

## 폴리머 애자의 End-fitting 설계 및 성능 평가기술

조한구, 이운용, 한세원, 한동희, 지원영, 여학규, 강두원, 천종욱, 이형규  
한국전기연구원, (주)해룡실리콘, 구주기술(주), 삼흥중전기공업(주)

### End-fitting Design and Performance Evaluation of Polymer Insulator

H.G. Cho, U.Y. Lee, S.W. Han, D.H. Han, W.Y. Ji, H.G. Yeo, D.W. Kang, J.U. Chun, H.K. Lee  
KERI, Hae Ryong Silicone Co. Ltd, Guju Tech. Inc, Sam-heung Co. Ltd

#### Abstract

Corona on polymer materials causes deterioration by the combined action of the discharge striking the surface and the action of certain chemical compounds that are formed by the discharges. In the design and manufacture of polymer insulators must be sufficiently large to avoid corona discharges, otherwise a shielding or corona ring (grading ring) needs to be installed on the insulator. To conduct this purpose, many researchers have investigated end-fitting of polymer insulator by voltage distribution simulation and electrical test. Grading rings are used to improve the performance of the insulator in multiple ways. They can reduce corona and associated audible noise and radio influence and television interference. The factors determining the uses of a grading ring are line voltage, geometry and dimensions of end fittings, geometry and dimensions of line hardware, and environmental conditions. In this paper, electrical property of polymer insulator with end-fitting design have been investigated by electrical field analysis, various end-fitting design, tracking wheel test, corona inception voltage and extinction voltage. Electrical field analysis is conducted by FEM program and various end-fitting is designed through this result. Designed end-fittings are manufactured and their performance is conducted by electrical performance test.

**Key Words** : Corona, Polymer Insulator, End-fitting, Tracking Wheel Test, PD Test

#### 1. 서론

자기 애자에 비해 장기간 표면 발수성을 유지하고 우수한 오손내전압 특성 나타낼 뿐 아니라 다양한 장점을 지닌 폴리머 애자의 적용은 양적·질적으로 증가하고 있다. 특히, 일본(NLPI)의 경우 세계적 수준의 폴리머 애자를 개발하여 Sediver, Furogawa 등과 함께 국내시장에 진출하였다. 현재 많은 폴리머 절연물 연구 관계자들은 이들의 장기 신뢰성 확보 및 평가기술 등에 대한 규격제정을 검토하고 있다.

국내에서는 배전용 및 전철용 폴리머 애자를 포함하여 배전용 폴리머 피뢰기도 상용화되었으며, 많은 중전기 업체들이 이들 분야로 시장을 확대하

고 있다. 송전용 폴리머 애자의 경우 일본 NLPI 제품이 실사용을 완료하였으며, 국내의 몇몇 기업에서도 개발을 완료 또는 진행중에 있다.

또한, 송전용 폴리머 애자에 대해서 154, 345kV 통합된 규격으로 심의하여 곧 공표될 예정이다. 특히, 345kV로의 적용에 따른 코로나 링(corona ring) 적용도 신규 규격에서는 적용될 예정이다.

폴리머 애자는 그림 1과 같이 ①FRP 로드, ②외피 절연부(shed, sheath), ③금구, ④실링부 ⑤계면부 등으로 구성된다. 애자의 역할인 기계적인 지지를 담당하는 FRP(fiber reinforced plastics)는 응력에 대한 기계적 강도가 충분해야 하며, 깨짐성이 적고, 기포 등이 없어야 한다. 외피 절연부는 폴리머 하우징을 말하며, 전기적인 절연을 맡는 역할을

하며 이를 위해 적절한 누설거리를 갖고 내후성, 내트래킹, 내아크성 등이 우수한 절연물로 제작된다. 금구는 사출 성형된 FRP 끝단에 압착되며 금구와 외피 절연의 계면 부분을 End-fitting이라 부른다.

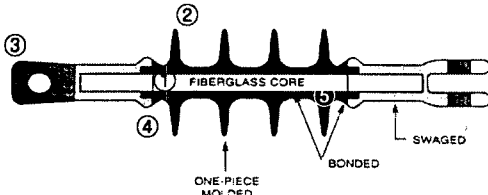


그림 1. 폴리머 애자의 형상.

폴리머 애자는 배전급에서 초고압 분야로 확대 적용함에 따라 설계 중요성이 증대되는 부분이 바로 End-fitting 부분이다[1]. 이 부분을 어떻게 설계하는가에 따라서 전계집중 정도가 결정된다. 또한 이들 End-fitting 부분의 수분 침투를 막기 위해 실리콘 실란트로 실링을 한다. 현재 국내 중전 기업체에서는 이 실링 부분을 수작업으로 하기 때문에 일정하고 최소한의 양만 실링이 되어야 하는데 이 부분의 제어가 다소 어렵다. 많은 양으로 실링하거나, 어느 한 부분은 거의 실링 처리가 되지 않으면 실제 과전시에 이 부분에 빠른 열화가 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전계해석을 통해 폴리머 애자의 적합한 End-fitting 설계와 이를 바탕으로 제작된 시료 애자에 대해서 트래킹 휠 시험, 상용 주파섬락전압시험, 부분방전시험을 통해 그 성능을 비교 검토하였다. 또한, 트래킹 휠 시험으로 국내, 외의 외피 절연부를 담당하는 실리콘 고무의 성능을 비교 검토하였으며, 그 열화진단 방법으로는 누설전류, 발수성, 적외선 카메라에 의한 온도분포 등을 검토하였다. 그리고, 부분방전 시험에서는 기존 금구형태와 해석 검토된 금구 등의 두가지에 대해서 부분방전 개시 및 소멸전압 특성을 분석하였다.

## 2. 전계해석 및 실험

폴리머 애자의 경우 과전 측의 외피와 금구의 계면에 전계가 집중되기 쉬운 구조로, 고전압에서 사용하면 고전계 부분(high part)에서 코로나가 발

생하기 쉽다.

따라서 과전측, 접지측의 과도한 전계집중을 억제하기 위해 End-fitting의 전계완화 설계 또는 코로나 링(corona ring)을 설치한다[2, 3]. 코로나 링 설치의 경우도 아직 규격으로 명시되지 않아 각 제조사 나름대로 설계하여 설치하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 End-fitting의 구조를 변경하여 전계완화를 검토하였다.

### 2.1 전계해석

그림 2와 같이, 애자의 금구 형상을 변수 D를 설정하여 전계해석을 검토하였다. 전계해석은 최대 전계값 및 위치와 실링을 처리하는 계면부의 전계값 등으로 각각 검토하였다.

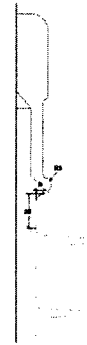


그림 2. 금구형상 검토안.

### 2.2 트래킹 휠 시험

전계해석으로 검토된 금구 형상을 바탕으로 제작된 시료 애자를 Two Wheel type 트래킹 휠 시험장치를 통해 침식(erosion) 및 트래킹 성능을 검토하였다. 외피 절연부를 담당하는 하우징 재료(실리콘 고무)를 국내외 제품으로 구성하였고, 금구 형태는 기존형과 전계 완화형 등 총 4개 시료 애자 대해서 시험하였다. 트래킹 휠 시험장치의 구성은 그림 3과 같이 4개의 각 위치에서 정지된 상태로 40초간 머물게 한 위치에서 다음위치로 이동하는 시간은 8초이다[4]. 하나의 시료가 회전하여 처음 인가되는 위치까지 오는 데는 3분12초가 걸리며 이를 1사이클이라 하며 총 시험시간은 30000 사이클이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전계해석

금구 형상을 변수 D 값에 따른 최대 전계값 및 계면의 전계값의 변화를 그림 6에 나타낸다. D값이 커짐에 따라 계면 전계값은 계속적으로 감소하지만, 최대 전계값은 서서히 포화되는 경향을 보인다. 그림 5의 원안의 값에서 최대 전계값이 포화하기 시작한다. 또한 D값의 변화에 따라 최대 분포위치도 계면에서 금구 리브(rib) 끝 쪽으로 변화하였다.

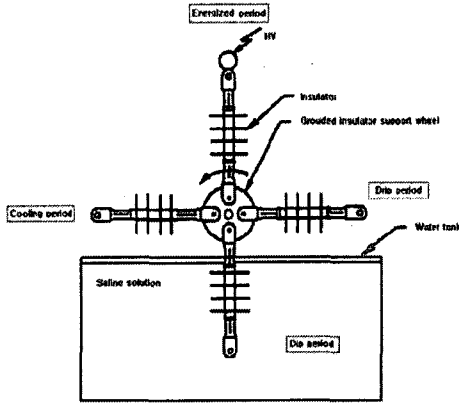


그림 3. 트래킹철 시험장치

시험 인가전계는 35V/mm, 염수농도는 1.4g/l이며, 최근 규격에서 시험 시 4일 시험 후에는 외피 절연부를 담당하는 실리콘 고무의 발수성 회복을 위하여 1일(24시간) 휴지시간을 갖도록 규정하였다.

#### 2.3 상용주파수락전압시험

제작된 애자에 대해 상용주파수 및 건조섬락 전압시험을 시행하였다. 각 시료 당 총 7회 시험하였으며, 그 평균값을 검토하였다.

#### 2.4 부분방전시험

설계 제작된 애자와 기존 금구 형태의 애자에 대해 부분방전(partial discharge) 개시 및 소멸전압을 검토하였다. 그림 4는 설계 제작된 시료의 시험장면이다.

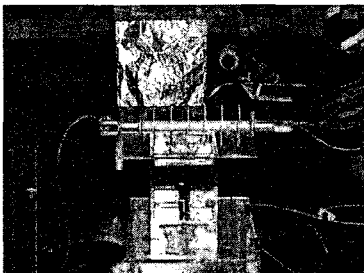


그림 4. 애자의 부분방전시험

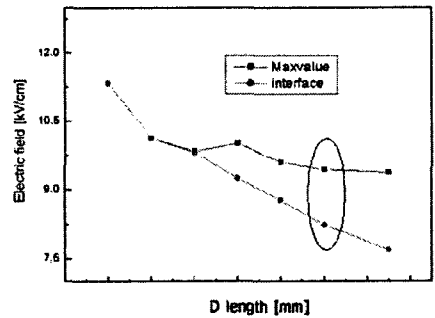


그림 5. D값에 따른 최대 및 계면 전계 변화

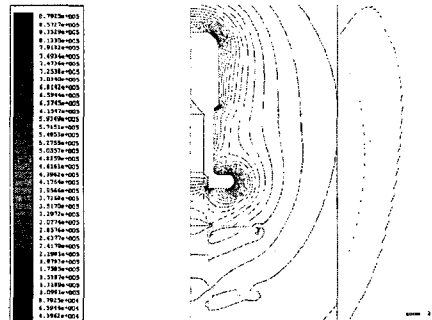


그림 6. 애자의 전계분포

#### 3.2 트래킹 철 시험

그림 7과 같이, 기존형 금구와 전계 완화형 금구 시료의 누설전류의 크기가 다소 차이가 나타나고 있다. 이러한 현상은 국내 A사 및 국외 B사 시료 모두 동일한 결과를 나타내었으며, 국내 A사 및 국외 B사의 기존형 시료의 경우, 누설전류의 크기도 거의 비슷하게 나타나고 있다. 따라서 전계해석을 통해 검토된 전계 완화형 시료가 기존형에 비해 누설전류가 적게 흐르며 이는 전계완화 효과에

따른 것으로 검토된다. 트래킹 쉘 시험에서 휴지시간 전후의 누설전류는 현격히 차이가 나타났으며 이는 실리콘 고무의 발수성(hydrophobicity) 회복 특성에 따른 것으로 사료된다.

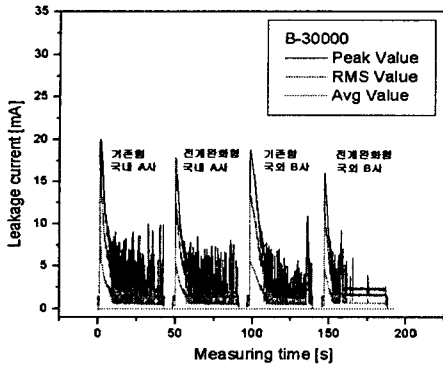
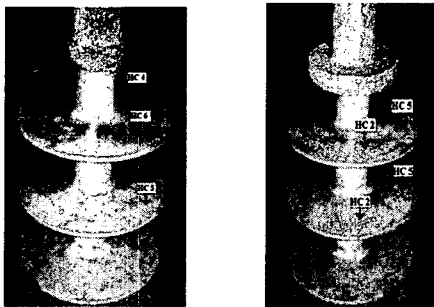


그림 7. 각 샘플의 누설전류 특성

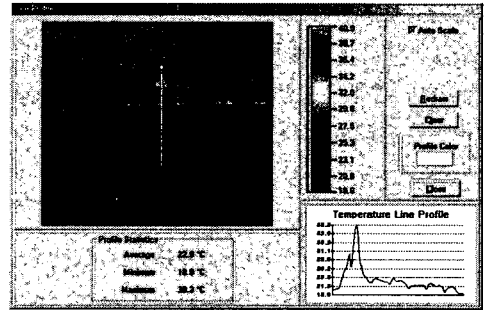
또한, 트래킹 쉘 시험 종료 후 국외 B사의 기존형과 전계 완화형 시료의 발수성 상태를 검토한 결과 그림 8과 같이 나타났다. 기존형의 경우 HC 4, HC 5, HC 6 등의 발수 등급이 나타난 반면에, 전계완화 형에서는 HC 2, HC 5 등급 정도만 나타남을 볼 수 있다.



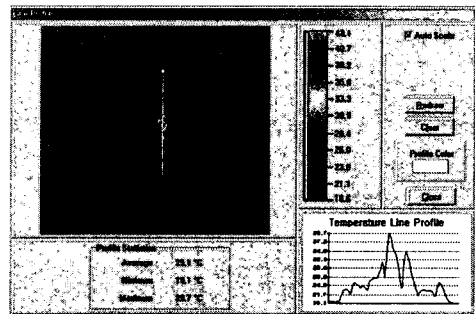
(a) 기존형 (b) 전계완화형

그림 8. 트래킹 쉘 시험 후의 발수상태

기존형과 전계 완화형 시료에 대해서 트래킹 쉘 시험시 주요 온도분포를 적외선 카메라로 분석한 결과 그림 8과 같이, 기존형은 주요 온도분포가 금구와 하우징 계면 쪽이며 전계 완화형은 애자 하우징 동부 쪽에 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a) 기존형



(b) 전계완화형

그림 9. 트래킹 쉘 시험시 주요 온도분포

### 3.3 상용주파 심락전압 시험

그림 10과 같이, 기존형과 전계 완화형에 대한 상용주파 건조 및 주수섬락전압 시험 결과 건조섬락 전압시험에서는 두 시료의 섬락전압 값이 거의 동일하였다. 그러나, 주수섬락전압시험에서는 전계완화형 시료가 약 4[kV] 높게 나타났다.

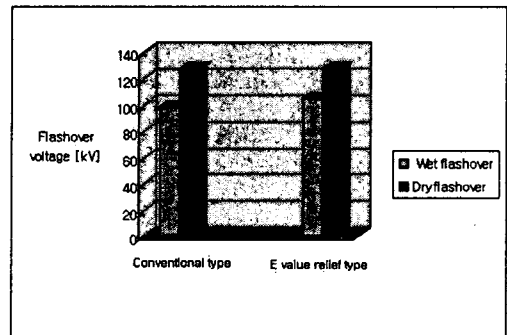


그림 10. 상용주파 건조 및 주수섬락 전압

### 3.4 부분방전 시험

기존형과 전계 완화형에 대한 부분방전 개시 및 소멸전압을 측정된 결과, 기존형은 부분방전 개시 전압이 26.4 [kV]였으며 소멸전압은 26.0 [kV]로 나타났다. 그러나 전계완화형의 경우는 개시전압이 34.1 [kV], 소멸전압이 32.8 [kV]로 개시전압의 경우 기존형보다 약 8[kV] 정도가 높게 나타났다. 이는 전계완화에 따른 것으로 사료되며, 그림 11에 측정된 부분방전 파형을 나타낸다. 부분방전 파형은 음의 주기에서만 부분방전이 나타나는 기중방전 형태를 띠고 있음을 알 수 있다.

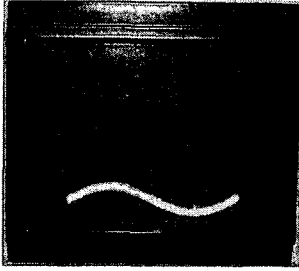


그림 11. 발생된 부분방전 파형

## 4. 결 론

본 연구에서는 End-fitting에 대한 전계해석과 그 해석을 바탕으로 제작된 시료에 대해서 트래킹 휠 시험, 상용주파섬락전압시험, 부분방전시험을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) End-fitting 설계를 위해 금구 형상을 변수 D값에 따른 전계분포를 분석한 결과, 계면값은 계속적으로 감소하지만, 최대전계값은 서서히 포화되는 경향을 보인다. 포화되는 시점의 D값을 적용하여 전계 완화형 애자 시료를 제작하였다.
- 2) 제작된 기존형과 전계 완화형 시료를 트래킹 휠 시험을 실시한 결과, 전계해석을 통해 검토된 전계 완화형 시료가 기존형에 비해 누설전류가 적게 흐르며 이는 전계완화 효과에 따른 것으로 검토된다.
- 3) 트래킹 휠 시험 종료 후, 국외 B사의 기존형과 전계 완화형 시료의 발수성 상태를 검토한 결과, 기존형의 경우 HC 4, HC 5, HC 6 등의 발수등급이 나타난 반면에, 전계 완화형에서는 HC 2, HC 5 등급 정도만 나타났다.
- 4) 기존형과 전계 완화형 시료에 대해서 트래킹 휠 시험시 주요 온도분포를 적외선 카메라로 분석한 결과, 기존형은 주요 온도분포가 금구와 하우징 계면 쪽이며 전계 완화형은 애자 하우징 동부쪽에 나타났다.
- 5) 기존형과 전계 완화형에 대한 상용주파건조 및 주수섬락전압시험 결과, 건조섬락전압시험에서는 두 시료의 섬락전압 값은 거의 같았지만, 주수섬락전압시험에서는 전계 완화형 시료가 미소하게 높게 나타났다.
- 6) 기존형과 전계 완화형에 대한 부분방전 개시 및 소멸전압을 측정된 결과, 기존형은 부분방전 개시전압이 26.4 [kV], 소멸전압은 26.0 [kV]로 나타났다. 그러나 전계완화형의 경우는 개시전압이 34.1 [kV], 소멸전압이 32.8 [kV]로 기존형보다 약 8[kV] 정도가 높게 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원으로 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업으로 수행된 과제입니다.

## 참고 문헌

- [1] R.S. Gorur et al, "Outdoor Insulators", Inc., Phoenix, Arizona 85044, USA.
- [2] 일본 전기협동연구회, "가공송전용 유기애자의 현황과 앞으로의 전망", 제56권, 제1호, 2000.
- [3] A.J. Phillips et al, "Water Drop Corona Effects on Full-Scale 500kV Non-Ceramic Insulators", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 1, 1999.
- [4] CEA(Canadian Electric Association)-01, "Dead-end/Suspension Composite Insulator for Overhead Distribution lines", 1996.