

초고압 GIS용 절연스페이서의 성능평가

허 중 철^{****} 정 주 영^{****} 오 창 수^{***} 양 대 일^{**} 박 정 후^{*}
 한국전기연구원^{****} 한국전력공사 송변전처^{***} (주) 효성^{**} 부산대학교^{*}

Performance Evaluation on Epoxy Insulation Spacer for Extra High-voltage GIS

J. C. Heo^{****} J. Y. Jeong^{****} C. S. Oh^{***} D. I. Yang^{**} J. W. Park^{*}
 KERI^{****} KEPCO^{***} Hyosung Corporation^{**} Busan National Univ.^{*}

Abstract - Epoxy Insulation spacers for supporting the conductors and partitioning the sections in SF₆ Gas insulated Switchgear(GIS), require higher electrical, Thermal and mechanical reliability with other principal components in GIS to be operated without any failure in use. In this paper, we describe the results of the performance evaluation of electrical and mechanical properties for extra high-voltage GIS according to KEPCO spec. and the requirements of the insulators for GIS specified by IEC 62271-203(2004).

1. 서 론

가스절연개폐장치(GIS)의 SF₆ 가스구획 및 도체지 지용으로 사용되는 Epoxy 절연스페이서는 GIS의 장기 신뢰성능에 중요한 구성요소이다. 또한 GIS의 신뢰성능에 대한 요구가 높아지면서 IEC 62271-203(2003, 11):Gas-Insulated metal enclosed switchgear(GIS)에서도 GIS 절연물에 대한 열적, 기계적 성능에 대한 성능평가항목이 Mandatory로 추가되었다. 따라서 본 논문에서는 한국전력공사 스페이스 시험기준(안)에 따라서 실시한 170kV, 362kV 및 800kV 초고압 GIS용 절연스페이서에 대해서 실시한 성능평가에 대해서 언급한다. 또한 IEC60517의 규격개정에 따라 GIS의 절연성능을 포함한 GIS용 Insulator(Partition 및 Support용)에 대한 열적, 기계적 성능평가항목이 추가됨에 따라 IEC 62271-203(2004)를 기본으로 한 절연스페이서의 열적, 전기적 및 기계적 절연성능평가에 대해 살펴보고자한다.

2. 본 론

2.1 절연스페이서의 구성 및 성능

GIS용 절연스페이서의 일반적인 구조는 그림 1과 같이 Shield부, Epoxy Mold part 및 중심도체부로 이루어진다. 절연스페이서의 성능평가는 IEC60517 및 제작자가 제시한 기술자료를 근거로한 KEPCO 절연스페이서 시험 기준(안)에 따라 실시하였으며, 주요사양은 표 1과 같다.

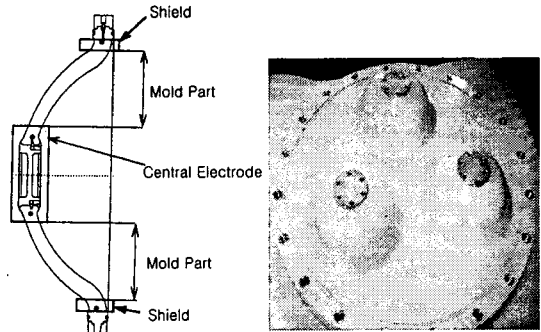


그림 1 절연스페이서의 구조

시험항목	규격요건	
온도사이클시험	-30±5℃(≥1h), +105±5℃(≥1h) 수직배치 및 수평배치, 10 Cycles	
AC내전압시험	170kV	상대지간 : 495kV(rms), 3분
	362kV	상대지간 : 495kV(rms), 3분
	800kV	대지간 : 830kV(rms), 3분
뇌충격내전압	170kV	상대지간 : 750kVp 정,부 15회
	362kV	상대지간 : 1,175kVp 정,부 15회
	800kV	상대지간 : 2,250kVp 정,부 15회
개폐충격내전압	170kV	-
	362kV	상대지간 : 950kVp 정,부 15회
	800kV	상대지간 : 1,425kVp 정,부 15회
부분방전시험 ERA 및 UHF법	170kV	상/대지간 : 187/148kV(rms) ≤10pC
	362kV	상/대지간 : 398/313kV(rms) ≤10pC
	800kV	상대지간 : 555kV(rms) ≤10pC

표 1 주요항목별 요건

2.2 성능평가

성능평가는 KEPCO 절연스페이서 시험기준(안)에 따라 실시하였으며, 시험시료는 동리 Design에 대해서 2개 이상에 대해서 열적 성능에 대한 온도사이클시험 후 절연 성능과 기계적, 장기과전시험 및 물성시험으로 구분하여 한국전기연구원과 제작사에서 실시하였으며, 시료별 시험절차는 표2와 같다.

시험항목	시험시료			비고
	No.1	No.2	No.3	
온도사이클시험	↓	↓	↓	KERI
절연시험	AC내전압시험	↓		KERI
	뇌충격내전압시험	↓		KERI
	개폐충격내전압	↓		KERI
	Zero기압내전압시험	↓		KERI
	부분방전시험	↓		KERI
SF6 Gas 기밀시험		↓		제작사
X-Ray 및 표면갈라 Check	↓	↓	↓	"
기계적 시험	도체굽힘시험	↓		"
	수압시험	↓		"
장기과전압시험			↓	"
기타 물성시험			↓	"

표2 시료별 시험순서

2.2.1 온도사이클시험

온도사이클시험은 시료를 그림 2와 같이 수직 및 수평 배치로 설치한 상태로 고온조건에서 +105±5℃로 1시간 이상 유지, 그리고 저온조건에서 -30±5℃로 1시간 이상 유지를 1사이클로 하여 연속 10사이클을 실시하였으며, 온도센서의 취부는 Chamber 내부 공기와 스페이서 표면온도를 측정하였으며, 온도유지시간은 스페이서의 열적 스트레스가 충분히 전달될 수 있도록 스페이서 표면온도를 기준으로 실시하였다.

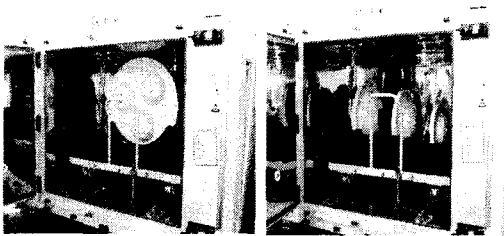


그림 2 온도사이클시험

2.2.2 절연시험

절연시험은 온도사이클시험을 실시한 시료에 대하여 그림 3과 같이 GIS용 탱크에 조립하여 최소 Gas 압력으로 실시하였으며, 부분방전시험은 ERA법 및 UHF법에 의해서 측정하였으며, UHF법에 사용된 측정용 센서는 내장형 또는 외장형을 사용하고, 센서 및 Receiver는 제작자가 보유 중인 설비를 이용하여 측정하였다.

부분방전시험 측정회로는 그림 3과 같다.

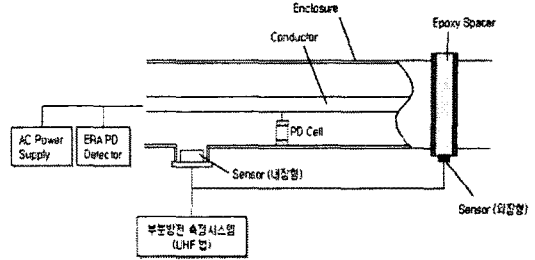


그림 3 PD ERA 및 UHF 측정회로

2.2.3 성능평가결과

성능평가는 한전 납품중인 170kV, 362kV 및 800kV급 스페이서에 대해서 실시하였으며, 열적, 전기적 절연시험은 한국전기연구원에서 실시하고, 기계적성능, 장기과전시험 및 물성시험등은 제작자가 실시하였으며, 그 결과는 표 3과 같다.

시험항목	규격요건	시험결과
온도사이클시험	30±5℃(>1h), +105±5℃(>1h) 수직배치 및 수평배치, 10 Cycles	이상없음
AC내전압시험	170kV 상대지간 : 495kV(rms), 3분	No flashover
	362kV 상대지간 : 495kV(rms), 3분	
	800kV 대지간 : 830kV(rms), 3분	
뇌충격내전압	170kV 상대지간 : 495kV(rms), 3분	No disruptive discharge
	362kV 상대지간 : 1.175kVp 정,부 15회	
	800kV 상대지간 : 2,250kVp 정,부 15회	
개폐충격내전압	170kV 상대지간 : 950kVp 정,부 15회	No disruptive discharge
	362kV 상대지간 : 1,425kVp 정,부 15회	
	800kV 상대지간 : 1,425kVp 정,부 15회	
부분방전시험 ERA 및 UHF법	170kV 상/대지간 : 187/148kV(rms) < 10pC	ERA : < 1pC
	362kV 상/대지간 : 398/313kV(rms) < 10pC	
	800kV 대지간 : 555kV(rms) < 10pC	
장기과전압시험 및 절연확인	170kV 대지간 : 142kV(rms), 30일	No flashover
	362kV 대지간 : 302kV(rms), 30일	
	800kV 대지간 : 697kV(rms), 15일	
기계적 시험 및 물성시험	170kV 제작사 보증치	이상없음
	362kV "	
	800kV "	

표 3 성능평가결과

2.2.4 IEC62271-203(2003. 11) 규격검토

가스절연개폐장치 관련 IEC 62271-203(2003.11)의 규격개정에 따라 300kV 급 이상의 GIS에 대해서는 AC내전압(Ud(AC)/Up(LI) factor가 0.38에서 0.45로 절연레벨이 높아짐), 뇌충격, 개폐충격 및 부분방전

시험전압이 높아지면서 GIS용 스페이스에 대한 성능도 함께 고려되어야한다. 또한 Insulator에 대한 성능평가가 추가 되면서 절연스페이스의 열적, 전기적, 및 기계적 성능이 다음과 같이 요구되고 있다.

- 열적(Thermal) 성능평가

절연물의 열적 스트레스에 대한 성능은 스페이스의 동일 Design에 대해 5개의 시료로서 그림4와 같은 조건으로 10 Cycles 실시한다.

비고	시험조건
고·저온 온도결정	<ul style="list-style-type: none"> 저온온도의 결정 : 최저사용조건에 따름 옥내용 : -5℃, -15℃, -25℃ 옥외용 : -10℃, -25℃, -40℃ 고온의 결정 : 절연종에 따라 결정 (Y : 90℃, A:105℃, E : 120℃, B:130℃, F :155℃, H : 180℃)
확인 시험	외관상 Crack 또는 Gap발생이 없을 것. IEC62271-203의 Routine test 실시

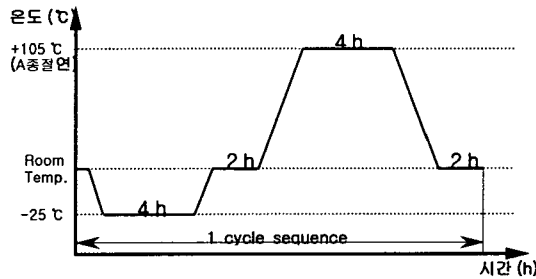


그림 4 온도사이클조건

- SF6 Gas 기밀(Tightness)시험

SF6 Gas 기밀시험은 밀폐형(Partition용)에 대해서 실시하며, Gas 기밀시험은 연간 누기량이 0.5%로 강화 되었으며, 요건은 다음과 같다.

비고	시험조건
시험방법	<ul style="list-style-type: none"> 시험압력 <ul style="list-style-type: none"> - Partition 부 : 설계압력인가 - 반대쪽 : 진공상태 - 압력인가시간 : 24시간
누기요건	● 0.5 % / 년

- 밀폐형(Partition용)스페이스 압력시험

GIS의 압력상승에 대비한 압력시험은 다음과 같다.

- Type test 압력 : ≥ 설계압력 x 3
- 압력상승속도 : 400kPa/ 분 이하로 파열까지 상승

- 절연시험 성능평가검토

절연시험에서는 주요 변경내용이 AC내전압시험, 부분방전시험이 성능요건이 강화되었으며, 특히 부분방전시험은 Prestress전압(Upre)이 정격전압에서 AC내전압으로 상향되면서 AC 및 PD시험을 동시에 진행하게 되었다. Pd Level도 10pC에서 5pC으로 강화되었으며, 주요 변경내용은 표 4와 같다.

정격 (Ur)	AC내전압(kV)		부분방전시험(kV)	
	변경 전	변경 후	변경 전	변경 후
170	350	변경없음	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 170 • Ut : 108 • ≤ 10 pC 	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 350 • Ut : 118 • ≤ 5 pC
362	450	520	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 362 • Ut : 230 • ≤ 10 pC 	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 520 • Ut : 250(대지간) • ≤ 5 pC
800	830	960	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 800 • Ut : 508 • ≤ 10 pC 	<ul style="list-style-type: none"> • Upre : 960 • Ut : 554(대지간) • ≤ 5 pC

* PD Test는 절연시험(U 및 SI) 후 실시한다.

구분	중성점 접지계통		비접지 계통	
	상분리형	3상 밀결형	상분리형	3상 밀결형
Pre stress 전압 범위 : 1U _d	U _{pre stress} = U _d	U _{pre stress} = U _d	U _{pre stress} = U _d	U _{pre stress} = U _d
PD 측정시간 > 12"	U _{pd test} = 1.2U _d /√3	U _{pd test} (상-상) : 1.2U _d /√3 U _{pd test} (상-지) : 1.2U _d	U _{pd test} = 1.2U _d	U _{pd test} (상-상) : 1.2U _d U _{pd test} (상-지) : 1.2U _d
비고	U _{pre stress} : prestress 전압 U _{pd test} : PD 측정전압 U _d : 상형수위전압 U _i : 전압변위			

표 4 절연시험 변경비교

3. 결론

한전170kV, 362kV, 800kV 초고압 GIS용 절연스페이스에 대해서 IEC60517을 기준으로 만들어진 한전 GIS용 절연스페이스에 대한 시험기준(안)에 따라 성능평가를 실시하였다. 특히 AC내전압 및 부분방전시험은 IEC 62271-203의 규격 개정에 맞추어 절연 성능에 대한 검토가 필요하다. 또한 IEC 62271-203의 신규검토결과 절연물에 대한 성능평가항목이 추가되므로써 절연물의 적용범위를 포함한 Partition 압력시험, 가스 기밀시험, 열적 온도사이클시험에 대한 성능평가가 적용되어야 할 것으로 생각된다.

[참고문헌]

- [1] "IEC 62271-203(2003), Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltage above 52kV
- [2] "IEC 60694(2002), Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear
- [3] "한국전력공사 가스절연개폐장치(GIS용) 절연스페이스 시험기준(안)"
- [4] IEEJ Technical report. Vol.2, No.163, 21-26(1984)

