# 갓 형상에 따른 폴리머 현수애자의 열화특성

조한구, 이운용, 강성화*, 임기조**, 여학규***, 지원영***
한국전기연구원, 충청대학*, 충북대학교**, (주)해룡실리콘***

# Performance of Polymer Suspension Insulator with Shed Profile

H.G. Cho, U.Y. Lee, S.H. Kang*, K.J. Lim**, H.G. Yeo***, W.Y. Ji***
KERI, Chungcheong College*, Chungbuk National University**, Hae Ryong Silicone Co., Ltd.**

**Abstract**

Recently, the polymer insulators which are being used for high voltage applications have some advantages such as light weight, small size, vandalism resistance, hydrophobicity and easy making process. During outdoor service of polymer insulators, the surface of the insulating material is frequently subjected to moisture and contamination which lead to the well known phenomenon of dry band arcing. Their tracking resistance, erosion resistance, end sealing and shed design are very important because dry band arcing causes degradation of polymer surface. The shape design of porcelain insulator is formalized but design standard for polymer insulator is no standardized up to now, much research is necessary in real condition.

In this paper, the aging property of polymer insulator with shed shape(regular, alternative type) is analyzed through numerical analysis, CEA(canadian electricity association) tracking wheel test and IEC 61109 Annex C.

**Key Words** : Polymer insulator, Shed profile, Regular type, Alternative type, Aging test, Leakage current

## 1. 서 론

최근 고전압 절연기기에 대한 폴리머 재료의 적용은 계속적으로 증가하고 있으며, 특히 기존의 자기애관으로 구성된 피뢰기, 변압기, 단로기, 차단기, 개폐기 등에 사용되는 애자, 부싱류 등은 실리콘 고무, EPDM, 에폭시 수지와 같은 우수한 절연물로 적용되고 있다. 이와 같이 자기질이 폴리머질로 대체되는 가장 큰 이유는 소형화, 경량화 및 설계의 용이성과 오손지역에서도 오손내전압 특성이 우수하다는 장점을 가지고 있기 때문이다[1].

이러한 고압 절연물의 형상은 절연거리, 누설거리 및 성형상의 관점에서 갓(shed)을 수를 적정히 조절하여 설계하게 된다. 갓의 설계에는 갓의 돌출거리, 갓의 간격, 갓의 기울기 등을 검토하여야 하는데, IEC 60815의 「guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions」를 기준으로 갓을 설계한다[2]. 절연물의 갓이 모두 동일한 크기로 구성되는 경우를 규칙갓(regular type)이라 하며, 갓 사이 사이의 갓 크기가 다른 경우를 교대갓(alternative)이라 한다. IEC 60815에 따르면 규칙갓의 경우에는 강우시 전교되는 현상을 억제하기 위하여 갓과 갓 사이의 거리가 30~40mm 이상이 되도록 해야한다. 큰 갓 돌출과 작은 갓 돌출거리의 차이는 >15mm로 한다. 교대갓

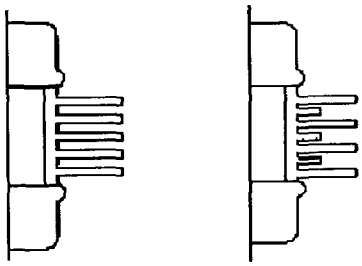
의 경우에는 두 개의 연속적인 갓 돌출거리, 즉 큰 갓과 작은 갓이 교대로 돌출하므로 갓 돌출거리의 차이에 의해 전교현상을 억제할 수 있다. 규칫갓에 비해 교대갓은 갓의 돌출거리 차이로 전교현상이 억제되므로 갓 사이의 거리를 짧게 할수 있고, 갓의 수를 증가시킬 수 있으므로 누설거리를 길게 할수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 먼저 규칙갓과 교대갓의 전계분포 특성을 FEM 프로그램을 이용하여 검토하고, 규칙갓 및 교대갓으로 설계된 폴리머 현수애자에 대한 트래킹 휠 시험 및 복합환경시험을 시행하여 그 열화 경향을 비교 분석하였다.

## 2. 해석 및 실험

### 2.1 전계해석

규칙갓과 교대갓의 전계분포 특성을 비교하기 위해 FEM 프로그램으로 그림 1과 같이 간단한 애자 형상으로 규칙갓과 교대갓을 모델링 하였으며, 각각의 시료 애자의 특성을 표 1에 나타낸다.



(a) Model 1 (b) Model 2

**그림 1.** 갓 형상 모델링

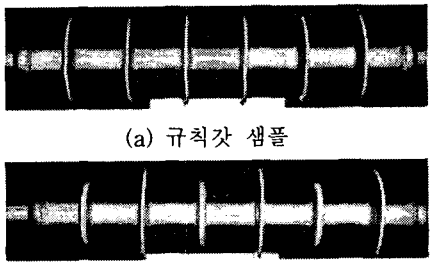
**표 1.** 설정모델의 설계특성

| 타 입 | 갓 수 | 갓돌출 거리 [mm] | 누설 거리 [mm] | 건조섬락 거리 [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Model 1 (규칙갓 모델) | 5개 | 26 | 300 | 84 |
| Model 2 (교대갓 모델) | 7개 | 25, 10 | 300 | 162 |

상부전극을 1 kV로, 하부전극을 접지로 설정하고 전극, 갓 재료, FRP 등의 비유전율값을 선정하였다.

### 2.2 열화시험

그림 2와 같이 규칙갓, 교대갓의 시료 애자를 제작하여 트래킹 휠 시험 및 복합환경시험을 시행하였다. 두 애자의 갓 재료는 모두 실리콘 고무로 진공사출로 성형하였다. 두 애자의 시료는 같은 전장(section length)와 같은 건조섬락거리를 가지며, 누설거리는 각각 650, 590mm이다. 갓의 돌출거리는 34mm, 갓 간격은 42mm이며, 교대갓의 작은 갓은 18mm이다.



(a) 규칙갓 샘플

(b) 교대갓 샘플

**그림 2.** 시험용 애자

#### 2.2.1 트래킹 휠 시험

설계 제작된 애자의 트래킹 성능을 검토하기 위해 CEA 트래킹 휠 시험을 하였다[3]. 트래킹 휠 시험장치의 구성은 그림 3과 같이 4개의 각 위치에서 정지된 상태로 40초간 머물게 한 위치에서 다음 위치로 이동하는 시간은 8초이다. 하나의 애자 시료가 회전하여 처음 인가되는 위치까지 오는 시간은 3분12초가 걸리며 이를 1사이클이라 하며 총 시험시간은 30000 사이클이다.

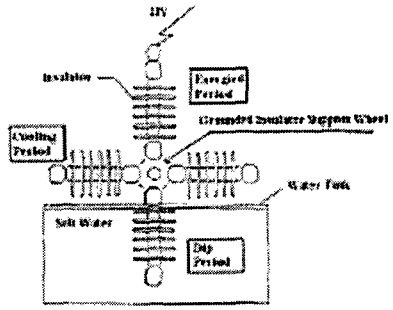


**그림 3.** 트래킹 휠 시험장치

시험의 전계강도는 35V/mm, 염수농도는 1.4g/ℓ 이며, 시험 최근 규격에서 시험 시 4일 시험 후 1일(24시간) 휴지시간을 갖도록 설정하였다. 규격에

따른 시험결과 판정기준은 트랙(track)이 없으며, 코아(core)까지 이르는 침식이 없고 갓과 하우징에 구멍이 없어야 한다.

#### 2.2.2 복합환경시험

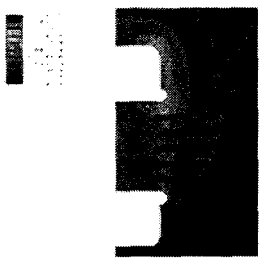
규칙갓과 교대갓 샘플에 대한 복합환경시험에서의 열화 특성을 분석하기 위해 IEC 61109 Annex C 5000시간[4]에서 표 2의 싸이클로 총 2000시간 열화환경시험을 시행하였다. 이때 시료는 수직으로 설치하였으며, 인가전계는 35V/mm로, 온도는 20~50℃, 습도는 30~95%, 염수농도는 4000μS/cm로 설정하였다.

**표 2.** 열화시험 사이클(24 hrs)

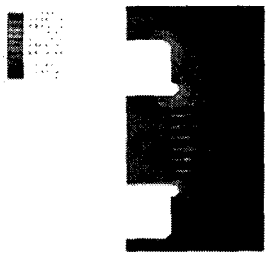
| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전 압 | | | | | | | | | | | |
| 인공강우 | | | | | | | | | | | |
| 습 도 | | | | | | | | | | | |
| 가 열 | | | | | | | | | | | |
| 염 무 | | | | | | | | | | | |

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전계해석



(a) Model 1



(b) Model 2

**그림 4.** 각 모델의 전계분포

전계 해석을 시행한 결과, 그림 4와 같이 전계의집중 부위는 상부전극 및 전극과 하우징의 계면에서 주로 나타났으며, Model 1과 Model 2의 최대 전계값은 1.03e+5 V/m, 1.10e+5 V/m로 거의 비슷하였다. 또한, 분포 특성의 차이를 검토해보면 두 번째 갓부터의 전계분포가 서로 다르게 분포된 것을 알 수 있다. 갓 표면에 따른 전계분포 특성 차이를 보다 자세히 분석하기 위해 그림 5와 같이 표면라인을 설정하여 전계해석을 하였다.

그림 6을 보면 첫 번째 갓에서의 분포는 거의 같으나 첫 번째 갓부터 2번째 갓 부분에서 교대갓의 전계값이 보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, 그 이후의 분포도 갓 형상의 차이로 인하여 분포특성이 다르게 나타나고 있지만 전계값의 차가 크게 나타나지는 않는 것을 알 수 있다.

(a) Model 1 (b) Model 2

**그림 5.** 각 모델의 표면라인 설정

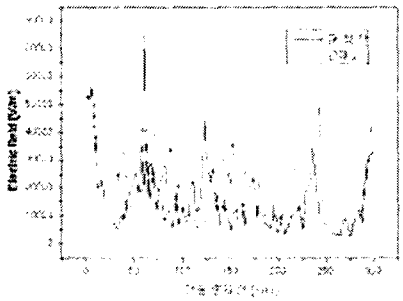


**그림 6.** 표면라인에 따른 전계분포 특성

### 3.2 트래킹 휠 시험결과

그림 7과 같이, 규칙갓 시료와 교대갓 시료의 누설전류 특성을 비교해보면 초기에는 비슷하다가 20000 사이클이 지나면서 그 전류값의 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 하지만 그 증가된 전류값은 휴지시간 후에 다시 감소되었으며, 시험 종료 후의 누설전류를 보면 규칙갓은 약 10[mA], 교대갓은 5[mA]로 미소한 차이가 나타남을 알 수 있다. 휴지시간(rest time) 전후 누설전류의 차이도 규칙갓의 경우가 교대갓 보다 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 또한, 시험 종료 후 시료의 열화 정도

를 보면 규칙갓 시료의 경우 하우징 동경 부분에 심한 침식(erosion) 흔적이 나타났으나, 교대갓 시료의 경우에는 하우징 동경 부분에 이와 같은 흔적이 나타나지 않았고 갓 표면에 오손에 의한 오염 축적 및 쵸킹 현상만이 나타남을 알 수 있다. 적외선 카메라로 30000 사이클 종료시에 열화 현상을 분석한 결과도 규칙갓의 경우가 전체적인 온도분포는 교대갓보다 평균온도가 10℃정도 높게 나타났다.

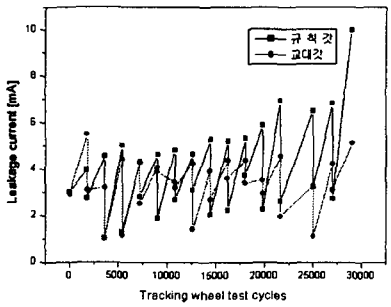



그림 7. 트래킹 휠 싸이클과 누설전류 특성

### 3.3 복합열화시험

그림 8은 1000시간 경과 시 두 시료의 애자에 대한 복합환경시험과 누설전류를 각각의 환경조건에서 측정하여 나타낸 결과이다.

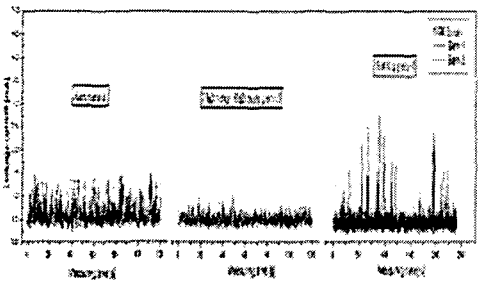


그림 8. 환경조건에 따른 누설전류 특성(1000 hrs)

환경조건이 고온 및 습도일 경우는 누설전류가 0.5~1.0mA로 나타났으며, 염수조건일 때에는 누설전류가 3mA까지 증가하지만 두 시료의 크기는 거의 비슷하게 나타났다. 그러나, 강우시의 조건에는 규칙갓 시료의 누설전류가 큰 차이는 아니지만 약 1mA정도 차이가 나타났다. 이는 앞에서도 설명한 바와 같이 교대갓의 형상이 전교(bridging)현상을 억제하는 성능이 규칙갓 보다 좋은 것으로 볼 수 있는 결과로 사료된다.

## 4. 결 론

애자의 갓 형상인 규칙갓과 교대갓에 대한 전계분포, 제작 시료에 대한 트래킹 휠 및 복합환경열화시험 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 전계분포의 경우, 두 갓 형태의 차이는 첫 번째 갓부터 2번째 갓 부분에서 교대갓의 전계값이 보다 크게 나타났지만, 이후의 분포는 거의 비슷하였다.
2) 트래킹 휠 시험 경과에 따른 누설전류는 교대갓의 경우가 규칙갓보다 다소 낮게 나타났으며, 표면의 열화정도도 더 낮게 나타났다.
3) 트래킹 휠 시험 종료시점인 30000 사이클까지 시험 후 적외선 카메라로 열화상을 분석한 결과 규칙갓의 경우가 전체적인 평균온도가 10℃ 정도 높게 나타났다.
4) 복합환경시험 결과에서는 고온/고습 또는 염수분무 때와는 달리 강우시 두 갓 형상의 누설전류 특성의 차이를 확인할 수 있었다.

향후, 열화 시험전 후의 상용주파주수섬락시험을 통해 두 형상에 대한 애자의 열화 특성도 평가할 예정이다.

## 참고 문헌


[1] Brian Pokarier, "Assessing Ten Years of Experience at Power Link Using New Insulator Technologies", World Insulation Congress & Exhibition, pp. 11-19, 2001.

[2] IEC 60815, "Guide for the Selection of Insulator in Respect of Polluted Conditions", 1986.

[3] CEA LWIWG-01, "Dead-end/suspension Composite Insulator for Overhead Distribution Lines", 1996

[4] IEC 61109, "Composite Insulators for A.C. Overhead Lines with a Nominal Voltage Greater Than 1000V", 1992.

[5] H.G. Cho, "Multi-aging Test Technology for Estimating Long Time Performance of Polymer Insulators", ICPADM, pp. 375-378, 2000.