

SF₆ Gas 변압기의 특성 및 개발 현황



韓國電氣研究所
電力機器研究室長
金容柱

1. 서론

현대 도시의 밀집화와 전력수요의 급격한 증가로 인하여 도시주변의 대용량 power station의 집중이 예상되고 도시공간의 효율적 이용이 크게 대두되기 때문에 전력 계통의 고압화 및 설비의 소형, 경량화가 필요해지고 있다. 이러한 필요성에 부응하기 위하여 powersite의 차단기를 비롯하여 BUS, DS, CT, PT 등 관련기기들이 거의 Compressed Gas를 이용한 절연 형식을 취하고 있으며 그 성능의 우수성은 이미 널리 알려져 있다.

그러나 이들의 Total Gas Insulation화를 시도하는데 있어 유일하게 Gas 절연이 되어있지 않은 것은 변압기로서 이 분야만 아직 완전치 못하여 현재 선진의 국에서는 많은 연구를 수행하여 왔고 또한 수행하고 있다.

또한 사용하고 있는 변압기는 OIL을 절연재 및 냉각매체로 사용하기 때문에 화재 및 폭발의 위험이 내재되어 있고 소음 및 큰 무게 등의 문제로 운송 및 설치 문제가 과급되기 때문에 Dimension에 제한을 받아 최적설계가 어려워 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이며 이에 대한 대책으로 절연 및 냉각특성이 공기보다 우수하고 폭발 및 화재의 위험이 전혀 없는 SF₆ Gas 충전식 변압기가 주목을 받고 있다.

여기에서는 현재 사용되고 있는 난연성 변압기의 종류와 특성을 간략히 살펴보고 SF₆ Gas 변압기의 특징 및 종류와 세계의 개발 동향에 대해서 조사하였다.

2. 국내·외 관련기술의 현황

선진 외국에서는 유입 변압기의 소음, 화재 및 폭발 위험의 문제를 보완하기 위하여 절연 특성이 우수한 SF₆ Gas 변압기에 관한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

미국의 WESTING-HOUSE 및 GENERAL ELECTRIC 등에서는 안전율과 대용량화를 위한 도체의 종류, 형상, COOLING DUCT, 절연 설계등의 종합적인 연구 결과로 W.H.에서는 138KV급 50MVA 변압기를 개발하였고 G.E.에서는 275KV급 300MVA 용량의 GAS 변압기를 개발하여 현재 장기 시험중에 있으며 자냉식으로는 6.6KV급 200MVA 용량의 변압기를 신선로에 운용하고 있다.

그리고 영국, 프랑스, 이탈리아도 공동 연구팀을 구성하여 765, 1050, 1300KV급 전력계통에 적용할 Gas 변압기 개발에 많은 투자를 하고 있다.

국내에서는 일부 제조업체에서 초보적 연구를 하였으며 한국전기연구소에서는 1988년 부터 자체 및 특정연구로 Gas 변압기 특성연구를 수행하여 왔다.

3. 난연성 변압기의 종류

대형 Building이나 APT, 지하철 등의 인구밀집지역에 설치되는 변압기는 난연화 및 불연화에 대한 요구가 크게 대두되고 있으며 이에 1970년대까지 주로 사용되어온 PCB 변압기가 공해문제로 1972년 제작

· 판매가 금지된 후 이대지역에 대한 방제상의 법규도 강화되고 있는 실정에 있다.

현재 이의 대체품으로 사용되고 있는 난연성 변압기 및 종류를 열거하면 다음과 같다.

가. H종 건식 변압기

약 30년 정도의 사용실적으로 신뢰성이 우수하며 주로 난연성이 높은 재료인 polyamid, glass 섬유와 H종 바니쉬를 주절연체로 사용하기 때문에 난연도가 높고 만일의 사고시 폭발 및 화재의 위험이 없다. 그러나 절연의 한계로 인하여 용량은 33KV급 10MVA 이하에서 제작되며 용량에 따라 풍냉식과 자냉식이 있다.

나. MOLD 변압기

1970년대 부터 유럽에서 개발되어 사용된 변압기로 H종 건식변압기의 특징을 갖추었으며(coil은 epoxy 수지층으로 쌓여있어) 내습성이 양호하고 기계적 진동 및 충격에 강하여 H종 건식 변압기에 대체하여 사용되고 있다. 또한 epoxy 수지는 자기 소호성이 있기때문에 난연특성이 매우 우수한 것으로 평가되고 있다.

최근 33KV 10MVA 용량 정도까지 많이 제작되고 있으며 경음이 상대적으로 커서 building 내에 설치되는 변압기에는 변압기 진동을 억제하려는 요구가 커지고 있다.

다. Si유 변압기

Si절연유는 광유와 같은 정도의 전기적 특성과 열전도성을 갖고 있으며 인화점에 약 300°C정도가 되어 난연성 및 내열성도 우수하다. 또한 독성이 없으므로 취급에 용이하다.

반면에 가격이 다른 광유에 비하여 높으며 arc가 발생할 경우 SiO₂를 주체로 백색 고형물이 발생하여 내전압이 저하하므로 110KV이상 고전압기기에는 사용에 어려움이 따른다. 해외에서 수배전용 변압기와 철도용 변압기에 많이 사용된다.

라. SF₆ Gas 절연변압기

이 Gas 변압기는 무독, 무취이며 불연성 및 비폭발성으로 안전성이 매우 높은 SF₆ Gas를 변압기 외함 내에 봉입한 불연성 변압기이다.

4. SF₆ Gas 변압기의 특징

가. 이 변압기는 물리적 및 화학적으로 매우 안정한 SF₆ Gas가 tank내에 절연 및 냉각매체로서 고압으로 충전되기 때문에 불연성 및 비폭발성으로 방제성이 우수하다.

나. 변압기 본체는 밀봉 탱크내에 설치되며 외부로부터 온도, Gas 압력등을 용이하게 감시 점검할 수 있는 구조로 되어 있으며 dial 온도계는 전기접점이 구비되어 있기 때문에 원격감시가 가능하다. 또한 GIS와 같은 종류의 Gas가 사용되기 때문에 보수 점검이나 Gas의 치환, 주입작업이 공통되어 bus를 통한 차단기와의 직결이 가능하여 Total Gas 절연화를 용이하게 할 수 있다.

할 필요가 없어 외관상 간단하다.

마. 유입변압기에 비하면 SF₆ Gas의 중량이 광유 중량보다 작기때문에 그만큼 변압기가 가벼워서 수송, 반입이 유리하다. 따라서 위에서 설명한 바와같이 GIS와 직결하는 경우 변전설비를 보다 compact하게 할 수 있다.

바. 기름을 사용하지 않기때문에 주변이 청결하고 O일을 사용하지 않음으로 자원의 효율적 이용이 기대된다. (표 1)에는 변압기의 사용절연물에 따른 특징들을 열거하였다.

5. SF₆ Gas 변압기의 종류

SF₆ Gas는 공기보다는 냉각특성이 우수한 기체이

(표 1) 변압기 종류의 비교특성표

Transformer	SF ₆ Gas insulated transformer	Dry type transformer	Cast resin type transformer	Silicone liquid transformer	Oil immersed transformer
Insulation Class(IEC)	E	H	B or F	A	A
Insulation material	Polyester	Polyamide	Epoxyresin	Kraft	Kraft
Insulation Gas or liquid	SF ₆	Air	Air	Silicone	Mineral Oil
Flammability	Nonflammable	Retardant or Nonflammable	Retardant	Flammable	Flammable
Resistance to moisture	Excellent	Necessary to dry up	better to dry up	Excellent	Excellent
Resistance to dust	Excellent	Necessary to clean up	Necessary to clean up	Excellent	Excellent
Power Loss	100	170	150	100	100

다. SF₆ Gas의 우수한 절연내력과 Gas절연에 적합한 절연구조로 되어있기 때문에 유입변압기와 동등의 내절연 특성을 갖게 할/수 있다.

라. 유입변압기와 같이 집유조나 광유분출을 고려

나, 광유보다는 그 냉각 특성이 일반적 구조에서는 저하하므로 특히 대용량 변압기의 경우 특별히 고려할 필요가 있으며 그 구조는 냉각 방식에 따라 다음과 같이 몇가지 대별할 수 있다.

가. 자냉식

밀폐된 용기내의 자연대류에 의한 SF₆ Gas의 순환에 의하여 냉각되는 것으로서 일반적인 변압기와 마찬가지로 용량의 증가에 따라 방열기를 설치하게 되지만 소용량의 경우에는 방열기가 없이 표면으로 부터만 냉각시키는 것이 있다. 자냉식의 최대용량은 수 MVA도 되지만 용량이 커지면 다음에 설명하는 강 냉식을 채용한다.

나. 가스, 냉매 혼합식

Gas 자체만을 가지고 절연 및 냉각을 수행하는 경우 매우 용량이 큰 경우는 치수와 무게로 인하여 제한을 받게 된다. 따라서 절연과 냉각을 분리하여 절연은 SF₆ Gas가 맡게되고 냉각은 FC가 담당하여 냉각특성 및 용량을 현격하게 증가시킨 형이다.

보통 냉각계통을 따로 구성하여 냉매인 FC를 노즐을 통하여 분사함으로써 coil 및 철심을 냉각하고 다시 이 냉매의 열을 열교환기를 통하여 외부로 방출

시키는 방법이다. 현재 외국에서는 이 방식으로 345KV의 수백 MVA의 변압기가 개발되어 시험운전 중에 있고 이 방식의 Gas 및 냉매구조의 개략도는 [그림 1]과 같다.

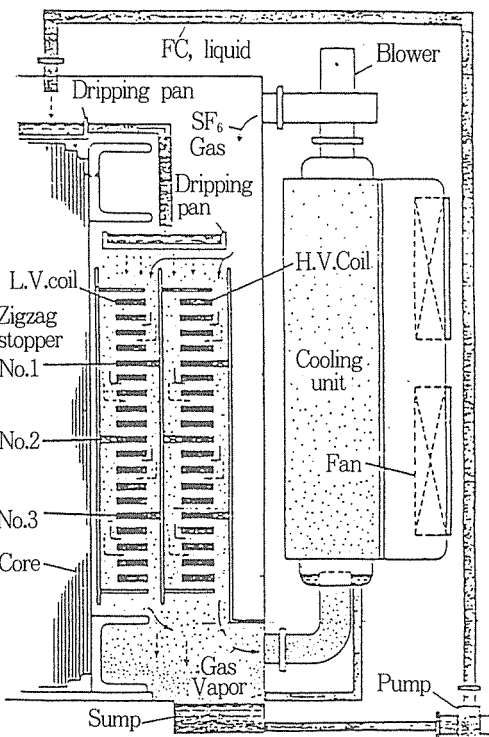
6. 사용기체 및 고체 절연재료의 특성

가. 일반특성

Gas 절연변압기의 주절연 및 냉각매체로 사용되는 SF₆ Gas는 기존의 건식변압기의 공기와 습식변압기의 광유에 비하여 매우 양호한 절연 및 냉각특성을 갖고 있다. SF₆ Gas는 충전압력에 따라 절연 및 냉각특성을 변화시킬 수가 있어 전력기기의 설계영역을 확장시킬 수 있는 장점도 있다. 취급에 필요한 물리적 특성을 (표 2)에 표시하였는데 넓은 온도 및 압력 영역에서 매우 안정한 무독, 무취인 Gas이다.

(표 2) SF₆ Gas의 물리적 특성

Molecular weight	146.06
Melting point(°C)	-50.8
Sublimation temperature(°C)	-63.8
Density(solid) at 50°C	2.51 g/ml
Density(liquid) at 50°C	1.98 g/ml
at 25°C	1.329
Density(Gas at one bar and 20°C)	6.164 g/l
Critical temperature(°C)	45.6
Critical pressure(bar)	36.557
Critical density	0.755 g/ml
Specific heat(25°C - cp)	7.0 g cal/ml°C
Surface tension(-50°C)	11.63 dyn/cm
Coefficient of expansion(18.5°C)	0.027
Thermal conductivity(x 104)	3.36 cal/sec cm ² °C
Viscosity(Gas at 25°C x 104)	1.61 poise
Boiling point(°C)	-63
Specific heat(30°C)	0.143 cal/g
Relative density(air=1)	5.10
Expansion on melting	30
Vapour pressure(20°C)	10.62 bar
Relative index(N at 0°C)	1.000783
Density(20°C, 1 bar)	6.5 kg/m ³



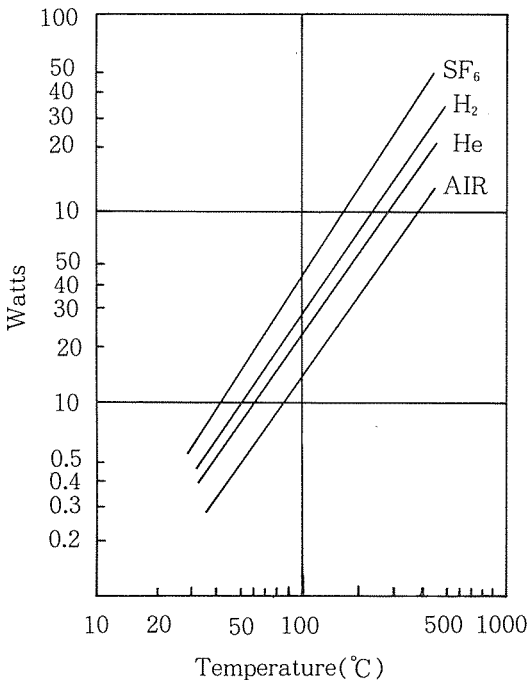
[그림 1] Vapor Cooling SF₆ Gas 변압기의 Gas 및 냉매 순환구조

위와 같이 SF₆ Gas는 정상 상태에서는 매우 안정하고 불활성이나 전력기기의 arc 라든지 고열에 의한 SF₆ Gas가 분해되면 매우 독성이 강하며 활성인 부산물이 발생하여 절연재등을 침식하는 성질이 강하므로 arc가(혹은 PD) 발생할 가능성이 있는 부위는 이 부산물등에 대한 내식성이 강한 재료를 선정할 필요가 있다. 특히 Si 포함 절연체는 이 부산물 Gas에 매우 취약하여 절연재나 Gas 기밀용 가스켓은 Si이 함유된 재료는 피하는 것이 바람직하다.

나. Heat transfer properties(열전달 특성)

Gas의 열전달 능력은 물질의 특성중에서 비열, 열전달계수, 점성등이 크게 관여하게 된다. 단순한 열전달계수만을 고려할 경우 공기나 질소등에 비하여 우수하다 말하기 어려우나 SF₆ Gas는 타기체에 비하여 무거우면서도 점성이 작아 전체적인 열전달 특성은 훨씬 우수하다.

대기압하의 SF₆ Gas중 coil을 가열하는 경우 열전달 계수는 0.05W/m²°C로서 이것은 coil과 주위의 온도차



[그림 2] 대류와 복사에 의한 열전달 특성

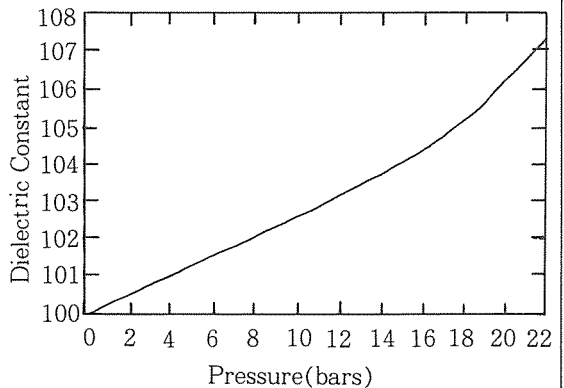
에 관계없는 것으로 발표되고 있다. 이 값은 공기의 1.6배 정도이다. 30 psi의 압력하의 자연순환인 경우는 대기압하의 공기의 2.5배로 알려져 있다. 이들을 종합하여 타 Gas와의 열전달 계수를 비교하면 (그림 2)와 같다.

따라서 공기절연의 건식변압기의 경우 SF₆ Gas로 대체시킴으로서 냉각효과를 크게 향상시킬 수 있으며 67%의 SF₆ Gas 혼합에 의해 저압권선의 온도를 19.4°C 저하시킨 사례도 보고되고 있다.

다. 전기적 특성

SF₆ Gas의 전기적 특성은 다른 물리적 특성보다 Gas 압력과 밀도에 따라 크게 변화한다. 이 Gas는 2000°C까지 전자의 부착력이 매우 강한데 그 이유는 Gas의 충돌 단면적이 매우 크기 때문에 충돌 확률이 타 Gas에 비하여 크고 흡착에 필요한 energy가 0.05~0.19eV 정도되기 때문이다. 전자흡착에 의하여 음극성 Gas성질을 갖고 자유전자에 비하여 무겁기 때문에 충돌에 의한 전자사퇴를 일으키는데 필요한 energy가 더 크게 요구되어 결국 절연 내력이 증가하게 되는 것이다.

SF₆ Gas는 공기 절연내력의 약 2-3배가 되며 광유의 절연내력과 1.2kg/cm²의 압력부터는 동등하고 압력이 높아짐에 따라 크게 향상된다. 반면에 impulse 특성은 공기에 비하여 약 2-3배정도 높으나 광유보다는 상용압에서 그 특성이 떨어짐으로서 절연설계시 impulse 특성을 특히 고려할 필요가 있다.



[그림 3] SF₆ Gas압에 따른 유전상수의 변화

또한 SF₆ Gas는 광범위한 주파수내에 걸쳐서 절연 내력이 거의 일정한 특성이 있으며 3GHz의 경우 공기절연보다 10배 이상의 부하운전이 가능하나 corona 개시전압 또한 공기의 경우보다 2-3배 높다.

SF₆ Gas nonpolar이기 때문에 인가주파수에 따라 dielectric constant가 거의 일정하다. 1-22 bar의 압력변화에 약 7%의 증가만 나타내므로 실사용 압력 변화에는 거의 일정하다고 말할 수 있다. 압력에 따른 유전율 변화를 (그림 3)에 나타내었다.

7. 결 론

이 글은 최근 각광을 받고 있는 SF₆ Gas 변압기의 개발 현황 및 특성에 대하여 기술하였다. 이와같은 SF₆ Gas 변압기는 기존의 유입식 변압기에 비해 화재

및 폭발의 위험이 전혀없고 저소음 및 부피의 저하 등의 안정성 및 경제성에서 매우 유용한 변압기이다. 그러나 이와 같은 유용성에 비추어 국내에서의 연구, 개발 상태가 매우 미흡한 상태이나 국내의 중전기 업체에서의 관심도가 점차 증가되고 있어 머지않은 장래에 국내에서도 이의 실용화가 가능하게 될 것이다.

그러나 SF₆ Gas 변압기의 개발에 있어서의 권선외 wrapping 및 전자계 해석 기술, 최적 냉각 system 및 구조 설계기술 등의 해결하여야 할 문제들이 산적하여 있다. 이와 같이 산적해 있는 문제점들을 해결하고 SF₆ Gas 변압기의 실용화를 위하여 업계 및 연구소의 부단한 연구 개발 및 국가적인 관심 및 지원이 있어야 하며, 끝으로 이 분야에 관심이 있는 분들의 상호 협조와 노력이 요구되는 바이다.

버는마음 깨끗하게 쓰는마음 알뜰하게