

25.8kV 친환경절연 개폐장치 개발 및 적용



윤현덕
한전 송변전건설처 차장

1. 개황

최근 지구 곳곳에서 빈번히 발생하고 있는 태풍, 홍수, 폭우, 엘니뇨와 같은 이상기온 현상 등 지구환경 변화에 대해 전 세계가 우려를 표하고 있다. 특히 그동안 국제사회의 지구 온난화 방지 노력에 미온적인 반응을 보였던 미국이 오는 2030년까지 자국 화력발전소의 이산화탄소 배출량을 2005년에 비해 약 30% 줄이기로 최근 발표하는 등 대기 중의 온실가스 감축 노력에 대한 세계적인 관심은 더욱 증가하고 있다.

1997년 12월 일본 교토에서 채택된 교토의정서에 따르면 지구온난화에 중요한 역할을 하고 있는 6가지 온실가스 중 발전소에서 화석연료를 사용하면서 발생하는 이산화탄소(CO₂)와

전력기기의 절연매질로 사용하고 있는 육불화황(SF₆) 가스를 억제해야 할 대표적인 온실가스로 규정하고 있다.

현재 초고압 전력기기에 적용하고 있는 SF₆ 가스는 절연 및 소화성능이 우수하고 회복 특성이 뛰어나기 때문에 세계적으로 널리 초고압 전력기기의 절연매질로 사용되고 있다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 SF₆ 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear, GIS)는 전 충전부를 단상분리형 혹은 삼상일체형 금속용기에 내장하고 SF₆ 가스로 주 회로를 절연시켜 기존의 공기절연 개폐장치의 문제점을 보완함은 물론 고 신뢰성, 경제성, 안전성을 도모하고 간편한 보수점검과 설치면적의 축소가 가능한 점 등 많은 장점을 가지고 있다.

하지만 SF₆ 가스의 온난화지수는 CO₂의 약 2만 3,000배로 매우 높아서 대기 중으로 배출될 경우 작은 양에도 온실효과가 크기 때문에 SF₆ 가스를 억제하기 위한 신개념의 친환경절연 개폐장치 개발이 요구되고 있다.

2. 현황

가. 친환경 절연매질의 특성

초고압 전력기기에 사용하고 있는 SF₆ 가스를 대용할 친환경 절연매질은 크게 건조공기(Dry Air), N₂ 가스, 고체절연체로 구분할 수 있다.

Dry-Air는 상시 운전상태에서 O₂, N₂, Ar 및 기타 불순물로 이뤄지며 가스의 성분비 및 관리기준에 대해서는 기자재별 기기특성을 고려 납품시 제작사에서 제시하도록 하였고, 불순물에 대한 기준은 [표 2]와 같다.

Dry-Air 품질과 관련해 연간 가스 누기율은 0.5% 이하, 가스 내 수분함유량은 2.6ppm이하, 결로점은 -70℃ 이하이어야 하며, 내부 아크시 일시적인 O₃ 가스 발생 시에도 기기에 이상이 없어야 한다.

고체절연물 재료는 내 트래킹 및 노화 특성이 우수한 재료로 장기간 사용 시에도 절연성능이 저하되지 않아야 하며, 고체절연개폐장치(Solid Insulated Switchgear, SIS)의 개폐기부 및 특고압 충전부를

[표 1] 친환경 절연매질별 특징

| 구분 | Dry Air | 고체절연(Epoxy) | SF ₆ 가스 |
|--------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 절연성능 | 공기의 약 1.16배 | 공기의 약 2.5배 | 공기의 약 3배 |
| 절연설계 | 어려움 | 어려움 | 비교적 쉬움 |
| 환경영향 | 환경친화적 | 특수 폐기물 | 온난화 가스 |
| 유지보수 | 선택적 | 선택적 | 필수 |
| | 가스가 대기압이어도 일정시간 절연성능 발휘 | PD ¹⁾ 발생시 사고로 진전될 가능성 | 가스가 대기압이어도 일정시간 절연성능 발휘 |
| 가격(kg) | 1배 | 약 5배 | 약 6.5배 |

[표 2] Dry-Air 가스 내 불순물 기준

| 구분 | CO | CO ₂ | 전산화수소(THC) | 질소산화물(NOx) | 황산화물(SOx) |
|----------|-----|-----------------|------------|------------|-----------|
| 함유량(ppm) | < 1 | < 1 | < 1 | - | - |

1) Partial Discharge(부분방전) : 전극과 전극사이에서 일어나지 않고 한 부분에서 생기는 방전을 총칭. 코로나, 연면, 보이드방전 등이 이에 속하며 절연물이 둔화되어 파괴의 원인으로 작용.

지지 또는 절연하는 고체절연물의 재료는 전기적, 기계적 및 화학적 성능이 우수한 액상 에폭시(Epoxy) 수지 등으로 제작되어야 한다.

N₂ 가스는 상시 운전 상태에서 가스순도가 99.999% 이상이어야 하고, 가스수명은 기기수명보다 동등 이상이어야 하며, 가스 내 산소함유량은 2ppm 이하, 수분함유량은 2.6ppm 이하이고, 결로점은 -70℃ 이하로 규정하고 있다.

나. 25.8kV 친환경절연 개폐장치 개발

25.8kV 개폐장치는 과거 옥외 노출형 및 옥내 MCSG(metal-clad switchgear)를 도입하여 설치·운영하였으나, 설비고장 및 안전사고 등 여러 가지 문제점이 노출되어 1990년대부터 절연성능이 우수한 GIS를 도입해 설치 및 운영을 하고 있다.

그러나 2008년 2월 SF₆ 가스 사용량 감축을 위한 25.8kV 친환경절연 개폐장치 도입을 결정하고 구매 규격을 제정을 통하여 제작사로 하여금 기자재 개발

을 독려했다.

1) 기기 정격

기기정격은 기존 SF₆ 가스절연 GIS와 동일한 정격을 갖는다. [표 3] 괄호안의 숫자는 특수한 개소에 적용하는 비 표준품의 정격이다.

2) 구조 및 특성

구조 부분은 GIS와 마찬가지로 열적, 전기적, 기계적 특성이 우수한 양질의 재료를 사용하고, 동일정격·동일구조의 부품은 호환성이 있어야 하며, 정상 운전 및 보수점검을 안전하고 용이하게 수행 할 수 있는 구조로 제작하였다.

배전반에는 IEC61850기반 IED²⁾ 부착이 가능하도록 하여 변전소자동화(SA) 기반을 구축하고 디지털화가 가능하도록 하였다.

또한 과거 스프링 조작방식의 조작부는 구성 부품 수가 많아 고장 빈도가 높고 동작횟수 및 사용년수에



[그림 1] 25.8kV 개폐장치 개발 추이

2) Intelligent Electronic Device : IEC 61850에 따른 감시, 제어, 계측, 보호가 가능한 의한 무접점 회로장치

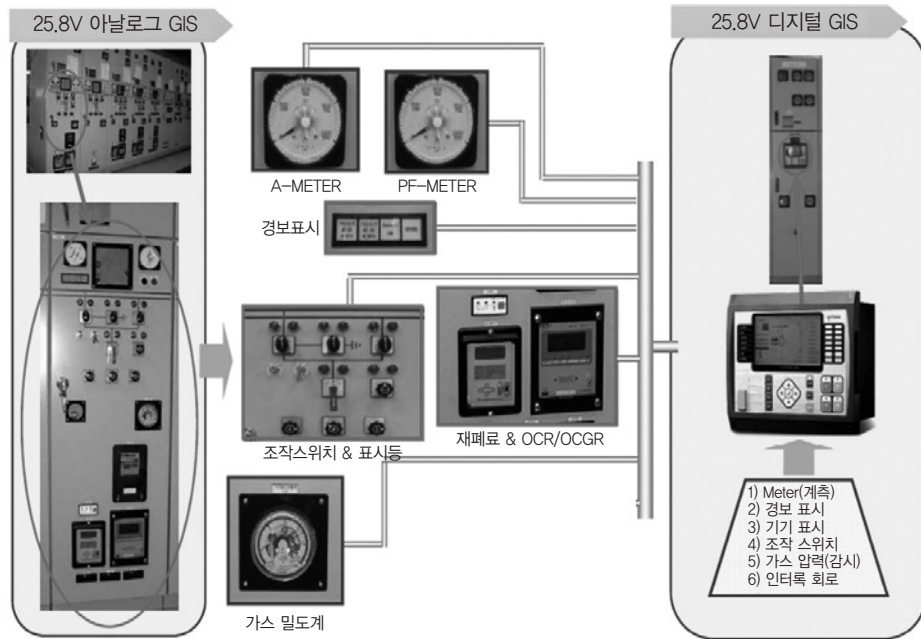
[표 3] 25.8kV 개폐장치의 정격전압, 전류 및 단시간 전류

| 정격전압 [kV] | 정격단시간전류 [kA,rms] | 정격전류 [A, rms] | | | | 정격투입전류 [kA,peak치] | 정격차단시간 60Hz기준 |
|-----------|------------------|---------------|---------|---------|---------|-------------------|---------------|
| | | (630) | (1,250) | | | | |
| 25.8 | (12,5) | 600 | 1,250 | 2,000 | 3,150 | 32,5 | 5[cycle] |
| | 25 | 600 | 1,250 | 2,000 | 3,150 | 65 | |
| | (40) | | | (2,000) | (3,150) | 104 | |

[표 4] 25.8kV 개폐장치의 정격절연강도

| 정격전압 [kV] | 뇌 충격 내전압[kV,파고치] | | 상용주파 내전압[kV, rms] | |
|-----------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | 상대시간,극간 | DS 극간 | 상대시간,극간 | DS 극간 |
| 25.8 | 150 | 165 | 60 | 66 |

* 상용주파 전압치의 가압시간은 건조 1분간으로 한다.
 ** 뇌임펄스 내전압시험은 건조상태에서 정·부극성을 인가하여 실시한다.



[그림 2] IEC61850 기반 IED 적용

따라 부품의 주기적 점검이 필요하였으나, 25.8kV 친환경절연 개폐장치의 경우에는 PMA³⁾ 조작방식을 도입하여 조작기구부 부품 수 감소, 개폐수명 향상, 안정적인 동작특성 유지, 주기적인 유지보수 점검 불필

요(Maintenance Free) 등 구조 단순화 및 고장 발생 요인 감소를 가능케 함으로써 신뢰도 향상에 크게 기여하였다.

기존 25.8kV GIS 제작사(총17개사)의 배전선로 전

3) Permanent Magnetic Actuator : 차단부에 영구자석을 이용한 고신뢰도 조작방식

력케이블 인입부의 Hole 크기 및 위치가 상이함에 따른 건축시공의 어려움 및 기가재 선발주 문제를 해소하기 위해 전력케이블 Hol에 대한 표준화(폭 600mm, 길이 3만3,600mm)를 추진하여 기가재 개발시 반영토록 하였다.

3) 시험 및 검사

시험은 인정시험, 검수시험, 현장시험 및 참고시험으로 구분하며, 항목은 구조 및 외관검사 등 총 29개 항목에 대해 시행한다. 25.8kV 친환경절연개폐장치(EGIS 및 SIS)에 사용되는 Epoxy 고체절연물은 기계적 수명 25년 이상을 보증하는 Creep시험⁴⁾ 및 피로시험의 신뢰성 데이터를 제출하여야 하며, 비중시험 등 8개 항목에 대한 절연물 물성시험 및 수분침투시험을 별도로 시행한다. 또한 완제품에 대한 추가 신뢰성 검증을 위해 제품 1Bay 설치분에 대하여 한전 고창실증시험장 및 자체 공장에서 3개월간 실증시

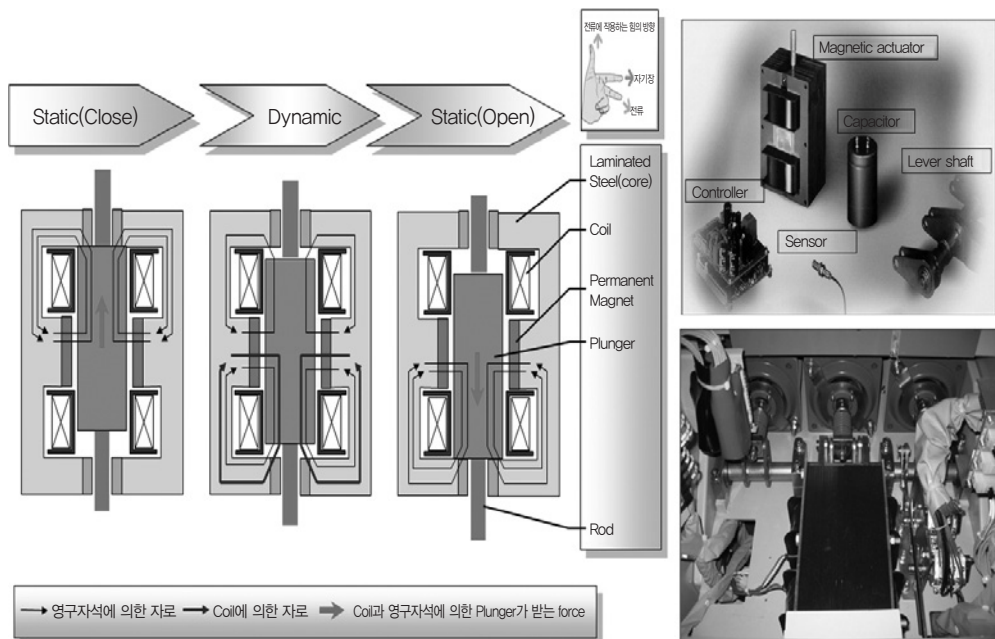
험을 시행하도록 하였다.

4) 국내·외 제작사의 친환경 개폐장치 개발동향

세계 각국의 전력산업분야는 SF₆ 가스와 관련된 친환경정책을 일찍부터 마련하여 Holec(네델란드), Hitachi, Meiden(이상 일본) 등이 고체(Epoxy)절연, AE Power(일본) 등이 Dry-Air 절연 MV급 친환경 개폐장치 개발을 완료하여 이미 적용하고 있다.

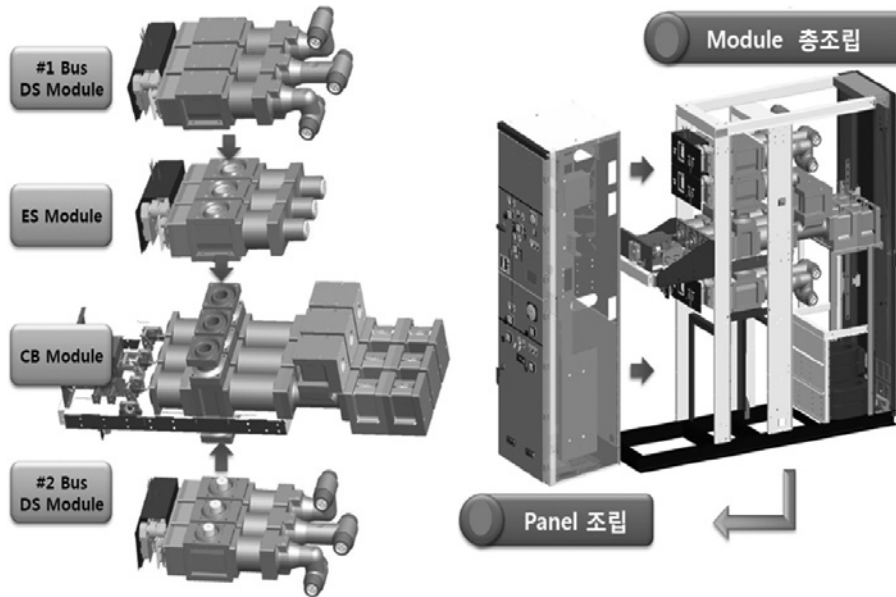
국내의 경우 고체(Epoxy)절연 25.8kV 친환경 개폐장치를 LS산전(주)에서 최초로 개발하여 한전에 2010년 4월에 유자격 등록을 완료하였고, 인텍전기전자(주)도 동일 타입으로 2011년 12월, (주)효성에서는 Dry-Air 절연 25.8kV 친환경 개폐장치를 2013년 5월에 완료하여 현재 총 3개 회사가 등록되어 있다.

또한, 현대중공업(고체절연+Dry Air), 일진전기(Dry Air), 테크프로(N₂) 등이 25.8kV 친환경 절연 개폐장치 개발을 추진하고 있으며, 현재 인정시험 중

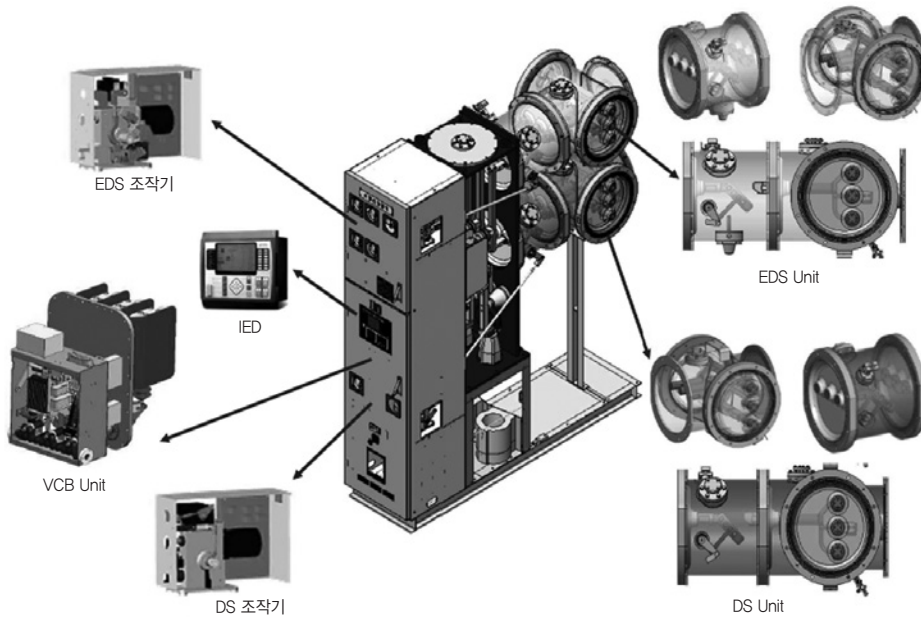


[그림 3] PMA의 구동원리 및 외형도

4) 재료에 일정한 응력을 가한 때 생기는 변형량의 시간적 변화



[그림 4] 25.8kV 고체 절연 친환경절연 개폐장치 외형도



[그림 5] 25.8kV Dry Air 친환경절연 개폐장치 Module 외형도

에 있어 올해까지 총 6개 회사가 등록될 예정이다.

다. 25.8kV 친환경절연 개폐장치 적용

기존 25.8kV GIS 제작사와의 공청회를 통해 한전

의 친환경절연 개폐장치 개발 추진 배경과 정책방향을 설명하여 공감대를 형성하고, 개발도면에 대한 사전 검토를 통해 기술교류 및 품질향상을 도모하였다. 154kV 표선변전소(2011년 12월 준공)에 최초로 시

범사업을 시작으로 2013년도까지 총 7개 변전소에 적용을 완료하였으며, 현재 5개 변전소에 설치 시공 중에 있다. 올해 준공사업부터는 기존 GIS 증설분을 제외한 신규변전소 설치분은 25.8kV 친환경절연 개폐장치로 전면 발주할 계획이다.

최초로 도입되는 변전기자재에 대한 기술교류 및 조기정착을 위해 전력사업 관계자를 대상으로 설치 시연회를 제작사별로 총 3회 시행하였으며, 금년 하반기에도 제작사별로 지속적으로 시행할 예정이다.

3. 전망

최근 세계적인 개폐장치 개발동향은 친환경, 소형 집적화, 지능화, 디지털화 등 다양한 형태로 발전하

고 있으며, 한전의 경우도 170kV 이상 GIS 콤팩트화 및 25.8kV 친환경절연 개폐장치의 적용을 통한 'SF₆ 가스 Free'에 적극 노력하고 있다.

실제 25.8kV급 GIS의 SF₆ 가스의 사용량은 초고압에 비하여 전체적인 사용량 감소 효과 측면에서는 부족하지만 친환경 개폐장치용 절연매질 연구를 시행하고 꾸준한 기기개발 노력을 통하여 초고압 친환경개폐장치 개발을 위한 초석이 될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 170kV 이상 초고압 친환경절연 개폐장치 개발을 통하여 SF₆ 가스 사용량 감소를 지속적으로 추진해 나가야 할 것이며, 제작사는 각각의 절연매질의 특성과 신뢰성 시험방안 마련 등 상호 협력을 통한 국내 전력분야 발전에 이바지해야 할 것이다. 