

전력기기의 CGI화를 위한 SF6 Gas 변압기 개발연구

허창수* 김용주

A Study on the Development of SF6 Gas Transformer for Compressed Gas Insulation of Power Apparatus

Chang-su Huh* . Young-Joo Kim

Korea Electrotechnology Research Institute

제 1장 서론

현대 도시의 밀집화와 전력 수요의 급격한 증가로 인하여 도시주변의 대용량 power station의 집중이 예상되고 도시공간의 효율적 이용이 크게 대두되기 때문에 전력제품의 고압화 및 설비의 소형, 경량화가 필요해지고 있다. 이러한 필요성에 부응하기 위하여 powersite의 차단기를 비롯하여 bus, DS, CT, PT 등 전력기들이 거의 compressed gas를 이용한 절연형식을 취하고 있으며 그 성능의 우수성은 이미 널리알려져 있다.

그러나 이들의 total gas insulation화를 시도하는데 있어 유일하게 gas 절연이 안되어있는 것은 변압기로서 이를 시행하기 위해 현재 선진외국에서는 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 큰부피, 무게 등 운송의 문제때문에 dimension에 제한을 받아 최적설계가 어려워 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이며 이에 대한 절연 및 냉각특성이 공기보다 우수하고 폭발 및 화재의 위험이 전혀없는 SF6 Gas 충전식 변압기가 주목을 받고있다

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

제 2장 난연성 변압기의 종류

대형 building이나 APT, 지하철도의 인구밀집지역에 설치되는 변압기는 난연화 및 불연화에 대한 요구가 크게 대두되고 있으며 이에 1970년대까지 주로 사용되어 온 PCB

변압기가 공해문제로 1972년, 제작 및 판매가 금지된후 이들 지역에 대한 방제상의 범규도 강화되고 있는 실정에 있다.

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

•H중 건식변압기

약30년 정도의 사용실적으로 신뢰성이 우수하며 주로 난연성이 높은 재료인 poly amid, glass 섬유와 H중 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.

• mold 변압기

1970년대 부터 유럽에서 개발되어 사용된 변압기로 H중 건식 변압기의 특징을 갖추었으며 (coil은 epoxy 수지층으로 싸여있어) 내습성이 양호하고 기계적진동 및 충격에 강하여 H중 건식 변압기에 대체하여 사용되고 있다. 또한 epoxy 수지는 자기소호성이 있기때문에 난연특성이 매우 우수한 것으로 평가되고 있다.

최근 33kV 10MVA 용량 정도까지 많이 제작되고 있으며 정음이 상대적으로 커 building 내에 설치되는 변압기에는 변압기 진동을 억제하려는 요구가 커지고 있다.

• Si유 변압기

Si 절연유는 광유와 같은정도의 전기적 특성과 열전도성을 갖고 있으며 인화점이 약 300 °C 정도가 되어 난연성 및 내열성도 우수하다. 또한 독성이 없으므로 취급에 용이하다. 반면에 가격이 다른 광유등에 비하여 높으며 arc가 발생할

경우 SiO₂ 를 주재료한 백색고형물이 발생하여 내전압이 저하하므로 110 KV 이상 고전압기에는 사용에 어려움이 따른다. 해외에서 수배전용 변압기와 철도용변압기에 많이 사용된다.

• SF₆ gas 절연변압기

이 gas 변압기는 무독, 무취이며 불연성 및 비폭발성으로 안전성이 매우 높은 SF₆ gas를 변압기 외함내에 봉입한 불연성변압기이다.

이 SF gas 변압기의 특징을 좀더 살펴보면

- 1) 이 변압기는 물리적 및 화학적으로 매우 안정한 SF₆ gas가 tank 내에 절연 및 냉각매체로서 고기압으로 충전되기 때문에 불연성 및, 비폭발성으로 방제성이 우수하다.
- 2) 변압기 본체는 밀봉 탱크내에 설치되며 외부로부터 온도, gas 압력등을 용이하게 감시 점검할 수 있는 구조로 되었다.

또한, dial 온도계는 전기접점이 구비되어 있기 때문에 원격집중 감시가 가능하다.

또한 GIS와 같은 종류의 gas가 사용되기 때문에 보수 점검이나 gas의 처판, 주입작업이 공통되며 bus를 통한 차단기와와의 직결이 가능하여 total gas 절연화를 용이하게 할 수 있다.

- 3) SF₆ gas의 우수한 절연내력과 gas 절연에 적합한 절연 구조로 되어있기 때문에 유입변압기와 동등의 내절연특성을 갖게 할 수 있다.

- 4) 유입변압기와 같이 침유조나 팽유분출을 고려할 필요가 없어 외관상 간단하다.

- 5) 유입변압기에 비하면 SF₆ gas의 증량이 팽유의 증량보다 작기 때문에 그만큼 변압기가 가벼워서 수송, 반입이 유리하다.

따라서 위에서 설명한 바와같이 GIS와 직결하는 경우 변전 설비를 보다 compact하게 하게 할 수 있다.

- 6) 기름을 사용하지 않기 때문에 주변이 청결하고 석유를 사용하지 않음으로 자원의 효율적 이용이 기대된다.

변압기는 insulaion 물질에 따라서 변압기의 사용온도가 제한이 되며 SF₆ gas 변압기와 건식 변압기가 nonflammable 이라 할 수 있다. 그러나 건식은 SF₆ gas 에 비하여 power loss 및 증량, 용량, 전압 class 등에서 많은 제약을 받는다. 또한 기타의 난연성 변압기도

건식 변압기에 비해서 불연성이 만족치 못하고 전압 class 및 loss 면에서 제약이 따르게되며 SF₆ gas 변압기가 최적화가 된다면 가장 우수한 난연성 변압기라 하겠다.

현재 연구의 초기단계로서 prototype 변압기의 최적화가 이루어져 있지 않은 상태이므로 기존의 oil 변압기와 제원 및 특성차이를 대등하게 비교할 수 없는 상태이나 외국 경우의 133MVA 용량의 변압기를 비교하여 보면 표 2.1 과 같다. 이표에서 알 수 있듯이 oil 을 gas 로 대체함으로써 전체적인 증량이 48% 정도 감소하는 것으로 나타나며 tank 전체 volume 은 약 34% 특히 높이의 경우는 bushing 의 이격거리 축소에 의하여 46% 정도 감소시킬 수 있는 것으로 발표하고 있다. 또한 전체적인 loss 는 약 15% 정도 저감되며 특히 gas 는 oil 에 대해 상대적으로 음파전달이 작아 소음이 감소하는 특성을 보임으로서 소음규제가 요구되는 곳에 이용도가 증가하고 있는 것으로 발표되고 있다.

표 2.1 133MVA 1φ Autotransformer 의 특성비교표

	Conventional	Gas	Percent change
weight (K lbs)			
core	58.3	50.1	-14
conductor	27.3	13.5	-51
dry total	137.0	97.3	-29
total	189.5	98.6	-48
dimensions			
tank volume(ft ³)	1366	900	-34
floor space(ft ²)	193	149	-23
overall height(ft)	26	14	-46
losses(kW)			
I ² R	179	145	-19
stray, eddy	89	83	-9
load	248	208	-16
no load	47	41	-13
total	295	249	-15
level (dB)	71	56	-15
space factor (%)			
winding region	23	89	200
core window	17	50	194

계 3장 SF₆ gas 변압기의 사용재료

gas 변압기의 본체는 기존의 oil 변압기와 마찬가지로 냉각매체, 절연매체 및 구조재료로 크게 대별된다.

절연 및 냉각매체로 사용되는 gas 의 필요조건으로서는 다음과 같은 몇가지를 꼽을수 있다.

- 절연내력은 저기압하에서도 매우높은 특성을 갖을것
- 용축온도가 사용온도보다 낮아서 용축으로 인한 압력저하로 절연내력이 저하하지 않을것
- gas 와 이와 유사한 분해물질은 무독해야하며 기타 절연지지를 및 구조물에 부식성이 없을것
- 화학적으로 매우안정하고 비폭발성일것
- 열전달 특성이 매우 양호하여 기기의 냉각을 효율적으로

설계할수 있을것

이와 같은 조건을 가장 잘 만족시키는 것은 SF6 gas 로서 그 일반적인 특성이 변압기 설계에 기초 자료가 된다.

가. SF6 Gas 의 특성

Gas절연변압기의 주절연 및 냉각매체로 사용되는 SF6 gas는 기존에 전식변압기의 외 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 장점이 있다. SF6 gas는 정상상태에서는 매우 안정하고 불활성이나 전력기기의 arc 라든지 고열에 의하여 SF6 gas가 분해되면 매우 독성이 강하며 활성인 부산물이 발생하여 절연재등을 침식하는 성질이 강하므로 arc가 (혹은PD) 발생할 가능성이 있는 부위는 이 부산물들에 대한 내식성이 강한 재료를 선정할 필요가 있다.

특히 Si 포함절연재는 이 부산물 gas에 매우 취약하여 절연재나 gas 기밀용 가스스켓은 Si이 함유된 재료는 피하는 것이 바람직하다.

그림3.1, 3.2에 AC 내압특성과 Impulse 절연파괴 특성을 gas 변압기에 사용되는 압력범위안에서 표시하였다.

gas의 충전은 20 °C에서 1~1.2kg/cm² 정도로 충전되고 있는데 이압력은 사용최고 온도(95°C) 까지 온도가 상승 하여도 2.0kg/cm² 를 넘지않는 압력이다.

나. 고계 절연 재료

이 gas 변압기 절연에는 SF6 gas 절연이외에 지지 및 권선 피복을 위한 고계절연물이 필요하게 되는데 kraft paper 대신에 polyester film과 polyester spacer가 이용되고있다. 이외에도 다른 고분자 재료들이 lead 선등과 같은 부의외 지지에 사용되며 선택은 흡습도에 의하여 결정하게 된다. 주로 사용되는 재질들의 특성을 표3) 에 나타내었다. kraft paper도 절연유 중에서는 건조후 유에 함침되기 때문에 흡습이 억제되어 양호한 절연특성이 나타나나 gas

변압기에 사용하는 경우는 습기에 직접 노출이되므로 문제가 된다. Polyester film과 kraft paper의 절연내력 특성을 그림3.3에 나타내었다.

표 3.2에서 보는바와 같이 PET film 이 PP나 PE 보다 tensile strength 나 tear propagation resistance가 우수

표 3.1 Polymer의 계특성

Property	Material	Polyester PET	Polypropylene PP	Polyethylene PE
Tensile Strength (kg/mm ²)		22	18	2
Elongation (%)		110	100	300
Tear propagation resistance (kg/mm)		22	14	1.5
Dielectric constant		3.0	2.0	2.2
Thermal conductivity (kcal/mhr °C)		0.14	0.12	0.39

하기 때문에 변압기 도체저면 각형권선의 taping 에 훨씬 유용하다.

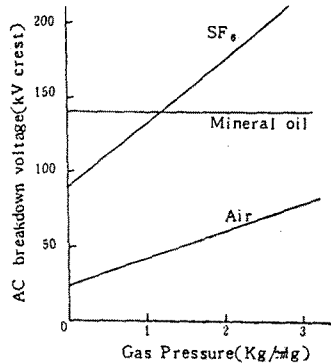


그림 3.1 SF6 gas 의 AC 내전압 특성

10mm
R = 10mm

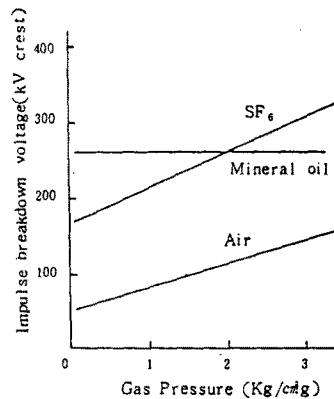


그림 3.2 SF6 gas 의 충격전압특성

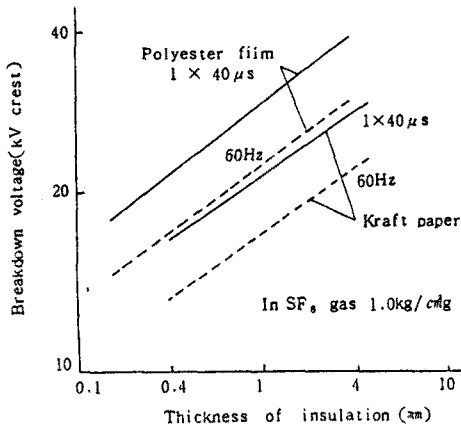


그림 3.3 PET, kraft 의 내전압 특성

제 4 장 SF₆ gas 변압기의 종류

SF₆ Gas는 공기보다는 냉각특성이 우수한 기체이나 팽윤보다는 그냉각 특성이 일반적 구조에서는 저하하므로 특히 대용량 변압기의 경우 특별히 고려할 필요가 있으며 그 구조는 냉각 방식에 따라 다음과 같이 몇가지로 대별할 수 있다.

1) 자냉식

밀폐된 용기내의 자연대류에 의한 SF₆ gas 의 순환에 의하여 냉각하는 것으로서 일반적인 변압기와 마찬가지로 용량의 증가에 따라 방열기를 달게되지만 소용량의 경우에는 방열기가 없이 표면으로 부터만 냉각시키는 것이 있다.

자냉식의 최대용량은 수 MVA도 되지만 용량이 커지면 다음에 설명하는 강냉식을 채용한다 현재 본연구소에서는 1MVA 자냉식을 개발중에 있다.

2) 가스 강제순환 자냉식

가스의 순환계통에는 duct 를 설치하여 냉각을 돕고있지만 자연대류에는 아무래도 냉각에 한계가 있게되어 송풍기를 이용 SF₆ gas을 강제순환시키는 방식이다.

이렇게 함으로서 송풍기 보수등에 관한 문제의 여지는 있지만 치수 및 중량의 감소에는 커다란 잇점이 있어 많이 이용되고 있으며 순환계통을 몇으로 나누어서 반일의

고장에 대비하는 경우가 있다.

3) 가스 강제순환 풍냉식

가스강제순환 계통중의 방열기의 냉각을 자냉하지않고 송풍기를 설치하여 강냉하는 방식으로 용량을 증가시킬 수 있다.

4) gas 액체 복합식

gas 자체만을 가지고 절연 및 냉각을 수행하는 경우 매우 용량이 큰 경우는 치수와 무게로 인하여 제한을 받게된다.

멀리서 현재는 (3)번과 유사한 가스 강제 순환 액냉식 등에도 한계가 있어 절연과 냉각을 분리하여 절연은 SF₆ gas가 담당하고 냉각은 FC가 담당하여 냉각특성 및 용량을 현격하게 증가시킨형이다.

이는 냉각계통을 따로 구성하여 냉매인 FC 를 노즐을 통하여 분사함으로써 coil 및 철심은 냉각하고 다시 이 냉매의 열을 열교환기를 통하여 외부로 방출시키는 방법이다. 현재 외국에서는 이 방식으로 345 KV의 수백 MVA의 변압기가 개발되어 시험운전에 있다.

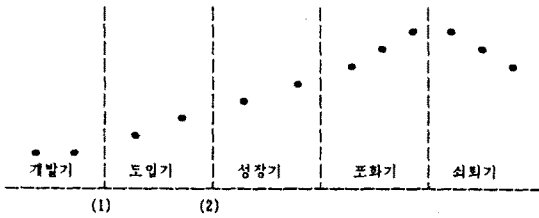
자냉식의 경우 5MVA 까지 일반적으로 제작되나 특히 10MVA 까지 제작된 경우도 있으며 30MVA 이상은 강제순환 풍냉, 혹은 vapor cooling 형식을 취하고 있다.

5. 결론

현재 기존 변압기의 문제점 해결과 도시공간의 효율적 이용 및 전력수요의 증가에 대처하기 위하여 gas 변압기의 개발 필요성이 크게 대두되고 있으나 증전기 제작기술이 외국에 크게 의존하고 있으며 또한 연구개발비가 매우 크게 소요 되므로 일반기업체의 단독 개발은 매우 어려운 상태이다.

본 기술을 보유 및 연구를 하고 있는 외국회사는 5개사 정도이며, 현재 전식 전압기가 사용되는 장소의 전력수요가 증가 하고 또한 변전소의 CGI(compressed gas insulation) 화가 추진됨에 따라 수요는 상당히 증가할 것으로 생각되며 신규 설치 및 기존 변압기의 대체를 고려할 때 세계시장은 성장성 및 연속성이 있을것으로 추정된다.

현재 gas 변압기의 제품의 발전추이를 살펴보면 아래와 같다.



(1) : 생산하려는 제품의 세계시장에서의 현재상태

(2) : 생산 혹은 수출을 시작할때 동제품의 선진국에서의 상태

현재 일반 변압기의 기술제휴는 많이 맺어져 있으나, 연구 실적이 없는 상태에서 받아 들여져 본 변압기와 같은 새로운 변압기의 설계 제작은 매우 어려운 상태에 있다. 또한 이 변압기는 아직 외국에서도 일반적으로 상품화까지 연구가 완료된 상태가 아니므로 기술도입이 어려움고 또한 지금부터 같이 연구를 하면 기술격차를 줄일수 있다고 생각되 기본 설계, 제작 연구를 통하여 자체기술의 지속적 연구가 필요 하다 하겠다.

참 고 문 헌

1. V.n. Maller, M.S.Naidu "Advances in high voltage insulation and arc interruption in SF6 and Vacuum" Pergamon Press, pp.21-57, 1981
2. W.J.Mc Nutt 외 1 "Technology development for advanced concepts in gas-insulated power transformers" IEEE PAS, Vol PAS 101, No. 7, p 2171-2177, 1982
3. C.W.Reed 외 2 "Partial discharge inception and extinction studies in polymer film structures impregnated with compressed SF6 gas", Annual Report-1981 conference, electrical insulation and dielectric phenomena. P 169
4. C.Masetti "Area effect on the electrical breakdown of compressed SF6-insulated systems" Third International symposium on High voltage Engineering 28-31, August pp. 1-4 1979
5. Shan S.Kuo, "Computer Applications of Numerical Methods" Addison-Wesley Publishing Company, Inc. P 156-163, 1972