

송전용 폴리머애자의 산불 영향에 따른 전기적기계적 특성 분석

최인혁¹, 최장현¹, 이동일¹, 민병욱², 신태우², 방항권²
 전력연구원¹, 한국전력공사²

An Analysis of Electrical and Mechanical Properties on Forest Fire of Polymer Insulator for T/L

I. H. Choi¹, J. H. Choi¹, D. I. Lee¹, B. U. Min², T. W. Sin², H. K. Bang²
 KEPRI¹, KEPCO²

Abstract - 우리나라 송전선로는 대부분 산지에 위치하고 있기 때문에 산불과 같은 화재가 발생시 폴리머애자에 대한 신뢰성에 중요한 문제점을 발생시킬 수 있다. 따라서 산불의 가장자리 온도인 600℃ 부근에 노출된 폴리머애자의 재질에 대한 전기적, 기계적 특성시험과 하우징 재질 특성 분석을 실시하였다. 그 결과 애자의 전기적, 기계적 시험은 기준치 이상으로 합격하였으며, 하우징 표면은 무기물이 노출되어 다공성의 특성을 보였고, 내아크시험 결과는 하부 갖의 아크소멸 시간은 A시료는 260초, 290초였고, B시료는 335초, 336초였다. 또한, 열분석 결과 220℃ 근처에서 ATH의 분해가 일어나 결정수가 방출되어 실리콘 고무의 열화가 나타났다.

험센터에서 산불 모의시험을 실시하였다. 인가전압은 상전압 92kV 였고, 폴리머애자의 갖의 온도는 누설전류 및 온도측정장치(LCTMS)를 이용하여 600℃ 부근에 노출하여 시험하였다.

전기적 특성 시험은 상용주파건조섬락시험 및 뇌충격섬락시험을 실시하였고, 기계적 특성 시험은 인장파괴하중시험을 통해 실시하였다. 시료 채취는 신품의 경우에 대해서는 첫 번째 갖에서 채취하였으며, 산불 모의 시험한 애자에 대해서는 화염 방향에 직접적으로 맞닿은 쪽의 애자 첫 번째 갖과 첫 번째 갖으로부터 약 40cm 떨어진 갖을 채취하였다.

그림 1은 시료 채취한 위치를 나타내며, 표 1은 시료 채취 위치, 이름, 종류, 상태 등을 나타내었다. 각 시료 표시명의 -N은 신품애자의 첫 번째 갖을 나타내며, -1은 가장 화염을 심하게 받은 첫 번째 갖, -2는 첫 갖으로부터 30-40[cm] 떨어진 갖을 나타낸다.

확보된 시료에 대한 재질 분석은 시료의 미세 표면을 분석하기 위해 SEM, 질열값 및 로드 에 대한 뇌아크 내구성을 분석하기 위하여 내아크 시험, 시료 표면의 손상 정도를 확인하기 위하여 접촉각을 측정하였으며, 재질의 열화 정도를 분석하기 위하여 TGA와 DSC 측정하였다.

1. 서 론

우리나라의 송전선로 위치는 국토의 65%에 이르는 산지에 대부분 포설되어 있어, 산불과 같은 화재가 발생하면 전선이나 금구류 등의 그늘음과 같은 오손물에 의한 사고가 발생하여 송전선로가 운용되지 못하는 여파로 산업전반에 걸쳐 엄청난 파급효과를 미치게 될 것이다. 특히 송전용 폴리머애자는 송전선을 지지하고 절연 역할을 하는 가장 중요한 기자재 중 하나로 제품 경량으로 운반 및 설치가 용이하고, 우수한 발수 특성으로 섬락현상을 감소시켜 줄 뿐 아니라 누설전류의 감소로 손실 없는 전력공급 측면에서도 크게 유리하다. 이밖에도 높은 기계적 강도, 대량 생산 및 긴급제조 가능 등의 우수한 특성을 많이 가지고 있어 송배전 가공선로에서의 사용이 점점 증가하고 있는 추세이며, 송전용 폴리머애자는 예폭시 수지인 glass fiber를 침전하여 제조된 FRP-Rod와 누설거리를 확보하기 위한 외피재인 하우징(housing)은 합성수지인 silicon이나 EPDM를 재료로 사용되므로 산불과 같은 고온에 노출시 송전선로의 이상을 발생시킬 우려가 있다. 이와 같이 폴리머애자의 사용량 증가 및 폴리머 애자의 전반에 걸친 연구가 많이 진행되었음에도 불구하고, 산불영향에 대한 폴리머애자의 신뢰성에 대한 연구는 지금까지 국내외에 걸쳐 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 154kV 송전용 폴리머 현수애자를 이용하여 시험선로에 상전압 92kV를 인가하여 600℃ 부근의 모의 산불 온도에서 폴리머애자를 노출 시킨 시험 후, 송전용 폴리머애자의 난연 성질 분석과 전기적, 기계적 특성 시험 및 하우징에 특성 분석을 통해 송전용 폴리머애자의 산불영향 신뢰성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 시험 방법

본 연구의 송전용 폴리머애자 시료는 A사의 SR 25 내염형과 B사의 SR 25 일반형을 이용하여 고창 전력시

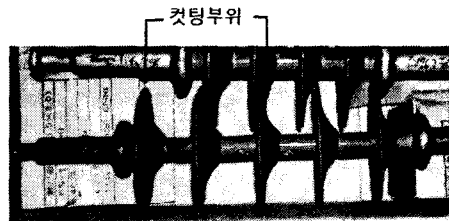


그림 2. 시료채취 부위

표 1. 시료 채취

시료 명	시료위치	시료 이름	애자 종류	시료상태
A시료	첫 번째 갖	A-N	SR25	신품
	첫 번째 갖	A-1	SR25	산불모의
	첫 번째 갖으로부터 40cm 떨어진 갖	A-2	SR25	산불모의
B시료	첫 번째 갖	B-N	SR25	신품
	첫 번째 갖	B-1	SR25	산불모의
	첫 번째 갖으로부터 40cm 떨어진 갖	B-2	SR25	산불모의

2.2 시험 결과

2.2.1. 전기적 특성

산불 모의한 송전용 폴리머 현수애자에 대한 열화를 분석하기 위해 검토된 전기적 시험 항목은 뇌충격섬락전압시험, 상용주파건조섬락시험 등의 시험을 시행하였다. 송전용 폴리머 현수애자에 대한 전기적 시험 결과를 표 2에 나타내었다. A시료의 송전용 폴리머 현수애자의 경우 신품과 산불 모의 시료의 상용주파건조섬락전압치를 보면 거의 같은 값을 나타내었으며, 뇌충격섬락전압값에서는 산불 모의 시료가 30[kV] 정도 낮게 나타났다. B시료의 경우는 상용주파건조섬락전압값은 마찬가지로 거의 같았으나, 뇌충격섬락전압값은 산불모의 시료가 20[kV] 정도 낮게 나타났다. 그러나, SR25F, SR25N의 상용주파건조섬락전압 기준치는 450[kV], 뇌충격건조섬락전압 기준치는 830[kV]로 모두 기준치 이상이었다.

표 2. 전기적 시험 결과

시료명	Type	애자상태	상용주파 건조섬락전압 [kV]	뇌충격섬락 전압(정극성) [kV]
A시료	SR25F	신품	531.0	925
		산불모의	529.8	895
B시료	SR25N	신품	511.6	900
		산불모의	512.4	880

2.2.1. 기계적 특성

A시료 및 B시료의 신품 및 산불 모의 시료에 대한 인장파괴하중시험을 시행한 결과를 표 3에 나타내었다. A시료의 신품은 파괴강도가 15,150[kgf]에서 파손되었으며 산불 모의 애자는 13,950[kgf]에서 파손되었다. B시료의 경우는 신품의 파괴강도가 15,800[kgf]에서 파손되었으며, 산불 모의 애자는 15,650[kgf]에서 파괴되었다. 두 회사의 산불 모의 애자의 파괴강도가 신품에 비해 다소 낮아졌으나, 송전용 애자의 인장파괴하중값 12,000[kgf]를 만족하였다.

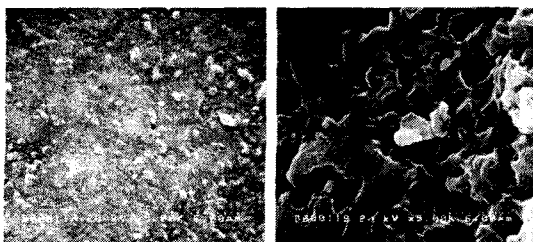
표 3. 기계적 시험결과

시료명	Type	애자상태	인장파괴하중[kgf]
A시료	SR 25F	신품	15,150
		산불 모의	13,950
B시료	SR 25N	신품	15,800
		산불 모의	15,650

2.2.3. 하우징 특성

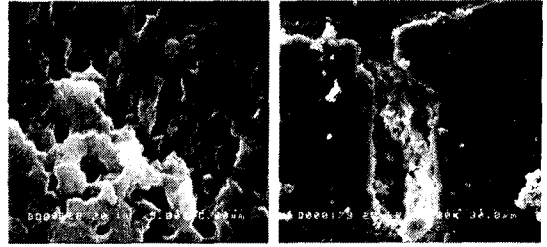
가. SEM 분석

SEM 분석의 경우는 갓의 상부 부분을 채취하였으며 직접적인 화염을 받은 갓 하부의 경우는 육안으로 가장 많은 손상을 보인 부분을 채취하여 분석하였다. SEM 분석 결과(가속전압 20[kV], 배율 5K) A시료 송전용 폴리머 애자의 경우는 그림 2와 같이, 신품의 경우는 매끄러운 표면을 보였지만 A-1, A-2 모두 다공성의 표면 특성을 보이며 무기물이 노출된 것을 볼 수 있다. 이는 화염에 의해 유기 성분이 날아가 무기물이 노출된 것으로 사료되며, 특히 가장 많은 손상을 보인 갓 하부의 표면부분은 표면이 심하게 갈라진 상태를 보였다.



(a) A-N

(b) A-1

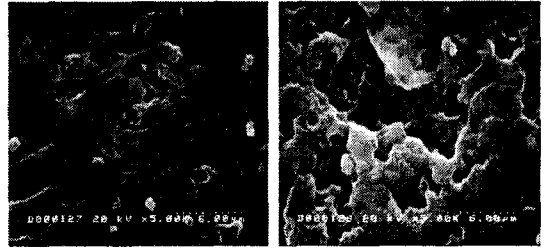


(c) A-2

(d) A-1의 갓 하부 중 가장 열화가 심한 부위

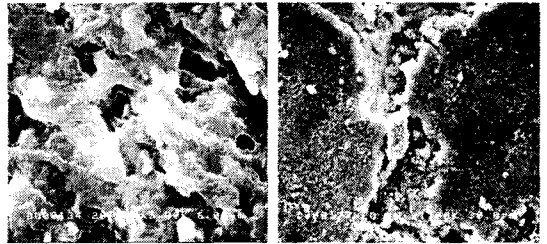
그림 2. A시료 송전용 폴리머애자의 SEM 분석 결과

B시료의 경우도 그림 3과 같이, 신품의 경우는 매끄러운 표면을 보였지만 A-1, A-2 모두 다공성의 표면 특성을 보이며 무기물이 노출된 것을 볼 수 있다. 또한 가장 많은 손상을 보인 갓 하부의 표면 부분은 표면이 심하게 갈라진 상태를 보였다.



(a) B-N

(b) B-1



(c) B-2

(d) B-1의 갓 하부 중 가장 열화가 심한 부위

그림 3. B시료 송전용 폴리머애자의 SEM 분석 결과

또한, A시료의 송전용 폴리머 애자의 가장 손상이 큰 갓 표면의 단면을 잘라내 단면층에 대한 표면을 분석한 결과 그림 4와 같이 나타났다. 그림 4(a) 부분을 잘라내어 SEM을 분석한 결과 그림 4(b)와 같이 건조층과 손상층의 두드러진 표면 상태를 확인할 수 있었다. 손상층은 약 0.7-1[mm] 정도의 두께를 보였다.

표 4. 내아크 시험결과

시료 종류			내아크 시험		
			아크소멸시간 [s]		
			1회	2회	3회
A시료	A-N	갓 상부	420	362	420
		갓 하부	420	420	420
	A-1	갓 상부	420	420	420
		갓 하부	290	260	420
	A-2	갓 상부	420	420	420
		갓 하부	420	420	420
B시료	B-N	갓 상부	420	420	420
		갓 하부	420	420	420
	B-1	갓 상부	420	420	420
		갓 하부	335	336	420
	B-2	갓 상부	420	420	420
		갓 하부	420	420	420

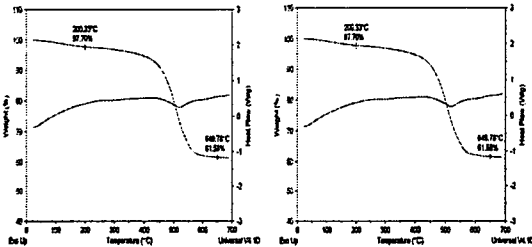
나. 내아크 특성

표 4는 내아크 특성을 시험한 결과를 나타낸 것이다. 각 애자의 갓 상, 하부로 나누어 내아크시험을 한 결과 A시료, B시료 송전용 폴리머 애자의 신제품 및 산불모의 송전용 폴리머 애자 세 번째 갓은 상, 하부 모두 420초(7단계) 동안 아크를 견뎠다. 하지만, 산불 모의 애자 첫 번째 갓의 하부의 경우 A시료 송전용 폴리머 애자는 260초, 290초에 아크가 소멸되었고, B시료는 335초, 336초에 아크가 소멸되었으며 이는 하부의 심한 손상에 기인한 것으로 사료된다.

다. 열분석

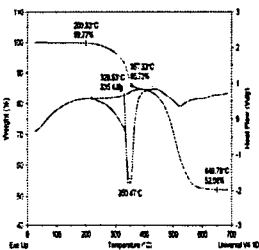
산불 모의(화염) 송전용 폴리머 애자에 대한 재질의 열화를 조사하기 위하여 TGA와 DSC를 이용하였으며 시험의 특성상 일부분만을 대상으로 하기 때문에 화염으로 인한 열화가 심한 부분과 덜한 부분을 선택하여 시험을 하였다.

그림 4, 5는 A시료, B시료 송전용 폴리머 애자의 산불 모의시험에 관한 하우징 재질의 DSC-TGA thermogram을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 신제품의 경우 ATH가 함유된 실리콘 고무의 전형적인 thermogram을 보여주고 있다. 220℃ 근처에서 ATH의 분해가 일어나 결정수가 방출됨을 알 수 있다. 화염에 의한 열화를 받은 시료의 경우 정도에 따라 다르긴 하지만 이미 ATH의 분해와 실리콘 고무의 열화가 나타남을 알 수 있으며 이는 장기적인 관점에서 하우징 고무의 기계적 성능의 저하로 인하여 문제 발생의 소지가 있음을 시사한다.



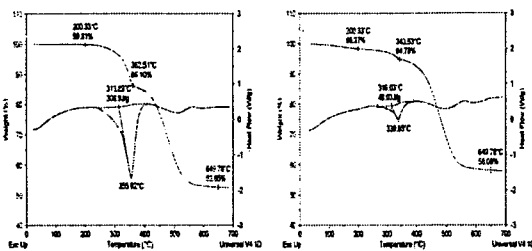
(a) A-N

(b) A-1



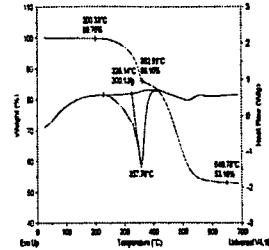
(c) A-2

그림 4. A 송전용 폴리머 애자의 DSC-TGA thermogram



(a) B-N

(b) B-1



(c) B-2

그림 5. B시료 송전용 폴리머 애자의 DSC-TGA thermogram

3. 결 론

본 연구에서는 154kV 송전용 폴리머 애자를 이용하여 상전압 92kV을 인가하여 600℃ 부근의 모의 산불 온도에서 폴리머 애자를 노출 시킨 시험 후 각 애자에 대한 재질분석을 실시하였다.

(1) A시료 및 B시료의 상용주파전조섬락전압은 529.8[kV], 512.4[kV]이고, 뇌충격전조섬락전압은 895[kV], 880[kV]로 모두 기준치 이상이였다.

(2) 인장과파하중시험 결과 A시료 및 B시료는 각각 13,950[kgf], 15,650[kgf]로 기준치 12,000[kgf]보다 높았지만 A시료는 신제품보다 8%정도 과파하중이 낮았다.

(3) SEM 분석결과 무기물의 노출에 의한 애자에서 다공성의 표면을 관찰할 수 있었고, 갓 하부의 표면은 심하게 갈라진 상태가 나타났다.

(4) 내아크 시험 결과는 A시료 및 B시료는 상, 하부 모두 420(7단계) 동안 아크를 견뎠지만, A시료의 첫 번째(A-1)갓은 260초, 290초에 아크가 소멸했으며, B시료의 첫 번째(B-1) 갓은 335초, 336초에 아크가 소멸되었다.

(5) 열분석 결과 220℃ 근처에서 ATH의 분해가 일어나 결정수가 방출되어 실리콘 고무의 열화가 나타났다.

상기 결과로부터 폴리머 애자의 하우징 재질은 소재의 밀접한 관계를 가지고 있어 소재의 특성이 저하되어 있을 가능성이 내포한다고 판단되며, 산불에 의해 노출된 제품의 경우 초기에는 사용할 수 있으나, 향후 교체하는 등의 적극적인 대책과 보완이 필요하다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최인혁, “송전용 애자 기술”, KEPRI JOURNAL(겨울호), pp. 34-44, (2003).
- [2] 오정수, 이명보, 김명수, 이시영, “외국의 산불예방과 진화”, 임업연구원, (2002).
- [3] Toru Nakura, “Experience of Arrester Application to Over-head Transmission Lines”, Proc. of International Symposium on modern Insulator Technologies, Florida, (1997).
- [4] 이시영, “산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구”, 동국대학교대학원 박사학위논문, (1995).