

송전용 폴리머애자의 산불 영향 신뢰성 평가

민병욱* 신태우* 최인혁* 최한열* 박재웅** 유근양***
 *한국전력공사 **한밭대학교 ***주)평일

Reliability Assessment of Forest Fire on EHV Polymer Insulator Strings

Byeong-Wook.Min* Tai-Woo.Shin* In-hyuk.Choi* Han-Yeol,Choi* Jae-Ung.Park** Kun-Yang,Yu***
 *Korea Electric Power Corporation **Hanbat National University ***Pyungil Co.,Ltd.

Abstract - Porcelain insulators have generally been used in Korea but polymer insulators which are superior in that they are light weight, explosion proof, impact proof, economical with construction characteristics, have been in use for the 154kV transmission line since 1999 following a worldwide trend towards the reduced weight, simplification and compact usage of new material insulators. However there have been approximately 500 cases of forest fires in Korea, so the transmission lines that for the most part pass through mountainous areas have been highly effected and the highly polymerized compound polymer insulator has raised concern about reliability in cases of exposure to forest fires. Therefore for the reliability assessment of the effect of forest fires on polymer insulators, mechanical and electrical characteristics are analyzed by an artificial flare test device and transmission facility surrounding conditions along with forest fire characteristics are surveyed. In addition to this, actual 90 kV energized transmission line was tested with an artificial forest fire and the expanded usage of polymer insulators is presented through the analysis of mechanical and electrical characteristics and physical properties, and a study on the influence of forest fires on polymer insulators.

1. 서 론

우리나라의 송전선로용 애자는 대부분 자기계 현수애자(porcelain suspension insulator)를 사용하여 왔으나 송전설비의 경량화, 단순화, compact화를 위한 신소재 애자 사용의 세계적 추세에 따라 경량성, 방폭성, 충격성, 경제성, 시공성 등에서 우수한 특성을 갖고 있는 폴리머애자를 1999년부터 154kV 송전선로에 사용하기 시작하였다. 그러나 우리나라는 연평균 약 500여건의 산불이 발생되고 있어 대부분 산악지를 경과하고 있는 송전선로 운전에 많은 영향을 주고 있으며, 자기애자와는 달리 고분자 중합체 화합물인 폴리머애자가 산불에 노출될 경우 신뢰성이 우려되어 왔다. 따라서 폴리머애자의 산불영향에 대한 신뢰성 평가를 위하여 송전설비의 환경조건과 산불특성을 조사하고 인공화염시험장치를 이용한 모의시험을 실시하여 기계적·전기적 특성을 분석하였으며, 또한 실제 송전선로에 154kV 상전압인 90kV를 인가하고 산불을 모의한 현장시험을 시행한 후 기계적·전기적 특성시험과 물성을 분석하고 산불이 폴리머애자에 미치는 영향을 연구하여 향후 송전용 폴리머애자의 확대 사용방안을 제시하였다.

2. 송전용 폴리머애자의 개발 및 사용

2.1 폴리머애자의 개발

폴리머애자는 1940년대에 bisphenol epoxy를 이용하여 옥내용 절연물로 개발하여 사용하기 시작하였으며, 1950년대에는 alumina trihydrate의 tracking 억제특성이 확인됨에 따라 옥외용으로 사용되었다. 1957년에는 cycloaliphatic epoxy 애자가 개발되었으며 1960년대에는 polymer 고무애자가 개발되었다. 1970년대부터 폴리머애자를 사용하기 시작하여 1977에는 Hydro Quebec에서 735kV 초고압 송전선로에 사용하였고 1980년대부터는 외국의 많은 전력회사들이 폴리머애자를 사용하기 시작하였으며 1995년부터는 대부분의 전력회사들이 배전선로에 설치하였다.[1]

2.2 송전용 폴리머애자의 국산 개발 및 사용

우리나라는 1999년 3월부터 미국 LNPI사의 폴리머애자를 도입하여 154kV 호남송전선로 등 8개 송전선로에 1,795련을 최초로 사용하기 시작하였으며, 2001년 11월에 평일산업에서 154kV 국산 폴리머애자를 상용 개발하므로써 2002년 10월에 154kV 웅천분기 송전선로 등 8개 송전선로에 국산 폴리머애자 815련을 최초로 설치하였다. 2003년 12월에 LS전선의 폴리머애자 815련을 6개 송전선로에 시험 설치하였고 2004년 12월에는 고려애자 폴리머애자 815련을 6개 송전선로에 설치하여 시험사용 중에 있다. 345kV 송전용 폴리머애자는 현재 국산 개발하여 특성시험 중에 있으며 2006년 하반기에 시험 사용할 예정이다. 현재 우리나라 송전선로에는 자기애자, 유리애자, 폴리머애자가 사용되고 있으며, 애자종류별 사용현황은 표1과 같다.[2]

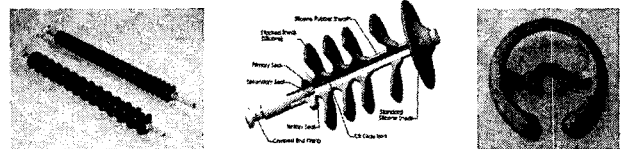
<표 1> 송전용 애자종류별 사용현황

애자종류	설치수량(개)	점유율	사용전압
자기애자	8,288,553	99.51 %	154 / 345 / 765 kV
유리애자	37,034	0.44 %	345 kV
폴리머애자	4,240	0.05 %	154 kV
합 계	8,329,827	100 %	

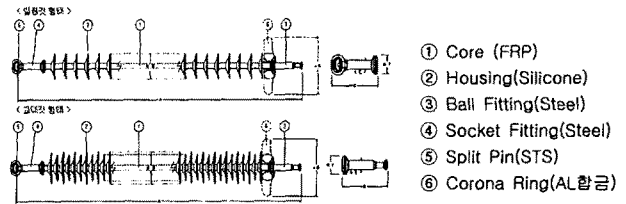
3. 송전용 폴리머애자의 구조 및 특성

3.1 송전용 폴리머애자의 형상 및 구조

Polymer는 같은 종류 또는 다른 종류들의 고분자가 중합하여 생기는 화합물을 말하며, 폴리머애자(polymer insulator)는 고분자 중합체 화합물인 폴리머로 만든 애자로 EPDM, silicon rubber, epoxy 애자를 충전하여 composite insulator라고도 한다. 송전용 폴리머애자는 core, housing and shed, ball fitting, socket fitting, split pin과 corona ring으로 구성되어 있다. Core는 FRP rod로 내부절연 및 기계적 용력을 담당하며 에폭시수지에 glass fiber를 함침시켜 인발 성형으로 제조하고, housing과 shed는 silicone 의피로서 core를 보호하면서 외부환경에 의한 오손특성과 누설거리를 확보하는 기능을 담당한다. End fitting(ball and socket fitting)은 철탑과 전력선을 연결하기 위하여 절연부 양단에 취부되는 연결용 금구이며, corona ring은 tracking 등에 의한 코로나와 전과장해로부터 shed를 보호하기 위한 금구류로 송전용 폴리머애자의 형상 및 구조는 그림1 및 그림2와 같다.[1]



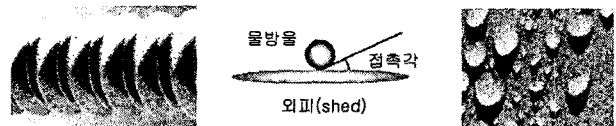
<그림 1> 송전용 폴리머애자의 형상



<그림 2> 송전용 폴리머애자의 구조

3.2 송전용 폴리머애자의 특성

폴리머애자는 고분자 중합체 화합물인 신소재를 이용한 애자로서 매우 우수한 특성을 갖고 있다. 대표적인 특성으로는 내오손성으로서 고분자 실리콘 성분이 shed 표면에 약 10~30µm의 두께로 지속적으로 형성되므로 그림3과 같이 물방울의 접촉각이 커 발수성(hydrophobicity)이 우수하여 오손 물질의 부착이 어렵고 강우로 인한 세척효과가 매우 탁월하다.



<그림 3> 폴리머애자의 발수성

또한 폴리머애자는 자기애자 중량의 약 1/10로 매우 가벼우며, 유리애자와 같은 자락(shattering) 현상이 없어 무의적 충돌유구를 해소하기 위한 사격이나 투석으로 애자를 파괴하는 vandalism의 우려를 해소할 수 있고, 운반이나 작업시 충격에 대한 파손율이 적으며 가격은 자기애자 대비 약 50%, 시공비용은 85%로 경제성이 매우 높을 뿐만 아니라 조정량 string type으로 시공성이 매우 양호하다. 즉, 폴리머애자는 자기애자에 비해 내오손성, 조정량성, 방폭성, 내충격성, 경제성, 시공성 등에서 우수하다.[2]

4. 우리나라 산발 특성

4.1 산발 및 송전선로 고장 현황

산발이란 산림 내에서 낙엽, 나뭇가지, 풀, 임목 등이 연소되는 화재로서 실화, 낙뢰, 방화 등 인간이나 자연적인 원인으로 발생한 불씨가 산림내의 가연물질을 연소시키는 것을 말한다. 우리나라의 산림은 침엽수 41.95%, 혼효림 29.56%, 활엽수 26.06%, 무림목지 2.34%, 죽림 0.09%로 분포되어 있으며, 산발은 침엽수에서 69%, 혼효림 16.7%, 활엽수 14.3%로 침엽수림에서 대부분 발생되고 있고 발생원인으로는 등산과 행락, 성묘에 의한 입산자의 실화가 약 47%, 논두렁 태우기가 19%로 81% 정도가 실화에 의해 발생되고 있다. 송전선로 직하에서 산발이 발생하게 될 경우 연기화염(smoke column), 불꽃화염(flame column), 열화염(heat column)에 의해 송전선로와 수목 또는 대지 간에 섬락현상이 발생할 수 있다. 즉 산발이 발생하여 높은 화염이 치솟게 되면 화염 속에는 고온의 이온화가스(hot ionized gases)가 발생하고 이를 통해 송전선로와 불꽃 간 섬락사고가 발생하게 된다. 우리나라의 산발 발생현황과 이로 인한 송전선로 고장현황은 표2와 같다.[3][4]

〈표 2〉 연도별 산발 및 송전선로 고장 발생현황

구분	연도	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	평균
산발건수		265	315	729	785	599	271	544	516	503
송전고장		6	1	16	8	15	1	9	5	7.63

4.2 우리나라 산발의 특성

우리나라는 산림이 울창하고 가연성 낙엽 등이 많이 쌓여 있을 뿐만 아니라 지형의 경사가 급하고 기복이 많은 지형으로 산발의 진행속도가 평지의 약 8배로 매우 빨라 급속히 산발이 확산되는 특성이 있다. 화염 중심부의 최고온도는 약 1,200℃이며 화염주위의 연기온도는 약 600℃로 전력선으로 주로 사용되고 있는 ACSR 전선의 알루미늄 소선의 용융온도인 660℃와 비슷하다. 산발기둥의 최고높이는 20~30m 정도이며 산발의 진행속도는 1분에 6.7~75m정도로 매우 빠르다.

5. 송전용 폴리머애자의 산발 모의시험

송전용 폴리머애자의 housing은 silicone rubber로서 난연성을 확보하기 위하여 IEC 1109(Amendment 1)에 따라 난연성시험(flammability test)을 하도록 인정시험항목으로 규정하고 있으나 산발이 많은 우리나라에서는 산발에 대한 전기적, 기계적 성능이 확보되지 않으면 사용하기 곤란하다. 따라서 송전용 폴리머애자의 산발영향에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 폴리머애자와 자기애자에 대하여 동시에 인공화염시험과 산발모의시험을 시행하였다.

5.1 인공화염 모의시험

철탑의 최하단 암(arm)의 높이는 28~34m 정도이며 산발기둥의 최고높이는 20~30m 정도로 철탑 주위의 수목계 등을 고려하여 인공화염시험 챔버의 내부온도는 화염중심부 주변연기의 상승온도 보다 20% 높은 600~630℃로 하였다. 산발의 연소속도는 지형의 경사도, 바람, 습도 등의 영향을 많이 받으나 실험실에서 시행한 연소속도 측정시험에서는 상향사면의 최소 연소진행 속도가 0.52m/min으로 측정되었다. 실제 산발이 발생한 설악산에서의 상황사면 연소속도는 6.7~25.7m/min으로 측정되었으며, 청양·예산에서 발생한 산발의 연소진행속도는 75m/min으로 측정되었다. 따라서 인공화염 모의시험에서는 애자면의 길이를 1.5m, 산발의 최저 연소 진행속도를 0.52m/min으로 하여 최대 연소시간을 2.88분을 기준으로 하고 1분에서 5분까지 1분 간격으로 시험을 시행하였다. 시험인장하중은 한전구매규격에 규정된 최소인장하중의 33%를 적용하여 25,000Lbs 애자는 3.8ton, 36,000Lbs 애자는 5.4ton을 인가하였으며, 인공화염 시험장치는 그림4와 같다.[1]



〈그림 4〉 인공화염 모의시험장치

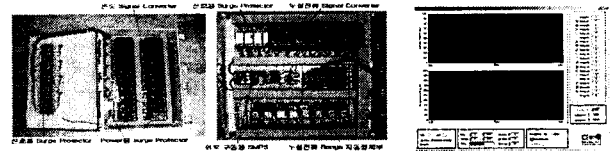
폴리머애자 및 자기애자에 대한 인공화염 모의시험 결과 2분이 경과한 후 폴리머애자는 날개 일부가 소실되고 날개가 변형되었으나 자기애자는 변화가 없었고 3~4분이 경과한 후에 자기가 파열되었다. 폴리머애자의 인장하중은 9~16%, 건조섬락전압은 4~9% 감소하였고 자기애자는 변화가 없었으며 폴리머애자의 특성시험 결과는 표3과 같다.

〈표 3〉 폴리머애자의 인공화염 모의시험 특성

규격	가열시간	뇌충격섬락전압(kV)		건조섬락전압(kV)	인장파괴하중(ton)
		정극성	부극성		
25,000Lbs	신 품	259.4	292.7	163.2	20.45
	2분가열	263.0	292.7	149.0	17.2
36,000Lbs	신 품	206.1	237.6	116.5	29.97
	2분가열	206.1	238.8	112.0	27.21

5.2 산발 모의시험

실제 산발과 동일한 조건으로 시험하기 위하여 고창전력시험센터에서 시험선로에 전압을 인가하고 목재를 이용하여 산발모의시험을 시행하였다. 애자표면의 누설전류 및 온도를 계속하기 위하여 그림5와 같이 누설전류측정장치와 온도측정장치, 신호변환기, 자료수집저장장치, 써지보호장치 등으로 구성된 LCTMS(Leakage Current & Temperature Measurement System)를 개발하였다.



〈그림 5〉 산발모의시험 측정장치

실제 송전선로 철탑에 폴리머애자와 자기애자를 설치하고 애자표면에 온도 센서를 부착한 후 154kV 상전압인 90kV의 전압을 인가하여 그림6과 같이 산발모의시험을 시행하였다.



〈그림 6〉 송전용 애자의 산발모의시험

화염온도 600℃ 부근에서 40~60초간 화염을 인가하였으며 이 때 애자표면의 최고온도는 800~850℃까지 상승하였다. 산발모의시험 결과 600℃에서 수 십초 간 노출될 경우 폴리머애자의 shed에 변형이 있었으나 화염을 제거한 후 애자 대부분이 복원되었으며, 폴리머애자의 누설전류는 정상시에 20~30μA 정도이지만 화염에 접촉되었을 경우 폴리머애자는 660℃, 자기애자는 490℃에서 누설전류가 1~1.4mA까지 증가하였고 화염이 제거된 후에는 처음 상태로 회복되어 전기적, 기계적 특성에도 큰 영향은 없는 것으로 판단되었다 [1]

〈표 4〉 폴리머애자의 산발모의시험 특성

시험항목	애자종류	폴리머애자		자기애자	
		기준	측정	기준	측정
뇌충격전압섬락(kV)	정극성	830	880.6	115	127.9
	부극성	830	963	119.6	121.3
상용주파전압섬락전압(kV)		450	525	76	86.8
인장파괴하중(ton)		12.5	28.1	12.5	15.7

6. 결 론

송전선로의 전력선 높이는 수령 35년 수종별 수목높이를 고려하여 설치하므로 산발의 영향은 적을 것으로 판단된다. 인공화염 모의시험 결과 자기 및 폴리머 애자면의 탈락 가능성은 없을 것으로 판단되며 또한 산발모의시험에서도 폴리머애자와 자기애자 모두 성능에 큰 영향을 미치지 않았다. 산발조사와 모의시험 결과를 종합하면 실제 산발은 600℃ 부근의 온도에서 1분 이내에 송전선로를 지나갈 것으로 판단되며, 이러한 조건에서는 폴리머애자의 성능에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었고 전기적, 기계적 특성도 양호하였다. 따라서 폴리머애자의 산발영향은 거의 없을 것으로 판단되므로 오손지역 및 대기오염지역의 내오손성을 강화하고 애자장치의 단순화 및 조정량화로 작업능률 향상 및 용이한 유지보수를 위해 폴리머애자를 확대 사용하므로써 공사비를 절감할 수 있을 것으로 평가하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송전용 폴리머애자의 산발영향 신뢰성 평가(최종보고서), 한국전력공사, pp.9~16, pp.43~124, 2005.3.
- [2] 송전용 폴리머애자 확대사용 계획, 한국전력공사, pp.1~14, 2006.1.
- [3] 폴리머애자의 산발영향 신뢰성 분석, 한국전력공사, pp.1~10, 2005.12.
- [4] 우리나라의 산발특성 및 산발발생통계, 산림청, 2006.