

SF₆ 가스 절연 변압기

조광제 홍기돈* 하영식* 조규복** 노철웅***

*효성중공업 기술연구소 창원분소 **효성중공업 기술연구소 ***효성중공업 창원공장

SF₆ Gas Insulated Transformer

G.J.Cho K.D.Hong Y.S.Ha K.B.Cho C.W.Noh

Hyosung Industries Co. R&D Changwon Branch Hyosung Industries Co. R&D Hyosung Industries Co. Changwon Plant

- Abstract -

We introduce the trend, of several countries, to the gas insulated transformer recently coming into the spot light by the advantages of less weight, GIS-lization, low noise level and easiness to decrease environmental pollutions, and the insulating gases, the cooling media and the insulating materials used for transformer.

Hereinafter, additively the design of proto type SF₆ gas insulated transformer (insulation, cooling), which was developed by us(HICO) from 1987.2 through 1990.3, the manufacturing processes(leak protection, pressure, drying of main body), the accessories, the protective system, the cooling system, the method and the results of test and the evaluation of economics compared with conventional oil - filled transformer are represented.

1. 서론

대도시에 전력수요가 집중화하여 도심부에 고전압, 대용량 변전소의 필요성이 매우 높아지고 있다. 이러한 변전소는 주택지 또는 도심지 근처에 있어 불연화, 저소음화 등 환경조화성과 소요용지의 취득난으로 해서 필요공간의 유효활용을 위해 지하 변전소 및 가스절연변전소(GIS)가 건설되고 있다.

이러한 수요에 부응하여 종래의 유입변압기보다 안전성, 방재성, 환경조화성 등이 우수한 건식 및 가스절연변압기의 수요가 증가하고 있다.

현재는 지하변전소, 대규모빌딩의 옥내변전소, 지하철, 전철변전소 등에서는 MOLD 변압기가 사용되고 있으나, 에폭시 자체의 절연내력 및 냉각문제로 인해 고전압, 대용량 제작이 가능한 가스절연변압기가 외국에서는 많이 사용되고 있는 추세이다. 향후 국내에서도 많은 수요가 예상되는 23KV 전로용 및 그 이상에서 사용할 수 있는 SF₆ 가스 절연변압기에 대하여 서술하였다.

2. 기술동향

변압기의 개발역사를 고찰해 보면 1886년도에 미국의 Great Barrington 이 최초의 교류를 이용한 전등을 밝힌 것이 계기가 되었다. 당시에 사용된 변압기는 100V/500V의 Step-up 변압기로 W. Stanley에 의해 발명되었으며 이를 최초의 상업용 변압기라 할 수 있다. 이후 1890년도에 스웨덴의 ASEA사에서 최초의 3상 변압기가 개발되었으며, 1950년도에 독일의 M & C 와 Trafo-Union사에 의해 MOLD 변압기가 개발되었고, 1956년 미국의 GE와 WECO사에서 SF₆ 가스 절연변압기를 개발하였다.

그후 GE사에서는 "Vaportran"이란 상품명으로 변압기를 시판했으며 절연액체는 C₂Cl₃F₃(R113 : trichlorotrifluoroethane)을 사용한 Vaporization-Cooling(증발냉각) 방식이다.

또한 WECO 사에서는 Gas/Vapor Fire Resistance 변압기란 상품명으로 C₂Cl₄(Tetrachloroethylene) + 절연유를 함께 사용한 난연성 변압기를 시판중이다. 특히 절연유를 펌프를 사용하여 순환시켜 본체를 냉각시킨다. 이러한 변압기의 특징은 변압기의 내부압력이 기존의 유입변압기와 동일한 점이다. 1960년대에 138KV, 40MVA급까지 제작하였다.

그 반면 일본쪽에서는 SF₆ 가스를 이용한 난연성 변압기가 배전용급 이하에서는 대부분이고 고전압, 대용량쪽으로는 SF₆와 냉매로서는 CaF₆OX(PFC : Per FluoroCarbon)를 혼합 사용하는 가스 절연변압기가 개발되고 있다. 1967년에 최초의 가스절연 변압기로 69KV 3000KVA가 제작되었고, 1991년 봄에는 관서전력(주) 교방변전소(대부분 북방시)에 275/77KV 300MVA 가스절연변압기가 상업운전중이다.

표 1. 국내외의 가스절연변압기 개발현황

회사명	구분	사용가스명 및 냉각 매체	상 품 명	개발연도
일본	HITACHI	SF ₆ Gas PFC	NonFlammable TR.	1967
	MITSUBISHI	SF ₆ C ₆ F ₁₀ O	가스절연변압기	1965
	FUJI	" "	"	1965
	MEIDENSA	SF ₆	"	1967
미국	ARW(WOOD)	C ₂ Cl ₄ + OIL (75%) (25%)	GAS/VAPOUR FIRE RESISTANT TR.	1960
	G.E	C ₂ Cl ₃ F ₃	"Vaportran"	1960
국내	HYOSUNG	SF ₆	SF ₆ 가스절연 변압기	1990

국내에서는 당사에서 1987.2부터 1990.3까지(37개월)에 걸쳐서 SF₆가스를 사용한 FRUITO TYPE 1φ 23/6.9KV 1000KVA 가스차 냉식 SF₆가스절연변압기를 연구 및 제작하였고 현재는 장기실험 시험중이며, 한국전기연구소 전력기기연구실에서도 연구중이다.

3. 절연재료 현황

유입변압기에서 절연유는 가연성과 폭발성을 가지고 있으므로 이를 방지하기 위하여 불연성 절연물로 대체해야 한다. 가스절연변압기의 절연시스템은 절연유와 달리 가스는 절연구조물의 형상과 압력에 따라 절연물의 절연내력이 달라진다. 따라서 가스절연변압기에 사용하는 절연매체와 냉각매체는 절연내력이 크고, 냉각성능이 우수하고, 재료의 가격이 낮으며, 작업성이 용이한 쪽으로 재료가 선택되고 있다.

현재에 사용되는 것은 가스충전식, 절연매체와 냉각매체의 혼합식, 절연매체와 냉각매체를 분리한 분리식등이 있고 절연매체의 종류는 SF₆, C₂Cl₄등이 있고 냉각매체로는 C₆F₁₀(PFC), 절연유가 있다.

또한 절연냉각매체용으로는 C₂Cl₃F₃가 있다.

도체절연재료는 폴리이미드 필름(노멕스지), 폴리필렌셀룰로이드(PFS), 포리에틸렌테레프탈레이트(PET)필름, 내연성 프레스보드(PB)인 전방향축 폴리이미드와 부재로서 FRP수지, ABS수지등을 사용한다. 좀더 축소화를 위해 가스중에서 고절연내력을 갖는 절연재와 고냉각매체인 냉매를 포함한 복합적 절연시스템을 개발하는 경향이다.

1) 절연매체와 냉각매체

가스절연변압기에 사용하는 절연매체와 냉각매체는 기본적으로 아래와 같은 특성을 가져야 한다.

- (1) 우수한 냉각특성을 가질 것(LOW KINEMATIC VISCOSITY)
- (2) 높은 절연 신뢰성을 가질 것
- (3) 불연성일 것

위의 특성을 갖는 절연매체와 냉각매체는 표 2, 표 3에 나타나 있다.

표 2 냉각매체의 특성

NO	ITEMS	COOLANT	PFC LIQUID	TRANSFORMER OIL	PECULIARITY OF PFC LIQUID
1	FLASH POINT (°C)		NON	130	NON-FLAMMABLE
2	BOILING POINT (°C)		100	280-450	NECESSITATES AN INCREASED PRESSURE
3	DENSITY (g/cm ³)		1.76	0.87	2 TIMES OF OIL
4	KINEMATIC VISCOSITY (CST)		0.8	7.5	EXCELLENT HEAT TRANSFER
5	SPECIFIC HEAT (cal/g°C)		0.25	0.45	EQUIVALENT HEAT CAPACITY
6	THERMAL CONDUCTIVITY (kcal/m h°C)		0.05	0.11	1/2 TIMES OF OIL
7	COEFFICIENT OF EXPANSION (1/°C)		14×10 ⁻⁴	7.7×10 ⁻²	2 TIMES OF OIL
8	DIELECTRIC CONSTANT		1.86	2.2	LOW CONSTANT
9	STATIC CHARGE DENSITY (μC/ml)		0.2 - 0.5	40 - 90	VERY LOW DENSITY
10	BREAKDOWN VOLTAGE (KV)		> 60	> 60	EQUIVALENT TO OIL. AT 1 kg/cm ²

2) 절연물

가스절연변압기에서 사용하는 절연재료는 도체절연지와 권선구조지지와 절연을 위한 프레스보드와 부재로서 사용하는 강화 플라스틱등이 있다.

이러한 절연물은 절연매체와 냉각매체와의 적합성 시험을 하여 사용할 필요가 있다. 절연재료의 선정에 있어서는 유입변압기에 사용하는 절연물에 비해 내전압 특성과 내열성, 기계적 특성을 고려하여 우수한 특성을 갖는 재료를 사용해야 한다.

도체절연 재료는 유입변압기에 사용하는 크라프트 절연지를 쓰지않고 프라스틱 필름이 사용된다. 왜냐하면 크라프트 절연지는 기밀도가 낮고, 가스중의 내전압 특성이 유중에 비해 수십분의 일 밖에 되지않으므로 밀도가 높은 필름계 절연물이 아니고는 권선의 단간 절연설계가 되지않는다.

현재 도체절연지로 사용되는 재료는 PET(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) 필름이 SF₆가스절연변압기에 많이 사용되고, 또한 내열성이 높은 재료는 폴리필렌셀룰로이드(PFS) 필름과 견식 변압기에서는 폴리이미드필름(NOMEX 지)이 사용된다.

표 3 절연 및 냉각매체의 특성 < 1 >

	FC-75	FRON 113	SULFUR HEXAFLUORIDE	TETRACHLOROETHYLENE+OIL
화 학 식	C ₆ F ₁₀ O	C ₂ Cl ₃ F ₃	SF ₆	C ₂ Cl ₄ + OIL
분 자 량	420	187.4	146	-
방 향 성	-	-	-	CHLOROFORM형
비 등 점 (°C)	102	47.6	-63	132
빙 점 (°C)	-113	-35	-63.8	-30
용 용 점 (°C)	-88	-	-	-28
입계압력(psi)	237.3	495	530.7	-
입계온도(°C)	227.3	214.1	45.6	-
밀도(g/cm ³)	1.7602	1.565	0.00597	1.445
비열(cal/g°C)	0.245	0.213	-	0.247
절연강도(KV)	40.00	31.00	2.4(xN ₂)	45
절연상수(25°C)	1.86	2.41	1.0	2.27

R-스페이스, 절연베리어등에서는 내열성 프레스보드인 전방향족 폴리이미드를 주원료로한 내열성, 난연성등의 특징을 갖는 절연물이 사용되고 있다. 또한 구조물의 지지를 위한 부재의 강도 향상을 목적으로 강화 프라스틱을 활용하는 경향도 있어 현재에는 FRP수지, ABS수지등의 사용예가 있다.

표 4 도체 절연재료의 특성 < 2 >

특성	종류		
	KRAFT지	POLYARAMID NOMEX	POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILM. PET(MAYLAR)
밀도 (g/cm ³)	0.60-0.85	0.99	140
인장강도 (kg/mm ²)	종	4.5이상	12
	형	1.5이상	7.7
연신율(%)	종	2.0이상	23
	형	3.0이상	21
절연파괴강도 (KV/mm)	5.5이상	29	160
가열약화율(%) 140 C 24시간	5.0이상	0.6% 300 C	1.3% 150 C 2시간
유전율	건식	1.5 - 2.0	2.6
	유함침	3.2 - 3.7	-
용점 (°C)	-	-	263
절연의 종류	A(95°C)	H(180°C)	E(120°C)

4. 냉각방식

1) 가스절연변압기에의 냉각방식은 변압기의 용량에 많이 좌우된다. 일본쪽에서는 주로 E종(120°C)절연물을 사용하고 대용량 가스절연변압기에서는 H종(180°C)까지 설계되고 있고 미국쪽에서는 B종(130°C)절연을 한 가스절연변압기가 제작되고 있다.

표 5 에는 각종 규격에 따른 냉각시스템과 대략용량을 적어 나타내었고 표 6 에는 권선의 허용 온도상승값을 표시 하였다.

표 5 냉각방식의 종류

COOLING-SYSTEM STANDARDS		COOLING SYSTEM	CAPACITY (KVA)
IEC, BS, JEC	ANSI		
GNAN	GA	Gas-filled, natural-air-cooled with radiators mounted around the transformer enclosure	5,000까지
GFAN	FG	Forced gas by blowers, natural-air-cooled with radiators mounted around the transformer enclosure	20,000까지
GFAP	FGA	Forced gas, forced-air-cooled with coolers	50,000까지

2) SF₆가스는 절연유에 비해 열전달율이 매우 낮기 때문에 SF₆ 가스절연변압기의 대용량화에 있어서는 열전달율이 절연유와 같이 향상시키기 위해서 가스 강제순환식(BLOWER)이 일반적으로 제작된다. 그림 1은 절연유, SF₆, 공기의 권선표면에서의 열전달율(p.u)을 표시하였다.

그림 2,3은 가스 자냉식 구조와 가스 강제순환, 풍냉식 구조를 나타내었다.

표 6 허용온도상승

ITEM	STANDARD	ANSI	IEC, BS	JEC
Class of temperature rise		80	E	E
Permissible winding temperature rise(°C)		80	75	70
Permissible coolant temperature(°C)				
Air	Maximum	40	40	40
	Avg. in any one day	30	30	35
	Avg. in any one year	-	20	20
Water	Maximum	30	25	25
	Avg. in any one day	25	-	-

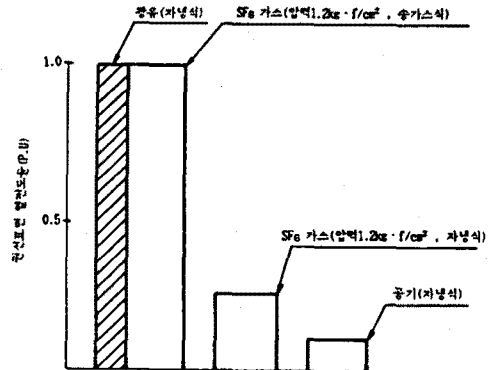


그림 1. 열전도율의 비교도 [3]

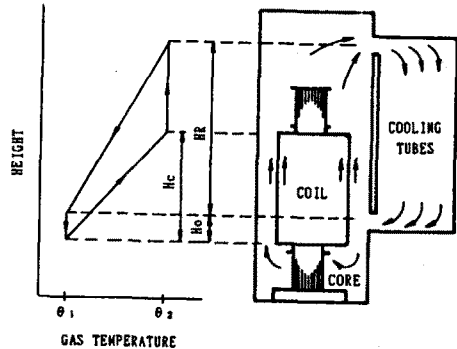


그림 2. 가스자냉식에서의 가스순환과 온도분포도

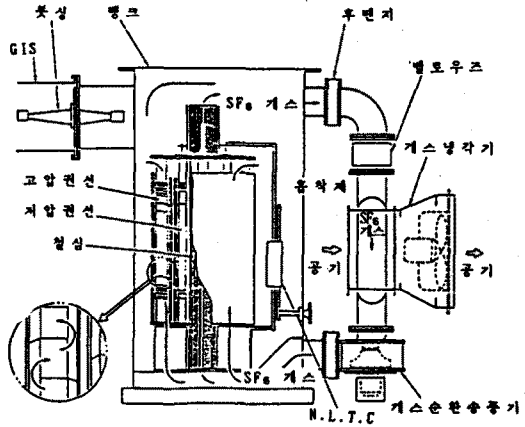


그림 3 가스강제순환 풍냉식 구조

5. PROTO TYPE SF₆가스절연 변압기 소개

1) 사양

용 량	1000KVA (가스자냉식) 단상
전 압	22.9 ^ø /6.9KV (150/60 KV BIL)
권선온상승	75 °C (E종 절연)
% IMP	3.5 %

2) 압력

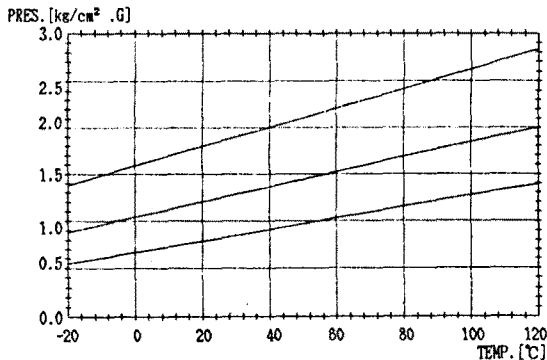
(1) 사용압력

구 분	O I L	SF ₆ GAS(20 C)
1. Pressure relief device 정상동작 압력	10±1psig(0.7±0.07 kg/cm ² .G) 초과	27.14psig (1.9±0.1kg/cm ² .G)
2. 경보압력		(상한) 25.71psig (1.8kg/cm ² .G) (하한) 12.85psig (0.9kg/cm ² .G)
3. 운전상태에서 변압기 내부 압력 한계	±5psig (±0.35kg/cm ² .G)	17.14psig (1.2kg/cm ² .G)
4. 탱크 최고 압력 한계	15psig (1.05kg/cm ² .G)	28.5psig (2.0kg/cm ² .G)
5. 절연보증압력		11.42psig (0.8kg/cm ² .G)

* SF₆ Gas중(20 C)

- 절연보증가스압력 : 0.8(kg/cm².G) - 11.42psig - 26.12psia
 - 정격주입가스압력 : 1.2(kg/cm².G) - 17.14psig - 31.8 psia
 - 최고사용가스압력 : 1.8(kg/cm².G) - 25.71psig - 40.41psia

(2) SF₆ Gas 압력 - 온도관계 Graph



SF₆ Gas 압력 - 온도관계 Graph

3) 보호장치 및 부속품

(1) 온도계 : 경보접점 보유

최소지침 : -20°C
 최대지침 : 120°C

(2) 압력계

하한압력 : 0.8kg/cm² .G (경보접점보유)
 상한압력 : 1.8kg/cm² .G (경보접점보유)

(3) 가스밀도 검출기

제 1 하한압력 : 0.9kg/cm² .G(경보접점)
 제 2 하한압력 : 0.8kg/cm² .G(트리pping점)

(4) Safety Valve : 구경 100mm 이상

(5) Gas Gate Valve : 구경 300mm 이상

(6) Pressure Relief Device

배전 : Vent Type
 전력 : Pressure Relief Setting (27± 1 psi)

(7) 흡수 계 : 알루미늄

(8) 축류환풍기

(9) 무부하 탭절환기 (WCA Type)

(10) 방열 관

- o Turbular Type
- o Fin Type
- o Cooler Type

4) 제조공정

(1) 차이 점 :

- o 작업장관리 : 가스절연변압기의 본체조립은 크리닝 Room 에서 작업을 해야하며 Partial Counter 를 사용하여 실내의 오염원을 관리해야 한다. 특히 절연내력에 영향을 미치는 먼지 수분 흡습, SF₆가스의 순도, 방열관 청결 등에 주의해야 한다.
- o 유입변압기에 비해 Vaportherm 공정이 없는 것이 특징이며 Hot Air Drying 작업, 진공작업, SF₆가스 주입 작업이 있다.

(2) SF₆가스 순도관리

SF₆가스 순도는 질소가스와 공기가 약 20% 가량 혼입 되더라도 절연적으로는 거의 영향을 받지 않고 SF₆ 가스순도가 90% 이상에서는 실용적으로 지장이 없다. 따라서 가스절연변압기보다는 가스 절연기기와 동일하게 SF₆ 가스의 허용치를 95%, 관리치를 97%로 기준으로 하고 있다.

o 가스중 수분 관리

SF₆ 가스 자체의 절연강도는 가스중 수분에 그다지 영향을 받지 않는다. SF₆ 가스중에 절연물이 존재 할 때는 절연물 표면에 수분이 결로하여 연면절연 특성이 저하된다.

따라서 가스중의 수분측정에는 노점계를 이용하여 측정하며, 수분측정시 500ppm(vol.)이내로 관리해야 한다.

(3) 탱크시험 방법

검사항목	시 험 항 목	판 정 기 준
수압시험	1)조립된 탱크본체에 깨끗한 물을 채운다. 2)잔류공기를 제거한 다음 서서히 가압하여 2.5kg/cm ² .G까지 승압한 후 30분 동안 유지한다. 3)각부의 이상유무를 조사한다.	누설이나 갈라짐 또는 그 밖의 이상이 없을 것
기밀시험	1)수압시험 종료후 질소가스를 사용 2.0kg/cm ² .G까지 승압한다. 2)그 압력을 유지하면서 발포제를 이용하여 누설을 조사한다.	누설이나 갈라짐 또는 그 밖의 이상이 없을 것
변압기 조립후 기밀 시험 방법	1)붓싱 및 각종 역세사리를 조립한 후 SF ₆ Gas를 이용 2.0kg/cm ² .G까지 승압한다.	

2) 변압기외부를 비닐로 밀폐를 시킨다. (비닐 내, 외부의 공기유동이 없도록 할 것)	가스농도가 12ppm이내 일 것
3) 12hr. 후 Gas Leak Detector를 사용하여 비닐시트내에 축적된 가스농도를 측정한다.	

6. SF₆ 가스 절연 변압기 시험결과

항 목	설 계 치	시 험 치	비 고
온도상승 시험 (75°C)	HV 권선온도 상승: 62.5	74.1	Z-연속인 Channel에 의해 좀더 갈 것으로 예상
	LV 권선온도 상승: 76.5	74.8	
	Gas 평균온도 상승: 45	45	
절연내력 시험	o Turn to turn insulation impulse Strength Stress 520V/mil 504V/mil	Impulse test HV 150KV/BIL LV 60KV BIL Induced potential test 고압 : 정격 전압의 2배 저압 : 정격 전압의 2배 Voltage test HV: 50KV 1분 LV: 22KV 1분	1.2kg/cm ² g 가스압시험
	상용주파 Strength Stress 내전압 2.2KV 0.148KV		0.8kg/cm ² g 가스압시험
	o Section to section insulation impulse Strength Stress 49.8KV 40.35KV		
	상용주파 Strength Stress 내전압 33.2KV 0.7KV		
	o Duct for break in coil impulse Strength Stress (3/4") 94KV 94.3KV		
	Duct 상용주파 Strength Stress 내전압 70KV 8KV		
탱크압력 및 기밀시험	o 탱크 Cover 조립방법 - Bolt 체결방식 - M20 Bolt 사용 Bolt간 간격 약 90mm	o 시험압력 (Tank) 수압시험 : 2.5kg/cm ² g 기밀시험 : 2.0kg/cm ² g	
	o 기밀부위 설계 - Tank Cover 및 Flange 체결 부위는 밀링가공에 의한 다듬질 가공 실시 - Cover 및 기타 Flange 연결 부위는 이음새 없는 질소 고무 Gasket 및 O-Ring 사용 - 전 용접 부위는 P.T 시험 실시		
탱크설계 압력: 2.5 kg/cm ² g		o radiator 시험압력 : 3.5kg/cm ² g	
		o 운전시 Gas 안전밸브 작동압력 : 2.0kg/cm ² g	

7. 각종 건설 변압기 경제성 비교 < 5 >

1) 각종 변압기의 특실비교는 아직 국내시장이 형성되지 않은 관계로 일본 데이터를 참조 하였다.

전출력(KW)은 변전설비의 변압기정격용량(KVA)의 함으로 아래표의 계수를 곱해서 산정한다.

정격용량의수치합계(KVA)	500미만	500이상 1,000미만	1,000이상
계 수	0.80	0.75	0.70

변압기의 소화설비
(동경도 화재예방 조례 36, 37, 40조 변전실면적 200m²미만, 사람이 있을 경우)

전 입	기기의 종류	변압기의 출력*		
		500KW미만	500KW이상 1,000KW미만	1,000KW이상
저압 및	유 입	소형소화기	대형소화기 + 소형소화기	고정소화설비 + 소형소화기
고 압	불연역 또는 건식		소형소화기	대형소화기 + 소형소화기
특 고	유 입	고정소화설비 + 소형소화기		
	불연역 또는 건식	대형소화기 + 소형소화기		

* 예방사부조사 검사기준에 준함

각종 변압기의 특실 비교

항 목	유 입	SF ₆ 가스	물 드	H중 건식	실 리 콘
절 연 냉각 매체	광유 (JIS C 2320 1 종 2호)	SF ₆ 가스	RESIGN + 공기	실리콘 + 공기	실리콘유 (JIS C 2320 6종)
연 소 성	가 연 성	불 연 성	난 연 성	불 연 성	난 연 성
사 용 장 소	실 내 외	실 내 외	실 내	실 내	실 내 외
취 부 요 소 공간	△	△	◎	◎	△
냉 각 방 식	자 냉 송 유 자 냉 송 유	자 냉 가 스 자 냉 송 유	자 냉 풍 냉	자 냉 풍 냉	자 냉
절 연 등 급	1,000KV 이하	77KV 이하	33KV 이하	33KV 이하	77KV 이하
소 음 레벨	○	◎	△	△	○
보 수 점 검	o 온도감시 o 누유점검 o 절연유 특성점검	o 과동 가스압력 감시 o 가스특성 점검 o 가스송풍 기 점검	o 과동 o 외관검사 o 아니쉬, 소계기 청소	o 과동 o 과동	o 과동 o 누유점검 o 절연유 특성점검
정 기 점 검	2-3년/1회	2-3년/1회	1년/1회	1년/1회	2-3년/1회
중 량 (%)	100	90~100	70~80	60~70	90~100
본 체 손 실	100	80~100	90~110	100~110	100~110
가 격	◎	○	△	△	△

범례 : ◎우수, ○양호, △가능

8. 결 론

최근 환경에 대한 관심이 높아 지므로 해서 변압기 분야에서도 시장의 수요에 부응해서 전식변압기의 수요가 증가하고 있다. 현재는 MOULD TR.의 수요가 급격하게 늘어나고 있으나, 배전용 이하로 한정되어 있다. 한편 한편에서도 지하 변전소가 다수 건설되고 있으나 유입식방폭형변압기(154KV 45/60MVA)가 제작되고 있어서 완전한 해결책은 되지않는다. 따라서 이를 해결하기 위해 당 연구소에서도 87년도 부터 SF₆가스절연 변압기에 대해 연구를 계속해 왔으나, 향후의 연구과제는 기계제품의 신뢰성 시험을 계속하고, 대용량의 가스 강제순환 풍냉식의 PROTOTYPE 변압기를 제작하여 실증 시험을 해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] POWER TRANSFORMER WITH TWO-PHASE COOLING:RI-1499-2 (INTERIM REPORT JUNE 1981) WECO
- [2] "受配電用 가스絶縁變壓器" 三菱電機技報, VOL.58, NO.9, 1984
- [3] "66KV,20MVA 完全自冷式가스絶縁變壓器의實用化" 三菱電機技報, VOL.61, NO.5, 1987
- [4] "COOLING EFFECT BY GAS DENSITY OF SF₆ INSULATED TRANSFORMER" IEEE TRANS. ON PAS VOL.PAS-101, NO.7 JULY 1982
- [5] "가스絶縁變壓器" 電氣計算, 1988年 4月號