

전력기기 내오손특성 평가기반 구축

이정기, 김민규, 문인옥, 정주영, 김익수
한국전기연구원 신뢰성평가센터

Construction of the infrastructure for evaluating characteristic against contamination for power installation

J.G. Lee, M.K. Kim, I.W. Moon, J.Y. Jeong, I.S. Kim
Reliability Assessment Center, KERI

Abstract - In this paper, there have been brief review about the important consideration in laboratory planning and construction of the artificial pollution testing facilities including 300 kV, 1800 kVA AC test system, which enable to test and evaluate the UHV dielectric performance of power insulators up to transmission class. Also it is described simply about its trial running of the whole test system. To evaluate the performance characteristics against contamination for various power installation, especially for the insulators and kinds of bushings, brief investigation and an analysis of test objects and related international codes and standards have been conducted.

1. 서 론

초고압 전력기기에 대한 절연성능의 평가는 전기에너지의 안전한 사용과 국가기간 시설인 전력계통망의 신뢰성 확보를 위해 국내외 규격 및 규정에 의해 필수적으로 요구되고 있으며, 국제적으로 통용될 수 있는 연구시험설비의 확충, 신속 또는 성능개선이 지속적으로 필요하다. 특히, 송전 및 배전계통에서 염분 및 분진으로 인한 전력기기의 염진해 사고는 피해영역이 크고 복구에 많은 시간과 인력이 소요되므로, 내오손 성능평가의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 과학기술부 및 산업자원부의 지원을 받아 한국전기연구원이 수행한 인프라구축사업에 대한 간략한 소개와 인공적으로 조성된 오염 환경하에서 송전급 현수예자 등에 대한 내오손특성 평가를 위해 최근 완성한 인공오손시험설비의 구성, 정격 및 특성 등 제반사항과 향후 활용방안에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 시험평가 인프라구축사업의 개요

2.1.1 배경 및 필요성

전기시험평가분야의 핵심 국제규격인 IEC는 전력계통의 대형화와 전력기기의 초고압화, 대용량화 추세에 대응하기 위해 해당규격의 제·개정작업을 진행하고 있으므로, 공인시험·인증기관 역시 개정된 규격에 부합하도록 성능평가설비의 확충을 지속적으로 추진하여야 한다. 또한 한국전기연구원이 보유하고 있는 주요 전력기기 연구시험설비는 1981년에 구축이 완료된 것으로써 전력전자, 디지털정보, Mechatronics, 신소재 및 초전도 전력응용기술 등 약 20여년 전에는 존재하지 않았던 신기술을 적용한 새로운 중전기기의 성능을 평가할 수 있는 연구시험설비의 확충이 그동안 수반되지 못하였기 때문에 설비의 성능개선에 대한 수요가 누적되어 있는 실정이다. 따라서 관련규격에 적합하도록 보다 가혹한 조건하에서 신기술을 응용한 전력기기의 성능을 평가할 수 있는 연구시험설비의 확보 및 성능개선이 필요하다.

2.1.2 주요 사업내용

시험평가 인프라구축사업(중전기기 기반구축사업)의 목표는 대전력(550kV, 63kA), 고전압(800kV) 전력기기에 대하여 관련 국제규격(IEC, ANSI, STL 등)에 부합한 성능평가가 가능하도록 연구시험설비를 구축하여 국제적인 공인시험·인증기관의 지위를 확보·유지하고, 이를 활용하여 국내 중전기기 생산업체의 기술개발 지원 등 관련 업계의 세계시장 확보를 위한 기반을 마련하는 것으로써, 본 사업에서 구축을 추진한 고전압분야의 주요 설비는 다음과 같다.

- 고전압·대전력 검교정설비 : Standard Capacitor의 15종
- 피뢰기 연구시험설비 : Impulse Current Generator(ICG)의 3종
- 케이블 연구시험설비 : 600kV 수단말시험장비의 7종
- 고전압 특성시험설비 : 50Hz M-G Set의 1종
- 초고압 절연시험설비 : 4.2MV Impulse Voltage Generator(IVG)의 3종

이중 초고압 절연시험설비는 IVG외에 800kV급 주수시험설비, 송전급 인공오손 시험설비 및 800kV급 차단기·단로기의 극간 절연성능 평가를 위한 1700kV 연계형 교류전압발생장치로 구성되어 있으며, 기존 보유중인 설비와의 연계활용을 통한 성능개선의 최적화 연구를 수행하여 경제성과 효율성을 극대화 하였다.

2.2 내오손특성 평가기반 설계

2.2.1 관련규격 검토

154 kV 현수예자(Full set) 및 345 kV 송전급 예자면에 대한 인공오손시험을 주목표로 설정하고, 시험전원, 설비정격, 절연내력 및 시험공간의 확보, 설비별 절연협조 등을 검토하였다. IEC 60507 등에서 규정하고 있는 내오손 성능평가 방법은 규정된 주위조건에 사용하려고 하는 예자가 적절한 것인가를 평가하기 위한 염수분무에 의한 시험법(Salt fog method)과 예자의 표면에 전체적으로 균일하게 고체형태로의 오손이 형성되는가를 평가하기 위한 오손선행시험법(또는 예비부착오염법, Solid layer method)으로 대별된다. 각각의 평가방법에 따라서 시험용 전원장치외에 염수분무를 위한 Salt fog nozzle set 또는 Steam fog nozzle set이 필요하다.

2.2.2 설비구성

인공오손시험설비는 다음과 같은 세부설비로 구성된다.

- 오손분위기 조성, 모의 및 시험회로 구성을 위한 Test cell 등의 공간
- 시험용 전원을 공급하는 교류내전압시험설비
- 시험설비의 운전 및 측정데이터의 수집, 기록을 위한 측정제어설비
- 시험전원 수용용 Wall bushing
- 염무 및 증기무의 발생, 공급을 위한 보일러, 노즐 및 기타 배관설비

2.2.3 인공오손시험설비의 정격 및 주요 사양

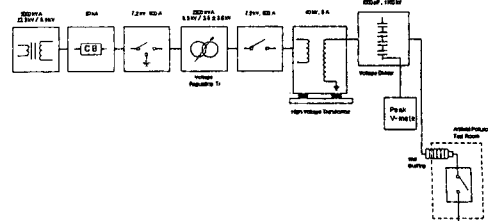
송전 및 배전계통에서 사용되는 현수예자, 폴리머예자 및 폴리머절연 개폐기/차단기 등 각종 전력기기에 대한 내오손특성 평가를 위한 송전급 인공오손시험설비의 정격 및 주요 사양은 표 1과 같다.

<표 1> 인공오손시험설비의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
설비구성	시험실, 시험용 전원공급설비, Wall bushing, 염무/증기무 발생장치, 보일러 및 배관설비
시험실 규모	15 m × 13 m × 12 m(h)
시험용 전원공급장치	300kV 6A 1800kVA (Duty cycle : 1hr On/Off, 8times/day)
Wall bushing	362kV급, 1000A
염무 발생장치	2 set(노즐수 : 총 18개)
증기무 발생장치	1 set(노즐수 : 150개)
보일러, 배관설비	100kg/hour, 5kg/cm ² , 0.4kW

(1) 시험용 전원공급장치(교류전압발생장치)

인공오손시험에 사용되는 시험전원은 전압원으로 상대기간 계통최고전압을 사용하며, 전류원으로 최소 단락전류(6A 이상) 및 R/X비(resistance/reactance ratio) ≥ 0.1, I_c/I_{sc}비(capacitive current/short-circuit current ratio : 0.001 ~ 0.1) 등 전원의 특성을 관련규격에서 특정하고 있다. 따라서, 345kV 송전급 예자에 대한 소요 시험전압을 공급하기 위해 최대 300kV급 시험전원장치가 필요하며, 누설전류에 대한 정특성이 확보된 전류원을 공급하기 위해서 권선형 변압기로써 최대 6A의 정격출력을 갖도록 사양을 설계하였다. 특히, 본 시험용 전원장치는 상용주파 교류내전압시험(건조, 주수), 부분방전시험 등 초고압 절연시험에 활용될 수 있으므로, 개정된 관련 규격에 따른 시험소요의 증폭과 향후 차단기 등에 대한 탈조시험시 기존 보유설비와 병용할 수 있도록 전기적, 기계적 사양을 설계하였고, 다목적 사용을 위해 이동의 안전성 및 용이성 확보를 고려하였다.

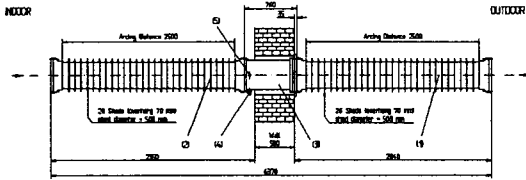


<그림 1> 오손시험용 전원공급장치의 기본 회로도

(2) 시험전원 수송장치

오손시험을 위해 인공적으로 조성된 오손분위로부터 시험설비를 보호하고, 시험공간 및 설비의 활용성을 높이기 위해서 오손에 노출되는 시험장과 시험설비실이 분리되도록 설계하였으므로, 발생된 오손시험전류 및 시험전압을 전기·기계적으로 안전하게 수송하여 피시험품에 인가시키는 설비로써 고전압 Wall bushing을 사용하였다. Outdoor측은 염수분무 및 습윤상태 등 오손환경 분위기에 노출되어 있음을 고려하여 내염형 폴리머 재질을 선정하였으며, 그림 2에 나타난 것처럼 시험실간 분리벽면에 수직으로 설치·고정되므로 오손시험시 발생하는 고전압 및 시험전류로 인한 전기적, 기계적 충격을 견딜 수 있도록 충분한 내력이 요구된다.

- BIL(Lightning Impulse) : 1175 kV
- SIL(Switching Impulse) : 950 kV
- 정격전압 : 362 kV
- 정격전류 : 1000 A
- Creepage distance(outdoor) ≥ 11180 mm
- Arcing distance ≥ 3088 mm
- SF₆ 가스압력 ≤ 5.0 kg/cm² abs.



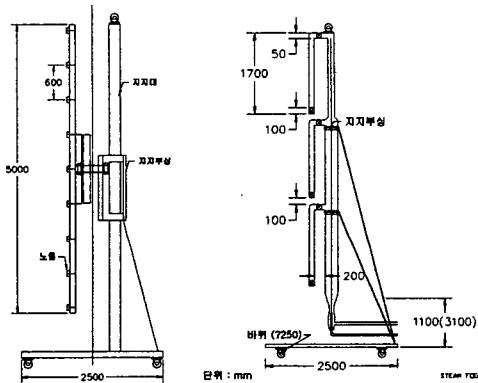
〈그림 2〉 시험전원 수송장치(Wall bushing)

(3) 염무 및 증기무 발생장치

관련 국제규격에 부합한 인공오손시험을 수행하기 위해서는 규격에 정의된 바와 같이 염무 및 증기무를 발생시켜 피시험품에 균일하게 공급하는 설비가 필요하다. 이러한 설비로는 그림 3과 같이 시험용 노즐 및 배관설비로써 염수분무법으로의 시험을 위해 염무를 분무하는 노즐부분과 노즐을 지지하는 Salt fog nozzle set 및 오손선행법으로의 시험을 위해 증기를 분무하는 노즐파이프와 증기를 노즐파이프에 배분하는 공급파이프 및 이를 지지하는 이동식 가대로 구성된 Steam fog nozzle set가 각각 필요하다. 또한, 급수장치와 보일러, 펌프, 정수를 위한 필터 및 공기압축기 등 기타 배관설비를 구성·배치하여 2가지 노즐설비에 각각 0.5ℓ/분 및 100kg/hour (5kg/cm²)의 염무와 증기를 공급할 수 있도록 사양을 설계하였다.

〈표 2〉 염무 및 증기무 발생장치의 구성

Salt fog nozzle set	Steam fog nozzle set
- Salt fog nozzle : 2 set	- Steam fog nozzle : 1 set
- 노즐수 : 총 18개 (9개/set)	- 노즐 파이프 : 3개
- 염수 파이프 : 1식	- 노즐수 : 총 150개 (50개/pipe)
- 공기압 파이프 : 1식	- 연결 파이프(Intermediate pipe) : 1개
- 염수공급용 펌프 : 1대	- 스팀 파이프(Steam pipe) : 1식
- 염수탱크 : 2개(2 ton, 3 ton)	- 공기압 파이프 : 1식



(a) Salt fog nozzle (b) Steam fog nozzle
〈그림 3〉 오손시험용 분사노즐의 설계도

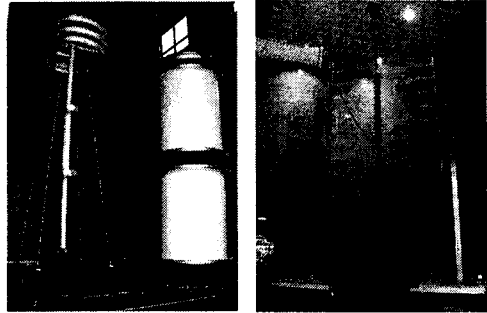
2.3 내오손특성 평가기반 구축 및 활용

2.3.1 설비구축

평가대상 기기의 정격, 크기 및 시험전압, 설비배치 등에 대한 절연협조 설계결과 인공오손시험장의 크기는 송전급 애자련에 대한 인공오손시험이 가능하도록 15m × 13m × 12m(h)로 결정하여 건설하였으며, 시험용 전원장치는 실린더형의 2모듈로 구성하여 직병렬 회로결선에 따라 출력전압 및 전류를 조정할 수 있도록 제작하였다. 그림 4-6 및 표 3에 구축된 주요 설비와 정격사항을 나타내었다.



〈그림 4〉 인공오손시험동



〈그림 5〉 시험용 전원공급장치

〈그림 6〉 염무 발생장치

〈표 3〉 시험용 전원공급장치의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
정격출력	600 kV, 3 A (300kV, 6A)
정격주파수	60 Hz
부분방전전하량	Max. 2 pC @ 600kV
%임피던스	5.41
R/X ratio	0.123
Ic/Isc ratio	0.00201

2.3.2 설비활용

구축된 송전급 인공오손시험설비를 비롯하여 서론에서 언급한 시험평가 인프라구축사업을 통해 확보 또는 성능이 개선된 전력기기 연구시험설비들은 다음과 같은 용도로 활용되어 국산제품의 품질 및 신뢰성향상에 크게 기여할 것으로 예상된다. 표 4에는 전력기기에 대한 고전압 성능평가분야의 국내 연구기관과 선진외국간의 인프라 현황분석결과를 나타내었다.

산·학·연 공동연구시험설비로 활용

국가연구개발과제의 성능평가설비로 활용

국제적 공인시험검사인증기관 자격획득 및 유지를 위한 설비로 활용

해외시험 유치 및 수출촉진에 활용

관련 국제기구 및 단체 가입 및 활동강화에 활용

〈표 4〉 선진외국과의 중전기 연구기반 비교

구 분 (시험설비)	한 국(KERI)		네덜란드	이탈리아
	사업전	사업후		
충격전압	2.2MV	4.2MV	3.0MV	6.0MV
인공오손	50kV, 8×8×8.5m	300kV, 15×13×12m	-	1,000kV, 24×24×30m
교류전압	2×550kV	1,700kV	2×1,000kV	3×800kV
피뢰기	100kA	200kA	200kA	200kA
케이블	22.9kV 일부	22.9kV 전항목	400kV	400kV

3. 결 론

전기에너지의 발생과 수송 및 안정된 사용을 위해서는 송배전 전체통에 걸쳐 사고비중이 높고, 즉각적인 피해복구가 어려운 염진해 사고에 대한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다. 전기분야 국제공인 시험·인증기관인 한국전기연구원원 전력기기 내오손특성 평가설비를 비롯한 연구시험설비의 지속적인 개선과 시험기술의 향상을 추진하여 향후 국내외의 관련분야 연구시험활동에 더욱 기여하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 60507(1991) : Artificial Pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems
- [2] IEC 60815(1986) : Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions
- [3] Nils H.C, High voltage laboratory planning, Haefely, 1986
- [4] 전력설비의 염진해대책에 관한 연구 I, II, III(1988), 한국전기연구소