



친환경 개폐장치 동향



김정배 상무이사 (우효성 중공업PG)

1. 서론

SF₆가스는 뛰어난 절연내력 및 회복성, 소호특성, 우수한 열안정성 때문에 현재 전 세계적으로 전력기기의 절연매질로 널리 사용되고 있으며 특히, 변전소의 핵심 전력기기인 GIS (Gas Insulated Switchgear)용 절연 및 소호매질로 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 장점 이외에 다른 기체 절연물에 비해 값이 비싸고 상대적으로 높은 액화온도 (SF₆: -63.8℃, N₂: -195.8℃)를 가지고 있으며 또한 먼지나 금속이물 때문에 생기는 국부 고전계 (Strong local electric fields)에 매우 민감하다는 단점들이 있다. 뿐만 아니라 지구온난화계수 (GWP, Global Warming Potential)가 CO₂의 약 23,900배로 매우 높아 대기 중으로 방출될 경우 온실효과 (Greenhouse Effect) 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제로 인해 1997년 개최된 COP3 교토회의에서 규제대상 가스로 분류되었다. 1992년 리우협약으로 시작한 지구온난화 대책 국제회의는 1997년 교토의정서 (Kyoto Protocol)를 채택하였으며, 주요 내용으로 38개 선진국은 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출을 1990년보다 평균 5.2% 줄이고 우리나라를 포함한 개도국은 2013년부터 2017년까지 감축하여야 하며 온실가스 배출권을 국가 간에 거래할 수 있도록 허용하였

다. 교토의정서에 따르면 온실가스로 포함되어 있는 이산화탄소 (CO₂), 아산화질소 (N₂O), 메탄 (CH₄), 불화탄소 (PFCs), 수소불화탄소 (HFCs), 육불화유황 (SF₆) 등 6종류에 대해 38개국 선진국이 1차 의무감축을 진행하였고, 현재는 대한민국을 비롯한 개발도상국가들을 대상으로 2차 의무공약기간에 참여하여야 하는 실정이다.

현재 전력기기에 사용되고 있는 SF₆의 사용절감은 다양한 형태로 진행되고 있다. 기존에 설치/사용하고 있는 SF₆의 회수율을 높여 환경의 영향을 최소화하는 가스회수장치 개발은 물론이고, SF₆를 아크 소호매질로 가지는 GCB를 적용한 GIS로 차단부는 SF₆를 그대로 적용하고, 모선부 등 나머지 부분은 대체절연가스를 채택하는 가스구획분리 등 그 형태는 매우 다양하다. SF₆가스와 유사한 수준의 소호특성을 갖는 절연가스가 아직 개발되지 않은 관계로 지금까지는 기존의 SF₆가스 누기량 및 사용량을 줄이는 소극적인 방법으로 진행되어 아직까지 어떤 형태로든 SF₆가 사용된다. 이에 반해, 아크 소호매질이 진공인 VCB를 적용한다면 SF₆가스를 전혀 사용하지 않고 GIS의 성능을 확보할 수 있다. 또한, TOSHIBA, JAEPS 등의 일본을 중심으로 하는 선진 Maker에서는 SF₆가스를 대신하는 새로운 가스, SF₆가스와 의 혼합가스를 적용한 기기 연구개발을 활발히 진행하고 있다.



따라서 본고에서는 온실가스인 SF₆가스 감축에 관한 제조업체와 국제사회의 동향 및 활동에 대해 알아보고, 그에 따른 대책으로 추진 중인 국내·외 주요업체의 연구/개발 동향에 대해 고찰하고자 한다.

그 예상치는 표 1과 같다. 본 자료는 전 세계 주요업체 및 기관들의 인터뷰를 통해 작성된 자료이다.

선진국들에게 2020년까지 1990년 대비 25~40%의 온실가스 배출량 감축을 권고하고는 있으나, 실제 교토의정서에 참여한 선진국들의 감축 목표량은 18%에 불과한 실정이다. 하지만 교토의정서에 따라 각 국가별 활동 노력은 표 2와 같이 조사되고 있다.

2. 온실가스에 대한 Global Policy

온실가스의 감축 노력이 진행되고 있으며,

표 1. 제조업체들의 SF₆가스 감축 예상치.

구분	세계 중전기시장의 연평균 성장률 (IEA's World Energy 2009년 자료)	SF ₆ 가스의 전체배출량	SF ₆ 가스의 배출비율
내용	2007~2015년 : 2.7% 2015~2030년 : 2.4%	2030년까지 30% 감축 (2005년 배출량 대비)	2030년 : 0.8% (2050년 : 5.0%)

* 참여 : JEMA (Japan), NEMA (USA), T&D Europe, ABB, Alstom, Ormazabal, Schneider Electric, Solvay and Siemens

표 2.

국가	내용
유럽	<ul style="list-style-type: none"> · 2020년까지 1990년 대비 20% 감축 목표. (30% 상향 조정을 위한 움직임이 있으나, 일부 국가의 반대로 난항) · 배출권 거래제 (EU-ETS) 도입 및 시행 ('05). · EU 기후변화종합법 (Directives) 발효 ('09,04). · [SF₆가스] Regulation (EC) No 842/2006 : SF₆가스 누출방지, 취급 및 회수, 라벨링 및 정보제공의 의무를 규정. · 독일: 1990년 대비, 2012년 (21%) 2020년 (40%)/2030년 (55%)/2040년 (70%)/2050년 (80%) 감축 목표. · 프랑스: 1990년 대비, 2050년까지 75% 감축 목표. · 영국: 1990년 대비, 2020년까지 36% 감축 목표. · 노르웨이: 1990년 대비, 2020년까지 30% 감축에서 40% 감축으로 목표 상향 조정.
일본	<ul style="list-style-type: none"> · 1990년 대비 2020년까지 25% & 2050년까지 80% 감축 목표 ('10,01) · 환경세와 배출권 거래제도 도입 ('05). · [SF₆가스] 일본 전력이 산업은 정부에 SF₆가스 배출량에 대한 자발적인 보고를 받으며, Utility와 manufacturer는 매년 SF₆가스 배출량에 대한 보고를 실시.
미국	<ul style="list-style-type: none"> · 2020년까지 2005년 대비 17% 감축 & 2050년까지 80% 감축 목표 ('09,06). · Massachusetts주: 1990년 대비, 2020년까지 25% 감축 목표. · [SF₆가스] California주: 2020년까지 SF₆가스의 배출량 70% 감축을 각 Utility에 지시 ('11,01). · [SF₆가스] EPA (Environmental Protection Agency) Voluntary Program : 71개 Utility (미국 전력량의 47%)와 자발적 Partnership을 통해, 배출량 관리와 감축에 노력.
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> · 2006년 대비, 2020년까지 20% 감축 & 2050년까지 60~70% 감축 목표 · SF₆가스Ontario주: 최근, SF₆가스를 포함한 새로운 배출 거래 시스템 개발을 위한 법 제정. · 2000년 대비 2020년까지 5~15%, 2050년까지 60% 감축 목표 · 탄소배출권 거래제를 구성하는 Carbon Pollution Reduction 제도의 소개를 계획 & 2012년에 도입예정
호주	<ul style="list-style-type: none"> · 수도 특별지역 (캔버라 등)은 온실가스 배출량을 1990년 대비 2020년까지 40% & 2050년까지 80% 감축 목표 ('10,09) · [SF₆가스] SF₆가스의 수출입에 대하여 '의무이전제도' (Obligation transfer number) 적용 · "Carbon Tax" 부과 (SF₆ 1kg당 약 550호주달러) : 2012년 7월 1일부로 발효
중국	<ul style="list-style-type: none"> · 2005년 대비, 2020년까지 40~45% 감축 목표 · 2년마다 감축 행동, 정책대책, 성과결과 상황을 국가보고서 형식으로 발표할 것임을 밝힘. · 국가발전개혁위원회 (Xie Chen Hua) 부주임이 전국 인민대표 대회에서 밝힘, 2010년
뉴질랜드	<ul style="list-style-type: none"> · 1990년 대비 2050년까지 50% 감축 목표 (2008년 대비 37.5% 감축 수준).
브라질	<ul style="list-style-type: none"> · 2020년까지 BAU 전망치 대비 36.1~38.9% 감축 목표 · São Paulo주: 2005년 대비, 2020년까지 20% 감축 목표
멕시코	<ul style="list-style-type: none"> · BAU 전망치 대비 2020년까지 30%, 2050년까지 50% 감축 목표 & 2012년까지 자국내 탄소 배출권 거래제 구축
남아공	<ul style="list-style-type: none"> · 2020~2025년 : 온실가스 배출 증가율 zero & 2030~2035년 : 온실가스 배출량 감소 실시 · 온실가스에 대한 세금, 요금제와 같은 방식의 규정을 준비함



3. 해외 친환경 개폐장치 신기술 개발 및 적용 동향

3.1 해외 친환경 개폐장치 동향

개폐장치의 절연 및 소호가스로 사용되고 있는 SF₆가스를 억제하는 친환경 접근방식은 크게 3단계로 추진되고 있으며, 전압별로 진행단계의 차이를 보여주고 있다. 1단계는 SF₆가스를 사용하고 있는 개폐장치의 사이즈 및 압력을 낮추어 사용량을 줄이거나 지구온난화를 실질적으로 발생시키는 것을 억제하기 위해 외부 누기량을 억제하는 단계이다. 사실 이 부분에 대해서는 전 세계의 중전기 Maker들이 집중적으로 진행하고 있으며, 최근 상당한 설계 및 제작기술의 향상에 따라 극한치까지 와있는 상태이다. 1단계에 대해 유럽의 중전 Maker들은 제작기술의 향상을 통해 외부 누기가 발생되지 않는 방향으로 연구를 진행하고 있으며, 일본의 중전 Maker들을 중심으로는 2단계/3단계의 연구를 시도하고 있으며 일부 상용화 단계에 와있다. 이러한 배경으로 친환경 개폐장치의 연구는 아직까지 유럽의 Big3 (ABB, SIEMENS, AREVA (Alstom))보다는 일본의 Small Big3 (JAEPS, TOSHIBA, MITSUBISHI)가 주도적으로 추진하고 있으며, 국내는 후발 주자인 관계로 2가지 방향을 동시에 추진하고 있다고 볼 수 있다. 그림 1에 이러한 기술적 동향을 도식적으로 보여주고 있다. 이와는 별도로 SF₆가스를 대체하는 CF₃I는 지구온난화 지수가 낮고 절연 및 소호성능이 SF₆보다 동등 이상의 성능을 보유하고 있지만, 가격이 SF₆가스 대비 약 10배이기 때문에 대체가스로 주목만 받고 실제 상용화는 어려운 실정이었다. 그러나 최근 일본의 국가 전략물질로 선정되면서 대량 생산체제를 구축하여 상용화의 기초를 마련하고 있으며, 멀지 않아 좋은 소식을 전해주리라 예상되고 있다.

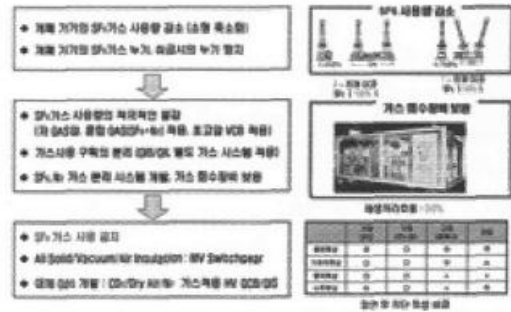


그림 1. SF₆가스 대체 기술동향.

3.2 친환경 개폐장치 개발 및 적용/운용 실태

(1) SF₆ 대체가스

CF₃I (Trifluoroiodomethane)가스는 기존 생산 금지된 CF₃Br의 대체 소화제로써 개발되었다. 무색, 무취, 불연, 불활성의 기체로, 오존 파괴계수 (ODP) 0.0001, 온난화계수 (GWP) 5 이하 (100년 환산)로 환경 부담이 매우 적다. 이러한 CF₃I를 SF₆가스 대체용으로 일본의 Maker를 중심으로 검토를 하고 있으나, 액화온도가 높아 대기압에서도 -22.5℃에서 액화가 되고 GIS 등에 사용하고 있는 0.5 Mpa의 압력에서는 20℃에서 액화가 된다. 이것은 전력기기의 절연매체로써 사용하기에는 대단한 약점이며, 이것을 극복하는 방안으로 질소 등을 혼합하여 사용하는 방안이 연구되고 있다. 이와 같이 아직까지는 SF₆가스를 대체할 수 있는, SF₆가스와 동등한 수준의 가스는 아직 발견되지 않았지만 현재 전 세계적으로 다각도의 연구가 이루어지고 있다 (표 3).

(2) 친환경 배전급 개폐장치

절연내력 및 아크소호능력이 우수한 SF₆가스를 사용하고 있는 배전급 개폐장치에 대해 표 3, CF₃I, SF₆가스의 일반적 특성.

	CF ₃ I	SF ₆
ODP	0.0001	0
GWP (100년 환산)	5 이하	23900
대기수명	1일 이하	3200년
빙점 (대기압)	-22.5℃	-64℃

해 SF₆가스를 대체하는 데에는 중요한 인자로 VCB (Vacuum Circuit Breaker)가 고려되어야 한다. 배전급에는 이미 SF₆의 소호기능을 대체하는 VCB가 이미 적용되고 있으므로 절연성능에 대해서만 대체하는 방안의 노력이 필요하며, 현재 VCB가 적용 가능한 배전급 (36 kV급 이하) Switchgear는 2가지 방안이 상용화 되고 있다. 그 예로는 Epoxy 등을 이용한 고체절연방식 (SIS: Solid Insulated Switchgear), Dry-Air/N₂ 가스를 이용한 대체가스절연 방식 그리고 고체절연방식과 대체가스절연 방식을 혼합한 Hybrid절연방식 등이 사용되고 있다. 즉, ABB/JAEPS/Nissin社 등이 36 kV급 이하를 DAIS (Dry Air Insulated Switchgear)방식

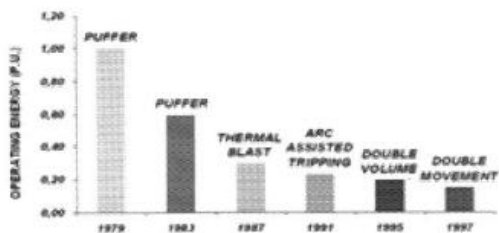


그림 2. Switchgear의 차단부 기술개발 동향.

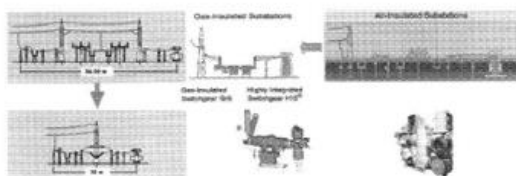


그림 3. 설치면적 관점에서의 Switchgear 변화.

표 4. 배전급 친환경 개폐장치 개발 현황.

(a) 일본 Maker

항목	구조	정격전압 kW	절연방식
HITACHI		24 kV	① 차단부 : VI ② 절연매질 : Dry Air ③ Multi Functional VI 적용 (CB/DS/ES) ④ 가스압 : 0.35 MPa, G
		1,250 A 25 kA	
NISSIN		24 kV	① 차단부 : VI ② 절연 : Dry Air ③ PMA조각기 적용 ④ 고체절연 Bus-bar ⑤ 가스압 - VCB : 0.18 MPa, G - 모선 : 0.50 MPa, G
		630 A 25 kA	
MITSUBISHI		24 kV	① 차단부 : VI ② 절연 : Dry Air ③ Multi Functional VI 적용 (CB/DS/ES) ④ V.I with insulation barrier 적용 ⑤ 가스압 : 0.07 MPa, G
		1,250 A 25 kA	
TOSHIBA		24/36 kV	① 차단부 : VI ② 절연 : Epoxy ③ BMA 조각기 적용 ④ VCB/VDS/VES 적용
		1,250 A	
		25 kA	

(b) 유럽 Maker

항목	구조	정격전압 kW	절연방식
ABB		12 kV	절연방식 N ₂ 절연 (1.2 kg, f/cm ² , G)
		2,500 A	
		31.5 kA	
HOLEC		24 kV 25 kA	Epoxy Solid 절연

으로, HOLEC/TOSHIBA社 등이 SIS (Solid Insulated Switchgear)방식의 제품을 출시하고 있다. DAIS방식은 Dry Air 등의 대체가스 압력 절감문제, SIS방식에는 절연물의 열적 열화 신뢰성문제가 아직까지는 해결하지 못해 시장 확대의 걸림돌로 작용하고 있다.

(3) 친환경 초고압 개폐장치 (Step1-축소화)
SF₆가스의 사용량을 줄이기 위해서 다양한 기술개발활동이 추진되고 있는데, 그 중 대표적인 활동이 차단부 축소화 기술개발 활동이다. 기존의 단순 Puffer방식에서 열 Puffer방식, 복합소호방식, 양방향 조작방식으로 차단부 축소화기술의 발전이 이루어지고 있다. 이러한 차단부 축소화와 병행하여 저조작력 연구개발이 같은 방향으로 진행되고 있다. 그림 2에는 이러한 기술개발 추이를 보여주고 있다. 또한, 기존 개폐장치의 80%를 차지하고 있는 AIS (Air Insulated Switchgear)가 설치면적의 축소화를 위해 GIS (Gas Insulated Switchgear)가 확대되고 있다. 그림 3은 Switchgear의 설치면적이 축소됨에 따라 SF₆가스 사용량의 절감 추세를 도식적으로 보여주고 있다.

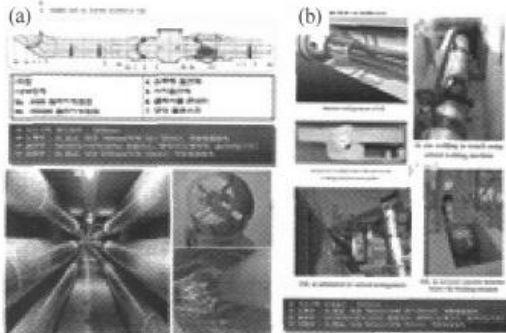


그림 4. 혼합가스를 적용한 GIL 사례 (a) 선진 S社 사례, (b) 선진 A社 사례 .

(4) 친환경 초고압 개폐장치
(Step2-혼합가스)

SF₆가스의 절연특성/소호특성을 모두 만족하는 가스의 상용화는 아직 이루어지지 않았기에, SF₆가스의 사용량 절감과 저온에서의 SF₆가스의 액화현상을 대처하기 위해 SF₆가스 일부와 Dry Air 또는 N₂가스를 혼합한 혼합가스가 일부 개폐장치에 적용되고 있다. SF₆가스 20%, N₂ 80%의 혼합가스가 충전된 GIL (Gas Insulated Line)이 대표적으로 사용되고 있다. 혼합가스는 회수 시의 어려움이 있기에, 소호역할이 거의 필요 없고 절연역할을 하면서 유지보수의 필요성이 적은 GIL에 대표적으로 사용되어져 왔다. 그림 4는 선진 유럽 Big3가 적용하고 있는 사례를 보여주고 있다.

캐나다 서부 Manitoba Hydro에서는 1988년부터 SF₆가스와 N₂가스를 적용한 Live Tank GCB를 적용하기 시작하여, 1990년부터는 SF₆가스와 CF₄가스를 적용하여 운전하고 있다. 사실 캐나다에서의 혼합가스 적용은 친환경의 목적보다는 SF₆가스의 액화현상을 대체하기 위한 목적이었으며, 결과적으로 Tank에 히터를 적용하지 않고 -50℃에서도 차단기를 옥외에 설치운전이 가능함을 알게 되었다. 표 5는 혼합가스 차단기 설치 운전 현황을 보여주고 있다 [1].

SF₆ (0.31MPa) + N₂ (0.2MPa)의 경우, 차단시

표 5. 캐나다 전력회사의 혼합가스 적용사례.

SYSTEM VOLTAGE	SF ₆ /N ₂	SF ₆ /CF ₄
500 kV	·	2
230 kV	5	62
138 kV	·	7
115 kV	2	46
66 kV	19	16
Totals	26	133



그림 5. 혼합가스가 적용된 캐나다 500 kV 변전소 사례.

험 중 하나인 SLF (Short Line Fault Test) 성능은 SF₆가스 100%에 비해 1단계 De-Grading되는 성능을 확인하였다. 예를 들어 100% SF₆가스일 경우 40 kA 성능은 혼합가스일 때 31.5 kA 성능으로 한 단계 떨어지는 것을 확인하였다. SF₆ (0.37MPa) + CF₄ (0.34MPa)의 경우, 약간의 Capacitance 추가라도 -50℃ 차단성능을 유지할 수 있음을 확인함에 따라, SF₆+N₂ 혼합가스보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 그림 5는 실제 혼합가스가 적용된 변전소의 개폐장치를 보여주고 있다.

(5) 친환경 송전급 개폐장치
(Step3-SF₆ gasless)

송전급 개폐장치에 대해서는 우선적으로 SF₆가스의 소호성능을 대체할 방식에 대한 연구가 진행되고 있는 상황으로 일본 중전 Maker에서 145 kV급 VI (Vacuum Interruptor)의 개발로써 Live Tank GCB가 개발되어 시범 운전 중에 있다. 차단부가 VI로 대체되면서 차단기 내부 절연가스는 Dry Air로 적용되어 있으며, 그림 6에 실물을 보여주고 있다. 또한, 기존 Puffer

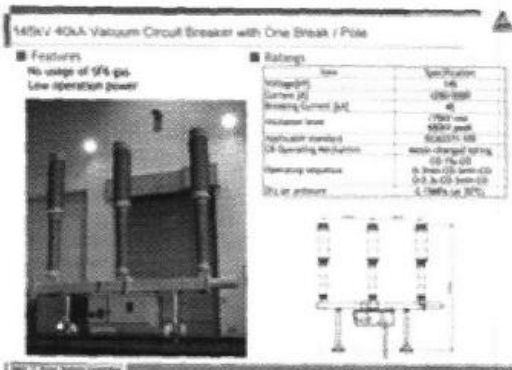


그림 6. VI를 적용한 145 kV Live Type GCB.

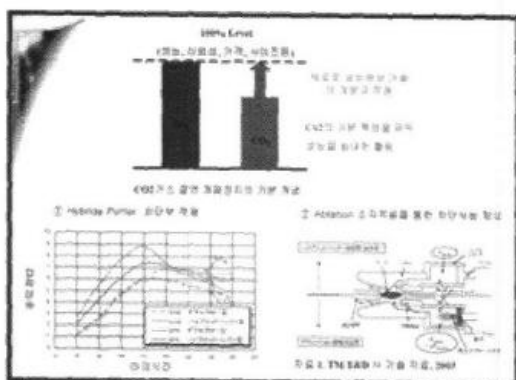


그림 7. CO₂ 가스를 적용한 300 kV 차단기 사례.

방식의 GCB와 동일한 구조에서 CO₂ 가스를 적용하고, 복합소호방식의 기술을 적용하면서 내부 Puffer Cylinder 내벽에 절연 코팅을 하여, 차단 시 발생하는 아크열에 의해 절연코팅 재질이 Ablation됨에 따라 아크 소호성을 향상시키는 방식이 연구되고 있으며, 일부 차단 성능을 확보하기는 하였지만 아직 상용화는 되지 못한 상태이다. 그림 7은 CO₂ 가스를 적용한 300 kV급 차단기의 적용 메커니즘을 보여주고 있다.

3.3 업체별 개발 동향

(1) 일본

① HITACHI

일본의 대표적인 업체인 HITACHI는 표 6와 같이 친환경 개폐장치를 개발하여 납품한

표 6. HITACHI의 HV/MV Switchgear 개발 납품 실적.

Item	FY2000	FY2001	FY2002	FY2003
High voltage switchgear				300kV (1 unit)
Medium voltage switchgear			200kV (1 unit)	200kV (1 unit)
FY2004	FY2005	FY2006	FY2007	
High voltage switchgear	300kV (1 unit)	300kV (1 unit)	300kV (1 unit)	300kV (1 unit)
Medium voltage switchgear	200kV (1 unit)	200kV (1 unit)	200kV (1 unit)	200kV (1 unit)

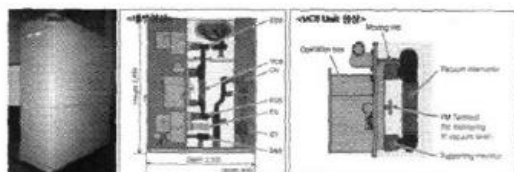


그림 8. 72.5 kV Cubicle-Type DAIS.

실적을 가지고 있다. SF₆ Free 기술로는 주로 VCB를 활용하여 일본, 미국, 호주 등에 200 unit 이상 납품하였다.

그림 8은 2010년도에 개발된 72.5 kV Cubicle-Type DAIS (Dry-Air Insulated Switchgear)로써 SF₆ Free인 복합절연방식을 적용하였고 VI를 사용하였다. Dry Air 가스절연과 고체절연을 적용한 Hybrid개념의 절연방식으로, 기존 Dry Air의 부족한 절연 성능을 고체절연방식을 통해 극하였고 VI는 기존 대비 12% 축소화하여 기술완성도를 높였다.

② MITSUBISHI

Mitsubishi 또한, 동일한 Hybrid 개념의 절연방식으로 제품을 개발하였다. Electromagnetic VCB operating Mechanism을 적용하여 1.5bar의 Dry Air 절연방식을 취하였다. 그림 9는 대체가스 적용에 따른 절연성능 보안을 도식화해 나타낸 자료이다.

이외 TOSHIBA에서도 동일한 방법으로

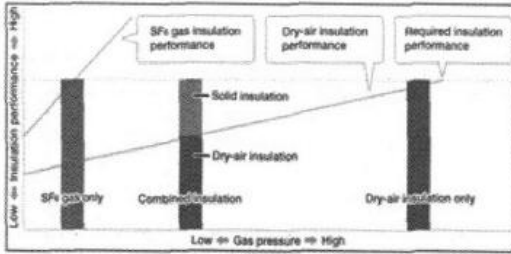


그림 9. 복합절연의 성능 비교.

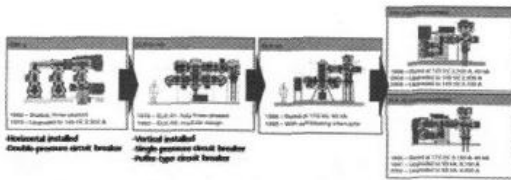


그림 10. 72.5 kV Cubicle-Type DAIS.

제품을 개발 완료한 상태로써 일본에서는 Hybrid Type의 72 kV급 송전급 친환경 개폐장치까지 개발이 되었다고 알려져 있다.

(2) 유럽

앞에서 언급한 바와 같이 송전급에서 유럽 선진사는 아직 1단계의 개폐장치의 사이즈 및 압력을 낮추어 사용량을 줄이는 연구로써 Compact화에 주력하고 있으며, 소호역할이 거의 필요 없고 절연역할이 주를 이루는 GIL 등의 부문에는 일부 2단계의 혼합가스 기술이 적용되고 있다.

① ABB

새로운 Type의 GIS 개발 시 SF₆ 감축을 우선시 하여, 그 결과로 최근에 개발된 GIS 모델은 이전 모델에 비해 SF₆가스 사용량이 약 40% 감소되어 적용되었다. 그림 10에는 각 모델별 SF₆가스 사용량 변화를 한눈에 알아볼 수 있다.

주요 통합된 Module의 수를 최소화 작업과 함께 Plug-in barrier insulator를 통한 Module간 연결을 통해 Compact화를 달성하였다 [3].

그리고 최근에는 SF₆ Free circuit breaker

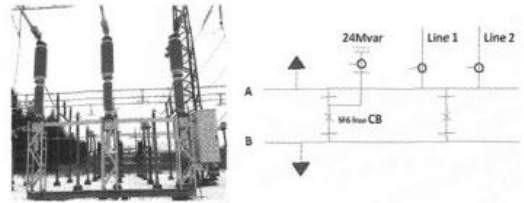


그림 11. 145 kV CO₂ Circuit Breaker.

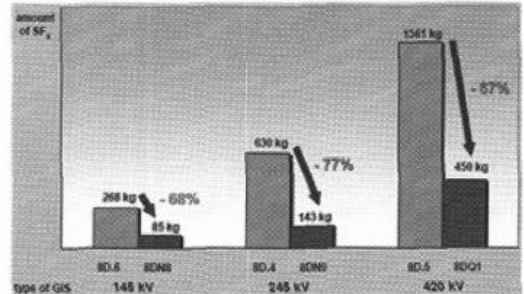


그림 12. GIS 기종별 SF₆ 가스량 변화.

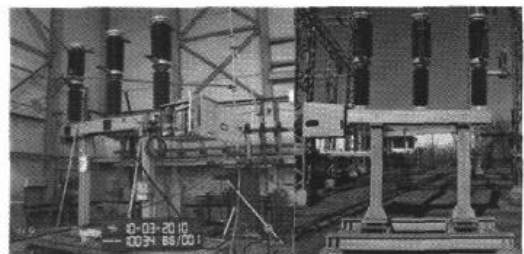


그림 13. VCB 시험사진과 실증운전사진.

로써 145 kV 31.5 kA 3,150 A 50 Hz CO₂ Live Tank Type의 GCB의 시험운전을 통해 신뢰성확보에까지 성공하였다고 보고되고 있다 (그림 11).

② SIEMENS

145 kV/245 kV/420 kV 거의 전 기종에 걸쳐서 신 기종 개발 시 기존 대비 50% 이상

SF₆ 가스량 감축을 달성하였다고 알려져 있다 [4].

또한, 72.5 kV 31.5 kA 2,500 A 50 Hz VCB를 개발하여 시험운전을 실시하였고 안정적인 동작특성을 확인하여 기술의 우수성을 널리 홍보하고 있다 (그림 13).

4. 국내 친환경 개폐장치 신기술 개발 및 적용 동향

국내에서는 한전을 중심으로 수요가 시작되면서 각 Maker들이 개발을 진행하는 상황으로, 그 동안은 1단계인 SF₆가스의 사용량을 절감하는 차원으로 강제성 없이 진행되었다고 볼 수 있다. 즉, SF₆가스의 충전 압력을 낮추는 방향과 GIS의 설치면적을 줄이는 방향으로 추진되었으며 동일기종에 대해 몇 차례 개발시험을 진행하면서 어느 정도 성과를 가시화하고 있다. SF₆가스를 대체할 수 있는 기술의 한계로 배전급과 초고압 개폐장치에 대해서는 서로 다른 연구결과를 보여주고 있는데, 우선 배전급에 대해서는 SF₆가스를 대체하는 Dry Air 또는 N₂를 적용한 25.8 kV DAIS를 개발하여 제품을 출시하고 있다. 또한, 배전급 개폐장치에 대해서는 예폭시 몰딩 방식의 25.8 kV SIS를 개발하여 대량생산 체제를 갖추고 있다. 한편, 초고압급에 대해서는 혼합가스(SF₆가스 20% + N₂80%)를 적용한 GIL이 개발되었으며, 초고압 개폐장치에 대해서는 SF₆가스의 소호성능을 대신할 초고압 VI (Vacuum Interrupter)에 대한 연구개발이 진행되고 있다.

4.1 국내 친환경 개폐장치 동향

국내에서 1단계 연구개발은 대부분 자체과제로 진행을 하였으며, 2/3단계는 국가과제를 통해 친환경 개폐장치 개발과제와 혼합가스를 이용한 GIL과제로 진행되었고, 최근 일부 결과가 보고되었다. 그 동안의 결과를 요

약해 보면, 배전급 개폐장치에 대해서는 3단계인 Dry Air를 절연가스로 적용한 DAIS (Dry Air Insulated Switchgear)와 SIS (Solid Insulated Switchgear)가 25.8 kV 25 kA 개폐장치로 개발되었다. 초고압 개폐장치에 대해서는 SF₆가스의 액화현상을 대체하기 위해 혼합가스에 대한 연구가 진행되고 있으며, SF₆가스를 대체할 용도로 145 kV/170 kV VI개발을 추진하고 있으나 일부 성능확보의 문제로 지연되고 있어 개발상의 기술적 어려움이 많은 상황이라고 할 수 있겠다.

4.2 친환경 개폐장치 개발 및 적용/운용 실태

(1) 친환경 배전급 개폐장치

국내의 친환경 배전급 개폐장치 개발과 관련된 연구 동향을 살펴보면, 국가과제로 국내 Maker가 개발을 주도하였으며 표 7에 나타난 것과 같이 기술개발결과를 보여주고 있다.

배전급 친환경 개폐장치를 개발하기 위해서는 SF₆가스를 대체하는 Dry Air 또는 예폭시 절연물의 절연특성이 매우 중요한데, 그림 14는 일본 Maker에서 발표된 SF₆/Dry-Air/N₂의 압력과 절연파괴전압의 상관관계를 보여주고 있다 [2].

지금까지 보고된 문헌 및 시험결과를 정리해보면 SF₆가스 대비 N₂나 Dry-Air의 절

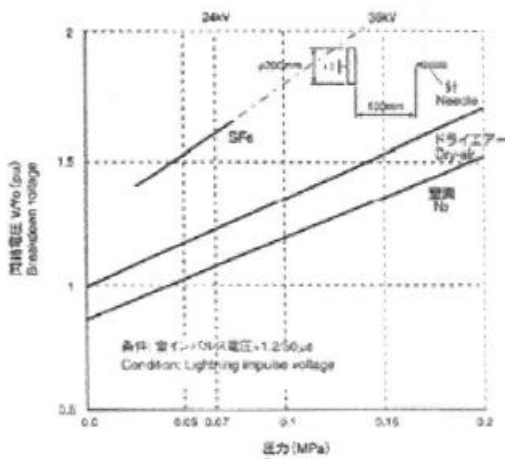
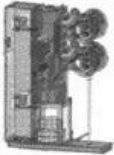


그림 14. SF₆/N₂ 압력별 50% 파괴전압 (M社).



표 7. 국내 Maker의 배전급 개폐장치 개발 현황.

항목	효성	LS	선도	기타
구조				◆기타 개발업체 (25.8 kV 25 kA 2,000 A) · 현대 : Dry air · 일진전기 : Dry air 한전 개발시험 준비중
정격 전압 (kV) / 전류 (A)	25.8/600/2,000	25.8/630/2,000	25.8/600/2,000	
절연방식	Dry Air 절연 / 고체절연	고체절연	Dry Air (Nissan 공동 개발)	
VCB/DS 조작방식	SOM/3P-DS	PMA	SOM/3P-DS	
Size (W × D × H)	600 × 2,000 × 2,600	600 × 1,400 × 1,800	600 × 2,063 × 1,680	

연성능은 약 1/3 정도 수준으로 N₂에 비해 Dry-Air가 조금 높다는 것을 알 수 있다. 통상적으로 3가지 절연가스에 대해 절연내력을 비교하면,

$$SF_6 (1 \text{ pu}) > \text{Dry-Air} (0.37 \text{ pu}) \\ : N_2 (0.33 \text{ pu})$$

정도로 요약할 수 있다. 따라서 현재 0.17 MPa (0.07 MPa · G)의 SF₆ 가스를 사용하고 있는 GIS와 동일한 절연성능 확보를 위해서는 0.35~0.40 MPa 수준의 고압 Dry-Air 압력이 요구된다. 그러나 실제 이러한 고압력을 Switchgear에 적용할 경우, 적용압력 상승에 따른 압력용기의 안전도가 문제가 되므로 이러한 점을 고려하여 SF₆의 기존 압력 대비 2배 수준의 Dry-Air 압력으로 국내 Maker에서 개발을 완료하였다.

(2) 친환경 초고압 개폐장치 (Step1-축소화)

우선적으로 SF₆ 가스의 충전 압력을 낮추는 방향과 GIS의 설치 면적을 줄이는 방향으로 추진되었으며 동일기종에 대해 몇 차례 개발 시험을 진행하면서 성과는 어느 정도 가시화하고 있는 실정이다. 그러나 앞서 선진국에서 진행하고 있는 2단계는 특히, 배전급에서 상용되고 있는 2/3단계에 대해서는 아직 연구단계에 있으며, 실용화에는 아직 시간이 소요될 것으로 판단된다.

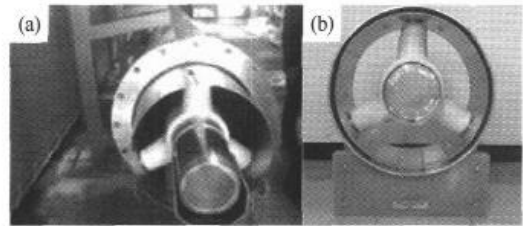


그림 15. 국내 기술진에 의해 개발된 345 kV GIL
(a) GIL 외관, (b) GIL의 Post Insulator.

(3) 친환경 초고압 개폐장치
(Step2-혼합가스)

혼합가스를 적용한 차단부 개발연구가 국내 중전기 Maker 및 연구소에서 진행되고 있으나 아직 실용화 단계는 아니며, 절연성능만 요구되는 GIL에 대해서 한전에서 345 kV GIL 국산화 개발을 추진해 왔으며 구매규격제정 및 등록을 마무리하여 규격을 공고까지 마쳤다. 한전이 제정한 구매규격 내용을 보면 우선 기기정격은 공칭전압 345 kV, 정격전압 362 kV, 정격전류 4,000 A, 정격단시간전류 50 kA/1 sec이며, 도체부 (알루미늄합금, 외경 180 mm 내외), 절연부 (SF₆+N₂ 혼합가스, 에폭시), 외함부 (알루미늄합금, 외경 520 mm 이내) 등으로 구성된다. 이러한 사양에 맞추어 국내 전선 Maker가 최근 개발을 완료하여 '10년도 한전 실계통의 시범사업을 추진하였다. 그림 15는 국내 Maker에 의해 개발된 제품을 보여주고 있다.



(4) 친환경 초고압 개폐장치 (Step3-SF₆ gasless)

SF₆가스를 대체하는 연구가 국가과제로 진행되었지만, SF₆가스의 소호성능을 만족할만한 대체가스의 부재로 SF₆가스의 절연성능을 대체할 Dry Air에 대한 기초연구로 진행되었다. 또한, SF₆가스의 소호성능을 위해서 진공차단기의 도입이 구체화되었고, 170 kV VI 개발이 착수되어 기초성능에 대해서만 확인되었을 뿐 아직까지 구체적인 기술성능을 확보하지 못한 상태이다. 그렇지만, 세계적으로는 245 kV급까지 제품이 생산된 실적이 있으므로, 국내 Maker의 지속적인 연구개발이 필요하며 특히, IEC 규격 등의 규격시험 제정이 병행되어야만 양산화까지 목표를 세우고 실용화가 가능할 것으로 기대한다.

5. 결론

지금까지 개폐장치 부문의 친환경 이슈로 대두되고 있는 SF₆가스를 절감하고 대체하는 방향으로 친환경 개폐장치의 연구가 진행되었다. 특히, 1단계 (SF₆가스 절감), 2단계 (SF₆ 혼합가스), 3단계 (SF₆가스 대체)로 구성되어 배전급과 송전급으로 구분되어 연구가 진행되었고, 현재 달성된 단계 역시 차별을 두고 있다. 배전급에서는 3단계까지 해외뿐만 아니라, 국내 Maker에 의해서 달성을 하였고 25.8 kV DAIS와 SIS로 개발성과를 보여주고 있다. 국내의 경우 양산을 위해 한전 시범사업을 중심으로 사업이 확대될 것으로 예상된다. 추가적으로는 양산화를 위해 신뢰성이 검증된 후, 원가절감 형태의 제품 개발이 진행될 것으로 예상된다.

송전급에 있어서는 아직 1단계 수준에 머물러 있으며, 일부 국내의 Maker들이 선도적으로 2단계/3단계 연구개발을 추진하고 있지만, 아직 일부 한정된 제품에서만 성능을 확인했을 뿐 상용화를 위한 성능확보는 미진

한 상태이다. 그러나 세계적으로는 145 kV급 VI가 상용화를 위한 신뢰성 검증단계를 마치고, 본격 생산을 준비하고 있다.

추가적으로 SF₆가스를 대체하는 연구가 시작되고 있지만, 아직까지 SF₆가스를 대체할 만한 가스개발이 미진하며 향후 지구온난화 문제가 대두되면 될수록 대체가스에 대한 연구는 가속도를 얻을 것으로 예상된다. 또한, 친환경제품에 대한 국제규격의 부재로 연구개발 및 상용화가 지연되고 있으므로 이러한 부분의 노력이 필요하며 특히, 국내 Maker들이 이 분야에 있어 선도적으로 이끌고 있기에 이러한 부분에서도 역할이 기대된다고 할 수 있겠다.

참고 문헌

- [1] R. L. Middleton, "Cold-weather application gas mixture (SF₆/N₂, SF₆/CF₄) circuit breakers: a utility user's perspective", Canadian Electrical Association Spring Conference, Toronto, Canada, March 1996.
- [2] MITSUBISHI, "Medium Voltate SF₆ Free GIS Catalogue, 2002.
- [3] ABB Product brochure 2010.
- [4] US EPA symposium 2006.

저자약력



성명 : 김정배
 ◆ 학력
 • 1989년 한양대학교 전기공학과 공학사
 • 1991년 한양대학교 대학원 전기공학과 공학석사
 • 2000년 일본 규슈대학교 에너지변환공학과 공학박사
 (주)효성 중공업PG 상무이사

◆ 경력
 • 1991년 - 현재