

**전력기기 내환경특성평가를 위한 복합가속열화시스템 제작**

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

**The Combined Testing System for Simulating Condition of Acceleratedly Deteriorated Environment**

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

**Abstract** - It has been studied about the important consideration in designing and construction of the reliability assessment facilities including the combined testing system for simulating condition of acceleratedly deteriorated environment, which enable to test and evaluate the large-sized HV power apparatus without any disassembly up to transmission class in this paper. Also it is described simply about its ratings and main technical specifications and trial running of the system. To evaluate the performance characteristics against combined test condition for various power installation, especially for the polymer type insulators and kinds of bushings, brief investigation and an analysis of test objects and related international codes and standards have been conducted.

기반마련이 그 목적이다. 현재까지 폴리머애자 등 총 16개의 제품품목에 대하여 평가기준 제정과 평가기술이 개발되었으며, 본 사업으로 구축된 주요 신뢰성평가장비는 다음과 같다.

- 피뢰기 및 전력케이블 : 특성시험설비의 12종
- 건식변압기 및 변성기 : PD 측정시스템의 3종
- 고속전동기 및 2차전지 : 화재인버터 및 폭발시험기의 11종
- 진공차단기 및 개폐기 : 교류전압발생장치외의 3종
- 스페이서, MCCB, 폴리머애자 등 기타 : 복합가속열화시스템외의 17종

이중 전력기기의 내환경특성평가를 위한 환경시험장비는 건식변압기용 고온충격열화시험기, 냉열충격시험장치 및 개폐기용 환경시험장치 등으로 구성되어 있으며, 신규 설계·제작된 복합가속열화시스템은 기존 보유중인 장비와의 연계활용을 통한 성능개선의 최적화 연구를 수행하여 경제성과 효율성을 극대화 하였다.

**1. 서 론**

전기에너지의 안전한 사용과 산업사회의 기간시설인 전력계통망의 신뢰성 확보를 위해서 국내외의 규격 및 규정에 의해 전력기기에 대한 절연성능 평가가 필수적으로 요구되고 있으며, 특히 다양한 사용환경조건하에서 전력기기 성능검증과 가속조건에서의 특성분석 및 수명평가 등에 대한 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 이를 위해 한국전기연구원에서는 전력기기의 내환경특성평가와 함께 수명예측 및 고장분석을 위한 신뢰성평가사업을 지속적으로 추진하고 있으며, 전기분야 부품소재의 신뢰성향상을 위한 기반구축사업의 일환으로 가속인자의 복합적용이 가능한 대형 항온항습조를 비롯하여 냉열충격 및 내후성평가 등이 가능한 환경시험설비를 구축하였다.

본 논문에서는 산업자원부의 지원을 받아 한국전기연구원인 수행한 인프라구축사업에 대한 간략한 소개와 함께 인공적으로 조성된 사용환경하에서 현수애자 및 고압절연물 등에 대한 내환경특성 평가를 위해 최근 완성한 복합가속열화시스템의 구성, 정격 및 특성 등 제반사항과 향후 활용방안에 대해 기술하였다.

**2. 본 론**

**2.1 신뢰성 기반구축사업의 개요**

**2.1.1 배경 및 필요성**

주어진 사용환경조건에서 전력기기의 성능평가와 함께 기기 사용중의 고장발생이나 내구성 등에 대한 평가를 실시하여 이를 입증하는 신뢰성평가기술은 대표적인 선진국형 기술이며, 국산 부품·소재의 시장확산과 수출경쟁력 확보를 위해서는 반드시 갖추어야 할 핵심기술이다. 또한, 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. 따라서 전력수요의 증가와 첨단 IT기술이 접목된 신전력기기의 출현 등 급속히 변화하는 산업환경의 변화에 대처하고, 그동안 기술축적이 미흡하여 수요자의 신뢰를 얻지 못했던 신뢰성평가기술의 향상을 위해 관련규격에 적합한 성능 및 신뢰성평가가 가능하도록 보다 가혹한 조건하에서 복합적인 가속인자의 적용이 가능한 연구시험설비의 확보 및 성능개선이 필요하다.

**2.1.2 주요 사업내용**

전기분야 신뢰성 기반구축사업(신뢰성향상사업)은 국산 전력기기의 신뢰성을 선진국 수준으로 제고시키는 것을 목표로 하여 관련 국제규격(IEC, ANSI, STL 등)에 부합한 성능평가가 가능한 일반 시험분석장비의 구축을 비롯, 가속시험 및 초가속시험장비 등 수명평가와 고장분석을 위한 연구시험설비를 구축하여 국제적인 공인시험·인증기관의 지위를 확보·유지하고, 이를 활용하여 국내 전력기기 생산업체의 기술개발 지원 등 관련 업계의 세계시장 확보를 위한

**<표 1> 환경시험장비 보유현황**

장 비 명	사 양 (내부크기, 온도범위 및 전원용량)
개폐기 환경시험장치	2.5×1.5×1.5 m, -60 ~ 150 °c, 30 ~ 90 %
복합열화 시험장치	4.1×2.4×2.5 m, -50 ~ 100 °c, 25 ~ 95 %
고온충격 열화시험기	0.9×1.8×1.8 m, Max 300 °c(항온조)
냉열충격 시험장치	2.4×4×2.8 m, -50 ~ 150 °c, 30 ~ 90 %
전력변환용 항온항습 챔버	2.7×3×2.5 m, -30 ~ 75°c, 20 ~ 98 %
MCCB 가속열화시험기	1.8×0.8×1.0 m, -10 ~ 120℃, 30 ~ 95 %
Power fuse 챔버	1.2×1.5×1.5 m, -20 ~ 150°c, 20 ~ 98 %



**<그림 1> 환경시험장비 가동(냉열충격시험장치)**

**2.2 시스템 설계 및 제작**

**2.2.1 관련규격 검토**

온·습도, 주수, 염무 분위기 조성 및 자외선조사, 배전급 시험전원의 인가 등 다양한 열화인자의 복합모의조성을 바탕으로 대형 전력기기에 대한 내환경, 내후성시험이 가능한 복합가속열화시스템의 설계를 위해 관련규격을 검토하였다. 특히, 염무, 자외선조사 및 시험전원의 인가에 대해서는 절연내력 및 시험공간의 확보, 절리별 절연협조 등을 분석하였다. 애자에 대해 IEC 60507 등에서 규정하고 있는 내오손 성능평가 방법은 규정된 주위조건에 사용하려고 하는 애자가 적절한 것인가를 평가하기 위한 염수분무에 의한 시험법(Salt fog method)과 애자의 표면에 전체적으로 균일하게 고체형태의 오손이 형성되는가를 평가하기 위한 오손선행시험법(또는 예비부착오염법, Solid layer method)으로 대별된다. 본 논문에서는 항온항습조에 염수분무를 위한 Salt fog nozzle을 적용하였으며, 자외선조사량은 IEC 61109를 인용하였다.

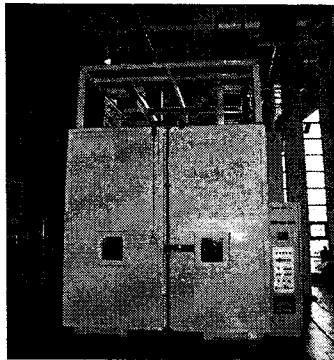
### 2.2.2 시스템 구성 및 주요 사양

신규 구축하고자 하는 환경시험장비는 GIS를 비롯한 송전급 전력 기기가 챔버안으로 반입이 가능할 정도의 대형 복합가속열화시스템 과 전력기기 내부에서 도체간 또는 도체-외함간 절연 등에 사용되는 고압절연물의 특성평가 및 고장분석을 위해 급속한 열충격시험이 가능한 별도의 냉열충격열화시험장치로 구성된다.

#### (1) 복합가속열화시스템

본 시스템의 주요 정격 및 구성요소별 세부사양은 다음과 같으며, 설계사양에 따라 제작된 시스템의 실물을 그림 2에 나타내었다.

- 온도제어범위 : -50 ~ 120℃
- 습도제어범위 : 25 ~ 98%RH
- 최대시험전압 : 50 kV, 150 kVA, 연속정격
- 주수량 : 노즐당 4 mm/분
- 염무분사량 : 노즐당 40 cc/분
- 자외선조사량 : 최대 900 W/m<sup>2</sup>
- 내부 크기 : 2.4m×5m×3m(H)
- 외부 크기 : 2.7m×5.9m×3.8m(H)
- 온도 setting resolution : 0.1℃ 이하
- 습도 setting resolution : 1%RH 이하
- 상온에서 120℃까지 가열속도 : 60분 이내
- 상온에서 -50℃까지 냉각속도 : 60분 이내
- 주수노즐의 크기 및 형태 : IEEE Std 4-1995
- 염무노즐의 크기 및 형태 : IEC 60507
- 뿌려지는 Salt fog의 직경 : 5~10 μm
- UV 램프 형태 : UV B-type, 280~315nm
- UV 기준조사량 : IEC 61109



〈그림 2〉 제작된 복합가속열화시스템(2.4m×5m×3m(h))

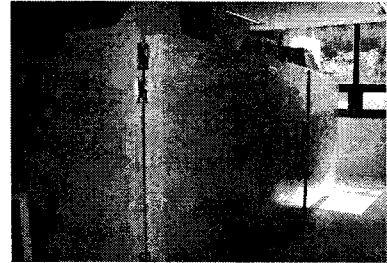
#### (2) 냉열충격열화시험장치

Damper의 개폐방식을 적용하여 시험챔버안에 시료를 두고 시료의 이동없이 시험챔버 내의 온도분위기를 급격히 변화시켜 시료에 냉·열충격을 인가하는 본 장치의 정격과 세부사양은 다음과 같으며, 장치의 외형은 그림 3과 같다.

- 내부 치수
  - Chamber Size : 900(W) × 1,350(D) × 1,500(H)mm 이상
  - Chamber Capacity : 2,000ℓ 이상
- Minimum basket load : 100 kg 이상
- Temperature zone : 3 zone type 및 2 zone type
- 고온챔버 : RT(상온) ~ +250℃
- 저온챔버 : -60℃ ~ RT(상온)
- TEST 온도제어 범위 : -40℃ ~ +220℃
- 복귀(치환)시간 : -60~+150℃에서 5분 이내 @100kg
- 온도제어 정밀도 : ±1℃ 이내
- Chamber 온도 도달시간
  - 고온실 분위기 : 상온 → +220℃(15분 이내)
  - 저온실 분위기 : 상온 → -40℃(45분 이내)
- 과부하 trip 기능(입력) ≥ 정격의 120%
- 과부하 trip 기능(출력) ≥ 정격의 110%

### 2.3 장비활용

신규 구축된 환경시험장비는 대형 전력기기의 복합열화시험 및 고저온 환경시험과 고압절연물 등의 열충격시험을 통한 내환경특성분석, 가속수명평가기술 개발 등에 광범위하게 활용될 것이며, 이들 장비물 비롯하여 기존에 신뢰성인프라 구축사업의 일환으로 확충 또는 성능이 개선된 신뢰성평가장비들은 국산제품의 품질 및 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 예상된다.



〈그림 3〉 제작된 냉열충격열화시험장치(-60℃ ~ 150℃, 5분이내)

표 2에는 주요 평가장비의 정격을 간략히 나타내었다.

〈표2〉 주요 품목별 신뢰성평가장비의 정격

품목(기기)명	주요 정격 및 규격
폴리머액자	사용온도 범위 : -50℃ ~ 120℃ 사용습도 범위 : 25% ~ 100%RH UV B-type, 280 ~ 315 nm 하중 : 피시품 액자당 10,000 kgf 내부 크기 : 4.1 m × 2.4 m × 2.5 m(H)
피뢰기	50 kV 18.7 kJ 15 kA(8/20 μ)
2차전지	전압 / 전류 범위 : 0 V ~ 10 V / 0 A ~ 5 A 전압 및 전류 정밀도 : 0.02 % Time resolution : ≤ 10 ms
전식변압기	단상, 0 ~ 2800 V까지의 동손전압 단상, 0 ~ 400 V까지의 철손전압 역률보상장치 단상 220 V, 11000 uF
전력케이블	상수 : 1φ 정격출력전압 : 35 kV 정격출력용량 : 1,000 kVA 정격출력주파수 : 1 kHz
고속전동기	정격출력 : 200 kW 정격속도 : 30,000 rpm 증속기 기어비 : 3:1
진공차단기	20 kVA, 100 kV, 200 mA, 440 V, 60 Hz 400 Ω ~ 40 Ω, 0.1 Ω : 0.4 % 100 A
전식변성기	100 kVA, 0 ~ 100 kV, P.D 측정
개폐기	20 kVA, 100 kV, 200 mA, 440 V, 60 Hz
전력변환장치	116 kVA, 50/60 Hz 480 / 277 V 0 ~ 480 / 277 V
배선용차단기	1 kV / 380 V
고압전상용 콘덴서	300 kVar
GIS용 절연스페이스	400 kV, 300 mA continuous
한류형퓨즈	1φ 700 V / 1000 V 200 kVA (200 A)

### 3. 결 론

전기에너지의 안전하고 안정된 사용을 위해서는 전력계통에서 사용되는 전력기기에 대한 성능평가뿐만 아니라 수명예측이 접목된 신뢰성평가가 활성화되어야 한다. 전기분야 국제공인 시험·인증기관 및 국가지정 신뢰성평가기관인 한국전기연구원은 전력기기의 신뢰성향상을 위해 신뢰성평가기준의 개발과 평가장비의 구축 등 연구시험인프라의 지속적인 개선과 시험기술의 향상을 추진하여 향후 국내외의 관련분야 연구시험활동에 더욱 기여하고자 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A study on the countermeasures against natural contamination of the power apparatus I, II, III(1988), Korea Electrotechnology Research Institute
- [2] KSC 3801(1999) : Test method for an insulator
- [3] IEC 60076-3(2000) : Power transformers, Part 3 : Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- [4] ANSI/IEEE C.57.12.90(1996) : Standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers 2004.7
- [5] IEC 60507(1991) : Artificial Pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems