

25.8kV SF₆가스절연 스위치기어(GIS)를 대체한 친환경 고체절연 스위치기어(SIS) 개발

마지훈, 정맹리, 유련, 원성연, 이석원, 김영근
LS산전(주)

Development of the replaced Eco-friendly SIS with GIS for 25.8kV class

Ji-Hoon Ma, Meng-Lei Zheng, Lyun Yoo, Sung-Yoen Won, Seog-Won Lee, Young-Keun Kim
LS Industrial Systems Co., Ltd. Electro-technology R&D Center.

Abstract - In recent years, the companies of electric power equipment for MV, HV class trend to develop that the eco-friendly insulated(solid, eco-gas, air etc.) switchgear replace with existent SF₆ gas insulated switchgear by environmental problems such as global warming and soon.

This paper introduces the Solid Insulated Switchgear(SIS) which is the epoxy of eco-friendly insulation material.

The characteristic of SIS to introduce in this paper is as following.

- 1) Eco-friendly. (SF₆ gas free)
- 2) The structure of flexible system. (Expansion)
- 3) The optimum design. (The Analysis of electrical & mechanical)
- 4) An Interface treatment between epoxy and insert. (Molding technology)

This paper described about some technology for development of SIS.

1. 서 론

중전기 산업에서 MV, HV 급 개폐장치의 절연 및 소호 매질로 가장 특성이 우수하여 많이 사용하고 있는 것이 SF₆(육불화황) 가스이다.[1,2]

이러한 SF₆ 가스는 '97년 교토의정서(Kyoto's Protocol)에서 지구온난화의 주범인 온실가스 6가지(CO₂, N₂O, CH₄, PFCs, HFCs, SF₆) 중의 하나로 지목되었고, 이 의정서가 '05년 2월에 러시아의 찬성으로 전세계적으로 발효되어 '08년부터는 유럽 등의 선진국을 시작으로 의무적으로 감축해야만 한다.[3] 또한 환경규제 중 하나인 RoHS(Restricting the use of Hazardous Substances)가 '06년 7월에 발효되어 전세계적으로 거래되고 있는 모든 전기, 전자 부품 등에는 환경적으로나 인체에 유해한 재료를 사용할 수 없도록 규제하였다.[4]

이러한 환경적 규제 등 여러 요인에 의해 국내,외 중전기 업체에서는 친환경 제품을 만들기 위한 노력이 지속되고 있고[5], 이에 따라 본 사에는 친환경 SIS를 개발 하였다.

본 SIS는 고부하 밀집지역에 설치 가능한 친환경적 제품으로 고도의 신뢰성, 경제성, 안전성, 간편한 유지보수, 설치면적의 축소, 시공기간의 단축 및 환경과의 조화 등을 고려한 고기술이 집적 된 제품이다.

본 논문에서는 친환경 제품으로 국내,외 전력기기 분야의 산업 활성화에 기여할 것으로 예상되는 SIS에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 SIS의 구조

SIS는 그림. 1에서 보여주는 바와 같이 크게 4가지 Module로 구성되어 있다.

1) DS(Disconnecting Switch) Module

SIS에서는 기존의 Blade type 등과 같은 동작 구조에서 일반 Rod(pole) antenna 동작 원리를 적용하였다. 이는 기계적인 회전을 주어 접점을 ON/OFF 시키면서, 동시에 전기적으로도 완벽한 절연을 이룰 수 있도록 하는 Shaft housing 을 개발하였다.

2) ES(Earthing Switch) Module

이 module역시 DS Module과 같은 방식으로 동작하여, 그림에서 보이는 바와 같이 기존의 Earthing switch와는 차별 된 구조를 갖는다.

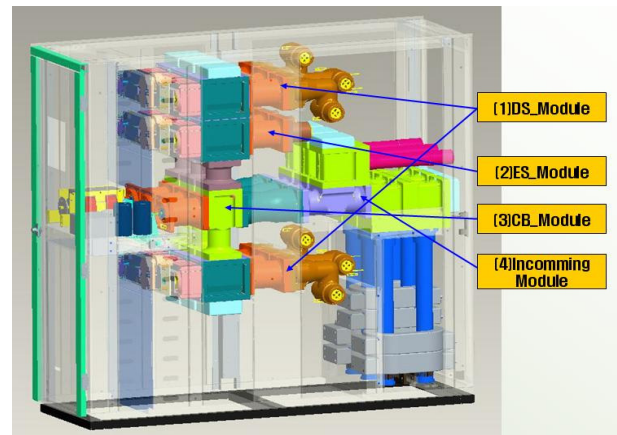
3) CB(Circuit Breaker) Module

CB Module은 SIS 핵심부품 중 하나인 Epoxy로 몰딩 된 VI와 이를 동작시켜주는 Mechanism(using the PMA) 과 Incoming module을 연결시켜 주는 Connecting mold로 구성되어 있다.

4) Incoming Module

Incoming Module은 송전line에서 변압기를 거쳐서 나오는 배전급의 전압을 받아서 연결하는 역할을 하는 Cable socket mold(DIN47637 Plug in type, Size 3)와 LA(Lightning Arrester) socket mold(Size 1)로

구성되어 있다. Cable socket mold는 전류 용량에 따라서 개수를 조절하여 사용할 수 있는 구조이다.



(1)DS Module (2)ES Module
(3)CB Module (4)Incoming Module
〈그림 1〉 SIS의 구조 (복조선)

2.2 정격

본 SIS는 IEC 60694, 62271-100/200 등의 규격을 적용하였으며, 이에 따른 정격은 아래의 <표.1>과 같다.

〈표 1〉 SIS의 정격

Specification	Value
Rated voltage	25.8kV
Rated current	630, 1250, 2000A
Rated frequency	60Hz
Rated Power Frequency withstand voltage	- Common value : 70kV/1min - Across the isolating distance : 77kV/1min
Rated Lighting Impulse withstand voltage	- Common value : 150kV BIL - Across the isolating distance : 165kV BIL
Partial Discharge (PD)	Below 10pC to 1.1Ur/v ³ , 3phase simultaneously
Rated short-time withstand current	25kA / 3sec
Rated peak withstand current	65kA peak
Degrees of protection	IP4X

2.3 SIS의 적용기술

SIS에 적용 된 일부 기술들은 기존 MV(Medium Voltage)급 계통에서는 볼 수 없었던, SIS만의 차별화 된 특성 및 기술이라고 할 수 있다. 다음에서는 SIS의 몰드 부품에 적용 된 기술을 소개하고 있다.

2.3.1 친환경 절연 매질

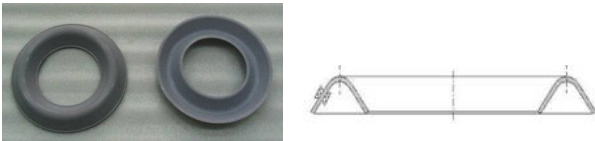
SIS에 적용 된 Epoxy수지는 높은 절연 강도와 기계적 강도, 열 저항의 특성을 지니고 있으면서, 높은 유통성의 특징을 가지고 있어서 APG(Auto Pressure Gelation)성형 방법에 의해 빠른 시간 안에 성형할 수 있다는 장점이 있다.

<표.2>에서는 기존 전력기기에 주로 사용되고 있는 Epoxy 수지와 SIS에 적용된 수지의 특성을 비교하고 있다.

〈표. 2〉 Epoxy 수지의 특성 비교

Property	Epoxy	unit	Conventional type	Applied type for SIS
Tg		℃	100~110	130~140
Coefficient of linear thermal expansion Mean value		K-1	$36\sim40 \times 10^{-6}$	17×10^{-6}
Flexural strength		N/mm ²	120~130	150~160
Tensile strength		N/mm ²	75~85	90~100
Dielectric constant		-	3~4	3.8

〈표.2〉에서 보면 알 수 있듯이 에폭시의 분자운동의 변화가 생겨서 응력이나 취성 그리고 전기적인 성질에 영향을 주는 시점을 결정짓는 Tg(Glass Transition Temperature)점이 기존 Epoxy보다 약 30℃ 이상 높아져서 매우 안정적인 특성을 가지고 있다. 또한 열팽창계수도 매우 낮아져서 다른 재질과의 온도변화나 점착으로 인한 Crack등이 현저하게 줄어들게 되었다. 이외에도 기계적강도(인장강도, 휨강도) 역시 30% 가량 증가하여 Epoxy 원재료에 대한 신뢰성을 높였다.



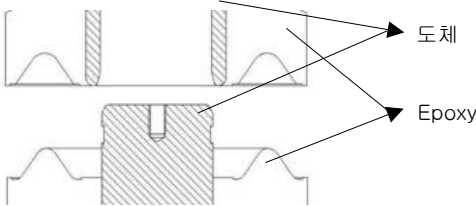
〈그림 2〉 Silicon Disk (몰드 접합면 절연 및 완충)

몰드 부품이 서로 연결되면, 이 연결된 접합면은 절연이나 충격에 의한 강도가 상당히 취약할 것이다. 이러한 문제점을 보완해 주는 역할을 하는 것이 위에 그림.2에서 보여주는 Silicon Disk이다.

Silicon Disk는 몰드 부품의 접합부 절연 및 완충 역할을 하는 아주 중요한 부품 중 하나이다. 이것 역시 기존 Silicon 재료의 안정적 역할을 위해 사용했던 인체 유해물질인 카드뮴을 RoHS 규제에 대응하기 위해 완전히 없앤 친환경 원재료를 적용하였다.

2.3.2 유연한 시스템 구성 (폭 넓은 확장성)

본 SIS 최대 장점 중 하나가 User가 어떠한 형태의 모션 구성을 요구해도 즉시 대응할 수 있는 유연한 System 구성을 할 수 있다는 것이다. SIS를 구성하고 있는 몰드 부품 전체가 그림.3에서 보여주는 바와 같이 접합면과 도체부(주회로 도전부)가 서로 결합 가능한 구조를 가지고 있다. 그리하여 장난감 Block과 같이 SIS 몰드 부품끼리는 필요한 부분에, 그 목적에 맞는 적당한 몰드 부품 또는 Module을 조립할 수 있다. 이러한 Block 구조의 Flexible한 모션 결합방식은 전 세계의 어떠한 Switchgear에서도 찾아볼 수 없는 독창적인 결합 구조이다.

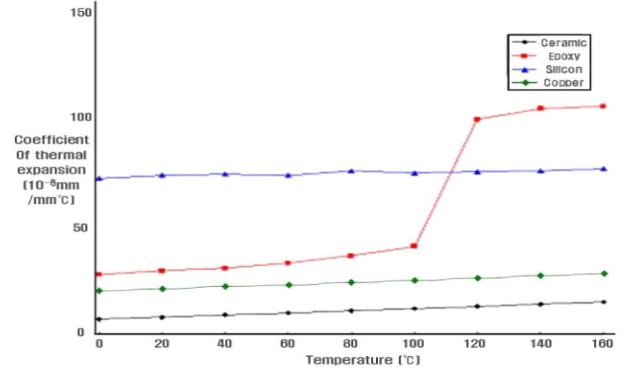


〈그림 3〉 몰드부품의 접속 구조

2.3.3 계면 처리 기술 (성형 기술)

SIS는 전체 몰드 부품 중 약 80%는 Epoxy 내부에 도체 및 차단용기(VI: Vacuum Interrupter)가 성형 되어 있다.

그림.4에서 보여주는 바와 같이 온도변화에 따라 도체($16.7\sim17 \times 10^{-6}$ mm/mm/℃)와 Epoxy($20\sim25 \times 10^{-6}$ mm/mm/℃)간의 열팽창 계수는 100℃까지는 크게 차이가 없으나 100℃ 이상 되는 영역에서 부터는 Epoxy의 열팽창계수가 수직 상승하여($100\sim110 \times 10^{-6}$ mm/mm/℃) 약 4배 이상의 차이를 보인다. 또한 VI의 절연용기인 세라믹($5\sim10 \times 10^{-6}$ mm/mm/℃)과 Epoxy와의 열팽창계수 차이는 약 10배 정도 차이를 보인다. 이러한 열팽창계수의 차이로 인하여 Epoxy와 도체(세라믹)의 계면에서 박리 및 크랙(Crack) 현상이 발생하며, VI같은 경우에는 세라믹이 균열 또는 파손되는 현상까지 발생하여 절연에 심각한 영향을 미치게 된다. 그러므로 SIS는 이런 문제점을 보완하여 Epoxy와 도체(세라믹) 표면 사이에 열팽창율의 차를 보상에 주면서, 절연 및 PD와 같은 전기적인 특성에도 영향을 주지 않도록 계면처리 기술을 적용한 몰드 부품을 개발하였다. 특히 Non Cushioning Embedded VI와 같은 경우에는 물리적 유동층을 형성하지 않는 VI 세라믹과 에폭시의 화학적 결합 기술 및 이를 이용하여 Void 형성요인을 제거한 최고의 계면처리 기술을 적용하였다.



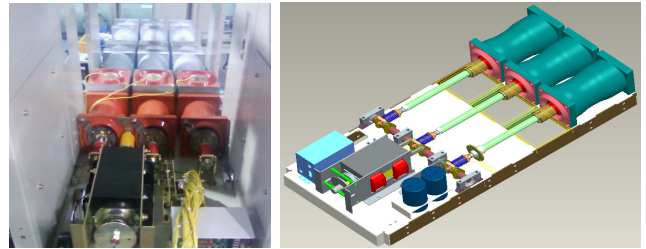
〈그림 4〉 각 재료의 온도에 따른 열팽창계수 비교

또한, 몰드 부품의 계면처리 기술과 동시에 이루어져야 하는 것이 성형기술이다. 성형기술은 Epoxy 성형품 특성에 매우 큰 영향을 미친다. 몰드 부품들은 원재료 Mixing 부터 성형, 탈형, 경화 까지 SIS 원재료만의 진행 시간, 온도 등의 데이터를 정립해 두었다. 이렇게 정립된 데이터들은 몰드 부품의 신뢰성에도 많은 영향을 미친다.

이밖에도 SIS는 제품 구성 부품 중 90%이상이 Epoxy로 몰딩된 성형 부품들로 이루어졌기 때문에 제품 신뢰성을 위해 개발 초기부터 절연 확보를 위한 전계 해석 및 열, 유체 해석, 안정적인 기계적 강도를 고려한 구조해석 등 최적의 설계 Tool이 적용되었다.

2.4 차단 Mechanism

SIS는 기존 Switchgear의 차단부 구동 Mechanism인 Solenoid, Spring Charging 등의 방식에서 벗어나, 현재 여러 Global 업체에서 개발 또는 적용 중에 있는 Electro-magnetic 방식 중 하나인 PMA (Permanent magnet actuator) Mechanism을 적용하여 기존 Mechanism보다 약 80% 이상 부품 수를 감소시켰고, VI와의 이상적인 조합으로 인해 기계적, 전기적 특성을 향상시켰다. 그림.5에서는 SIS의 CB구동 장치로 사용되고 있는 PMA Mechanism을 보여주고 있다.



〈그림 5〉 SIS의 PMA 메카니즘 (CB부)

PMA Mechanism은 부품 수가 적어 기계적 충격과 변형율이 줄어들게 되어 10,000회 이상의 계폐 동작이 가능한 높은 신뢰성의 Mechanism 특성을 갖는다.

이 밖에도 제품의 신뢰성을 위해 Heat cycle test 와 개폐수명시험을 진행하였고, 장기과전압 시험 및 Epoxy 원재료에 대한 인장, 과단 응력시험(V-t곡선 도출) 등도 진행하였다.

3. 결 론

SIS에는 본문에서 기술한 바와 같이 여러 가지 기술이 집적된 새로운 개념의 친환경 Switchgear 이다.

SIS의 특징을 정리해 보면 다음과 같다.

- 여러 환경오염 규제에 대응하는 SF6 가스 free인 Epoxy, Silicon, Vacuum 등의 절연 매질로 이루어진 친환경 Switchgear
- 독창적인 Block 구조의 몰드 부품 적용으로, 유연한 시스템 구성
- 열팽창계수 차이를 보완한 계면 처리 기술 및 최적의 성형기술 적용
- 전기적, 기계적, 열적 Simulation Tool을 적용한 최적의 설계
- Electro-magnetic 방식의 차단부 구동 장치인 PMA mechanism 적용
- 제품의 품질 및 안정성을 위한 신뢰성 시험 진행

본 SIS 개발을 통해 향후 전력 공급 안정도 향상 및 친환경 고부가가치 제품으로서 증전기기 분야의 산업 활성화에 기여하게 될 것이다.

[참고 문헌]

[1] Loucas G. Christophorou, Don W.Bouldin, 1987, Gaseous Dielectrics(V).
 [2] F.Y.Chu, 1986, SF6 decomposition in Gas-Insulated Equipment, IEEE EI 21-5, p693-725.
 [3] Ula, A.H.M.S, 1991, Global warming and electric power generation: What is the connection?, Volume 6, Issue 4, 1991, p599-604
 [4] Stevels, A., Huisman, 2003, An industry vision on the implementation of WEEE and RoHS, J,2003, p9-16
 [5] A.Morita, 2002, Recent topics of the medium-voltage switchgear in Japan, IEEE , p1450-1454