

GIS용 절연스페이서 신뢰성평가기준 구축

이정기, 김민규, 김익수, 정주영
한국전기연구원 신뢰성평가센터 / jglee@keri.re.kr

Construction of Reliability Assessment Infrastructure for Spacers in GIS

J.G. Lee, M.K. Kim, I.S. Kim, J.Y. Jeong
Reliability Assessment Center, KERI / jglee@keri.re.kr

Abstract - In this paper, there have been brief review about the important consideration in laboratory planning and construction of the reliability assessment infrastructure including 400 kV, 120 kVA AC test system, which enable to evaluate the HV long-term overcharged withstand performance for spacers using in Gas Insulated Switchgears up to transmission class. Also it is described simply about its trial running of the whole test system and its assessment example. To inform the founded national code, RS C 0084, and the procedure for getting a reliability assessment certificate issued by the government, brief description of the code and summation of test results have been conducted.

1. 서 론

전기에너지의 안전한 사용과 국가기간 시설인 전력계통망의 신뢰성 확보 및 회로보호를 위해서는 계통의 이상상태 감지시 회로를 차단하여 후위에 대한 사고여파를 막아주는 차단기의 성능검증이 필수적으로 요구되고 있으며, 국제적으로 통용될 수 있는 연구시험 설비의 확충과 평가기술의 개발이 지속적으로 필요하다. 현재 송변전 계통에서 사용되는 고압차단기는 주로 SF₆ 가스를 절연매질로 하는 가스절연기폐장치(Gas Insulated Switchgear)의 형태로 설치되어 운용되는데, 이러한 GIS의 내부 가스구획과 도체 및 구조물의 절연, 지지에 사용되는 고체절연물인 스페이서의 성능평가와 수명보증은 전력공급의 신뢰성 향상을 위해 핵심적인 요소이므로 GIS용 스페이서에 대한 신뢰성평가기준 제정, 평가장비의 구축 및 평가절차의 규정 등의 필요성이 절실히 요청되고 있다.

본 논문에서는 산업자원부의 지원을 받아 한국전기연구원이 수행한 신뢰성향상사업의 일환으로써, 핵심 전력기기인 GIS에 사용되는 스페이서의 신뢰성평가를 위해 제정된 평가기준을 간략히 소개하고, 성능 및 수명평가를 위해 구축한 인프라의 구성, 정격 및 특성 등 제반사항과 실제 적용사례 및 향후 활용방안에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 신뢰성평가기준

2005년 11월 산업자원부에서 제정공고한 본 평가기준(RS C 0084)은 에폭시 재료를 사용하여 제작된 362 kV 이하의 GIS용 스페이서에 대하여 적용할 수 있다.

일반 성능평가를 위한 특성시험항목은 IEC 62271-100, 203, 310, KSC 2105 및 ES 150-580 등의 내용이 인용되었으며, 장기신뢰성보증을 위한 가속시험항목은 전기적 스트레스에 의한 가속수명시험에 적용하는 역승(Inverse Power) 모델을 제안하여 표 1과 같이 시료수 및 과전압배수에 따른 시험시간을 규정하였다. 표 2에 주요 평가 항목별 판정기준 및 개략적인 평가내용을 나타내었다.

<표 1> 시료수 및 과전압배수에 따른 가속수명시험시간

[단위 : 시간]

과전압배수 시료수	1.4	1.5	1.6
2	8,850	2,935	1,045
3	6,120	2,030	-
4	4,710	1,565	-
5	3,850	1,275	-

2.2 신뢰성평가장비

2.2.1 장비구성

스페이서 신뢰성평가장비는 다음과 같은 세부장치로 구성된다.

- 가속수명시험을 위한 과전압시험전원을 공급하는 교류전압발생장치
- 인공조성된 온도환경에서의 물리적 열변형을 확인하는 환경시험장치
- 절연성능평가를 위한 초고압 절연시험설비

- 재료물성분석장치 및 기타 전기적 특성시험장치

<표 2> GIS용 스페이서 신뢰성평가기준 주요내용 요약

평가항목	판정기준	평가내용(시험조건)
장기과전압 시험	파괴방전 불허	1) GIS내 SF ₆ 가스압 : 4.0 kPa/G 2) 시험전압 : 단상 60 Hz 157 kV 3) 시험기간 : 1,045 h (=44일) 4) 장기과전압시험 후 절연상태 확인시험
냉열시험	외관상 크랙·캡 발생 불허	1) 온도사이클 : -30 °C 4시간 유지 → 상온 2시간 유지 → 105 °C 4시간 유지 → 상온 2시간 유지 2) 반복횟수 : 10회 3) IEC 62271-203의 Routine test는 성능평가시험 항목 적용
X-선 검사	크랙, 기포 없을 것	X-선 촬영기로 수지내부 촬영
기밀시험	연간 환산누기량 0.5 % 이하	SF ₆ 가스압 5 kPa/G 24시간 이상 유지후 확인
상용주파 내전압시험	절연파괴 발생 없을 것	325 kV, 1분 (4 kPa/G)
부분방전시험	부분방전전하량 0.5 pC 이하	118 kV, 3분 (4 kPa/G)
뇌입펄스 내전압시험	설rik 발생 없을 것	± 750 kV, 각 15회 (4 kPa/G)
0기압 교류내 전압시험	절연파괴 없을 것	98 kV 1분 (0 kPa/G)
[동급] 신뢰수준 90 %에서 B ₁₀ 수명 25년 보증		
[동급 설명] 25년 사용후 제품 중 90 %가 이상 없음(신뢰수준 90 %)		

주) 170 kV GIS용 스페이서의 신뢰성평가시의 적용기준임.(시료수2, 배수1.6)

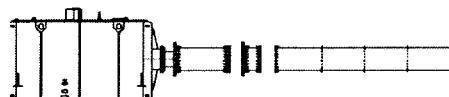
2.2.2 정격 및 주요 사양

송전 및 배전계통에서 사용되는 362 kV이하의 GIS용 스페이서에 대한 주요 신뢰성평가장비의 정격 및 사양은 표 3과 같다.

<표 3> 스페이서 신뢰성평가장비의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
장기과전압시험장치	400 kV 300 mA continuous (SF ₆ -to-oil bushing 매입, 절연플랜지형)
냉열시험장치	2.4×4×2.8 m, -50~150 °C, 30~90 %RH
교류내전압시험장치	1100 kV 2A continuous
뇌충격전압시험장치	4.2 MV 420 kJ
기계적강도시험장치	100 kg/mm ² , 3.5~20 kg/mm ² /분

이중 가속수명시험에 사용되는 장기과전압시험장치의 개념도를 그림 1에 나타내었는데, 시험용 전원을 공급하는 교류전압발생장치로써 단일형태의 Metal tank형 구조를 가지며, 고전압 출력전극으로 매입형 부싱을 사용한 플랜지형태(Spacer-terminated)로 설계, 제작하였다.



① : 스페이서 장기과전압시험장치(본체)

② : 평가장비-괴시험품(GIS 외함)간 연결용 단관

③ : 스페이서가 내장된 GIS(무고장 신뢰성보증시험)을 위해 다수의 시료개체 필요)

<그림 1> 시스템 개념도

2.2.3 평가기반 구축

IEC를 비롯한 국내외 관련규격을 충족시키고, 또한 세안된 가속모델로부터 시료수 및 과전압배수를 고려하여 도출한 수명평가기법의 적용이 가능하도록 충분한 용량의 시험능력을 확보한 평가장비를 구축하였다. 평가대상 스페이서의 형식, 크기 및 시험접합 등에 대한 검토 및 구성요소간의 절연현조 설계결과에 따라 평가장비와 부속물을 배치하였으며, 특히 장기과전압시험장치는 기계적으로 견고한 시험회로 구성이 가능하도록 GIS의함과의 연결용 단관을 제작하였다. 그림 2~3에 구축된 평가장비를 나타내었다.

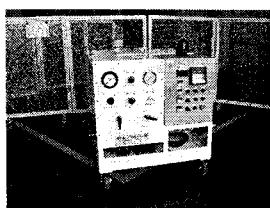
(1) 장기과전압시험장치(교류전압발생장치)

본 장치의 주요 정격 및 구성요소별 세부정격은 다음과 같다.

- 정격출력	: 400 kV, 300 mA
- 정격주파수	: 60 Hz
- 동작책무	: 연속동작
- 부분방전 전하량	: 2 pC 이하
- 분압기정격	: 400 kV
- Measurement uncertainty	$\leq \pm 1.5\%$
- Peak voltmeter resolution	≥ 12 Bit
- Measurement uncertainty	$\leq \pm 0.5\%$



<그림 2> 장기과전압시험장치



<그림 3> 기계적강도시험장치

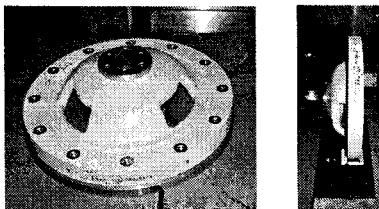
(2) 기계적강도시험장치(수압시험장치)

본 장치의 주요 정격 및 구성요소별 세부정격은 다음과 같다.

- 최대출력	: 100 kg/cm ²
- 동작책무	: 3시간 at 최대압력
- 고압펌프 구동압력	: 1~5 kg/cm ²
- 고압펌프 최대공급압력	: 7 kg/cm ²
- 광기압축비(구동압력: 출력)	: 1:15
- 동작책무	
· 단싸이클	: 가압-유지(3Hr at 최대압력)-감압
· 연속싸이클	: 3Hr On(가압/유지), 15 min Off(감압/휴지)
- 가압속도(상승율)	: 3.5~20 kg/cm ² /분

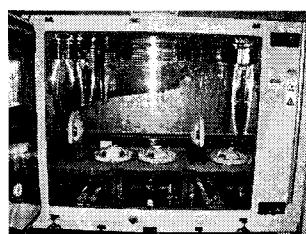
2.3 신뢰성평가기반 적용사례

그림 4는 170 kV GIS용 Hole type 스페이서로써 총 7개의 시료에 대해서 구축된 신뢰성평가기반 및 제작사의 일부 장비를 활용하여 2006년 5월부터 약 3개월간 신뢰성평가가 이루어졌으며, 특히 장기과전압시험은 시료수 2개, 과전압배수 1.6의 가속조건으로 수행되었다.

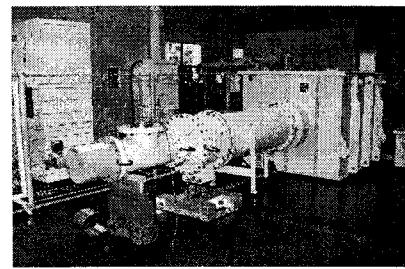


<그림 4> 신뢰성평가 적용사례(Hole type 스페이서)

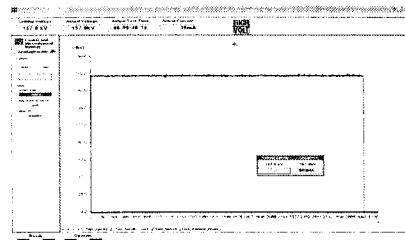
그림 5~7에 냉열시험, 장기과전압시험 및 교류내전압시험, 뇌충격전압시험을 비롯한 절연성능시험 등 GIS용 스페이서의 신뢰성평가기준에서 규정하고 있는 평가항목 중 주요 사항의 수행예를 나타내었다.



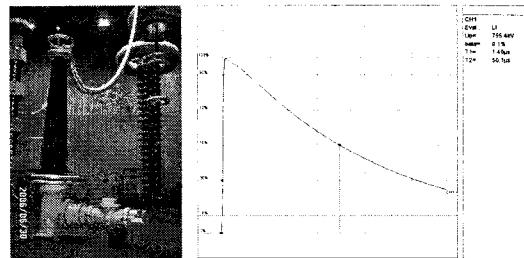
<그림 5> 냉열시험(시료배치: 수평 3, 수직 2)



(a) 시험회로 구성(시료 2)



(b) 시험결과(157 kV 1,045시간 인가시 절연파괴 미발생)
<그림 6> 장기과전압시험



(a) 시험회로 구성 (b) 뇌충격전압파형(+750kV)
<그림 7> 절연성능시험

본 사례에서는 각 항목별 평가결과가 모두 기준을 만족하였으므로, 해당 스페이서에 대해서 신뢰수준 90 %에서 B₁₀ 수명 25년을 보증할 수 있다.

3. 결 론

전기에너지의 안전하고 안정된 사용을 위해서는 송배전 전계통에 걸쳐 사고비중이 높고, 제품의 수명보증이 필요한 절연물, 특히 GIS용 스페이서에 대한 신뢰성평가 및 관련연구가 필수적으로 수행되어야 한다.

전기분야 국제공인 시험·인증기관이며 신뢰성평가기관인 한국전기연구원은 362 kV 이하 GIS에 사용되는 스페이서에 대한 성능평가 및 수명보증을 위하여 가속수명시험기법이 도입된 신뢰성평가기준을 제정하고, 시험장비 등 스페이서 신뢰성평가기반을 구축하였다.

향후 각종 전력기기의 성능평가 및 제품인증사업을 비롯해 신뢰성평가사업을 지속적으로 추진하여 신뢰성인증 활성화를 통한 국내 전기부품·소재산업의 신뢰성향상에 더욱 기여하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] RS C 0084 362 kV 이하 GIS용 절연스페이서
- [2] Nils H.C High voltage laboratory planning, Haefely, 1986
- [3] IEC 60694 Common specification for high-voltage switches and controlgear
- [4] IEC 62271-100 High Voltage alternating current circuit-breakers
- [5] IEC 62271-203 Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltage above 52 kV
- [6] IEC 62271-310 Electrical endurance testing for circuit-breakers rated 72.5 kV and above
- [7] KS C IEC 60243-1 절연재료의 절연내력 시험방법
- [8] KS C IEC 60455-1 전기 절연용 반응성 컴파운드 수지 - 제1부: 정의 및 일반 요구 사항
- [9] KS C IEC 60455-2 전기 절연용 반응성 컴파운드 수지 - 제2부: 시험방법
- [10] ES 150-580 한전 표준 구매 시방서 - 가스절연개폐장치