



SF₆ 가스 대체기술 동향

■ 이학성, 김정배, 박창우, 진상용, 조정환 / (주)효성 중공업연구소

서 론

현재 초고압 송변전기에 적용되고 있는 SF₆ 가스는 절연 및 소호성능이 우수하며 회복특성이 뛰어나기 때문에 초고압 기기의 절연매체로서 널리 사용되고 있다. 그러나 잘 알려진 바와 같이 SF₆ 가스의 온난화 계수는 CO₂의 약 23,900배로 대기중으로 방출될 경우에는 온실효과 문제를 야기시키는 단점도 있다. 이러한 지구환경 보존의 관점에서 SF₆ 가스는 금후 총량 제한에 의해, 사용량이 규제 받을 가능성이 대단히 높다. 따라서, SF₆ 가스의 대기중에서의 방출을 최대한으로 피하기 위해 단계별 연구가 필요하며, 본 기고에서는 SF₆ 가스 유출(손실) 최소화, SF₆ 가스 사용량의 감소, 대체가스 적용 등에 대한 기본 대응 전략을 제시하고자 한다.

SF₆ Gasless의 배경

최근 GIS(Gas Insulated Switchgear: 가스절연개폐장치) 개발에 있어 가장 큰 Issue는 고 신뢰성, 대용량화, 경량화, 설치 면적 축소화, IT기술의 접목 등 이라 할 수 있겠다. 또한 최근 환경에 대한 관심과 규제가 높아지면서, 온실가스에 대한 규제로서 교토 의정서가 정식 발효됨에 따라(2005.2) 친 환경이라는 새로운 이슈가 핵심으로 떠오르고 있다. 현재 전력기에 사용되고 있는 SF₆ 가스는 무해하고 화학적으로 극히 안정적이며, 다른 가스들에 비해 월등한 절연성능을 가지고

있을 뿐만 아니라 전류차단의 아크소호 능력까지 탁월하여 지금까지 개발되어 있는 대부분의 GIS의 절연/아크소호 매질로 이용되어 왔다. 그러나 SF₆ 가스의 사용량 증대에 따른 환경문제가 부각됨에 따라 대표적인 온실가스의 하나인 SF₆ 가스에 대한 규제가 오스트레일리아, 캐나다, 일본, 유럽연합(EU) 등 여러 국가에서 시행되고 있다. 비록 현재 강제이행국은 아니지만 우리나라 또한 이에 자유로울 수는 없을 뿐만 아니라 향후 강제 이행국으로 될 것이 거의 확실시 되고 있다. 현재 선진국에서는 SF₆ 가스의 사용량 감소를 위해 다양한 방식의 대체절연 매질을 이용한 전력기기 연구/개발이 활발히 진행되고 있으며, 25.8kV C-GIS에 대해서는 이미 개발 및 상업화 준비가 완료된 상태이다.

본 논문에서는 SF₆ 가스 대체기술에 대해 크게 몇 단계로 분류하여 소극적인 방법으로써 SF₆ 가스의 사용량을 줄이는 문제에서 보다 적극적인 방법으로 SF₆ 가스를 전혀 쓰지 않은 GIS의 개발 순으로 살펴볼 것이며, 또한 현재 선진업체에서 개발 완료된 제품들에 대해서도 소개하도록 하겠다.

Kyoto Protocol

① 교토 의정서의 핵심내용

- 38개 선진국은 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출을 1990년보다 평균 5.2% 줄일 것
- 개도국은 2013년부터 2017년까지 감축(한국은 개도

표 1 온실가스 감축 목표량(1990년 배출량 기준)

국가	EU 국가	미국	일본 캐나다 폴란드 헝가리	코로아티아	뉴질랜드 러시아 우크라이나	노르웨이	호주	아이슬란드
국가별 온실가스 감축 목표량	-8%	-7%	-6%	-5%	0%	1%	8%	10%

※미국은 2001년 협약당사국에서 탈퇴 선언

국에 포함됨)

- 온실가스란 이산화탄소(CO₂), 아산화질소(N₂O), 메탄(CH₄), 불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 불화유황(SF₆) 등 6종류
- 온실가스 배출권의 국가간 거래 허용

SF₆ 가스 대체 GIS

현재 연구되어 지고 있는 많은 GIS의 대체절연물질 중 SF₆ 가스보다 우수한 절연성능을 가지거나 이에 필적할 만한 물질은 없다는 것에 이의를 제기할 수는 없다. 그만큼 SF₆ 가스는 그 탁월한 성능으로 인해 GIS 적용에 많은 기여를 해 왔던 것이 사실이다. 비록 향후에 SF₆ 가스를 전혀 사용하지 않는 GIS의 연구가 최종적인 목적이 되겠으나, 현재까지 운전되고 있는 수많은 GIS와 그 안에 포함되어 있는 SF₆ 가스의 양, 환경부담을 고려할 때, 현실적으로 현재 방식의 GIS에 대해서 SF₆ 가스 사용량 및 누설량을 줄이는 방안이 더 효과적일 수 있다. 그래서 본 자료에서는 SF₆의 취급손실을 줄이는 방안 및 사용량을 현재보다 현격하게 줄이는 방안, 대체가스절연의 GIS 적용가능성 등에 대해 논의한다.

① SF₆ 가스 취급손실의 최소화

SF₆ 가스를 적용한 종래 GIS의 경우, 기기로부터 가스를 회수하고 재활용하는 것 만으로도 효율적으로 가스 방출량을 줄일 수 있다. 일본의 ETRA(Electric Technology Research Association)의 연구결과를 살펴보면(1990~1995) 일본에서 생산된 SF₆ 가스의 양은 년

간 2,300 [Ton]이고, 전력 기기의 제조자들에게 1,500 [Ton]이 제공되었다. 전기전력사용자는 설치된 전력기기에 550 [Ton]을 사용하였으며, 현장에서의 전체량은 1995년 기준으로 6,200 [Ton]이었다. 전력회사를 제외한 회사에서 연간

150 [Ton]을 사용하고, 300 [Ton]이 수출되었다. 이 결과 제조자와 전기전력사용자에서의 SF₆ 가스 방출량은 각각 연간 400 [Ton]과 50 [Ton]으로 추정된다. 전력기기로부터 SF₆ 가스의 누설은 무시할 수 있을 만큼의 낮은 수준이다. 이러한 사실과 관련하여 ETRA의 활동을 살펴보면 현재 우리나라의 SF₆ 가스의 방출 최소화 활동의 훌륭한 벤치마킹 사례가 될 수 있다. ETRA는 SF₆ 가스를 다루는 표준을 제정했는데, 특히 전력기기로부터 SF₆ 가스를 회수하고, 재활용하는 것이다, ETRA는 SF₆ 가스의 방출을 줄이기 위한 자발적인 행동계획을 제안했는데, 보기로 현재 30%인 SF₆ 가스의 손실율을 2000년에는 약 10%, 2005년에는 3%로 축소하는 것이다. SF₆ 가스의 관리시스템을 강화하기 위해, SF₆ 가스 저장의 Database 형태를 지정하였다. SF₆ 가스의 양은 자발적으로 감시되고, Database에 기록된다. 이것은 가스공급자, 제조자와 사용자 사이에 정보의 교환을 가능하게 하였다. 또한 이러한 활동과 더불어 재활용률이 99%에 이르는 새로운 SF₆ 가스 재활용 기기가 최근 출시되었다는 사실에 주목할 필요가 있다. 종래 구형 Type의 재활용 기기가 70~80% 정도의 재생처리효율을 가진다는 것을 감안하면 단순한 산술적인 비교만으로도 20%의 재생처리 효율이 증가한 것을 알 수 있다. 이것을 현재 운전중인 GIS에 모두 적용한다면 얼마나 획기적으로 많은량의 SF₆ 가스의 배출량이 줄어들지 짐작할 수 있다. 이것은 또한 온실가스 규제에 의한 새로운 연구 및 Business 영역을 보여주는 것이라 할 만하다.

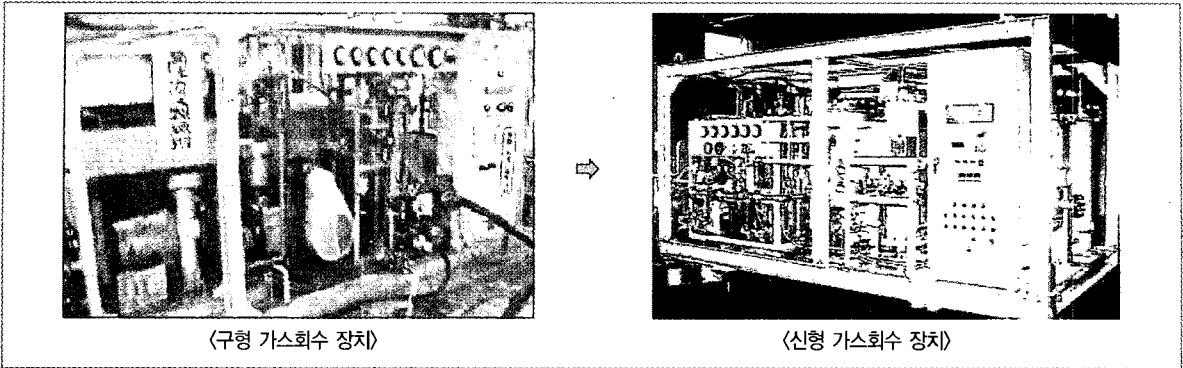


그림 1 고 회수율 가스회수장치

② 전력기기의 소형화를 통한 SF₆ 가스 사용량 감축

앞서 언급한 바와 같이 현재 GIS의 개발 경향 중 하나는 소형화, 집적화이다. 이것은 설치면적의 감소와 더불어 경제적인 면에서도 이점이 클 뿐만 아니라, 환경적인 측면에서도 SF₆ 가스의 사용량을 크게 줄일 수 있다. 1970년대에 4개의 interrupter로 구성되어 있고, Tank의 길이가 8~9m에 달하던 550kV GCB가 현재는 1점절 550kV GCB가 개발되었고, SF₆ 가스의 체적은 50%이상 감소되었다. 비록 전통적인 550kV GIS는 2점절 GCB를 사용했지만, 최근 개발된 새로운 1점절 GCB를 사용한 GIS를 적용하여, 30%까지 체적을 축소하였다. 심지어 이보다 더 compact 한 GIS가 다른 정격전압에서 개발되고 있다.

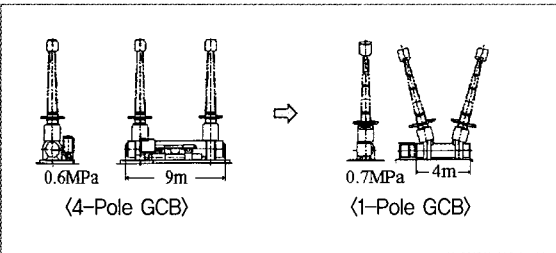


그림 2 축소형 GCB 개발동향

③ 가스구획 분리를 통한 SF₆ 가스 사용량 감축

구조적 외형 축소를 통한 SF₆ 가스의 사용량 감축은 팔목할 만한 수치이다. 그러나 신뢰성이 뛰어난 해석 기술 및 설계기술의 발달을 통해 지금까지 계속해서

설계 최적화가 진행되면서 점점 감축할 수 있는 SF₆ 가스의 사용량에는 한계가 있다. 현재까지 알려진 바에 따르면 SF₆ 가스의 아크소호 능력을 대체할 만한 마땅한 대체가스가 없지만, 절연성능에 대해서는 SF₆ 가스와 기타 다른 가스를 혼합한 혼합가스 혹은 대체가스 절연에 대한 연구결과 및 실적이 다수 있다. 초고압 GIS의 경우 GCB 구간에서 SF₆ 가스의 사용을 줄일 수는 없지만 그 외 차단부와 관계가 없는 가스구획에 대해서는 혼합가스 혹은 대체가스를 사용함으로써 많은 양의 SF₆ 가스 사용을 줄일 수 있다.

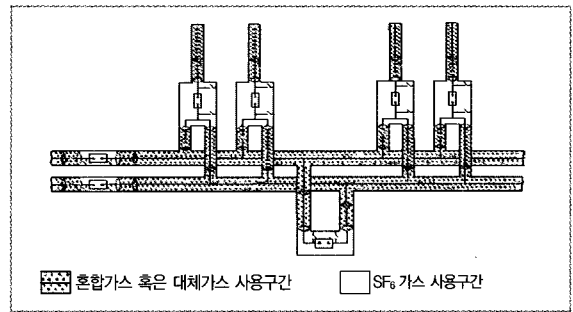


그림 3 실 GIS의 혼합가스 혹은 대체가스 적용사례

SF₆ 가스와 같은 매우 음전성인 가스를 포함하는 가스 혼합은 높은 절연과피전압을 유도하므로, 적은 양의 가스가 보통의 가스에 첨가되었을 때 절연성능은 비선형적으로 높아진다. SF₆/N₂, SF₆/Air, SF₆/CF₄, c-C₄F₈, N₂/O₂ 등 다양한 연구가 진행되어오고 있지만, 현재 SF₆/N₂ 혼합가스가 가스절연을 위해 SF₆ 가스의 대체가스로서 가장 유망하게 고려 되어진다. SF₆/N₂ 혼합가스의 기본적인 절연특성은 다른 대체가스에 비해

잘 수립되어 있는 편이긴 하지만, 혼합가스의 상업적 적용을 위해서는 장비의 크기, 가스 압력, 가스분리시스템 등과 같이 해결해야 될 많은 문제가 여전히 남아 있다. 아래의 내용은 SF₆/N₂ 혼합가스의 대략적인 절연 특성에 대해 요약한 내용이다.

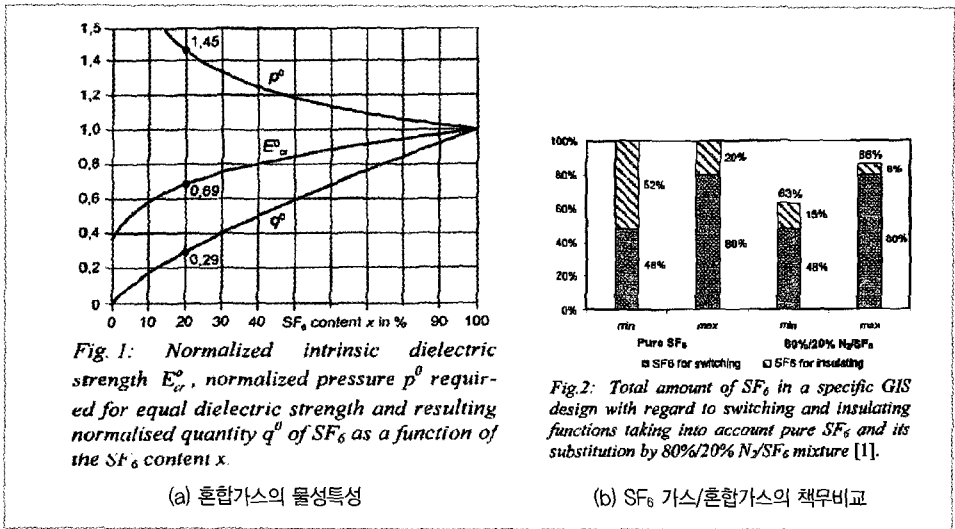


그림 4 SF₆ 가스와 혼합가스의 물성비교

☞ SF₆/N₂ 혼합가스의 절연특성 ☞

- 그림 4 (a)는 혼합가스에서 SF₆ 가스의 포함 비율에 따른 절연강도, 압력, 사용량 등을 나타내고 있다. 예를 들어, SF₆ content x in%(20%)의 혼합가스에서, 혼합가스의 절연강도는 순수 SF₆ 가스에 비해 69% 정도이다. 또 혼합가스가 순수 SF₆ 가스와 비교해 동일한 절연강도를 가지기 위해서는 원래 압력보다 45% 압력상승이 필요하며, SF₆ 가스의 사용량을 고려하면 원래 사용량의 29% 만으로(71% 절감) 절연 성능 확보가 가능하다.
- 그림 4 (b)는 GIS에서 개폐성능과 절연성능을 고려한 순수 SF₆ 가스와 SF₆ 20% 혼합가스의 책무비율을 나타내고 있다. 개폐성능에 있어서 SF₆ 가스의 양은 변화가 없고, 절연성능을 고려했을 때 혼합가스에서 SF₆ 가스의 양이 줄어들고 있다. 절연을 위한 SF₆ 가스의 양은 순수 SF₆ 가스에서 20~52% 이고, 혼합가스에서 6~15%이며, 만일 20% SF₆ 혼합가스를 GIS에 적용할 경우, 줄일 수 있는 SF₆의 양은 14%~37% 정도임을 보여준다.
- 초고압 GIL에 적용할 경우 상업화가 가능하며, 기존 대비 약 70%정도의 SF₆ 가스의 절감효과가 예상된다.

④ SF₆ 사용 금지

SF₆ 가스를 전혀 사용하지 않은 GIS 개발은 SF₆ 가스 대체기술의 핵심이라 할 수 있다. 현재까지의 개발동향으로써 가장 대체절연가스로 주목 받고 있는 것은 질소(N₂), 건조공기(Dry Air)이다.

통상적으로 N₂가스와 Dry-Air의 절연 성능은 SF₆ 가스의 1/3 정도로 알려져 있다. 아래의 그림에서 보면 Dry-Air의 절연성능이 N₂ 가스보다 약간 높다는 것을 알 수 있다. 3가지 절연가스에 대해서 절연내력을 비교하면 SF₆ 가스를 100이라 했을 때, 대략 N₂ 가스가 39, Dry-Air가 37정도로 요약할 수 있다.

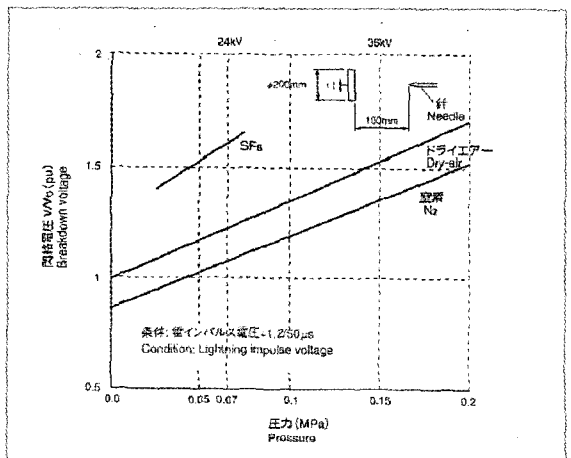


그림 5 SF₆/N₂/Dry Air가스의 절연특성

그림 6은 SF₆ 가스와 N₂ 가스의 압력에 따른 절연과 피전압을 나타낸 것이다. SF₆ 가스를 사용했을 때의 설계압력 0.17 MPa,abs와 동일한 절연내력을 확보 하기 위해서는 N₂ 가스 0.4 MPa,abs의 압력이 필요한 것을 보여준다.

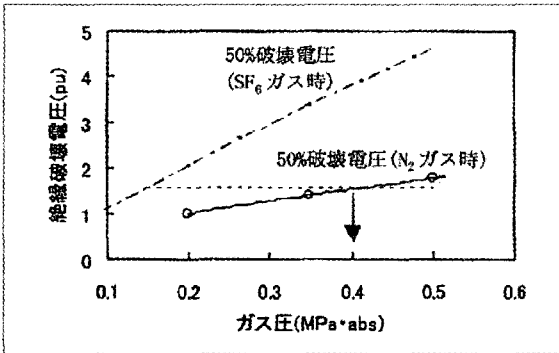


그림 6 SF₆/N₂ 가스의 절연파괴전압 비교

앞서 언급한 바와 같이 GIS에 있어서 SF₆를 Dry-Air로 대체하는 것은 아크소호 능력과는 관계가 없어야 한다는 전제조건이 따른다. 이러한 사유로 GCB가 아닌 VCB를 사용하는 GIS에 Dry-Air를 절연매질로 사용하면 충분히 성능확보가 가능하리라 예상된다. 2.4 절에 소개하겠지만 현재 상용화하고 있는 선진업체의 경우도 대부분 VCB를 사용하는 Medium Voltage급의 GIS에 N₂ 가스, 혹은 Dry-Air를 이용한 대체방식을 채택하고 있다.

초고압 GIS의 경우는 여전히 GCB를 통한 전류차단이라는 문제점을 안고 있다. 그래서 기본적인 문제의 해결방안으로 V.I. 개발을 통해 대용량 VCB를 개발하여 초고압 GIS에 응용하는 사례도 있지만, 그나마도 145kV급 정도에 국한되어 있다. 현재 CO₂ 가스를 이용해 GCB에 적용하고 부족한 성능에 대해서는 Hybrid Puffer를 이용한 차단부 압력상승과 Ablation 소자적용을 통한 차단성능 향상에 대한 기초연구가 일본을 중심으로 진행 중에 있다. 결론적으로 SF₆ gasless는 MV GIS에서 활발하게 이루어지고 있으며, 초고압 기기에서는 GIL 부문에 대해서만 상용화가 이루어지고 있다.

GIS에 있어 대체가스를 적용하는 것은 필요한 내전압을 얻기 위해 고압가스 구조를 취하는 방식이지만,

가스탱크의 기계적 강도 확보를 위해 더욱 두꺼워지고, 고압력용 V.I를 다시 개발해야 하는 등 제한적 요소가 많다. 따라서, SF₆ 가스를 적용한 종래 C-GIS와 같이 Compact화 하기위해, 차단기에는 차단성능이 우수한 VCB를 적용하고, VCB외부, 모선, 단로기, 접지 개폐기 등은 고기압 가스 절연에 적합한 치수, 제원으로 설계하기 위해 고기압 가스 절연특성에 대한 기초연구가 선행되어야 한다.

“SF₆ 가스의 대체”라는 명제는 SF₆ 가스 대신 다른 대체물질을 찾는 단순 명제가 아니라, 대체물질의 SF₆ 가스에 비해 부족한 성능을 현재 개발 경향에 맞추어 축소화, 고 용량화, IT기술을 접목한 추가 기능들을 포함하면서 보완해 가야 한다는 복합 명제임에 틀림 없다.

실제기기 적용사례 (Medium Voltage급)

① NISSIN 사

일본의 NISSIN사에서는 Dry-air와 고체절연을 혼합 적용하여 복합절연타입으로 아래와 같은 Layout을 가지고 있다.

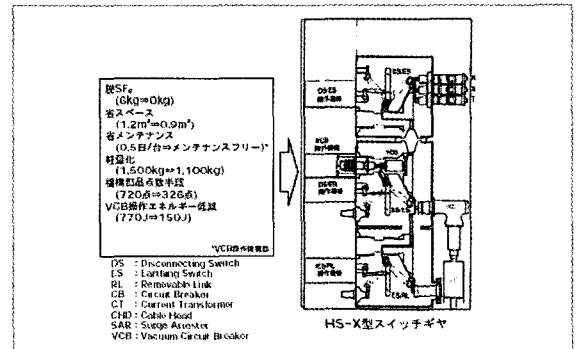


그림 7 Nissin사 24kV C-GIS Layout

주요 특징을 살펴보면 PMA조작기를 사용하여 Compact와 경량화를 실현하였고, 3Position 단로기 / 접지개폐기를 적용하였으며, 고체절연 모선의 채용으로 설치면적축소와 편리성을 도모하였다.

② JAEPS 사

JAEPS사는 N₂ 혹은 Dry-Air를 적용하여 동일구조에서 사용되는 가스 종류에 따른 가스압 변화를 통해 성능을 확보한 24kV C-GIS를 개발하였다.

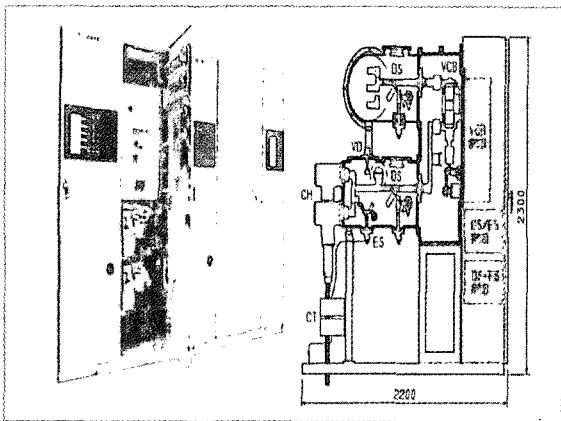


그림 8 JAEPS사(구 Hitacj사) 24kV C-GIS Layout

③ TOSHIBA사

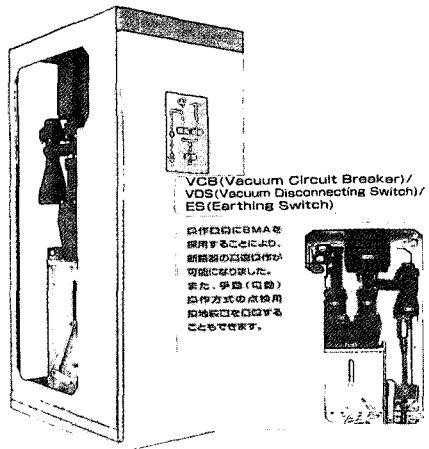
일본의 TOSHIBA사에서는 고체절연을 적용한 24/36kV SIS(Solid Insulated Switchgear)를 개발하였고 그 상세사양은 아래와 같다.

이와 같이 MV급에서는 여러 가지로 적용이 시도되고 있으며, HV급에서는 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 차단 및 소호능력을 가진 절연매질 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 아직까지는 상용화가 이루어지지 않고 기초 연구만이 진행되고 있는 실정이다.

결 론

최근 환경문제로 SF₆ 가스 대체 또는 사용량 규제에 대한 친환경 전략이 절실하게 요구되고 있으며, 접근 방식은 관리 시스템 강화를 통한 SF₆ 가스 손실을 감소, 기기 축소화에 따른 SF₆ 가스 사용량의 감소, 마지막으로 SF₆ 가스 대체가스 연구가 진행되고 있다. 그러나, 현실적으로 사용자 측면에서 SF₆ 가스를 완전 대체할 수 있을만한 단독가스는 아직까지 없다고 할 수 있겠다. 특히 MV급을 제외한 HV급에 대해서는 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 기술보다는 우선적으로 사용량을 줄이며 동일한 성능을 확보할 수 있는 방안을 찾고자 하는 노력에 집중해야 한다. SF₆ 가스는 초고압 전기기 산업에서는 반드시 필요한 가스이므로 SF₆ 가스 대체기술에 대해서는 장기적이며, 조직적인 연구와 개발 노력이 필요하다.

정격전압(kV)	24	26	
정격전류(A)	630/1250		
정격차단전류(kA)	25		
정격내전압	AC	50	70
	LI	125	170
정격단시간내전류(kA-s)	25(3초)		
절연방식	고체절연-SIS		
VCB/DS 조작방식	Balance 형 전자조작기구(BMA)		
기준규격	JIS, JEM, JEC, IEC		



VCB(Vacuum Circuit Breaker)/ VDS(Vacuum Disconnecting Switch)/ ES(Earthing Switch)

自作自由にBMAを
採用することにより、
断続器の高効率化が
可能になりました。
また、手動(電動)
操作方式の点検用
接地断口を設ける
こともできます。

그림 9 Toshiba사 24kV C-GIS 사양 및 Layout