

## 전차 선로용 폴리머 현수애자의 적용 기술

### Application Technologies of Polymer Suspended Insulators for the Electric Track Line

한세원\*, 조한구\*, 송홍준\*\*  
Han Se-Won\*, Cho Han-Goo\*, Song Hong-Jun\*\*

#### Abstract

Polymeric suspended insulators for the electric track line have been developed. The main elements to design polymeric insulators are the insulation ability related with materials of FRP core and housing, and the optimal structure related with fitting parts and interface characteristics. To confirm the design fitness of insulator samples the electric field distribution by FEM and mechanical stress distribution by NASTRAN program was analysed with housing shed shapes and fitting structure. The leakage distance and breakage voltage properties which are core parameters to determine electric insulation ability are selected according to the requirement values of user specification, then the power frequency wet withstand voltage was specified above 22kV and the leakage distance was required above 290mm. The contamination condition of the electric track line was the heavy class according to IEC 815 in order to retain the enough safety margin against overvoltages.

**Key Words :** Polymer Insulator, Electric Track Line, Silicone Rubber, FRP rod, FEM Analysis, NASTRAN Analysis.

#### 1. 서 론

현재 사용중인 국내 전차 선로용 절연물은 자기질 애자 제품이 사용되고 있다. 절연물의 종류는 선로 구간에 따라 다르지만 절연갯의 크기가 180mm와 250mm의 두 가지 형태로 주로 급전 조가선 및 케이블 고정용으로 사용되고 있다.

전차 선로용 절연물은 기존 전력 계통의 절연물보다 안전에 대한 신뢰성이 높게 요구되며 설치 개수가 많아 관리, 교체 작업이 빈번하게 이루어진다. 현재 사용 중인 자기질 애자 갯과 금속류의 부속품으로 만들어진 애자 장치는 무게가 무겁고 구조가 복잡하여 설치 및 관리상 비효율적이라 지적이 있어

왔다. 더욱이 지락 또는 아크 등에 의한 사고 발생 시 자기질 소재의 파편 비산은 안전사고의 가능성을 내포하고 있어 이에 대한 대체 절연물 개발이 요구된다.

전차 선로의 급전이 직류(DC)로 이루어지므로 교류 급전과는 다른 몇 가지 문제점을 해결해야 한다. 교류보다 상시 과전 에너지량이 높기 때문에 장기 열화에 대한 신뢰성을 확보하는 것이 요구된다. 또한 금구류로 기계적 강도를 유지하는 기존 자기질 애자 장치의 구조는 쉽게 전식(electrolytic corrosion)에 노출되어 절연물의 열화로 이어지고 결국 파손되는 내구성 문제도 가지고 있다.

최근 자기질 애자보다 무게가 가볍고 절연성과 내구성이 우수한 복합 폴리머(composite polymer) 애자 장치가 개발되어 미국, 일본, 캐나다 등에서는 그

\*한국전기연구원 신소재응용연구그룹

E-mail : swhan@keri.re.kr, hgcho@keri.re.kr

\*\* 태양산업 : TEL : 051-301-2819

사용이 보편화되는 실정에 있다. 특히 전력계통의 배전용 절연체로서 그 우수성이 알려져 이미 국내에서도 개발이 이루어져 시제품이 사용되고 있다. 또한 이와 관련한 하우징 및 FRP 소재의 국산화 개발이 활발히 진행 중에 있고, 외국 기업의 국내 시장 공략이 본격화되는 시점으로 복합 고분자 소재를 적용한 전차 선로용 애자 장치를 개발하는 것은 그 의미가 크다.

본 연구에서는 기존 전차 선로에 사용되는 옥외용 자기질 애자를 대신하여 복합 폴리머 소재를 사용한 애자 장치를 설계, 적용하는 기술을 소개하였다. 폴리머 하우징과 FRP 코어 소재와 복합재 케이ابل 고정판으로 설계, 제작되며 특히 무게에 있어서 기존 자기질 애자의 1/3로 경감이 가능한 신소재 절연물로 지하철 및 옥외 전철 선로 환경에서 안전성과 고신뢰성이 확보하도록 설계하였다. 또한 기존 자기질 애자 보다 길이를 10% 이상 경감이 가능한데 이러한 장점은 향후 지하철 터널 공사 시 높이를 줄일 수 있는 이점이 있다. 개발 제품의 부속품은 기존 금구류 대신 중심 코어를 고강도 FRP로 케이ابل 고정판은 복합재 고분자 소재로 대체 제작되어 전식에 대한 사고 예방도 가능하다.

## 2. 전차 선로용 애자 장치 설계

### 2.1 폴리머 애자의 주요 설계 요소

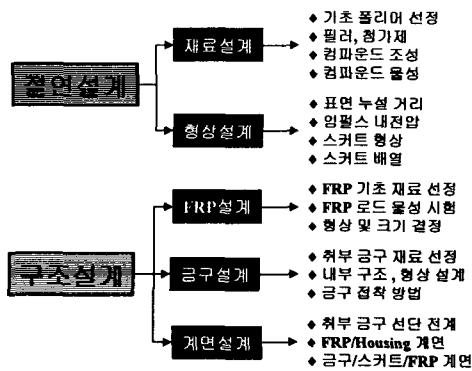


그림 1. 주요 설계 요소 분류

### 2.2 애자 형상과 적용

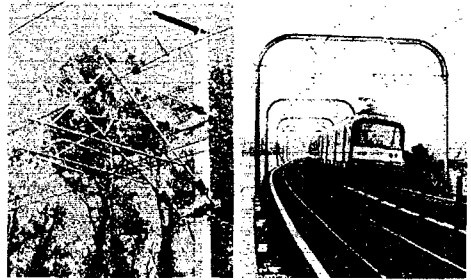


그림 2. 기존 자기제 현수애자의 적용 현장

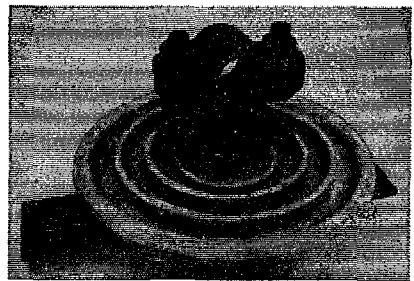


그림 3. 전차 선로용 폴리머 현수 애자

### 2.3 전계 해석

그림 4는 전차 선로용 애자를 축대칭으로 설계한 모델이다. 구성요소 전극, FRP, 실리콘 고무의 유전율을 재료 파라미터로 설정하여 정전계 해석을 하였다. 지하철 선로용 애자는 정격전압이 DC 1500V이므로 모델에 1500V 전압을 설정하였다.

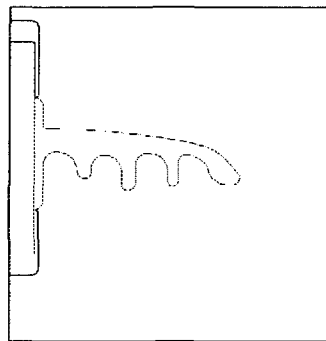


그림 4. 축대칭 설계 모델링

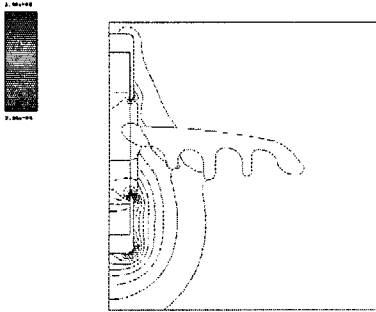


그림 5. 전계 분포

그림 5는 전계 분포를 contour plot한 것으로, 최대 전계값은  $1.4E+06[V/m]$ 로 하부 금구와 하우징의 계면에서 나타났다. 최대 전계값은 실제 절연재료의 섬락 전압에는 못 미치지만, 열화가 발생할 때 이 부분에서 발생할 확률이 높다. 전계 분포에 대한 흐름을 보기 위해 전계값을 낮춰 shade plot하여 전계 집중도를 자세히 보면 전계 집중의 흐름이 하우징에 의해 완만해지지 않고 상하부 수직 거리 방향으로 생기는 것을 볼 수 있다. 이는 장기간 전계 스트레스를 받을 경우 섬락이 수직으로 발생할 가능성이 높다.

## 2.4 전기적 특성과 설계

표 1. 주요 전기적 특성 요구값(250T)

항목	특성값
상용주파 주수 내전압 시험	22kV
상용주파 전압 시험	55kV
뇌충격 내전압 시험	80kV
상용주파 유증파괴 전압 시험	140kV 이상
과전 파괴 하중 시험	1,000kgf
급힘 파괴 하중 시험	500kgf
고주파 전압 시험	200kHz, 3-5sec
표면 누설 거리	290mm 이상

전차 선로용 폴리머 애자의 전기적 절연은 주로 하우징이 담당한다. 환경적으로 국부 방전에 의한 침식이 발생하고 외부 자외선에 노출되어 사용하므로 이와 관련된 열화 내구성이 검증된 소재를 선택해야한다. 따라서 본 연구 시제품에 사용된 하우징은 실리콘 합성 고무를 베이스로하고 국부 방전 침

식과 자외선에 대한 내성을 갖도록 적정의 충전제가 혼합된 소재를 선택하였다. 이들의 기본 물성은 ASTM 규격시험에 따라 검증하였다.

애자의 절연설계에 있어서 표면누설거리(leakage distance)의 결정이 가장 중요하다. 주로 AC 주수 내전압 특성을 근거로 적용환경의 오손 등급을 고려하여 충분한 내전압을 확보할 수 있도록 설계되어야한다. 일반적으로 전차 선로용 애자는 중오손(heavy contamination, IEC 815 기준) 환경으로 간주하여 적정의 안전율을 가지고 설계한다.

갓의 형상은 일반 전력 계통에 사용되는 폴리머 애자와 같이 충분한 직선 거리를 가지로 갓의 수를 증가하면서 누설거리 및 단락 내구성을 설계하는 반면 전차 선로용 애자의 경우 적용 개소 높이가 제한되어있기 때문에 갓의 형상은 기존 자기재 형상을 따르게 된다. 이때 내절연성과 오손성이 우수한 FRP 코아와 하우징의 장점을 이용하여 단순 경량화 구조로 설계가 가능하다.

## 2.5 기계적 응력 해석

기계적 특성을 알아보기 위해 NASTRAN 프로그램을 이용하여 응력해석을 실시하였다. 총 요소수는 7775개, 절점수는 16124개로 구성하여 해석을 하였으며, FRP 코아와 금구류의 형상에 따른 응력 형태를 해석하여 설계에 적용하였다. 표 2는 해석에 사용한 주요 재료 요소의 기계적 물성치이다.

표 2. 주요 재료의 물성치

재료	물성치
FRP Rod (Glass fiber)	$V_f$ : 60 (Volume fraction) $E_f$ : 45 GPa $E_r$ : 12 GPa $G_{fl}$ : 5.5 GPa $\nu_{fl}$ : 0.28
Shed	$E$ : 5 MPa $G$ : 2 MPa $\nu$ : 0.25

## 참고 문헌

- [1]. KS C 3824 - 1991 전차 선로용 애자
- [2]. Insulators for High Voltages, J. S. T. Looms, IEEE Power Engineering Series 7, 1988
- [3]. ANSI C29.1 - 1988 For Electrical Power Insulators - Test Methods