

## 배전용 폴리머애자 열화특성 평가를 위한 복합열화 시험장치 구축

\*이병성, 한재홍, 김찬영, 윤태상  
한국전력공사 전력연구원

### A Combined Aging Test Facility for Evaluating an Aging Characteristics of Distribution Polymer Insulators

Byung Sung Lee, Jae Hong Han, Chan Young Kim, Tae Sang Yoon  
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

**Abstract** - Polymeric composite insulators have been in use for outdoor insulation. However, our knowledge about their long-term performance in an outdoor environment is still very limited. Especially, these insulators are subjected to the environmental stress such as ultraviolet radiation, electrical stress, mechanical load, etc.. Hence, in this paper, we simulated the factors having influence on aging of polymer insulators using the combined aging test chamber. In order to evaluate an aging characteristics with time, we measured leakage current on these insulators to make out the degree of aging.

#### 1. 서론

육의 환경에서 사용되는 폴리머재료의 애자는 재료 특성상 시간에 따라 열화가 진행되어 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다. 열화의 직접적인 원인이 되는 스트레스에는 자외선, 비, 온도와 같은 환경적 스트레스가 있고, 항상 일정하게 작용하고 있는 전기적, 기계적 스트레스와 같은 것이 있다.

따라서 이러한 폴리머애자의 경년특성 및 장기신뢰성 평가를 위해서는 적절한 가속열화 시험법과 복합열화시험설비를 구축하는 것이 필요하며, 많은 전력회사나 연구기관들이 이에 대한 연구를 진행중에 있다.

현재 국제적으로 인정되고 많이 사용되고 있는 열화시험은 IEC 61109의 1000시간 염무시험과 5000시간 주기시험(annex C)이 있다. 하지만 1000시간 염무시험의 경우 일종의 가속시험이기는 하지만 실제의 운전환경을 모의하기는 어렵다. 따라서 폴리머애자를 사용하고 있는 많은 전력회사 및 제조업체에서는 주기시험이 열화시험으로 유용하다는 결론을 도출하고 있다.

본 연구에서는 폴리머애자를 가속열화시켜 장기 신뢰성을 평가하기 위해 자연상태에서 폴리머애자가 받게되는 복합적인 스트레스를 모의할 수 있는 복합열화시험설비를 설계 제작하였다. 본 장치는 IEC 61109의 5000시간 주기 시험에 소개되고 있는 가속열화 인자를 모두 포함하였으며, 폴리머 현수애자의 경우 실제 환경에서 기계적인 인장 스트레스를 받고 있으므로 시험기간동안에 이를 모의하기 위해 기계적 인장을 가할 수 있는 장치도 추가하였다. 또한, 가속열화가 진행되는 동안의 시료의 상태를 감시하기 위해 누설전류 측정시스템을 구축하여 누설전류의 평균값, 축적전하량 등의 데이터를 얻을 수 있다.

#### 2. 복합열화시험설비 구축

##### 2.1 시험설비의 구성

###### 2.2.1 열화인자의 구성

본 시험장치로 모의 가능한 환경 열화인자는 온/습도, 자외선, 염무 (salt fog), 주수 (rain), 기계적 인장하중, 전기적 스트레스 등이다.

###### 가. 온/습도

온도/습도 제어는 컨트롤러에 입력된 수치에 따라 자동으로 제어된다. 온도제어는 히터와 냉각기의 용량 및 송풍기(blower)의 회전수를 제어함으로써 이루어진다.

히터와 냉각기가 이중으로 설치되어 저온시는 히터 출력을 증가시키고 과온시는 냉각기를 동작시키게 된다. 온도의 상승/하강 속도는 송풍기의 회전수를 인버터로 제어하게 되어 있다. 습도제어 역시 가습히터와 계습기의 출력을 제어하는 방법으로 이루어진다.

챔버 내부의 온도의 제어범위는 4℃~80℃이며, 습도의 제어범위는 30~98%가 되도록 설계하였다.

###### 나. 자외선

시료에 자외선을 조사하기 위해 3개의 벽면에 총 42개의 램프를 설치하였다. 사용된 자외선은 UV-A (peak 365 nm) 형광 램프를 사용하였다. 이는 파장이 짧은 UV-B 램프를 사용할 경우, 자연환경에서 나타나지 않는 열화가 일어나기 때문이다. 자외선 램프는 시료와 일정한 거리를 유지할 수 있도록 설치되었다.

###### 다. 염무 및 주수

염무 및 주수를 위한 노즐을 챔버의 상부에 설치하였다. 주수는 45도 각도로 주수되도록 하였으며, 염무노즐은 IEC 60507 규격을 참고하여 제작하였다.

###### 라. 기계적 인장하중

시료에 기계적 인장하중을 주기 위한 하중인가 시스템은 유압모터를 사용하여 최대 10 톤의 인장하중을 가할 수 있다.

###### 마. 전원장치

챔버내에 설치 시료 16개 중 13개는 동일한 전원장치에서 교류 고전압(0~50 kV)이 인가되도록 하였으나, 3개 시료에 대해서는 시료의 누설거리에 따른 특성을 비교하기 위해 다른 전압을 인가할 수 있도록 별도의 변압기(10 kVA)를 설치하였다.

표 1에 본 연구에서 제작한 복합열화시험설비의 세부 사양을 나타내었다.

표 1. 복합열화시험설비의 사양

시험 변수	전원	50 kV AC(1대), 20 kV AC (3대)
	염수, 주수	순수제조장치 보유, 주수량 제어
	자외선	형광 UV-A 램프 사용
	기계적하중	12개 수직설치 애자에 대해 10톤
	온도	상온~80℃, 온도구배 ±2℃
	습도	30~98%, 습도구배 ±5%
설치시료수	최대 16개 (수직 : 12개, 수평 : 4개)	

2.2.2 시료 설치  
가. 챔버

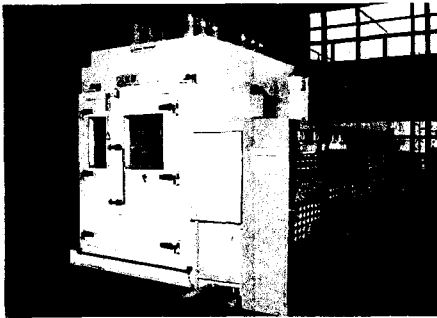


그림 1. 복합열화시험설비 외관

챔버의 내부 체적은 10 m<sup>3</sup>으로 하였다. 그림 1은 본 연구를 통해 설계 제작한 복합열화시험설비의 외관을 나타낸 사진이다. 챔버의 상부에 수직 배치한 각 시료에 인장하중을 가할 수 있도록 12개의 유압실린더가 설치되어 있다. 챔버 전면에는 시료 표면에서 발생하는 코로나 관찰 및 내부 운전환경을 확인할 수 있도록 창이 설치되어 있다. 챔버의 우측에는 운전상태를 감시하고 제어할 수 있는 제어패널이 설치되어 있다.

나. 시료의 설치 방법

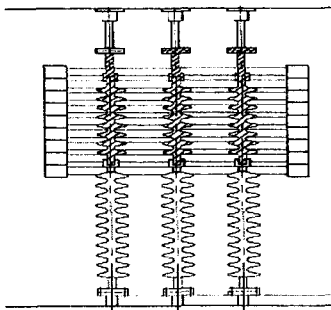


그림 2. 챔버내 시료 설치

그림 2는 챔버내에 시료가 수직 설치된 상태 나타낸 것이다. 시료는 수직방향으로 12개, 수평방향으로 4개를 설치할 수 있도록 설계하였다. 수직으로 설치되는 애자에 대해 시료의 아래쪽에 절연 및 인장하중을 위해 지지애자를 설치하였으며, 위쪽으로는 기계적 인장하중을 인가하게 되어 있다. 또한 그림에서와 같이 시료 옆면에는 시료와 일정한 거리를 유지하여 형광 자외선(UV-A) 램프가 설치되어 있다.

2.2 측정시스템 구성

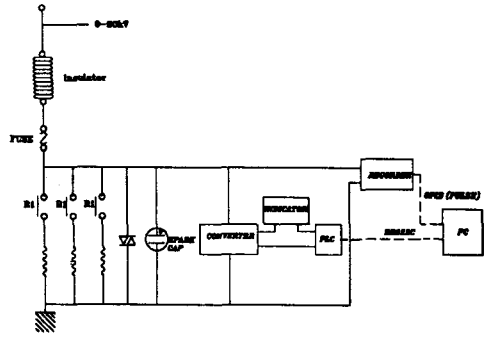


그림 3. 누설전류 측정 회로

그림 3은 시료에 전압이 인가되었을 때 표면으로 흐르는 누설전류를 측정하기 위한 누설전류 측정회로이다. 장시간의 가속열화를 통해 시료가 열화될 경우 누설전류 값이 초기값에 비해 상당히 크게 되므로 넓은 범위의 누설전류를 측정하기 위해 측정 저항값을 변화시킬 수 있게 설계하였다.

측정은 매 초당 3개의 누설전류 실효값 데이터를 전체 시험기간동안에 측정할 수 있다. 측정된 값은 컨버터를 거쳐 RS232C 통신을 통해 PC에 일정한 화일로 저장되게 되어 있다.

또한, 온도, 습도, 인장력 등과 같은 운전상황에 대한 데이터 역시 실시간으로 측정하여 기록되게 하였으며, 비상시 경보 메시지 송출 및 안전장치가 갖추어져 있다.

2.3 열화주기의 선정

열화주기는 우리나라 기후 환경에 맞게 아래와 같이 여름주기 5시간 및 겨울주기 5시간으로 나누어 결정하였으며, 여름주기 10회 겨울주기 11회의 반복하는 방법으로 운전된다 [1].

2.3.1 여름주기

여름주기 온도의 경우 과거 15년간 기후 데이터를 분석하여 최고기온에 애자표면 온도상승값 고려하여 선정하였다. 또한 여름 기후에는 강우량을 겨울보다 많게 하였으며, 연간 강우량 강우일수 등을 조사하여 스트레스 레벨을 정하였다. 그리고 자외선 강도는 일조시간 등을 분석하여 조사시간을 정하였으며, 여름이 겨울에 비해 강하므로 여름주기에 자외선 조사시간을 많게 하였다.

2.3.2 겨울주기

챔버의 저온설계시 온도제어에 문제가 따르므로 열화가속시 저온 사용을 고려하지 않고 고온과 저온의 온도차가 중요하므로 설비의 최저 가능온도를 고려하여 선정하였다. 그리고 여름기후 보다 겨울기후가 염무 효과가 크므로 겨울주기에 보다 많은 염무시간을 설정하였으며, 염무분무 시간은 과거 수년간 총 안개일수 및 ESDD 측정값 분석을 통하여 정하였다.

2.3.3 열화 인자별 스트레스 레벨

위와 같은 분석 방법을 이용하여 결정한 복합열화 시험장치의 열화 인자별 스트레스 레벨은 아래와 같다.

- 염무 : 2.5 kg/m<sup>3</sup>
- 주수 : 4,000 μS/cm, 4 mm/min
- 온/습도 : 15~50℃ (4~15℃), 30~98%

- 전압 : 13.2 kV (상전압)
- 인장하중 : 2.4 ton (OML의 33%)

### 3. 복합열화시험설비 성능 평가

#### 3.1 시험설비의 성능 검증

본 연구에서 구축한 복합열화시험설비의 각 기능별 성능, 장기운전시 문제점, 열화인자별 가속효과 등을 파악하는 것이 우선적으로 이루어져야 한다. 따라서 특성이 동일한 신품의 폴리머에자 시료를 챔버의 각 위치별로 설치하여 장비의 신뢰성 검증을 하였다.

설비의 성능 검증을 위해 1000시간 시험운전은 하면서 다음과 같은 사항을 중점적으로 조사하였다.

- 시료의 설치위치별 열화의 균일성
- 챔버내부의 온습도 분포
- 장시간 운전시 주수/염무양의 변화
- 자외선 램프의 파장 및 강도 변화
- 인장하중의 균일성

#### 3.2 시험운전 결과

##### 3.2.1 시료의 설치

국내에서 사용되고 있는 배전급 폴리머 현수애자인 4개사 16개 시료를 챔버내에 설치하였다. 시료의 설치는 각 제조사별로 수직설치 3개, 수평설치 1개를 하였다.

##### 3.2.2 열화의 관찰

운전 초기에는 신품에 비해 특별한 열화가 관찰되지 않았으나, 시험 중반에는 시료 표면의 오손 및 열화로 표면방전 발생되는 것이 관찰되었다. 표면의 부분방전은 그림 4와 그림 5에서와 같이 시료 표면의 침식을 가져왔다.



그림 4. A 시료 침식



그림 5. B 시료 침식

##### 3.2.3. 챔버내부의 온습도 분포

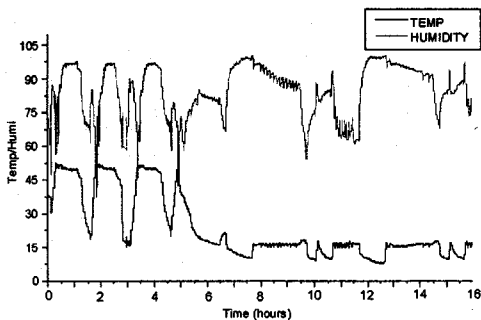


그림 6. 주기변화에 따른 온습도 변화

그림 6은 일정한 주기를 입력하여 운전시 챔버내의 온습도 변화를 기록한 그래프로 여름주기 10회 반복 후 겨울주기로 넘어가는 단계를 표시하였다. 측정결과 온습

도는 설정치를 잘 추종한다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.2.4. 누설전류 측정

그림 7은 특정 시료에 대한 누설전류 측정값을 기록한 것으로 시험 주기에 따라 누설전류 변화가 심하게 나타났다. 누설전류는 주로 주수 및 염무 시퀀스에서 높게 나타났으며, 염무 시퀀스에서 보다 크게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다.

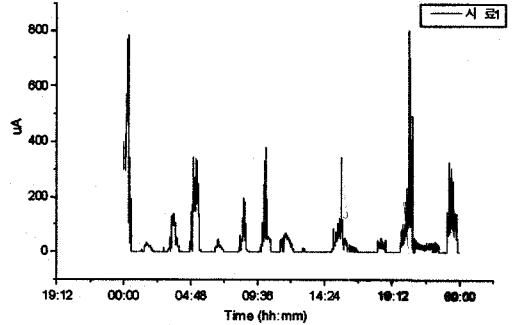


그림 7. 시료에 대한 표면누설전류

### 4. 결론

옥외에 사용되는 폴리머 현수애자의 장기 신뢰성을 평가하기 위한 일환으로 복합열화시험설비를 설계 제작하였다.

챔버내에 공급되는 염무, 주수, 자외선량 등의 가속인자를 적절히 선택하면 폴리머에자의 가속열화 시험이 가능하리라 판단되며, 다음과 같은 분야에 적용 가능할 것이다.

- 배전용 폴리머에자의 장기 신뢰성 및 잔존수명 평가
- 신개발 폴리머에자 제품에 대한 시사용 대체시험
- 제조업체의 신제품 개발연구나 인정시험
- 폴리머에자 관련 규격 및 운용기준 보완
- 폴리머를 이용한 배전기자재의 신뢰성 및 잔존수명 평가

#### (참고문헌)

- [1] "배전용 폴리머에자의 신뢰성평가 및 운용기준제정 연구" 중간보고서, 전력연구원, 2000.4.
- [2] 이병성, 한재홍, 한상욱 "표면열화에 따른 폴리머에자의 전기적 특성", 한국전기전자재료학회 충청지부 학술대회 논문집, pp1~4, 2000.6.
- [3] IEC 61109, "Composite Insulators for AC Overhead Lines with a Normal Voltage Greater than 1000V-Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria", 1992.