

25.8kV 고체절연스위치기어 개발

이종혁 · 마지훈 · 유련 · 이재걸 · 원성연 · 이석원 · 김영근 · 김경석  
 'LS 산전 전력연구소 · 한국해양대학교

Development of 25.8kV class solid insulated switchgear

Lee J. H. · Ma J. H. · Yu L. · Lee J. G. · Won S. Y. · Lee S. W. · Kim Y. G. · Kil G. S.  
 'LS Industrial Systems Co., Ltd. Electrotechnology R&D Center · Korea Maritime University

**Abstract** - In recent years, the companies of electric power equipment for MV and HV classes trend to develop the eco-friendly insulated(solid, eco-gas, air etc.) switchgear which replaces existent SF6 gas insulated switchgear due to environmental problems such as global warming and so on. This paper makes reference to the newly developed Solid Insulated Switchgear (SIS) which uses the eco-friendly material such as epoxy for insulation.

The insulation of the solid insulated switchgear (SIS) is composed of an epoxy, vacuum and air.

The solid insulated switchgear (SIS) is a state of the art product. The advantages of SIS are advanced reliability, economical efficiency, safety, maintenance free, reduction of installation area and the protection of environment.

The solid insulated switchgear (SIS) is FE Analyzed such as electromagnetic, mechanical, thermal and fluid in order to find the optimal design. Thens SIS has been verified by international standard test. (IEC 62271 - 100 and so on.)

As a result of this, the solid insulated switchgear (SIS) has been estimated as an alternative for eco-freindly MV class switchgear.

도 완료하여 차세대 신기술이 접목된 친환경 스위치기어로서 성능까지 확보하였다. 본 논문에서는 SIS 개발과정에 따른 여러 연구분야와 최종적으로 개발완료된 SIS에 대해서 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구 내용

본 연구에 필요한 여러 가지 핵심 기술로는 친환경적 절연매질 선정, 최적의 제품을 위한 설계 그리고, 계면처리 기술이다. 친환경적 절연매질로서 Dry Air, N2가스, Epoxy등이 고려되었으나, Dry Air와 N2 가스는 기존의 SF6가스를 이용한 스위치기어와 같은 절연성능을 확보하기 위해 압력의 증대로 인한 2차 보호장치가 필요하며 외함의 크기가 기존 스위치기어에 비해 증대됨은 물론 수직장치를 위한 별도의 설비가 필요하다.[9] 이에 반해 Epoxy는 보편화된 기술로서 성형이 가능하고 외함 크기 또한 최적설계에 따라 최대한 줄일 수 있으므로 Epoxy가 SIS의 친환경 절연매질로서 선정되었다. 또한, 최적의 설계를 위해서 기계적, 전기적 시뮬레이션은 물론, 통전전류에 따른 발열 유동해석을 적용하였고, 각각의 모델을 유동적으로 확장할 수 있는 설계개념도 적용하였다.

2.1.1 친환경적 절연매질

고체절연 스위치기어(SIS)는 모선 전체의 절연을 Epoxy와 Silicon만을 이용하여 구성하였다.

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

표 1에서는 기존에 주로 사용되고 있는 Epoxy 수지와 SIS에 적용된 수지의 특성을 비교하고 있다.

표 1. Epoxy 수지의 특성 비교

Epoxy Property	unit	Conventional type	Applied type for SIS
Tg	℃	100-110	140-146
Coefficient of linear thermal expansion Mean value	K-1	36-40 x 10 <sup>-6</sup>	17 x 10 <sup>-6</sup>
Flexural strength	N/#	120-130	150-160
Tensile strength	N/#	75-85	90-100
Dielectric constant	-	3~4	3.8

표 1에서 보면 알 수 있듯이 에폭시의 분자운동의 변화가 생겨서 용액이나 취성 그리고 전기적인 성질에 영향을 주는 시점을 결정짓는 Tg(Glass Transition

1. 서 론

최근 중전기 분야에 많은 솔루션과 신제품들이 투입되고 있는 상황에서 세계적으로 이슈가 되고 있는 친환경적인 기술들을 어떻게 접목을 시키느냐가 중전기 업체간의 노력이 지속되고 있다.[1,2] 현재, 중전기 산업의 MV, MV, HV 급 개폐장치의 절연 및 소호 매질로 가장 특성이 우수하여 많이 사용하고 있는 것이 SF6(육불화황) 가스이다.[3~5]

97년 교토의정서(Kyoto's Protocol)에서 지구온난화의 주범인 온실가스 6가지(CO2, N2O, CH4, PFCs, HFCs, SF6)에 대한 감축안을 제시하여 '08년부터는 유럽 등의 선진국을 시작으로 의무적으로 감축해야만 한다.[6] 또한 환경규제 중 하나인 RoHS(Restricting the use of Hazardous Substances)가 '06년 7월에 발효되어 모든 전기, 전자 부품 등에는 환경적으로나 인체에 유해한 재료를 사용할 수 없도록 규제하였다.[7]

이에 따라 귀사에서는 오랜 개발기간과 연구비용 투자를 통해서 친환경 고체절연스위치기어(SIS)를 개발하였다. SIS는 고부하 밀집지역에 설치 가능한 친환경적 제품으로 고도의 신뢰성, 경제성, 안전성, 간편한 유지보수, 설치면적의 축소, 시공기간의 단축 및 환경과의 조화 등을 고려한 고기술이 집적된 제품이다.

또한, SIS는 국제규격(IEC62271-100)에 따른 개발시험

Temperature)점이 기존 Epoxy보다 약 30℃ 이상 높아서 매우 안정적인 특성을 가지고 있다. 또한 열팽창계수도 매우 낮아져서 다른 재질과의 온도변화나 점착으로 인한 Crack등이 현저하게 줄어들게 되었다. 이외에도 기계적 강도(인장강도, 휨강도) 역시 30% 가량 증가하여 Epoxy 성형물에 대한 신뢰성을 높였다.

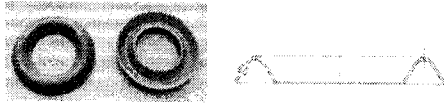


그림 1. Silicon Disk (몰드 접합면 절연 및 완충)

각 모듈을 구성하는 몰드 부품이 서로 연결되면, 이 연결된 접합면은 절연이나 충격에 의한 강도가 상당히 취약할 것이다. 이러한 문제점을 보완해 주는 역할을 하는 것이 위에 그림 1 에서 보여주는 Silicon Disk 이다.

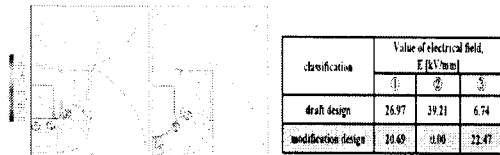
Silicon Disk는 몰드 부품의 접합부 절연 및 완충 역할을 하는 아주 중요한 부품 중 하나이다. 이것 역시 기존 Silicon 재료의 안정제 역할을 위해 사용했던 인체 유해물질인 카드뮴을 RoHS 규제에 대응하기 위해 완전히 없앤 친환경 원재료를 적용하였다.

### 2.1.2 최적의 제품설계

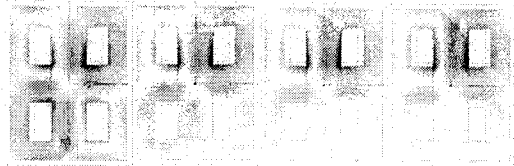
SIS의 구성 부품 중 90% 이상이 Epoxy로 몰딩 된 성형 부품들로 이루어 졌기 때문에 제품 신뢰성을 위해 개발 초기부터 절연 확보를 위한 전계 해석 및 열, 유체 해석, 안정적인 기계적 강도를 고려한 구조해석 등 최적의 설계 Tool이 적용되었다.

#### (1) The analysis of Electrical Field

Epoxy 내부에 몰딩 되어 있는 도체의 끝단은 모션 활성 시 상당히 전계가 집중되는 곳이어서, 내압 및 Impulse, PD시험과 같은 절연시험에 매우 큰 문제로 나타날 수 있다. 이러한 이유로 절연 등급에 맞는 두께 결정 및 전계 완화 또는 Shield의 적용이 필요하다.



(a) 도체 끝단의 전계 완화



(b) PMA Mechanism 동작에 따른 자속밀도 변화

그림 2. 전계 해석

그림 2 (a) 에서는 몰드 부품에서 전기적으로 취약한 곳의 등전위 분포와 해석을 통해 개선 된 등전위 분포를 나타내었고 (b)에서는 SIS 차단부를 구성하는 PMA 메카니즘의 동작에 따른 자속밀도 변화로서 필요한 에너지를 계산하고 적용하는데 이용하였다.

#### (2) The analysis of Thermal Flow

그림 3 에서는 Epoxy 두께에 따른 도체의 온도 분포를 알아보기 위해, 열,유동 해석 프로그램을 이용하여 Simulation 한 결과를 나타내고 있다. (a)는Epoxy가 없었

을 때의 모의 사각, 원형 부스바의 온도분포를 나타내고 있고, (b)는 Epoxy의 두께가 20mm일 때의 온도분포를 나타내고 있다. 본 해석 데이터와 원재료의 절연내력 등을 참조로 SIS 몰드 부품의 epoxy 두께를 결정하였다.

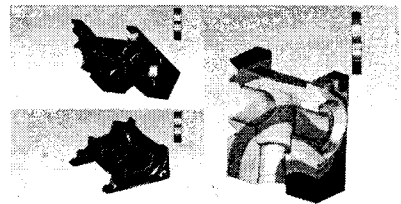


(a) Epoxy thickness = 0 (b) Epoxy thickness = 20mm

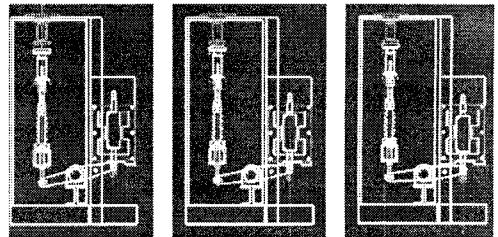
그림 3. Epoxy 두께에 따른 열유동 해석

(3) The analysis of Mechanical stress & characteristic  
그림 4 (a)에서는 SIS의 몰드 부품에 기계적인 응력을 해석한 힘의 분포를 보여주고 있다. (b)에서는 SIS 차단부의 기구적 특성 파라미터를 도출하고 최적 요소를 적용하기 위한 기구 특성해석을 보여주고 있다.

본 Simulation은 Pro/mechanica과 ADAMS를 사용하여 해석하였고, Input 조건은 Silicon Disk 삽입면의 분포하중을 100kg/mm<sup>2</sup> 를 주었고 Boundary는 볼트 취부홀을 고정시킨 조건을 주었다. 재료에 대한 조건은 본 SIS에 적용한 것과 동일한 물성값을 주었다.



(a) 몰드부품의 기계적 응력 해석



(b) 차단부의 기구 특성 해석

그림 4. 기계적 응력해석과 기구 특성 해석

본 해석 데이터를 통해 각 몰드 부품의 조립을 위한 Flange두께 및 Insert의 길이, 위치의 최적 조건을 적용할 수 있었다.

#### (4) 유연한 시스템 구성 (폭 넓은 확장성)

스위치기어는 사용자의 요구에 의해서 시스템의 구성이 결정된다. epoxy 몰드의 경우는 이러한 요구에 대응할 수 있도록 그림 5와 같이 접합면과 도체부가 서로 결합 가능한 구조를 가지고 있다. Block과 같이 SIS 몰드

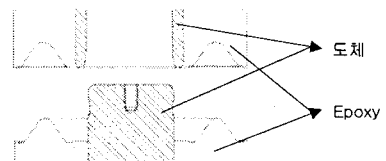


그림 5. 몰드부품의 접속 구조

부품끼리는 필요한 부분에, 그 목적에 맞는 적당한 몰드 부품 또는 Module을 조립할 수 있다. Flexible한 모션

결합방식은 고체절연 스위치기어(SIS)만의 특창적인 결합 구조이다.[8]

### 2.1.3 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 6에서 보여주는 바와 같이 온도변화에 따라 도체 (16.7~17 × 10<sup>-6</sup>mm/mm/°C)와 Epoxy(20~25 × 10<sup>-6</sup>mm/mm/°C)간의 열팽창 계수는 100°C까지는 크게 차이가 없으나 100°C 이상 되는 영역에서 부터는 Epoxy의 열팽창계수가 수직 상승하여(100~110 × 10<sup>-6</sup>mm/mm/°C) 약 4배 이상의 차이를 보인다. 또한 VI의 절연용기인 세라믹(5~10 × 10<sup>-6</sup>mm/mm/°C)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 열팽창률의 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 결합기술 및 이를 이용하여 Void 형성요인을 제거한 최고의 계면처리 기술을 적용하였다.

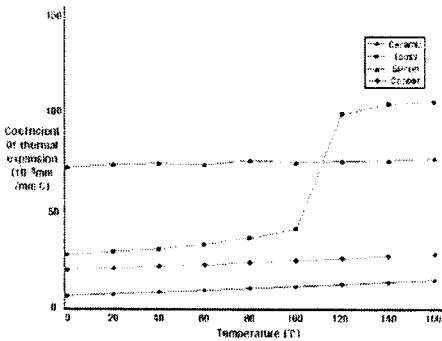


그림 6. 각 재료의 온도에 따른 열팽창계수 비교

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 정립 해 두었다. 이렇게 정립된 데이터들은 몰드 부품의 신뢰성에도 많은 영향을 미친다.

### 2.2 시험 및 결과

귀사가 개발한 고체절연 스위치기어(SIS)에 대해서 성

<표. 2> IEC62271-100에 따른 주요시험항목 및 결과

시험 항목	내용	결과
상용주파수 내전압	CB, DS, ES 70kV/1min	Pass
뇌충격 내전압	165 BIL	Pass
온도상승(2000A)	접촉 : #65t, 접촉부 : #75t	Pass
단시간 내전류	주회로, 접지 (25kA, 3sec)	Pass
단락 투입 차단	C2, 기본단락, E2	Pass
기계동작수명	DS, ES : MO, CB : M1	Pass

능검증을 위해 국제규격(IEC62271-100)에 따른 개발시험을 진행하였다.[10] 표 2는 규격에 명기된 주요시험 항목이며 그에 따른 결과값들을 나타내었다. 표 2에서 보인 바와 같이 해당 항목들의 몇 번에 걸친 확인시험에 모두 합격하였다.

### 3. 결 론

SF6가스 절연스위치기어가 주류를 이루는 현재에 자사는 많은 핵심기술을 세밀히 검토하고 적용성을 평가하여 친환경 매질, 최적설계기술, 계면기술등이 접목된 친환경 고체절연 스위치기어(SIS)를 개발하였다. 스위치기어로서의 성능검증을 위해서 국제규격(IEC62271-100)에 한 시험도 모두 통과함으로써, 친환경 전력기기는 물론, SF6가스 절연스위치기어를 대체할 스위치기어로서 검증되었다. 따라서, 향후에 전개될 친환경 전력기기 시장으로의 변화에 대응할 수 있는 것은 물론, 확보된 기술로서 파생제품을 확대하기에 용이할 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A.Morita, 2002, Recent topics of the medium-voltage switchgear in Japan, IEEE , p1450-1454
- [2] T.Shimizu, S.Kinoshita, S.Makishima, J.Sato, 2003, Material and simulation technology for solid insulated switchgear, Proceedings of 7th ICPADM, p1194-1197
- [3] Loucas G. Christophorou, Don W.Bouldin, 1987, Gaseous Dielectrics(V).
- [4] F.Y.Chu, 1986, SF6 decomposition in Gas-Insulated Equipment, IEEE EI 21-5, p693-725.
- [5] J.C.Cronin, E.R.Perry, 1973, Optimization of Insulators for Gas Insulated Systems, IEEE PAS 92, p558-592.
- [6] Ula, A.H.M.S, 1991, Global warming and electric power generation: What is the connection?, Volume 6, Issue 4, 1991, p599-604
- [7] Stevels, A., Huisman, 2003, An industry vision on the implementation of WEEE and RoHS, J,2003, p9-16
- [8] S. Sato, K. Koyama, N. Fujii, Y. Ookawa, and H. Kaga, "New type 24kV Switchgear without SF6 gas," dettki.hyouon, pp.19-22, Mar. 2001(in Japanese).
- [9] L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, D.S. Green, "Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption ; Possible present and Future Alternatives to Pure SF6", NIST technical note 1425 (1997, U.S.A.)
- [10] IEC62271-100 Standard.