

배전용 폴리머애자의 섬락고장

Flashover Failure of Polymer Insulator in Distribution Lines

한재홍, 이병성, 김찬영, 윤태상

(Jae Hong Han, Byung Sung Lee, Chan Young Kim, Tae Sang Yoon)

Abstract

This study was investigated for searching a cause of flashover failure of polymer insulator and preparing countermeasures. Hydrophobicity, microstructure and chemical structural change of polymer weathershed were studied by polymer characterization methods. In addition, the electrical properties such as power frequency dry flashover voltage/impulse voltage tests, contamination characteristics were carried out.

The hydrophobicity of polymer weathershed was decreased significantly and cracks were observed on the surface. Also, the electrical characteristics did not satisfy the KEPCO specification. The failed polymer insulators showed the more leakage current than 4 years service-aged ones. From the result, it can be concluded that the flashover failure of polymer insulator was attributed to the surface aging and severe contamination.

Key Words(중요용어) : polymer insulator, flashover, failure, hydrophobicity, contamination

1. 서론

폴리머애자는 우수한 절연특성과 다양한 장점으로 인해 전세계적으로는 물론 국내에서도 사용량이 증가하고 있다. 특히 폴리머애자는 내오손 특성이 우수한 것으로 알려져 있기 때문에 국내의 경우에는 주로 염해가 심한 해안지역에 설치되어 운전 중에 있다.

하지만 폴리머재료의 특성상 경년에 따른 열화는 필수적이기 때문에 현재 한국전력공사에서는 이러한 폴리머애자의 장기신뢰성을 평가하는 연구를 진행 중에 있으며, 또한 현장에서의 운용기준도 제정이 필요한 실정이다.

1994년말 국내에 처음 폴리머애자가 배전선로에 설치된 후 고장발생 사례가 거의 보고되지 않았으나, 금년 3월 처음으로 인천지역에서 고장이 발생하였다. 고장개요는 봄철 황사 및 진해로 인한 고장을 예방을 위하여 활선으로 애자를 청소하던 중 섬락이 발생한 것이었다. 고장이 발생한 폴리머애자는 약 2년간 현장운전한 EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) 재질의 B호 제품이며, 실제 누설거리는 665 mm, 최소건조섬락거리는 299 mm다. 고장 장소는 해안과 인접하였고, 주변에 쓰레기 소각장과 공단이 위치하여 오손이 심한 지역이다.

따라서 본 연구에서는 섬락이 발생한 배전용 폴리머애자의 고장원인 규명과 대책 마련을 위하여 고장이 발생한 폴리머애자에 대해 전기적/재료적 특성분석을 실시하였다.

* 한국전력공사 전력연구원
(대전시 유성구 문지동 103-16)
Fax: 042-865-5804
E-mail : jhhan@kepri.re.kr

2. 본론

2.1 전기적 시험

현장운전에 따른 전기적 특성변화를 관찰하기 위하여 한전 구매시방서에 의거하여 상용주파 건조섬락전압시험, 상용주파 뇌충격섬락전압시험을 실시하였다. 건조섬락전압시험의 판정기준은 특성치의 95%인 123.5 kV 이상이며, 뇌충격섬락전압시험의 경우에는 특성치의 92% 이상인 174.8 kV 이상이어야 한다.

또한 오손특성을 평가하기 위하여 표면 누설전류를 측정하였다. 시험설비로는 한전연구원에 구축된 폴리머애자 복합열화시험설비를 사용하였으며, 애자 표면에 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 물을 1분당 4 mm 분무하면서 누설전류를 측정하였다. 시료는 수평과 수직으로 설치하여 시험하였으며, 전압은 24분간 8.4 kV를 인가 후 24분간 13.2 kV를 인가하였다. 이는 누설거리에 따른 특성을 A호 제품과 비교하기 위한 것이다.

2.2 재료 특성분석

전기적 특성시험이 완료된 시료에 대하여 발수성, 화학구조, 표면 미세구조 및 성분 분석을 실시하였다.

폴리머애자의 표면 발수성 분석에서는 STRI의 HC (hydrophobicity class) 시험방법과 접촉각 측정기를 사용하였다. 화학구조 변화 분석에서는 적외선 분광기를 사용하였으며, 시료가 불투명하기 때문에 전반사 기법을 사용하여 분석하였다. 한편 표면 미세구조 및 성분 분석에서는 주사전자현미경 (SEM, scanning electron microscopy)과 EDX (energy dispersive X-ray)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬락전압 및 오손 특성

표 1은 한전구매시방서에서 요구하는 배전용 폴리머 현수애자의 특성치를 나타낸 것으로 A호 및 B호 제품에 대한 내용이 나와 있다. 표에서 보여지는 것처럼 B호 제품은 A호 제품보다 누설거리나 건조섬락거리가 짧기 때문에 주로 내륙지역에서 사용한다.

표 2는 고장이 발생한 인천지역의 폴리머애자를 현장에서 발취하여 섬락시험을 실시한 결과이다. 총 6개의 B호 폴리머 현수애자와 1개의 자기제 LP 애자를 시험하였다. 6개의 폴리머애자중 #6 시료만 섬락이 발생하였고, LP 애자도 섬락이 발생하였다.

표에서 알 수 있는 것처럼 건조섬락전압시험에서는 모든 폴리머애자가 특성치의 95%인 123.5 kV에 미치지 못하는 불량한 결과가 나타났다. 반면 동일 선로에서 섬락이 발생한 LP 애자의 경우에는 기준

을 통과하였지만, 낮은 건조섬락전압을 보였다. 한편 뇌충격섬락전압시험에서는 모든 시료가 기준치를 통과하였다.

표 1. 폴리머 현수애자의 특성치

항 목		특성치	
		A호	B호
상용주파건조섬락전압(kV)		145	130
상용주파주수섬락전압(kV)		130	110
뇌충격섬락전압(kV) (1.2×50 μs)	정	225	190
	부	275	230
전파장해 전압	상용주파대지간 (kV)	25	20
	최대전파장해전압 (μV at 1000 kHz)	10	10
규정인장하중(SML) kg (Lb)		7000 (15,000)	7000 (15,000)
인장내하중치(RTL) kg-cm (in-Lb)		3,500 (7500)	3,500 (7500)
비틀림내하중치 kg·mm (Lb·ft)		5,530 (40)	5,530 (40)
최소누설거리(mm)		760	580
최소건조섬락거리(mm)		320	280

표 2. 고장 시료의 섬락시험 결과

시료명	건조섬락전압(kV)	뇌충격섬락전압(kV)
	123.5 kV 이상	174.8 kV(+) 이상
#1	118.0	195.0
#2	117.5	194.0
#3	116.3	192.0
#4	115.8	192.0
#5	118.5	191.0
#6*	116.8	192.0
LP**	107.0	-

* : 섬락고장 시료

** : LP 애자 건조섬락전압 기준치 (104.5 kV)

그림 1은 복합열화시험설비를 사용하여 고장이 발생한 폴리머애자의 오손특성을 시험한 결과이다. 그림에서 시료 1과 시료 6은 수직방향으로 설치한 애자이며, 시료 2~시료 5는 수평설치한 애자이다. 그

림에서 나타난 것처럼 주수에 따라 누설전류가 수백 μA 이상으로 급격하게 증가하였으며, 이는 표면 발수성이 매우 불량하기 때문인 것으로 판단된다. 참고적으로 같은 조건에서 신품의 경우는 10 μA 이하의 누설전류값을 나타내며, 현장에서 4년간 운전한 경년품에서도 약 10~60 μA 의 누설전류가 보여진다. 애자 설치방향의 영향에서는 수직설치한 애자에서 좀 더 작은 누설전류가 나타나는데, 이는 구조상 애자의 갭이 노즐로부터의 물을 차폐하기 때문인 것으로 판단된다.

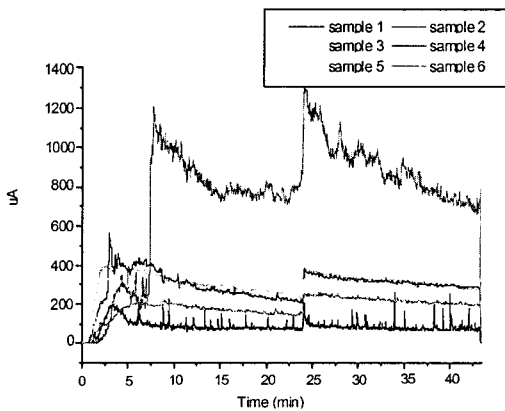


그림 1. 고장 폴리머애자의 표면 누설전류

3.2 표면 발수성

그림 2는 STRI의 HC 시험방법에 따라 시료 표면에 물을 10회 정도 spray한 다음 측정된 사진이다. 사진에서 왼쪽의 신품은 발수성이 있는 반면, 고장 시료에서는 표면오손에 의해 발수성이 완전히 상실되어 HC가 7등급이었다.



그림 2. 표면 발수성 (왼쪽: 신품, 오른쪽: 고장품)

표 3은 접촉각 측정기를 이용하여 폴리머애자의 표면 발수성을 측정된 결과이다. 그림 2의 결과와는 달리 발수성이 상당히 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 접촉각 측정기에서는 물방울 하나만으로 표면을 국부적으로 분석하기 때문인 것으로 보인다.

표 3. 고장 폴리머애자의 발수성

시료명	접촉각(°)
#1	122.5
#2	120.8
#3	123.4
#4	-
#5	-
#6	121.0

*: not tested

3.3 화학구조 분석

그림 3은 신품과 고장품의 표면 화학구조를 적외선분광기로 측정된 결과이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 모든 고장 시료가 신품에 비교하여 특성피크가 현저하게 감소하였다. 이는 표면오손과 열화에 의해 나타나는 현상인 것으로 보이며, 특히 C-H의 신축에 의해 나타나는 2950 cm^{-1} 에서 큰 감소를 보인다.

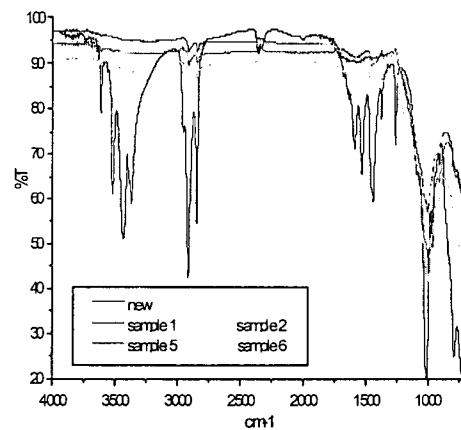


그림 3. 신품과 고장시료의 화학구조변화

3.4 표면 미세구조 및 성분 분석

그림 4와 그림 5는 SEM/EDX로 폴리머애자 표면의 미세구조와 성분을 분석한 결과이다. 그림 4에서 보여지는 것처럼 모든 시료의 표면에서 크랙이 심하게 발생하였으며, 침식도 일어났다. 또한 그림 5에서처럼 EDX로 표면의 성분을 분석한 결과, Al과 Fe 성분이 신문에 비해 많이 관찰되었다. 여기에서 Al 성분은 폴리머애자에 첨가되어 있는 ATH의 노출에 의한 것으로 생각되며, Fe 성분은 운전지역에 위치한 주물공단으로부터 유입된 것으로 보인다. 따라서 이러한 표면열화와 오손에 의해서 활선 애자청소 중에 섬락고장이 발생한 것으로 판단된다.

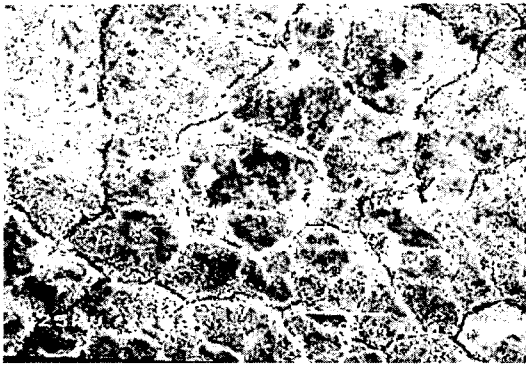


그림 4. 고장 폴리머애자의 표면 미세구조

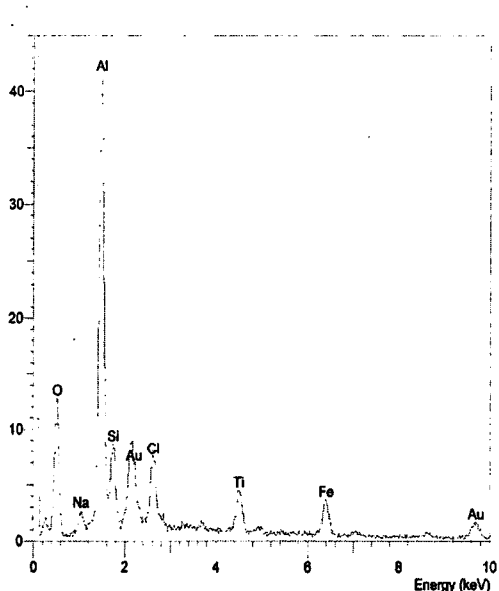


그림 5. 고장 폴리머애자의 EDX 스펙트럼

4. 결론

본 연구에서는 최근 섬락고장이 발생한 폴리머애자에 대해 전기적/재료적 특성분석을 실시하였다. 연구결과, 운전환경에 의해 폴리머애자의 표면이 심하게 오손되어 발수성이 저하됨으로써 섬락고장이 발생한 것으로 판단된다. 이와 같은 고장을 방지하기 위해서는 누설거리가 증가된 A호 폴리머애자를 교체사용하거나 혹은 표면 발수성이 우수한 실리콘 재질의 폴리머애자를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] “배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가 및 운용기준 제정”, 전력연구원 연구과제 중간보고서, 2000. 4.
- [2] 배전선로용 폴리머현수애자 구매시방서, 한국전력공사 구매시방서, 2000.
- [3] “Composite Insulator Status Program: Field Inspection of Composite Insulators”, STRI Guide 3, 1998. 1.