역에 대전력을 공급하여야 하기 때문에 화재, 폭발에 대한 안정성 보장및 설치정소의 용지비와 기반공사등에 많은 문제가 제기되 난연성 변압기의 소형 경량화가 절실히 요구되고있는 실정이다. SF₆ GAS 변압기는 OIL 변압기에서 문제가된 제반 이러한 사항등을 해결할수있는 변압기로서 절연특성이 우수하고 DIMENSION 에 제한을

H 종 건식 및 MOLD 변압기는 고전압및 대용량화에 기술적 난점이 많으며 또한 용량이 증가함에 따라 KW 당 가격이 높아져 33KV, 10MVA 를 최대용량으로하여 설계되고있다. 이에 반하여 SF₆ GAS 변압기는 통상 77 KV 30MVA 이하에서 제작이 되고있으며 3-5 MVA 정도는 자냉식, 그이상은 강제순환식을 채용하고있다. 용량이 더욱증가하면 절연과 냉각을 분리한 복합 절연냉각방식을 취하게 된다. 본연구에서는 증발잠열이 큰 냉매로서 한경오염이 적은 FC의 전기적 특성과 SF₆ GAS 와 혼합사용시 변압기의 구조재료등에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험 및 고찰

변압기는 다른 전력기기와는 달리 비대칭성의 부분이 많이 존재하고 가공을 하기 어려운 부분이 많아 전체집중 부위가 많아진다. 또한 GAS 변압기는 고체 층간물에 의해 이부분은 보호하지 않고 그대로 GAS 중에 노출함으로써 전체적 변압기 절연특성에 크게 영향을 미친다. 특히 문제가 되는 부분은 권선의 EDGS 부분, TAP 등의 LEAD 선 연결부분, 사용된 절연재료 FILM에 존재하는 PINHOLE 등이 문제가 된다.

1) SF₆ + FC 의 절연특성

SF₆ + FC 가 혼합냉매 및 절연매체로 사용되는 경우 변압기 TANK 는 온도상승에 따른 부피팽창을 유발하여 압력을 상승시키는 원인이 된다. SF₆ GAS 는 온도상승에 의하여 부피팽창을 하지만 FC 는 상압에서는 약 50 °C 에서 기화하게 되어 매우높은 압력상승을 유발한다.

그림2 는 전체용적 3 L 의 용기에 FC 를 1 L 충전하여 측정한 결과이다. 이러한 결과는 전체 용기의 용적과 충전 FC 량 에 따라 달라질수있을것으로 사료되며 실제 변압기에 충전될비율을 가정하여 실험하였다.

초기 상온에서의 전체 충전압력은 1.2 KG/Cm² 으로 하고 있는데 이는 온도상승시 압력상승을 고려하여 그최대치가 고압용기의 규격을 받는 압력이하로 하기 위함이었다. GAS 만을 충전하였을 경우 변압기 운전온도를 고려하였을때 2 KG/Cm² 의 상승률 보임으로서 고압용기의 규제를 받지않을수 있으나 FC 를 충전하는 경우 그림2에서와같이 증발압력이 급격하게 SF₆ GAS 압에 더해져 급격한 압력상승을 초래한다. 따라서 복합절연의 형식을 취하는

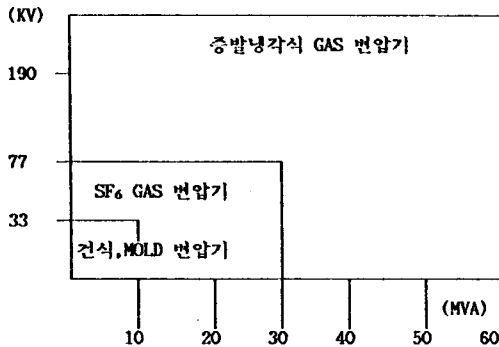


그림 1. 난연성 변압기의 적용구분

받지않고 설계를 함으로서 효율을 향상시킬수있는 장점이 있다. 이러한 GAS 변압기는 용량에 따라 그 냉각구조를 달리하며 수 MVA 이상은 SF₆ GAS 만으로는 냉각효율이 저하 함으로서 용량및 설계에 제한을 받게된다. 따라서 이러한 문제등을 해결하기위하여 절연과 냉각을 분리한 복합 절연냉각 형식의 변압기 개발이 활발히 추진되고있다. 그림 1 에는 용량에 따른 난연성변압기의 적용한계를 나타내었다.

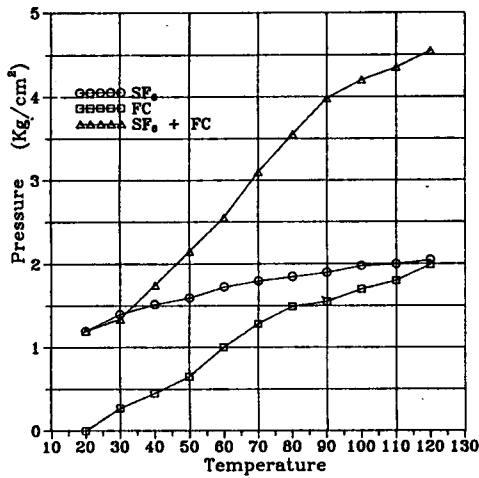


그림 2 SF₆ + FC 의 압력상승의 온도의존성

변압기는 고압용기로서 취급되어 설계되어야 할것이다. 이 혼합 GAS 중에서의 절연파괴특성연구는 12.5 mm 의 구 GAP 을 가지고 시험하였다. 전극은 MICROMETER에 연결되어있어 GAS 가 충전된후에도 GAP를 조절할수있어 GAP 간극에 따른 절연파괴 현상을 연구할수있도록 하였다. 그림3 에는 일정 GAP 간극하에서 압력및 온도를 변화시키며 실험한 결과를 나타내었다.

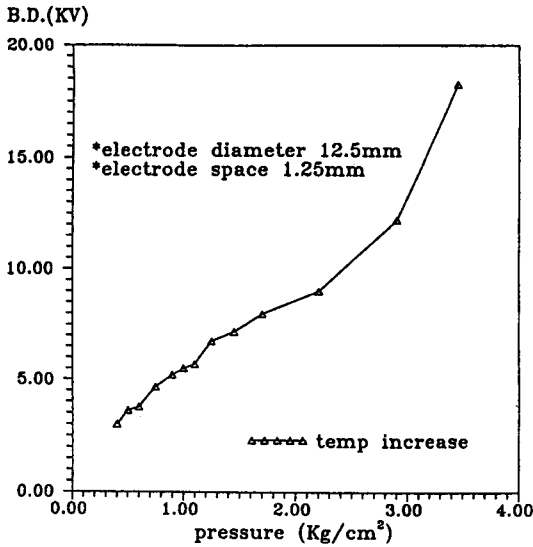


그림 3 SF₆ + FC 의 증기압 변화에 따른 내전압 특성

1회 실험이 끝나고 전극의 간격이 조정될때는 계속된 방전에 의한 전극의 손상및 표면의 오염을 제거하기위하여 연마및 세척해서 사용하였다. 세척전에는 전극의 표면을 미세 관찰하여 전극의 손상이나 기타 원인에 의한 절연 파괴인가를 확인하며 실험하였다. 시험전압은 50 V/SEC 정도로 인가전압을 서서히 올려 STATISTICAL TIME LAG 효과를 제거하며 실험하였다. 전극은 12.5 mm 직경의 구를 1.25 mm 피어서 실험한 결과이다.

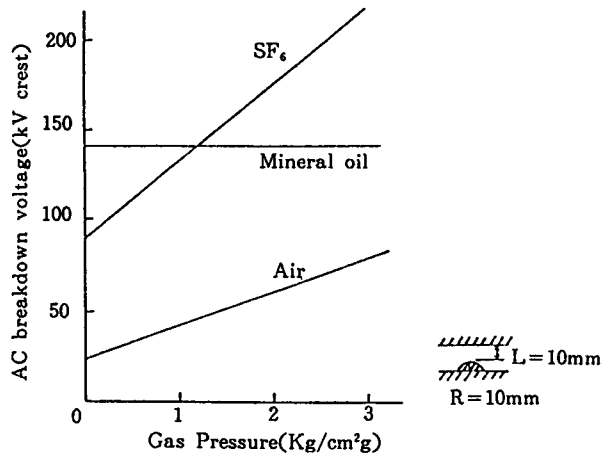


그림 4 SF₆ GAS 의 AC 내전압 특성

그림 4 에 표시한것은 SF₆ GAS, AIR, 광유의 압력에 따른 절연내력의 변화를 보인것이다. SF₆ GAS와 공기는 압력과 함께 절연내력이 상승하나 광유는 비압축성이므로 압력에 따라 변화하지않고 일정한 값을 나타내고 있다. 압력이 대략 1.2 KG/cm² 정도이면 SF₆ GAS 의 절연내력이 광유와 비슷한값을 갖게되어 풍상 GAS 변압기의 충전압력을 이값으로 하고있다. 그림3과 그림4 을 비교하여보면 전극계가 다르므로 일률적 절대값의 절연내력은 비교하여 말할수없지만 압력과함께 절연내력의 상승률은 유사한 특성을 나타내고있다. 따라서 상온에서 FC 의 증기압이 0 인경우는 그림3의 DATA는 그림4 와 같은 값을 나타낼것이므로 압력에 따른 내전압 상승율을 고려하여 이 혼합 GAS의 절연내력 이 광유와 같아지는압력을 유추할수있다. 절연내력의 상승율은 SF₆ 만의 것보다는 완만하게 증가하는 데 이것은 그림4 에서는 온도를 일정하게 하고 압력을 증가시킴으로서 밀도가 증가한 경우이고 그림 3 은 한번 GAS 와 FC 을 충전한뒤 온도를 상승시키며 압력을 상승시켰기 때문에 초기값은 같을것으로 사료되나 압력이 상승함에따라 FC 증기의 분압은 올라가고 SF₆ GAS 의 밀도는 일정함으로써 SF₆ gas 분압이 상대적으로 저하하여 압력상승효과가 FC 만의에해 이루어지기 때문인 것으로 사료된다. 순수한 FC 증기만의 절연내력실험은 더보완되어야 하겠지만 이결과로 보아 FC 증기가 SF₆ 보다 절연내력이 높지는 않은것을 알수있다. 따라서 냉각 DUCT 및 FC NOZZLE 의 설계시는 각별한 주의가 요망된다.

2) SF₆ + FC 중의 고체 절연물의 절연특성

SF₆ GAS 가 변압기의 절연을, FC 는 냉각을 담당하고있지만 변압기의 구조상 기타의 전자기기와는 달리 구조절연재료가 많이필요하다. 표 1 에는 일반적으로 GAS 변압기에 사용되는 재료들의 SF₆ +FC 중의 함침특성에 대해서 표시하였다.

표 1 SF₆ + FC 중의 변압기 구조재료 합침특성

재료명	구성부위	부산물
PET FILM	INSULATOR	없음
POLYESTER RSIN	COIL SPACER	"
PRESSED BOARD	H-L BARRIER	"
EPOXY ADHESIVE	ADHESIVE OF INSULATION	"
COPPER	COIL	"
SILICON STEEL	CORE	"
CARBON STEEL	TANK, FRAME	"

이표에서 알수있는 바와같이 SF₆ + FC의 혼합GAS는 변압기의 일반적인 구조재료의 특성에 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀지고있으며 특히 GAS 변압기의 주절연재료인 PET FILM은 상당히 고온의 영역까지 안정한 것으로 알려지고 있다.

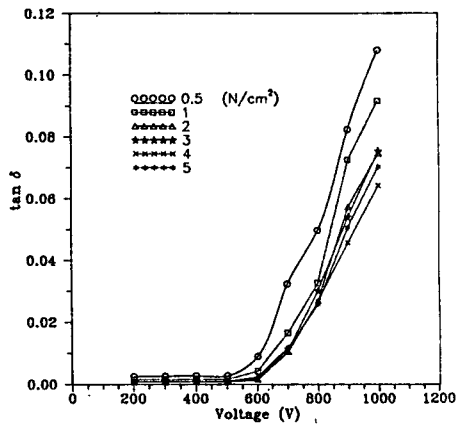


그림 5 PET FILM의 tan δ의 전압, 압력의존성 (TEMP 50°C, PRESSURE 0.5-5 N/CM²)

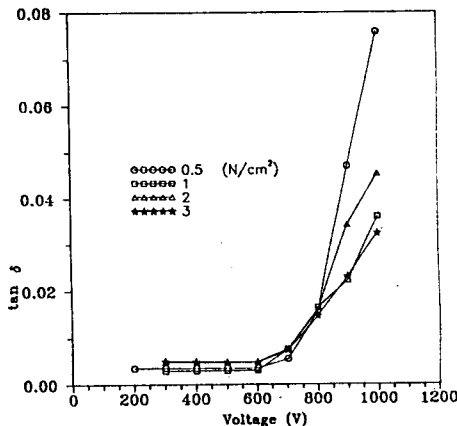


그림 6 PET FILM의 tan δ의 전압, 압력의존성 (TEMP 90°C, PRESSURE 0.5-5 N/CM²)

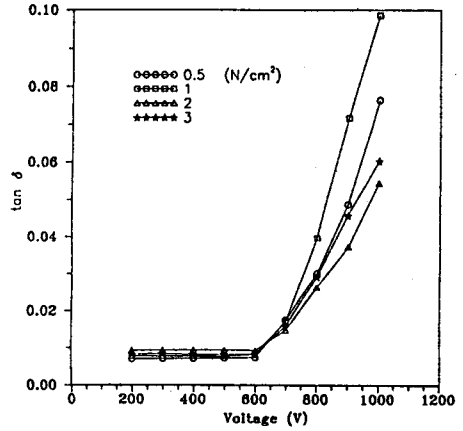


그림 7 PET FILM의 tan δ의 전압, 압력의존성 (TEMP 110°C, PRESSURE 0.5-5 N/CM²)

그림 5와 그림 6 그림7에는 PET FILM의 FC 합침에 의한 물성변화를 보기 위하여 50°C, 90°C, 110°C에서 각각 480 hr 합침시킨재료의 유전율을 조사한것이다. 이 DATA에서 알수있는 바와같이 유전율의 온도에서의 변화는 발생하지않고 전압에따라 약 600V 정도까지는 일정한 값을 유지하다가 급격하게 상승하는 양태를 나타낸다. 이결과로만 보이면 PET FILM은 SF₆ + FC의 혼합 절연변압기의 주절연재료로서 양호한 특성을 나타내는 것으로 평가할수있다.

3. 결과

대용량 증발냉각식 변압기 개발을 위하여 냉각물질인 FC와 SF₆ GAS의 혼합 특성을 연구하여 다음과 같은 유용한 결론을 얻었다.

- FC GAS는 상압에서 약 50°C에서 증발을 함으로서 기존의 GAS 변압기 설계기준은 적용될수없고 기계적으로는 고압용기의 설계에 근거해야함을 확인하였고 전기적으로는 혼합 GAS의 압력과 절연내력의 관계를 규명하여 설계자료를 제시하였다.
- GAS 변압기에 사용되는 구조절연재의 FC+ GAS 합침 특성을 조사하였으며 주절연재인 PET FILM의 합침후의 유전율 변화를 조사하여 GAS 변압기의 주절연재료로서의 적합성을 확인하였다.

참고문헌

- 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
- HEINZ JASTER AND PHILIP G. GOSKY "SOLUBILITY OF SULFUR HEXAFLUORIDE IN FLUOROCARBON LIQUIDS" J. OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA, VOL. 21, NO. 1, PP 66-71, 1976
- J. R. HOLLISTER "GAS VAPER AND FIRE RESISTANT TRANSFORMERS" CH1510-7/79, PP. 239-242, 1979