

초고압 중전기기 절연시험설비 성능개선 연구

이정기, 김민규, 정주영, 김익수, 김맹현
한국전기연구원 신뢰성평가센터

A study on the performance improving of the dielectric test facilities for UHV heavy electric apparatus

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

Abstract - In this paper, there have been brief review about the important consideration in laboratory planning and designing the dielectric testing facilities for heavy electric apparatus up to 800kV-class in the high voltage testing fields. To improve and reinforce the existing dielectric test facilities in the way of economical and optimal condition, wide investigation and an analysis for a solution, especially overshoot compensation method, have been suggested. With the brief description about those matters in constructing and improving the test facilities, the specification of each facility has been shown in the paper.

1. 서 론

초고압 중전기기에 대한 절연성능의 평가는 전기에너지의 안전한 사용과 국가기간 시설인 전력계통망의 신뢰성 확보를 위해 국내의 규격 및 규정에 의해 필수적으로 요구되고 있으나, 국내에는 당해분야의 연구시험기반이 부족하기 때문에 국제적으로 인정받을 수 있는 연구시험설비의 확충, 신축 및 성능개선이 반드시 필요하다. 이에 한국전기연구원에서는 과학기술부 및 산업자원부가 지원하는 “중전기기 기반 구축사업”을 통해 2000년 6월부터 5개년에 걸쳐 약 300억원의 예산을 투입하여 고전압·대용량 중전기기에 대한 국제공인 성능평가를 할 수 있는 고전압 및 대전력 연구시험설비의 구축과 성능개선을 추진하였다.

본 논문에서는 한국전기연구원에서 수행한 인프라구축사업의 내용중에서 최근 완성된 피뢰기 및 케이블 연구시험설비 등 고전압분야 연구시험설비에 대하여 소개하고, 특히 전력기기의 절연성능평가에 사용되는 800kV급 초고압 절연시험설비의 구성, 성능개선 목표, 추진내용, 구축설비 현황 및 기대효과 등에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 시험평가 인프라구축사업의 개요

2.1.1 배경 및 필요성

전기에너지의 수요증가에 따라 전력계통의 대형화가 불가피하므로 계통을 구성하는 초고압·대용량 중전기기의 수요 역시 앞으로 계속 증가될 것이며, 전력기기의 초고압화, 대용량화가 가속될 것이다. 전기시험평가분야의 핵심 국제규격인 IEC는 이러한 계통의 특성변화와 기술동향에 대응하기 위해 관련규격의 제·개정작업을 지속하고 있으며, 특히 초고압 차단기의 규격인 IEC 60056 및 60427은 1987년부터 개정작업을 시작하여 보다 실제적 현상이 가까운 가혹한 시험방법으로 2001년에 확정되어 현재에 이르고 있으므로, 개정된 규격에 부합하도록 성능평가설비

의 확충이 시급한 실정이다.

또한 한국전기연구원이 보유하고 있는 주요 중전기기 연구시험설비는 1981년에 구축이 완료된 것으로서 전력전자, 디지털정보, Mechatronics, 신소재 및 초전도 전력용 용기술 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 중전기기의 성능을 평가할 수 있는 연구시험설비의 확보 및 성능개선이 필요하다.

2.1.2 목표 및 주요내용

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

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

이중 초고압 절연시험설비는 기존 보유중인 설비와의 연계활용을 통한 성능개선의 최적화 연구를 수행하여 경제성과 효율성을 극대화 하였다.

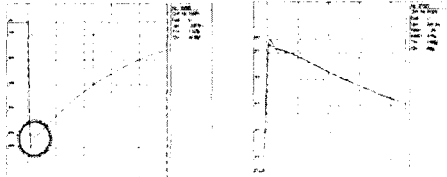
2.2 초고압 절연시험설비의 성능개선

2.2.1 4.2MV IVG

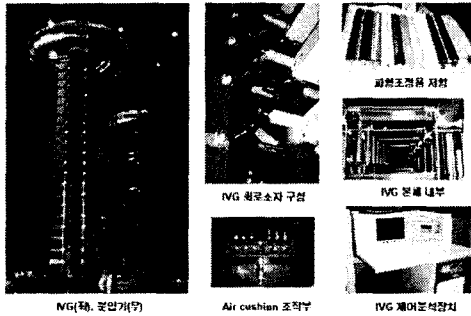
중전기기의 초고압 절연시험을 위해 신규 구축된 충격전압시험설비(IVG)의 정격 및 주요 사양을 표 1에 나타내었다. 관련 규격에 부합하여 초고압 뇌임펄스전압, 개폐임펄스전압시험 및 급준파충격전압시험이 가능하도록 다양한 부하에 대한 시험전압발생, 파형의 조합, 충전에너지, 시험데이터의 수집·기록, 적정 측정불확도의 확보, IVG의 stage 및 구조, 고전압전극의 형상, 외형크기 및 절연협조 등에 대해 연구하여 설계에 반영하였으며, 제작후 800kV GIS 등에 대한 실규모시험을 수행하여 뇌임펄스전압파형의 개선방안을 적용하였다. 그림 1에 진상부하에 대한 Overshoot를 저감한 파형개선 사례 및 IVG 주요 구성요소를 나타내었다.

표 1. IVG의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
total charging voltage	4.2MV
max. output voltages (with loads)	3800kV(LI for insulator) 2200kV(SI) 2500kV/ μ s(SFI)
total energy	420kJ
max. full charging time	40sec
dimension	4.5m(W) \times 4.5m(L) \times 16.5m(H)



(a) LI 파형개선 사례(좌: 개선전, 우: 개선후)



(b) 주요 구성요소

그림 1. Impulse Voltage Generator

2.2.2 HV 주수시험설비

본 설비는 애자류 및 붓싱 등에 대한 주수시험을 통해 실사용조건하에서의 중전기기의 절연특성을 평가하기 위한 것으로써 관련 국제규격에 따라 800kV급 시험평가설비를 확보하기 위한 최적의 방안으로 당원에서 보유하

표 2. HV 주수시험설비의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
규모(중실완료후)	8m \times 20m(h), 노즐수 4,300개
주수시험 면적	8m \times (8 ~ 12) m
주수시험 높이	GL 8 ~ 16 m
주수량 조정범위	1.0 ~ 5.0 mm/min

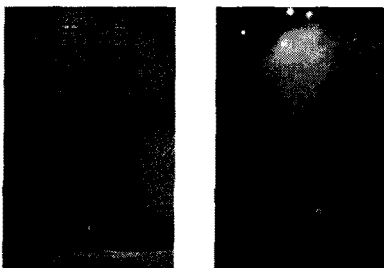


그림 2. HV 주수시험설비

고 있는 기존의 362kV급 시험설비와 연계·증설하여 실험

비를 구축하였다. 설비의 정격 및 주요 사양과 시험사진을 표 2와 그림 2에 각각 나타내었다.

2.2.3 송전급 인공오손시험설비

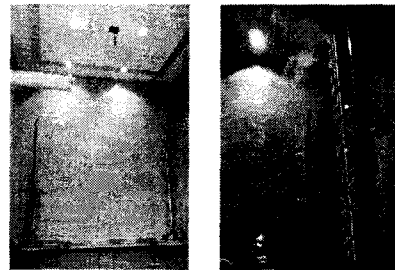
송전 및 배전계통에서 사용되는 현수애자, 폴리머애자 및 스위치 등 각종 중전기에 있어서 염분 및 분진에 의한 염진해 사고가 점차 증가하고 있는 실정이므로, 이들에 대한 내오손특성을 평가하여 안정적으로 전력공급망을 운영하고자 인공적으로 오염환경을 조성하고 특정 오염조건하에서 외부 절연특성을 평가하는 송전급 인공오손시험설비를 다음과 같이 구축하였다.

표 3. 인공오손시험설비의 정격 및 주요 사양

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



(a) 인공오손시험동



(b) Wall bushing 및 염무/중기무 발생장치

그림 3. 인공오손시험설비

2.2.4 600kV 교류전압시험설비

초고압 중전기기의 상용주파 교류내전압시험(건조, 주수), 부분방전시험 및 내오손특성 평가시험 등 절연시험에 사용되는 핵심시험설비로서 개정된 관련 규격에 따른 시험소요의 충족과 향후 차단기 등에 대한 탈조시험기존 보유중인 1100kV급 설비와 병용할 수 있도록 전기적, 기계적 사양을 설계하였고, 다목적 사용을 위해 이종의 안전성 및 용이성 확보를 고려하였다. 특히, 본 설비는 인공오손시험용 전압원으로 사용되는데 이때 상대 지간 계통최고전압을 사용하며, 전류원으로 최소 단락전류(6A 이상) 및 I_c/I_{sc} 비(충전전류 단락전류비:0.001 ~ 0.1) 등 특별한 전원의 특성이 요구된다.

따라서, 345kV 송전급 애자에 대한 인공오손 소요 시험전압과 누설전류에 대한 정특성이 확보된 전류원의 공

급을 위해 300kV, 6A의 정격출력을 갖고, 기존 보유 설비와 함께 탈조회로를 구성하여 800kV급 차단기의 극간시험에 소요되는 시험전압의 발생이 가능하도록 2차측 결선변환이 가능한 사양으로 설계·제작하였다.

표 4. 교류전압시험설비의 정격 및 주요 사양

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

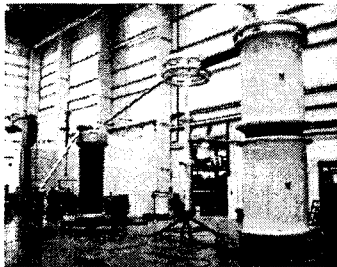
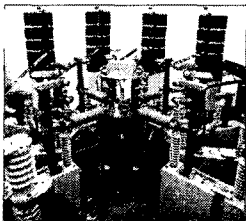


그림 4. 600kV 교류전압시험설비

2.3 기타 고전압 연구시험설비의 구축

2.3.1 피뢰기 연구시험설비

765kV급까지의 피뢰기 소자 및 36kV급까지의 피뢰기에 대해 IEC 60099-4(1998)에 적합한 성능평가가 가능한 ICG 및 ICVG 등과 함께 200kA까지의 충격전류를 정밀하게 측정분석할 수 있는 설비를 구축하였다.



(a) ICG

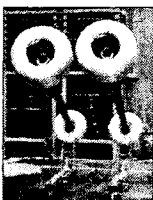


(b) ICVG

그림 5. 피뢰기 연구시험설비

2.3.2 케이블 연구시험설비

전력용 케이블의 전기적 특성평가를 위해 부분방전전하량 1pC이하의 시험장 확보, 전력용 케이블의 교류파괴전압특성 및 내전압특성분석용 600kV 단말장치 및 디지털방식 부분방전시험설비를 구축하였다.



(a) HV 단말장치시험장비



(b) 부분방전시험장비

2.4 성능개선 효과

시험평가 인프라구축사업을 통해 새로이 확보되는 고전압 성능평가분야의 국내 연구기반과 선진외국간의 인프라 분석결과를 표 5에 나타내었다. 본 설비들은 국산 제품의 품질 및 가격경쟁력 향상지원에 기여할 것이며, 다음과 같이 활용될 예정이다.

- 산·학·연 공동연구시험설비로 활용
- 국가연구개발과제의 성능평가설비로 활용
- 국제적 공인시험·검사·인증기관으로 인정받기 위한 설비로 활용
- 해외시험 유치 및 수출촉진에 활용
- 국제기구의 가입 및 활동강화에 활용

표 5. 선진외국과의 중전기 연구기반 비교

구 분	한 국 (KERI)		네덜란드	이탈리아	일 본
	개선전	개선후			
충격전압 시험설비	2.2MV	4.2MV	3.0MV	6.0MV	10.0MV
인공오손 시험설비	50kV, 8×8×8.5 (h)m	300kV, 15×13×12 (h)m	-	1,000kV, 24×24×30 (h)m	800kV, 20×17×24 (h)m
교류전압 시험설비	2×550kV	1,700kV	2×1,000kV	3×800kV	2,300kV
피뢰기 시험설비	100kA	200kA	200kA	200kA	200kA
케이블 시험설비	22.9kV 일부	22.9kV 전항목	400kV	400kV	400kV

3. 결 론

중전기에 대한 초고압 절연시험설비의 성능개선작업의 일환으로 추진된 충격전압시험설비, 주수시험설비, 인공오손시험설비 및 교류전압시험설비와 기타 고전압분야 연구시험설비의 구축에 따라 전기에너지의 발생과 수송 및 안전한 사용을 가능하게 하는 GIS, Tr, 케이블, 애자 급구장치 등의 전기적 안전성과 신뢰성에 대한 성능평가에 크게 활용되고 있다. 한국전기연구원은 공인시험인증기관으로서 평가설비의 지속적인 개선과 시험기술의 향상을 추진하여 향후 국내외의 관련분야 연구시험활동에 더욱 기여하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이정기외, “뇌임펄스전압파형의 개선에 관한 실험적 고찰”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권 pp.1854~1856, 2004.7
- [2] 이정기외, “고전압분야 연구시험설비 구축현황 및 계획”, 대한전기학회 송배전설비연구회 논문집, pp.30~36, 2003.5
- [3] IEC 60507(1991) : Artificial Pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems
- [4] IEC 60815(1986) : Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions
- [5] Nils H.C, High voltage laboratory planning, Haefely, 1986
- [6] A study on the countermeasures against natural contamination of the power apparatus I,II,III(1988), Korea Electrotechnology Research Institute
- [7] KSC 3801(1999) : Test method for an insulator
- [8] IEC 60076-3(2000) : Power transformers, Part 3 : Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- [9] ANSI/IEEE C.57.12.90(1996) : Standard test code for liquid immersed distribution, power, and regulating transformers