

## 폴리머 애자의 산불 신뢰성 평가 연구

이원교, 최인혁, 황갑철, 최한열\*  
한전 전력연구원, 한전 중앙교육원\*

### A Study on the reliability analysis of Forest Fire on Polymer Insulators

Won Kyo Lee, In-Hyuk Choi, Kab Cheol Hwang, Han Yeol Choi\*

KEPRI (Korea Electric Power Research Institute), KEPCO(Korea Electric Power Corporation)\*

**Abstract** -The forest fire simulation tests were performed with polymer and porcelain insulators at Gochang testing center. These tests consisted of energizing 90 kV at line-to-ground voltage of 154 kV lines and open flame rising up to 600-630°C as being measured at insulator surface. Mechanical and electrical characteristics such as specific mechanical load, leakage current, low frequency dry flashover voltage and impulse flashover voltage were analyzed for the polymer insulators before, during and after simulation tests compared with porcelain insulators. At the end of fire simulation tests, there was no detrimental deterioration of any insulators. All insulators passed the criteria of KEPCO specification. This study showed that forest fire simulation had no impact on polymer insulators.

#### 1. 서 론

우리나라 송전선로는 대부분 산악지형에 포설되어 있어서 산불 발생 시 전선이나 애자 등의 전선지지 절연물이 자신의 특성을 상실하게 되면, 전력공급 차질이 발생하고 이에 따라 산업전반에 부정적 과급 효과는 엄청날 것이므로 이에 대한 대책이 필요하다. 이중 절탑 및 전선은 철재로 구성되어 있어 용융점이 높아 고온의 화재에도 견딜 수 있지만 전선 지지물을 구성하고 있는 절연물인 애자는 화재에 의해 영향을 많이 받게 된다. 특히 전선 지지물중 절연 특성 및 발수 특성이 우수하고 뛰어난 내오손 특성을 갖고 있으며 무게가 가벼워 설치하기 쉽고 운반 및 설치가 용이하여 송배전 가공 선로에서의 사용이 점점 증가하고 있는 폴리머 애자는 자기(porcelain) 애자에 비해 가공선로에 도입되어 사용된 기간이 짧아 산불과 같은 화재 시에 폴리머애자의 안정성에 대한 신뢰성 검증이 필요하다[1]. 폴리머 애자가 산불에 대하여 취약하거나 신뢰성이 크게 저하된다면 송전선로의 안정적 운용에 심각한 장애 요소가 될 것이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 국내 산불 특성

산불이란 산림 내에서 낙엽, 나뭇가지, 풀, 임목 등이 연소되는 화재로서 실화, 낙뢰, 방화 등으로 발생된 불씨가 산림 내의 가연물질을 연소시키는 것을 말한다. 우리나라는 산림을 구성하는 수목 가운데 불에 타기 쉬운 침엽수가 42%를 차지하고 있고, 지표면에 가연성 낙엽이 많이 쌓여 있고, 야산의 밀집과 굴곡이 심하여 산불의 진행속도가 빠르다. 일반적으로 산불의 화염 중심부의 최고 온도는 약 1,200도까지 올라가고 경계면의 최고 온도는 약 1,100도이며 화염부 주위의 연기 온도는 520도까지 올라가는 것을 알 수 있다. 또한 불기둥의 최고 높이는 지상고 기준으로 20~30 m 정도인 것으로 알려져 있다[2].

##### 2.2 산불 모의 시험 조건

실제 산불과 유사한 조건으로 시험하기 위하여 고창 전력시험센터의 154 kV 시험 선로에 전압을 인가하면서 목재를 이용하여 산불모의시험을 시행하였다. 산불 모의시험은 송전 시험선로에 상전압 90 kV를 인가하여 모의산불의 화염 온도를 측정하고 그때의 누설전류 특성이 어떤 특성 변화가 있는지 분석하기 위한 시험이다.

##### 2.2.1 시험 설비

그림 1은 모의산불 시험을 위한 시험설비이다. 그림 1(a)에서 암의 최저 높이는 10 m, 폴리머애자의 길이가 약 2 m이며, 구조물은 가로, 세로 2 m × 2 m로 높이는 5 m이다. 따라서 목재와 애자와는 3 m의 이격거리가 있다. 또한, 그림 1(b)에서 온도 센서는 송전선에 가까이 설치하면 90 kV의 전압 때문에 섬락이 발생함으로 접지 축(철탑 암)부분에 설치하였다. 그리고 누설전류를 측정할 수 있는 리드선은 온도센서 바로 전(전원 축) 폴리머애자의 로드부와 자기애자의 캡 부분에 설치하였다.



(a) 산불 모의시험장 (b) 애자 시료 설치

<그림 1> 시험 설비

##### 2.2.1 애자 시료

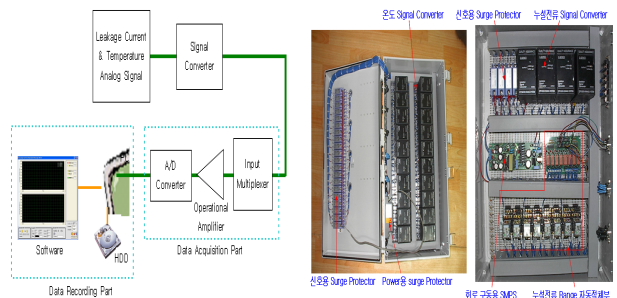
본 연구에 사용된 자기 애자와(25,000lbs) 폴리머 애자(SR25), 두 제품 모두 한전이 송전선로에 사용하고 있는 국산 제품이다[3].

<표 1> 시험시료의 특성치

구 분	폴리머	자기(1련)
1. 구조 및 치수		
연결길이 (mm)	584	146
건조섬락길이 (mm)	363	-
누설거리 (mm)	784	280 이상
2. 전기적 특성		
건조섬락전압 (kV)	142	76
주수섬락전압 (kV)	127	
충격섬락전압 (kV)	정극성	232
	부극성	250
115	119.6	
3. 기계적 특성		
규정인장하중 (SML, lbf)	25,000	25,000
인장내하중 (RTL, lbf)	12,500	12,500

##### 2.2.2 온도 및 누설전류 측정 장치

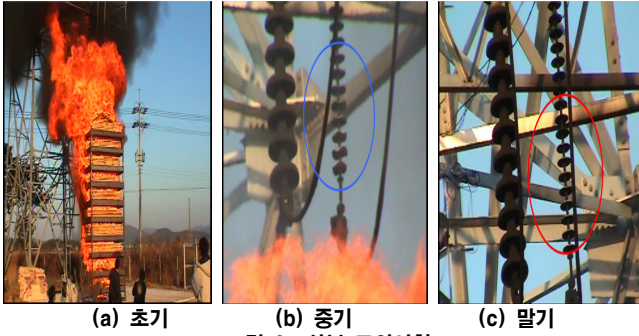
애자 표면의 누설전류와 온도를 측정하기 위하여 신호변환기, 자료수집 저장장치, 쉐지 보호 장치 등으로 구성된 누설전류 및 온도 측정 장치를 개발하여 사용하였다. 누설전류 측정을 위한 누설전류 측정부와 온도 측정을 위한 온도 측정부를 기본으로, 과도 쉐지(Surge) 전압으로부터 시스템을 보호하기 위한 쉐지 보호부 및 자료를 수집 및 저장하기 위한 데이터 저장부 등 4부분으로 구성되어 있다 (그림 2).



<그림 2> 온도 및 누설전류 측정 장치

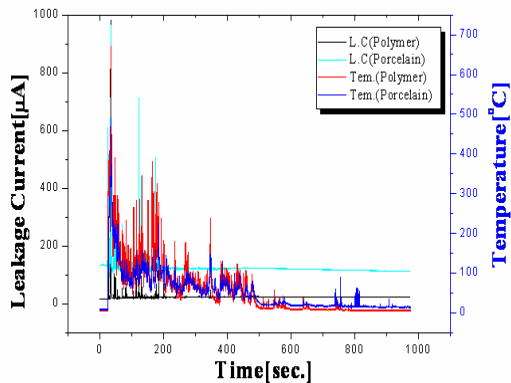
### 2.3 산불 모의 시험

그림 3은 시험선로에 상전압 90 kV 인가한 상태에서 목재를 이용하여 실제 산불과 최대한 유사한 모의시험 장면을 시간 경과에 따라 나타낸 것이다. 먼저 (a)는 시험 초기에 강한 불기둥이 발생하는 장면이고, 그림 (b)는 고온, 가압 상태에서 폴리머애자의 변형을 확인 할 수 있는 장면이다. 불꽃에 가까운 실리콘 애자 갓 부분이 심하게 찌그러짐을 확인하였으며, 반면에 무기물로 이루어진 자기 애자는 육안으로 큰 변화는 없었다. 그리고 그림 (c)에서는 시험이 끝난 후 폴리머애자의 갓 부분이 상당 부분 복원되었음을 확인 가능하다. 실리콘 애자는 난연성을 가진 고무 재료로서, 특유의 유연성으로 600°C 이상의 고온에서 갓의 변형은 있었지만, 화염이 지난 후에 원형에 가깝게 복원되는 특성이 있는 것을 확인하였다.[4]

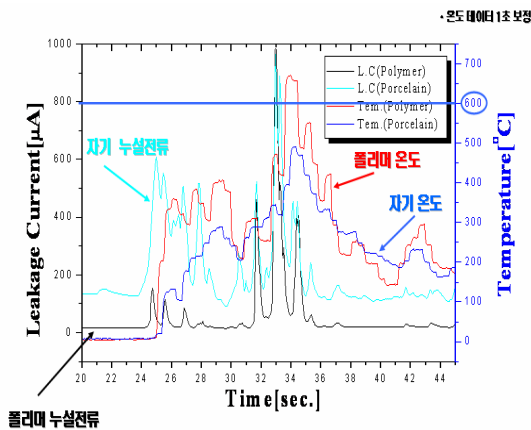


〈그림 3〉 산불 모의시험

그림 4은 90 kV 가압시험의 온도 및 누설전류 특성을 나타낸 그래프로 데이터는 초당 20개씩 취득하였다. (a)는 시험 전체의 온도와 누설전류를 그래프이고, (b)는 최고온도가 측정된 20초에서 40초까지의 부분을 확대한 것이다. 화염 접근 전의 폴리머애자 및 자기애자 누설전류는 각각 20[ $\mu$ A], 140[ $\mu$ A] 정도로 낮았다. 그러나, 폴리머애자의 최고온도 660°C와 자기애자의 최고온도 490°C일 때 누설전류는 모두 약 1[mA]까지 상승하였다.



(a) 시험 전체 온도 및 누설전류



(b) 최악의 상태에서 온도 및 누설전류

〈그림 4〉 산불모의시험의 온도 및 누설전류 특성

폴리머애자의 경우 400°C이상이 온도에서 누설전류가 급격하게 증가하였지만, 400°C이하의 온도에서는 누설전류에 큰 영향을 주지 않았다. 결과적으로, 고온에서 폴리머애자의 누설전류가 증가한 이유는 고온의 온도가 폴리머애자의 갓을 변형시켜 누설거리가 감소하여 누설전류가 급격히 증가한 것으로 판단된다. 그러나 고온의 화염이 지난 후에 누설전류는 다시 시험전의 누설전류와 같은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

표 2은 고창 전력시험센터의 시험선로에서 실시한 가압 산불모의 시험 후, 모의 시험하지 않은 시료와 비교한 값을 정리한 것이다.

가압 시험한 폴리머애자에 대하여 중요한 전기적 특성인 뇌충격섬락 시험과 상용주파건조섬락시험 및 인장파괴하중시험을 실시하였다. 애자의 건조섬락거리에 깊이 관련된 특성인 뇌충격건조섬락전압 및 상용주파건조섬락전압 값은 산불 모의를 하지 않은 건전 시료와 비교한 결과 모두 커다란 변화 없이 비교적 유사한 값을 나타내었다. 이러한 전기적 특성 결과는 폴리머 애자의 절연물인 실리콘 하우징에 균열 등의 어떠한 이상도 발생하지 않았으며 또한 건조섬락거리도 변화가 없으므로 불꽃에 의한 영구적 찌그러짐이나 변형이 발생하지 않았음을 입증하는 것이다.

〈표 2〉 모의시험 전, 후 전기적, 기계적 시험결과

구분	폴리머애자 (SR25N)			자기애자 (25,000lbs)			
	정격	시험전	시험후	정격	시험전	시험후	
뇌충격건조	정	830	863	880.6	125	387.8	127.9
섬락전압[kV]	부	830	942	963	130	492.2	121.3
	상용주파건조	450	554	525	80	245.5	86.8
인장파괴하중[ton]	12	16	12.8	-	17.75	15.7	
판정		양호	양호		양호	양호	

자기 애자도 산불 전, 후 모두 비슷한 특성 값을 나타내어 산불 모의에 영향이 적음을 나타내었다. 폴리머 애자와 자기 애자등 모든 시료는 한전이 규정하고 있는 정격 기준 이상의 양호한 특성을 나타내었다.

다만, 폴리머 애자의 산불 모의 후 시료의 인장파괴하중 값은 모의전 시료 값보다 20% 정도 감소하는 모습을 보였는데, 이는 불꽃의 고온으로 FRP 로드를 압착한 금구가 약간 팽창함으로 압착력이 감소한 것으로 판단된다. 그러나 한전이 정한 신품 기준치 이상을 나타냄으로 신뢰성에는 큰 영향이 없다고 판단되었다.

### 3. 결 론

우리나라에 발생하는 산불의 특성에 대한 폴리머애자의 신뢰성을 연구하기 위하여, 산불 조건을 모의하는 시험을 실시하였다.

전압을 인가하면서 산불 모의시험을 시행하여 온도 및 누설전류를 측정, 분석하였으며, 산불 모의 후 전기적 및 기계적 특성 평가를 통하여 산불에 대한 신뢰성을 평가하였다.

실제 송전 선로에서 산불 시험을 수행한 결과, 폴리머애자와 자기 애자 모두 성능에 큰 영향을 미치지 않았다. 산불 조사와 모의시험 결과를 종합하면, 실제 산불은 600°C 주변(부근)의 불꽃 온도에서 1분 이내로 애자를 스치고 지나갈 것으로 판단되며, 이러한 조건에서는 폴리머애자의 성능에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

사용 초기인 폴리머애자의 산불에 대한 특성을 이미 수십 년 간의 사용 실적이 있는 자기 애자와 비교하면, 자기애자가 보다 높은 특성을 가지고 있으나 154 kV 송전선로 사용 시는 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] 한전전력연구원 기술보고서 “송전용 폴리머 애자의 산불영향 신뢰성 평가 보고서”, 2005
- [2] 이시영, “산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구”, 동국대학교대학원 박사학위논문, 1995.
- [3] C. H. Lee, S. U. Kim, “Flaming Phenomenon on the Surface of Electric Insulation Materials”, Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry Journal, Vol.1, No.2, pp.718-751, 1997.
- [4] 최인혁, 최장현, 박준호, 이동일, 김태영, “154kV 송전용 폴리머 애자의 산불에 대한 누설전류 및 온도 특성”, 2006년도 전기전자재료학회 하계학술대회, 2006전력연구원, 765kV 계통 절연협조 연구, 1995