

송전용 폴리머 애자의 산불영향 신뢰성 평가(1)

최인혁, 이동일, 전영준, 이철호
한전전력연구원, (주)평일 기술연구소*

Reliability Assessment of Forest Fire on Transmission Lines Polymer Insulator (I)

In-Hyuk Choi, Il-dong Lee, Young-Joon Jeon, Chul-Ho Lee*
KEPRI, PYUNGIL Co., Ltd.*

Abstract

65% of the Korean peninsula is composed of mountainous area, 97% of which is composed of forest. Therefore, there is high possibility of mountain fire because a lot of potential inflammables such as fallen leaves are stacked on the ground. Moreover, most of the overhead transmission lines in Korea are operated on the mountain. However, there has been very little study for the effect of mountain fire on polymeric insulator for transmission line, though the study is significantly required

Therefore, in this study the authors observed the deformation of the housing of the insulator under fire with respect to the ignition time, using artificial ignition testing equipment, and investigated electrical and mechanical characteristics of the insulator by dry withstand voltage test, impulse flashover test and tensile load test.

Key Words : Transmission Line, Polymer Insulator, Forest Fire Effect, Artificial Fire Tester

1. 서론

우리나라의 지세는 전 국토의 65%에 이르는 산지와 이중 97%가 임목지로 형성되어 있다. 또한 지형의 대부분에는 낙엽 등의 가연물질이 많이 쌓여있고, 급경사와 험준한 산악형 산림으로 이루어져 있다. 이러한 지세와 계절적인 기후의 영향으로 산불발생이 일어나기 쉽고, 연소진행속도 역시 대단히 빨라 급속한 산불의 확산과 대형화의 위험성을 안고 있다. 최근 우리나라의 산불발생의 추이를 살펴보면 최근 5년간(1996~2000)에 472건의 산불발생에 약 7000 ha의 피해면적에 160여 억의 피해액이 발생하였으며 건당 평균 피해 면적은 14.7 ha

에 이르고 있다.[1, 2]

송전용 폴리머 애자는 잘 알려진 바와 같이 1960년대에 개발 및 생산을 시작으로 꾸준한 재료연구를 통하여 트래킹, 내후성 등의 특성이 많이 향상되었다. 폴리머 애자의 장점을 잠시 열거하자면 제품이 경량이어서 운반 및 설치가 용이하고 우수한 발수특성으로 섬락현상의 감소로 내오손 특성을 가지고 있으며 우수한 기계적 강도, 대량생산 및 긴급제조 가능 등의 우수한 특성을 많이 가지고 있어 점점 송·배전 가공선로에 많이 쓰이고 있는 추세이고, 이런 추세에 발맞추어 송전용 폴리머 애자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

우리나라의 송전선로의 대부분은 산악지형에 포

설되어 있어, 산불과 같은 화재가 발생하여 전선이나 애자 등의 부차물이 자신의 역할을 하지 못하면 송전선로가 운영되지 못하여 산업전반에 미치는 파급효과는 엄청나게 된다. 하지만 자기재 애자에 비해 폴리머 애자의 사용기간이 짧아 산불과 같은 화재시에 폴리머 애자의 안정성에 대한 일부의 우려가 있는 것이 사실이다. 더욱이 지금까지 국내외의 산불영향에 대한 폴리머 애자의 신뢰성에 대한 연구는 거의 없었다.

따라서 본 논문에서는 축소 제작한 송전용 폴리머 애자를 산불의 불꽃을 모의한 조건에서 직접적인 실험을 통하여 시간의 경과에 따른 폴리머애자의 하우징 변화를 관찰하고 각 특징적 단계에 따른 시료를 이용하여 건조섬락시험, 충격섬락시험과 규정인장하중시험을 통하여 폴리머애자의 전기적, 기계적 특성을 파악하여 산불영향이 송전용 폴리머애자에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 시료

송전용 폴리머애자에 대한 산불영향 실험에는 실제의 산불과 유사한 조건을 만들어주기 위해 그림 1에서 보여주는 바와 같이 애자를 장착하였고 0~1000℃까지 온도를 측정할 수 있는 온도측정장치와 폴리머 애자를 일정한 힘으로 지지하기 위해 5 ton까지의 인장력을 가지는 로드셀 장치를 고정 프레임에 장착하였다. 가열장치로 프로판 가스와 공기를 이용한 케이블 난연 시험기를 그림에서 보는 바와 같이 설치하였다.

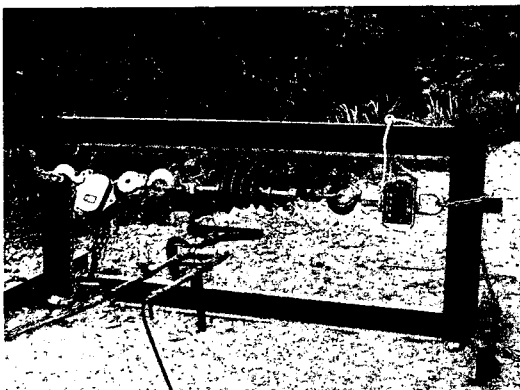


그림 1. 산불모의 인공화염 장치

시료는 154 kV 송전선로에 사용되는 규정인장하중이 25,000 lbs용과 36,000 lbs용 폴리머 애자로 시험설비를 고려하여 연결 길이를 584 mm로 축소 제작하였다. 제작된 폴리머 애자의 하우징은 실리콘 재질이며 내부 코어는 유리섬유강화플라스틱 (FRP)을 사용하였다.

2.2 실험조건

철탑의 높이 전선의 이도 등을 고려하여 산불이 폴리머애자에 미치는 거리를 대략 100 m(반경)로 가정하였고, 산불의 화염 중심부의 최대 온도인 1200℃와 화염의 최대온도인 600℃를 고려하여 실험의 온도를 600~900℃까지 변화시키면서 시간의 경과에 따른 폴리머 애자의 변화를 관찰하였고, 실험을 진행하면서 하우징 변화에 따른 각 단계별 시료를 채취하여 건조섬락전압, 충격섬락전압과 규정인장하중(SML)시험을 통하여 폴리머 애자의 전기적, 기계적 특성을 파악하였다. 이를 표1에 나타내었다.

표 1 실험조건 및 실험장치

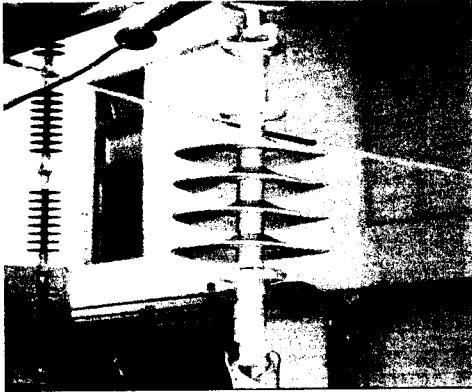
폴리머 애자	25,000, 36,000 lbs [축소제작]
하중	4.1 ton(SML의 33%)
온도	600~900℃
시간	5~50 min
건조섬락시험장치	Hipotronics AC H.V tester[max 350 kV]
충격섬락시험장치	Hipotronics [RCC 100D]
규정인장하중시험장치	수직인장시험기(max50 ton) [SML: 12,500 kg]

3. 결과 및 고찰

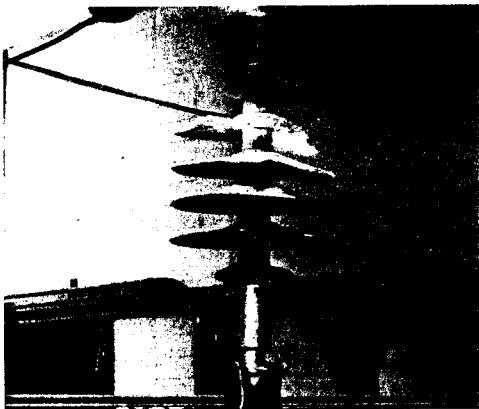
3.1 모의산불로 인한 하우징의 변화

그림 2는 시간의 경과에 따른 폴리머 애자 하우징의 외관변화를 나타낸 그림이다. 그림(b)에서 보는바와 같이 실험시간이 5분을 경과하면서 하우징의 온도가 상승되기 시작하여 갓(shed)의 일부부분이 연소되었다. 가열시간이 20분을 지나면서는 갓이 연소되었고 시스(sheath) 부분의 연소가 진행되었다. 30분을 지나면서는 새로운 진행은 발견되지 않았으며, 가열시간이 40분을 지나면서 시스 부위가

소실되었다. 가열시간이 50분을 경과하면서 갓과 시스 부분이 소실되었지만 가열시간이 50분 이상 경과하여도 폴리머 애자의 기계적인 분리는 나타나지 않았다.



(a) 신품



(b) 5분 경과



(c) 20분 경과

그림 2. 시간경과에 따른 폴리머애자 하우징의 변화

3.2 전기적 특성

3.2.1 상용주파 건조섬락전압시험

시간의 경과에 따른 폴리머 애자의 상용주파 건조섬락전압시험의 결과치를 표 2에 나타내었다. 모의화염 실험시간이 5분 경과후의 폴리머 애자 두 개와 20분 경과후의 폴리머 애자에 대해 각각 5번의 테스트를 시행하여 모의화염 시험전의 제품의 측정치와 비교하였으며 이들 값에 대한 평균치를 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 모의화염 시험전의 제품과 비교하여 보았을 때 5분 경과후의 제품은 대략 정상일 때보다 11% 감소하는 것을 알 수 있고, 20분경과 후에는 27% 감소함을 알 수 있다.

표 2. 상용주파 건조섬락전압시험 결과치 (단위:kV)

테스트 횟수	신품	5분경과 (#1)		5분경과 (#2)		20분경과 (#3)	
#1	129	118	91%	111	86%	88	68%
#2	129	117	91%	112	96%	87	78%
#3	126	115	91%	109	87%	95	75%
#4	129	117	91%	110	85%	95	74%
#5	126	114	90%	111	88%	103	82%
평균	128	116	91%	111	87%	94	73%

상용주파 건조섬락전압은 주로 애자의 건조섬락거리에 의존하는 값으로서, 5분 정도의 화염에 노출된 시료는 약간의 하우징 손실로 상용주파 건조섬락전압이 약 10% 정도 감소되었으며 화염에 20분 정도 노출된 하우징의 갓 부분이 연소된 시료는 소실된 갓 부분만큼의 섬락거리 감소로 약 30% 가까이 상용주파 건조섬락전압이 감소하였다. 이 결과는 화염으로 하우징이 연소된 만큼의 섬락거리 감소로 상용주파 건조섬락전압이 감소하였고 다른 영향은 받지 않는다는 것을 나타낸다. 즉, 금구 압착 연결부분이 연소 등으로 인한 절연파괴 등의 화재의 영향을 받지 않았다고 생각되며 이는 화재에도 불구하고 기본적인 전기적 특성은 그 값을 유지하고 있음을 보여주고 있다.

3.2.2 충격섬락전압시험

건조섬락시험과 마찬가지로 시간의 경과에 따른 폴리머 애자의 충격섬락전압시험의 결과치를 표 3에 나타내었다. 가열시간의 경과에 따른 갓, 시스의 손실이 전기적인 특성에는 커다란 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 또한 상용주파 건조섬락전압 변화와 유사한 결과를 보임으로서 전기적 특

성은 단순히 하우징의 연소로 인한 건조섬락거리의 감소만큼만 감소됨을 확인하였다.

표 3. 충격섬락전압시험 결과치 (단위:kV)

	신품	5분경과 (#1)		5분경과 (#2)		20분경과 (#3)	
정극성	230	207	90%	213	93%	154	67%
부극성	284	265	93%	286	101%	204	72%

3.2 기계적 특성

인공화염 모의시험을 마친 폴리머 애자에 대해 수직인장 시험기를 이용하여 규정인장하중시험을 실시하였다. 그 결과를 표 4에 나타내었다. 규정인장하중의 기준치는 12,500 kgf로 시험결과 모든 폴리머 애자가 시험을 통과하였으며 인공화염 모의 시험 중 육안으로 관찰하였을 때 역시 기계적 분리는 나타나지 않았다. 이는 외관상으로 갓과 시스의 손실이 FRP 로드의 기계적 특성에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

표 4. 인장파괴 하중시험결과

	신품	5분경과 (#1)	5분경과 (#2)	20분경과 (#3)
최대하중 (kgf)	12,955	12,755	13,015	12,585
SML 시험	pass	pass	pass	pass

4. 결론

인공모의 화염시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화염의 가열을 시간이 5분 정도일 때는 하우징의 일부 손실이 있었지만 전기적 특성(85% 이상)과 기계적 특성(SML 유지)은 양호하였다.
2. 가열시간이 20분 이상일 때는 하우징의 갓이 손실되고 약간의 전기적 특성의 저하(70%)는 있었지만 기계적 특성은 양호(SML 유지)하였다.
3. 폴리머 애자의 갓이나 시스부가 자기재와 같은 불연성은 아니지만 난연성임을 확인하였다.

본 연구의 실험은 실제 산불 발생시 폴리머 애자에 기계적 분리가 나타나는가에 대한 관점에서 실시하였으므로 실험조건이 실제 현상을 완벽하게 모의하였다고는 판단할 수 없다. 즉, 실험에 적용한 온도 및 가열시간이 지나치게 가혹하다는 것이다. 다만, 가혹한 조건에서도 폴리머 애자의 기계적 분리 현상은 일어나지 않음으로서 산불과 같은 화재에도 송전용 폴리머 애자의 안정성에 대한 우려를 어느 정도 제거시킬 수 있었다.

추후에는 좀더 온도 제어가 용이한 모의실험 장치를 개발 및 제작하여 산불에 대한 송전선로의 폴리머 애자의 신뢰성 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 이시영, 한상열 외 4인, "강원도 지역 산불발생인자의 지역별 유형화", 한국농림기상학회지, 제3권, 제3호, pp. 135~142, 2001.
- [2] 이시영, 강용석, 안상현, 오정수, "GIS를 이용한 산불피해지역 특성분석", 한국지리정보학회지, 제5권, 제1호, pp. 20~26, 2002.
- [3] R. S. Gorur, E. A. Cherney and J. T. Burnham, "Outdoor insulators", Ravi S. Gorur, Inc., p. 200, 1999.
- [4] ANSI C29.11, "Composite Suspension insulators for Overhead transmission lines-tests", 1989.