

25.8kV 친환경절연 개폐장치 실계통 적용 방식 및 고장사례 연구

최상철*, 조필훈, 이봉희
KEPCO Academy

A Study on fault cases of 25.8kV Environment-friendly Insulated Switchgear and its application to real power system

Sang-Chul Choi*, Pil-Hoon Cho, Bong-Hee Lee
KEPCO Academy

Abstract - 현재 변전소에서 일반적으로 사용되는 송변전기기 개폐장치인 GIS(GAS Insulated Switchgear)는 절연확보를 위해 외함 내부에 SF6 GAS가 충전되는 구조이다. SF6 GAS는 지구온난화 규제 물질에 해당하는 가스로 아크 및 부분방전 등에 의해 유독물질로 분해되는 특징이 있어 개폐장치의 내부 절연물질로 친환경 매질로의 전환이 절실한 실정이다. 최근 KEPCO는 25.8kV GIS를 대체할 친환경절연 개폐장치를 도입하고 시범 운영중에 있으며, 그 결과에 따라 확대 적용할 방침이다.

1. 서 론

최근 지구 온난화 방지를 위해 온실가스인 SF6 GAS의 감축 필요성이 커지고 있다. 기존 GIS(GAS Insulated Switchgear)의 절연매질인 SF6 GAS는 '97년 교토의정서에서 지구온난화의 주범인 온실가스 6가지(CO₂, N₂O, CH₄, PFCs, HFCs, SF₆)중의 하나로, 전량 수입에 의존하고 있으며, CO₂에 비해 대기 오염의 영향 정도가 40배에 이르고 있다.

이에 따라 KEPCO는 이를 대체할 친환경절연 개폐장치를 도입 및 개발하기로 하고, 25.8kV 친환경절연 개폐장치 중 하나인 SIS(Solid Insulated Switchgear, LS산전)를 이천S/S 초전도기기 실증시험장내 실제 계통에 2010년 12월에 설치하고, 시범 운영중에 있다.

본 논문은 25.8kV SIS 실계통 적용과 관련하여 적용 방식 및 운영중 최근 발생한 고장사례에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 25.8kV 친환경 절연매질 개발 현황

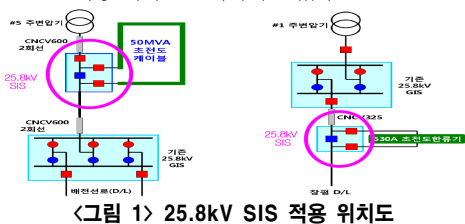
친환경절연 개폐장치는 SF6 GAS 사용량 감축을 위해 도입되었으며, 25.8kV 친환경절연 개폐장치의 절연매질은 고체절연, Dry Air, N2 GAS가 선정되어 제작사별 개발이 시작되었다. 제작사별 개발 현황은 <표 1>과 같으며, 이외에도 선도, 광명전기 (Dry Air), 동남(N2 Gas), 테크프로(고체절연, N2 Gas)는 자체 개발 준비중이다. 그중 LS산전은 고체절연방식을 개발 완료하여 2010년 12월에 이천변전소 초전도 실증시험장내에 설치하고, 실계통에 병입하여 상용운전중이다.

<표 1> 제작사 개발 현황

제작사	Type	개발 현황
LS산전(주)	고체절연	개발시험완료, '10. 03 유자격 등록
효성(주)	Dry Air	자체 신뢰성 시험완료, 개발도면 승인예정('11년 1월) '11년 4월 개발시험 완료예정 (등록)
인텍전기	고체절연	자체 신뢰성 시험완료, 개발도면 승인예정('11년 1월) '11년 7월 개발시험 완료예정 (등록)
현대중공업(주)	Dry Air	자체 신뢰성 시험중, 개발도면 승인예정('11년 1월) '11년 7월 개발시험 완료예정 (등록)

2.2 25.8kV 친환경절연 개폐장치 적용

현재 전력계통에서 운전중인 154kV 이천S/S #5M.Tr 2차측에 25.8kV 50MVA 초전도케이블 연결을 위한 모선용 SIS(Solid Insulated Switchgear)가 설치되었고, #1M.Tr에서 공급하는 장평D/L에 25.8kV 630A 초전도환류기 연결을 위한 Feeder용 SIS가 설치되어 있다. <그림 1>은 25.8kV SIS 적용 위치도를 나타내고 있다.



<그림 1> 25.8kV SIS 적용 위치도

2.2.1 SIS(Solid Insulated Switchgear) 적용기술 특징

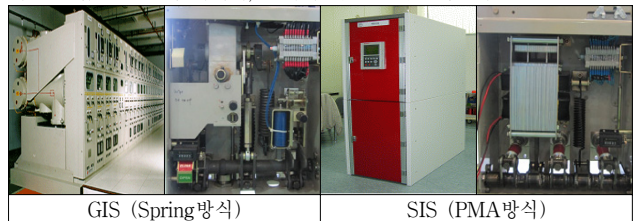
SIS는 SF6 gasless화로 친환경성 제고를 위해 개발한 Epoxy 고체절연방식 개폐장치이다. 차단기, 단로기, 접지개폐기 등을 일체화시킨 고압 폐쇄배전반으로 각 구성 부품의 Module 설계를 통해 고체절연 주회로 모선 구조를 실현하였으며 기존 GIS와 비교는 <표 2>와 같다.

<표 2> GIS와 SIS 비교

비교항목	GIS (Gas Insulated Switchgear)	SIS(Solid Insulated Switchgear)
친환경성	지구 환경 온난화 기여도 (有) 모든 충전부의 가스 절연화 아크 소호후의 유해성 가스 처리 곤란	지구 환경 온난화 기여도 (無) 주회로의 고체절연화 단로기의 기중절연에 따른 SF6 Free
소형 및 경량화	가스 압력에 따른 절연 성능 주회로 연결 구조의 복잡성	고성능 에폭시 수지의 개발 주회로 구조의 단순화
안전성 신뢰성	3상 일괄 구조 - 내부고장 아크 발생 영향 (有) - 상간 단락 사고 발생 영향 (有) - 지락 사고 발생 영향 (有) - 상간/상대지 전압 발생함	상분리 구조/외부절연층 접지처리 - 내부고장 아크 발생 영향 (無) - 상간 단락 사고 발생 영향 (無) - 지락 사고 발생 영향 (有) - 상대지 전압 발생함
유지보수성	가스 누기를 상시 감시 필요 변전소 신/중설 장시간 소요 - 가스 회수 - 세척후 조립 - 진공 작업/ 가스 주입	고체절연물 열화 감시 필요 변전소 신/중설 단시간 소요 - 모선 연결부 세척 - 모선 연결부 조립
	전동 스프링 방식 조작기 적용 - 부품수의 다량화 - 저온 내환경 성능 열악 - 윤활유 도포 부위 다수 - 구동 스프링 저온 내환경 성능 열악	전자식 신 조작기 적용 - 부품수의 소량화 - 저온 내환경 성능 강화 - 윤활유 도포 부위 축소
비용결감	생산성 수준 평균	생산성 수준 향상 - 부품종수의 결감

2.2.2 SIS(Solid Insulated Switchgear) 구성

154kV 이천변전소에 시범적용된 SIS는 개발도면 승인 전 내부 절연물 자체 신뢰성 시험을 우선 시행하였고, 조작회로는 IEC 61850에 따른 감시, 제어, 계측, 보호가 가능한 IED(Intelligent Electronic Device) 기술을 적용하여 제어케이블 포설을 최소화 하였으며, 설비 예방진단을 위한 부분방전센서를 필수적으로 적용하였다. SIS는 기존 Switchgear의 차단부 구동 Mechanism인 Spring Charging의 방식에서 벗어나, 현재 여러 Global 업체에서 개발 또는 적용 중에 있는 Electro-magnetic 방식 중 하나인 PMA (Permanent Magnet Actuator) Mechanism를 적용하여 기존 Mechanism보다 약 80% 이상 부품 수를 감소 시켰고, VI와의 이상적인 조합으로 인해 기계적, 전기적 특성을 향상시켰다.



<그림 2> GIS(左)와 SIS(右) 외형 사진 및 조작방식

2.3 SIS(Solid Insulated Switchgear) 고장사례

2.3.1 고장개요

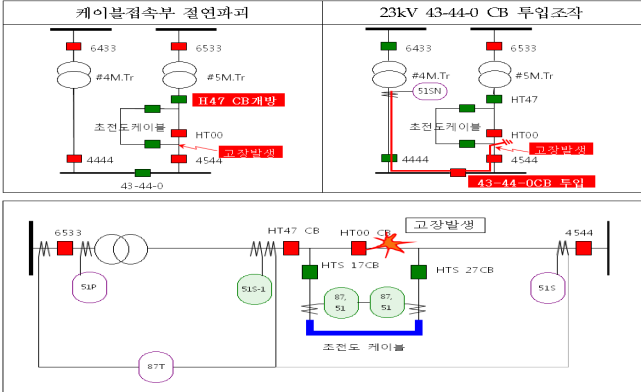
- 1) 보호계전기 동작사항 : #4M.Tr 51SN
- 2) 고장원인 : 초전도 전력설비 SIS 케이블접속부 A상 절연파괴
- 3) 고장내용 : SIS 케이블접속부 A상 절연파괴로 #5M.Tr이 정전되었

으나, 고장시 SIS 감시기능 장애로 급전분소에서 정전발생 및 현장 기
기상태를 인지할 수 없는 상태에서 정전부하를 전전변압기로 복구조작
하는 과정 중 51SN 동작으로 #4M.Tr 정전발생하였다.



〈그림 3〉 25.8kV SIS 고장 사진

4) 고장발생시 현장 계통상황 : SIS 고장 발생시 정전 정보(EVENT) 없이 HT47 CB만 동작하였으며, SIS 상태 정보전송용 광허브 소손으로 정보취득을 할 수 없었다.

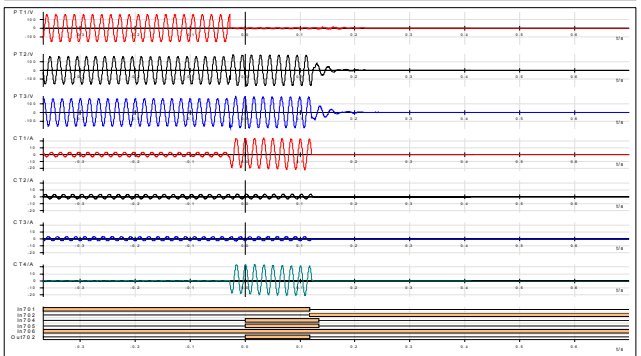


〈그림 4〉 전력설비 고장발생 단선도

2.3.2 고장원인 분석 및 복구

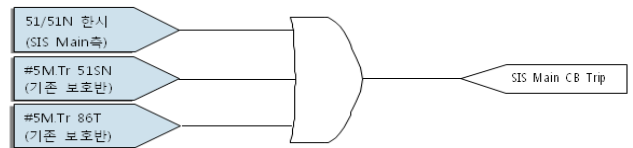
1) 보호계전기 동작분석 : 고장전류는 15.9A(1차측 6360A)로써 9 cycle 지속 후 Trip 되었고, 51N 및 51 요소는 고장발생 28ms 후 Pick-Up 하였다. 고장과 동시에 #5M.Tr의 기존 보호반에서 86T 동작신호를 133ms 동안 받은 것으로 보아 실제 이 신호에 의해 차단기가 Trip된 것으로 판단된다. 86T는 수동복귀 접점으로써 계전기 DI에 133ms 동작후 복귀된 것으로 볼 때, 고장과 동시에 제어 케이블에 Surge가 유입된 것으로 판단되며, 51N의 경우 상기 고장전류 발생 시 한시 동작시간은 1.06초이다.

구분	순서	동작 사항	시 간	비 고
고장	1	절연과피 고장발생	-	-28ms
	2	#5M.Tr 51SNX2, 86T 동작	23:46:41.007	-3ms
	3	51N 동작 (In=15.6A)	23:46:41.010	0ms
	4	IED Trip DO 동작	23:46:41.012	
	5	51 동작 (Ia=15.6A)	23:46:41.012	2ms
	6	#5M.Tr 86T, 51SNX2 복귀	23:46:41.133	123ms
	7	SIS HT47 CB Trip	23:46:41.139	129ms
	8	SIS IED 통신이상 발생시각	23:46:43.227	2.2sec
복구 조작	9	CB Close Command (급전조작)	23:59:23.574	-36ms
	10	CB "a" 연결 On (CB Close)	23:59:23.702	
	11	#5M.Tr 86T, 51SNX2 동작	23:59:23.702	-8ms
	12	IED Trip DO 동작	23:59:23.706	-4ms
	13	51N Stg1 (In=14.5)	23:59:23.710	0ms
	14	51 Stg1 (Ia=15.8)	23:59:23.716	6ms
	15	SIS IED 통신이상 발생	23:59:26.508	2.7sec
	16	23kV 43-44CB Close	00:04	
	17	154kV #4M.Tr 51SN 동작	00:04	
	18	154kV #4M.Tr 51SN 원격복귀	00:05	
	19	23kV 43-44CB Open	00:05	
	20	154kV #4M.Tr 86T, 4444CB Close	00:06	



〈그림 5〉 보호계전기(SIS HT47 CB) IED 고장기록 파형

2) 고장발생시 IED 통신이상이 발생(FDR1,3,4,6, BS1,2)하였고, 이는 고장 당시 써지에 의한 IED에 공급되는 DC 전원의 문제로 추정된다. SIS HT47 CB 투입시 재 Trip 되었는데, 상기와 동일한 동작신호 (#5M.Tr 86T)에 의해 Sequence Trip 된 것으로 추정된다.

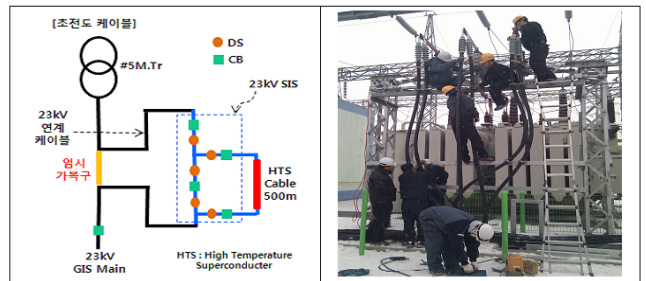


〈그림 6〉 SIS Main CB Logic

2.3.3 문제점 및 대책

1) 문제점 : SIS 소손시 상태정보 전송용 광허브도 소손되어 급전분소에서 #5M.Tr 정전 인지 및 현장상황 파악을 할 수 없었다. 고장표시 팝업창 및 싸이렌 경보, 정전부하, 보호계전기 등 미 표시되었으며, SIS 보호계전기 동작 시 #5M.Tr 1,2차 CB가 동작하지 않았다. 초전도 실증 시험장 운영자 교육(SA, IED, 감시제어 등) 시행전 고장이 발생하였다.

2) 대책 : 초전도 실증시험장내 현장상황 파악이 가능하도록 CCTV를 설치하였으며, 동일유형 고장발생 시 급전분소 정전인지 기능을 보완하였다. SIS 상태전송용 광허브를 분리하였다. 초전도 실증시험장 사업소 운영자 교육을(SA, IED, 감시제어 등) 2회 시행하였고, SIS 손상 절연 부품과 연계 전력케이블(600SQ CNCO-W) 교체하였다.



〈그림 7〉 SIS 계통분리 및 #5M.Tr By-Pass 연결 복구

2.3.4 시사점

설비고장의 원인은 케이블 접속부의 시공불량(벌티밴드 탈락)으로 불완전 접촉에 의한 발열이 절연물을 열화시켰고, 이는 개폐장치 절연내력을 저하시켜 절연과피(고장발생)로 이어졌다. 앞으로 다양한 친환경절연 개폐장치가 개발되고 실제 계통에 적용되면 새로운 유형의 고장이 발생할 것이다. 설비 운영자에게는 신설비에 대한 지속적인 교육을 통해 신속한 고장복구 능력이 요구되고, 제작사에게는 개폐장치의 제작품질과 시공능력에 대한 향상이 요구된다.

3. 결 론

전력설비 세계시장의 수요는 성능 및 가격 위주의 경쟁방식에서 환경 영향 평가를 중시하는 방식으로 변경되고 있으며, 모든 전력기기 제품은 환경 유해물질의 포함 여부 및 그 사용량의 기록이 의무화 되고 있다. 이에 세계 각국에서는 앞다투어 친환경절연 매질의 가능성을 인식하고 활발한 R&D 투자와 상용화를 추진하고 있다. 2013년까지 KEPCO는 기존 GIS와 혼용하여 기기의 신뢰도 및 성능을 향상시키며, 2014년 이후에는 친환경절연 개폐장치를 전면 사용할 예정이다. KEPCO는 글로벌 경쟁력 개폐장치 개발[기기의 Compact화, 경량화, Green(친환경), Global Standard화]을 유도하고, 적극적으로 친환경절연 개폐장치를 KEPCO 계통 적용시켜야 할 것이다. 미래 친환경 고품질 개폐장치는 국내 전력산업을 한단계 도약시킬 것이며, 수입대체효과와 세계시장 선점할 수 있는 기회로 제공할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] KEPCO, 이천S/S 154kV #4M.Tr 정전 원인분석 및 대책, 2011-02
 [2] 김진, "22.9kV 초전도 케이블 한류기 설계용 적용 SIS", 대한전기학회 하계학술대회, 2010-07
 [3] 전상동, "개폐장치 고장사례 분석", 제24차 개폐장치연구회, 2011-04
 [4] 25.8kV Environment-Friendly SIS For applying HTS Power Equipment to Real Grid, General Specification of KEPCO, 2010-02
 [5] 방선웅, "KEPCO 전력용 개폐장치 기술개발 정책 및 향후 적용계획", 제24차 개폐장치연구회, 2011-04
 [6] LS산전(주), "25.8kV SF6가스절연 스위치기어를 대체한 친환경 고체절연 스위치기어 개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2009-07