2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

산불영향에 따른 송전용 폴리머애자의 특성

최인혁*, 이동일*, 정길조*, 전영준**, 이철호**
전력연구원*, (주)평일 기술연구소**

The Characteristics of Polymer Insulator for Transmission Lines Against Forest Fire

I. H. Choi*, D. I. Lee*, G. J. Jung*, Y. J. Jeon**, C. H. Lee**
KEPRI*, PYUNGIL Co., Ltd.**

Abstract - 산불과 같은 대형화재는 철탑의 전선이나 애자와 같은 부착물의 기능에 많은 장애를 유발할 수 있어 송전선로 운영에 큰 영향을 미치게 될 수 있다. 만약 이와 같은 재해로 인해 송전선로의 운영에 차질이 생긴다면 산업전반에 걸쳐 엄청난 파급효과를 초래시킬 것이다.

본 논문에서는 산불과 같은 화재가 송전용 폴리머애자에 미치는 영향을 파악하기 위하여 산불의 불꽃을 모의한 실험장치를 제작하였으며, 시료로는 현재 송전선로에 사용되고 있는 송전용 폴리머애자를 축소 제작한 폴리머애자와 자기애자를 사용하였다. 산불모의 인공화염 실험은 가열시간의 경과에 따라 폴리머애자의 하우징과 자기애자의 디스크 변화를 관찰하였고, 가열실험이 끝난 애자들을 이용하여 전기적인 시험과 기계적인 시험을 행하였다. 이 실험 데이터를 바탕으로 폴리머애자와 자기애자의 특성변화를 비교·분석하여 산불영향이 송전용 폴리머애자에 미치는 영향을 연구하였다.

1. 서 론

우리나라에서 발생되는 산불의 특징을 살펴보면 크게 세 가지로 나누어 생각할 수 있다. 첫째, 자연환경적인 요인으로 산림을 구성하는 수목 중 불에 타기 쉬운 침엽수가 42%를 차지하고 있고, 지표면에 가연성 낙엽이 많이 쌓여 있어 산불의 확산속도가 빠르다. 둘째는 지형적인 요인으로 야산의 밀집과 굴곡이 심하여 산불의 진행속도를 빠르게 하며, 세 번째인 기후 조건 역시 대륙기후의 영향으로 산불발생의 위험도가 높다[1]. 그러나 우리나라의 산불발생의 원인은 위에서 언급한 자연발생적인 요인보다는 사람들의 부주의와 과실에 의해 발생하는 경우가 대부분이다[2]. 이러한 환경적·인위적인 여건에서 산불이 발생하여 송전선로의 운영에 장애를 입힌다면, 산업전반에 걸쳐 발생하는 파급효과는 엄청날 것이다. 또한 송전선로에서 사용되고 있는 폴리머애자의 사용기간이 자기애자의 사용 기간에 비해 상대적으로 시간이 짧아 폴리머애자의 안정성에 대한 일부의 우려가 있는 것이 사실이다. 하지만 폴리머애자에 대한 연구가 많이 진행되어 하우징의 재료에 대한 연구, 절연특성의 향상에 대한 연구, 외피재 열화현상 및 금구의 분리 등에 대한 재료처방기술 및 접속기술의 향상에 대한 연구 등으로 신뢰성이 입증되고 있고, 송배전 선로에서의 수요도 점점 증가하고 있는 추세이다[3-4].

이렇듯 많은 연구가 진행되었지만 산불과 같은 화재의 영향에 따른 폴리머애자에 관한 연구는 국내외 전반에 걸쳐 전무후무한 상태이다.

따라서 본 논문에서는 산불의 불꽃을 모의한 인공화염 실험장치를 직접 제작하여 시간의 경과에 따른 자기애자의 디스크의 변화와 폴리머애자의 하우징 변화를 관찰하고, 인공화염 실험을 마친 시료를 이용하여 전기적인 시험[상용주파 건조섬락전압시험, 충격섬락전압시험]과 기계적인 시험[규정인장파괴하중시험]을 통하여 자기애자와 폴리머애자의 특성을 비교 및 분석하여 산불이 폴리머애자에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시료 및 실험장치

산불의 영향이 송전용 폴리머애자에 미치는 특성을 연구하기 위하여 실험에 사용된 시료는 현재 현장에서 실제로 사용되고 있는 154 kV 송전선로용으로 규정인장하중이 12,500 kg_f인 자기애자와 폴리머애자를 사용하였다. 실제 크기의 애자들을 실험장치에 편리하게 장착하고 용이한 해석을 하기위해 자기애자는 1개를 사용하였고, 폴리머애자는 연결길이를 584 ㎜로 축소 제작하였다. 폴리머애자의 내부 코어는 유리섬유강화플라스틱을 사용하였고, 하우징은 실리콘 재질을 사용하였다.

산불의 불꽃과 유사한 조건을 만들기 위하여 그림 1에서와 같은 실험장치를 제작하여 애자들을 장착하였다. 그림에서와 같이 고정 프레임의 양단에 일정한 힘으로 애자를 지지해주기 위하여 5 ton의 인장력을 가지는 로드셀 장치와 0~1000℃까지 온도 측정이 가능한 온도측정 장치를 장착하였다. 가열장치로는 프로판 가스와 공기를 이용한 케이블 난연 시험기를 그림에서 보는 바와 같이 설치하였다.

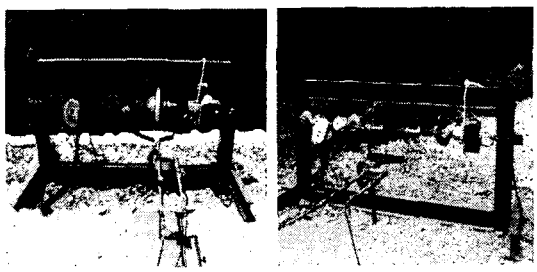


그림 1. 산불모의 인공화염 실험장치

2.2 실험방법

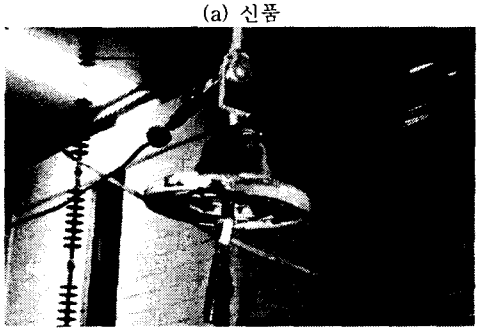
가열온도는 일반적으로 산불 발생시 연기의 온도인 600℃와 화염 중심부 최대온도인 1200℃를 철탑의 높이와 전선이도를 고려하여 온도를 600~900℃까지로 설정하였다. 시간의 경과에 따라 자기애자의 디스크 변화와 폴리머애자의 하우징 변화를 관찰하였고, 실험이 진행됨에 따라 디스크와 하우징의 변화에 따른 각 단계별 시료를 채취하여 상용주파 건조섬락전압시험, 충격섬락전압의 전기적 시험과 규정인장하중시험을 통한 기계적 시험으로 자기애자와 폴리머애자의 전기적, 기계적 특성을 파악하였다. 실험은 예비실험을 거친 후 5회의 반복실험으로 데이터를 검증하였다.

2.3 결과 및 고찰

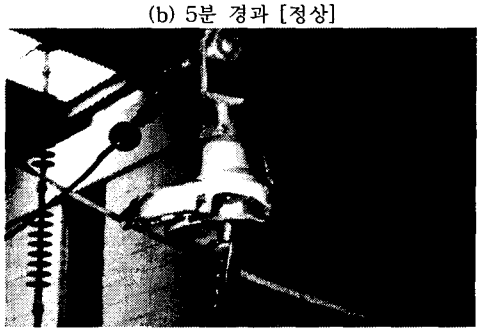
2.3.1 하우징의 변화

그림 2에 신품의 자기애자 (a)와 가열시간이 5분 경과한 후의 디스크 변화가 발생한 자기애자 (b), (c)를 나타내었다. 그림 2의 (b), (c)에서 보는바와 같이 가열시간이 5분경과 후의 디스크 변화를 보면, 디스크 부분이 정상인 (b)의 경우와 파손되는 경우 (c)의 두 가지 양상이 발생하였다. 디스크 부분이 파손되는 경우는 자기애자의 디스크 부분이 급격한 열을 받으면서 디스크 내부에 충진 되어있는 시멘트와 금구 사이의 선팽창계수의 차이로 인하여 균열이 발생하였고, 바람의 영향에 의한 온도의 변화로 열적피로가 누적되어 균열의 성장이 빨라졌을 것으로 생각된다. 디스크 형상의 변화가 있었지만 인공화염 모의실험이 진행되고 끝마칠 때까지 자기애자의 금구와 디스크가 분리되는 기계적 분리는 나타나지 않았다.

(a) 신품



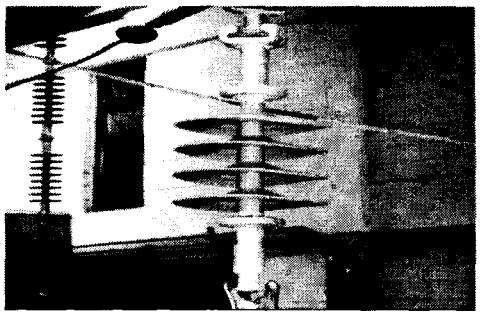
(b) 5분 경과 [정상]



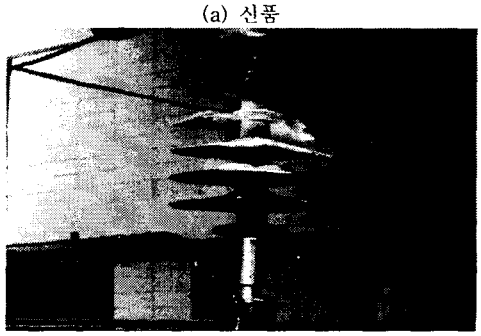
(c) 5분 경과 [파손]

그림 2. 자기애자 디스크의 형상변화

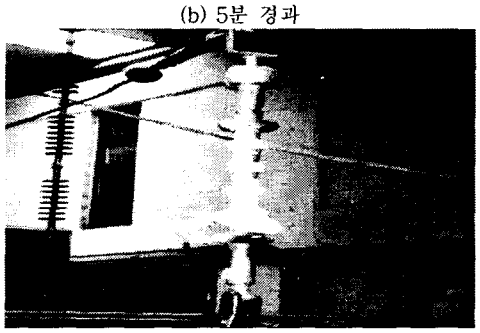
그림 3에는 가열시간의 경과에 따른 폴리머애자의 하우징 변화를 나타내었다. 폴리머애자의 경우, 5분이 지나면서 갓(shed) 부분이 유실되기 시작하였고 20분 정도 경과하면서 갓의 대부분이 손실되었으며 대략 50분 정도의 시간이 경과하면서 시스(sheath) 부분이 유실되는 것을 알 수 있었다. 폴리머재료가 열에 취약할 것이라는 우려와는 달리 불연성은 아니지만 난연성임을 알 수 있다. 자기애자의 경우와 마찬가지로 인공화염 모의실험을 끝마칠 때까지 금구와 FRP 로드의 분리나 FRP 로드가 부러지는 등의 기계적 분리는 나타나지 않았다.



(a) 신품



(b) 5분 경과



(c) 20분 경과

그림 3. 폴리머애자 하우징의 형상변화

2.3.1 전기적 특성

(1) 상용주파 건조섬락전압 시험

그림 4에 상용주파 건조섬락전압의 측정값을 그래프로 나타내었다. 그래프에서 보는바와 같이 폴리머애자는 가열 후 상용주파 건조섬락전압의 측정값이 신품의 측정값을 기준으로 5분 가열 후에는 약 10%의 감소를, 20분 가열 후에는 약 30% 정도의 감소를 보이고 있다. 이는 화염의 영향으로 갓과 시스의 손실이 발생하여 섬락거리의 감소를 유발시켜 상용주파 건조섬락전압 측정값이 감소하였다고 생각된다. 비록, 갓과 시스의 손실로 섬락거리가 줄었지만 화염의 영향이 연결금구 부위의 절연파괴에 까지는 미치지 못하였으므로, 폴리머애자의 전기적인 특성값은 유지하고 있음을 보여준다.

반면에 자기애자의 경우는 가열 후 디스크 부분이 손상을 입은 경우나 정상인 경우의 두 가지 모두 상용주파

건조섬락전압 측정값의 급격한 감소를 보이고 있다. 이는 외관이 정상으로 보일지라도 내부 크랙으로 인해 섬락거리가 붕괴되어 나타난 현상으로 생각된다.

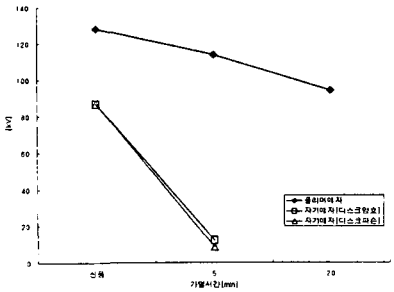


그림 4. 상용주파 건조섬락전압시험 시험결과

(2) 충격섬락전압시험

그림 5에 충격섬락전압시험 측정값을 나타내었다. 폴리머애자나 자기애자 모두 상용주파 건조섬락전압시험의 결과와 유사하게 섬락거리의 감소로 측정값이 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 충격섬락전압시험의 전기적 특성도 섬락거리의 감소로 인해 측정값이 감소되는 것을 알 수 있다.

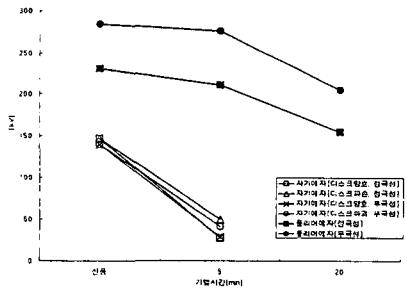


그림 5. 충격섬락전압시험 시험결과

(2) 기계적 특성

인공화염 모의시험을 실시하면서 시간의 경과에 따라 시료를 준비하여 규정인장하중시험을 실시하였다. 실험 후 결과 값을 표 1에 나타내었다. 규정인장하중의 기준값은 12,500kg$_f$로 표에서 보는 바와 같이 폴리머애자의 경우는 모두 기준값을 만족하였다. 즉, 화염의 영향으로

표 1. 규정인장 파괴하중 시험결과

	자기애자			폴리머애자		
	신품	디스크 양호 [5분]	디스크 파손 [5분]	신품	5분 가열	20분 가열
최대하중 [kg$_f$]	14,280	12,745	12,175	12,955	12,885	12,585
판정	pass	pass	fail	pass	pass	pass

갓과 시스의 손실이 발생하였지만 폴리머애자의 기계적 특성에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 반면에 자기애자의 경우는 디스크가 양호한 제품은 기준값을 만족하였으나 디스크가 파손된 경우는 기준값에 약간 못 미치게 나타났다.

3. 결 론

실제 산불과 같은 화재발생을 모의하여 화염의 온도를 600~900℃ 까지 변화시키면서 자기애자와 폴리머애자를 대상으로 실시한 인공모의 화염실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화염 가열시간이 5분 정도 지났을 때, 자기애자의 경우는 디스크의 파손 또는 내부 절연파괴에 의해 전기적 특성은 급격하게 감소하였고, 기계적인 특성은 다소 감소하였다.

2. 폴리머애자는 화염 가열시간이 5분 정도 경과하였을 때 갓의 일부 손실이 있었지만 전기적 특성과 기계적 특성에는 거의 영향을 미치지 않았다.

3. 가열시간이 20분 정도 경과하였을 때의 폴리머애자 갓 부분은 유실되고, 시스부분이 약간 손실되었지만 전기적 특성과 기계적 특성에는 많은 영향을 미치지 못 하였다.

4. 폴리머애자의 갓 부분과 시스부분이 자기재와 같은 불연성은 아니지만 난연성임을 확인하였다.

본 연구의 목적은 산불과 같은 화재 발생시 폴리머애자가 화염의 높은 온도의 영향에 대하여 전기적, 기계적 특성을 얼마만큼 유지하는가에 대한 관점에서 실험하였다. 실험에 적용한 가열온도나 가열시간 등의 실험조건이 실제 산불 발생시의 조건보다도 더 가혹하게 적용되었음에도 불구하고 폴리머애자의 기계적 분리나 전기적인 특성치의 변화는 거의 일어나지 않았다. 이로서 산불과 같은 화재의 영향에도 송전용 폴리머애자의 안정성에 대한 우려를 어느 정도 제거 시킬 수 있었다.
향후 산불과 같은 화재를 정확하게 모의할 수 있는 실험장비를 제작하여 좀더 심도 있는 실험으로 송전용 폴리머애자의 신뢰성 향상 연구를 계속 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] 이시영, "대형산불 확대요인 분석", 월간임업정보, 135호, pp. 33~35, 2002.

[2] 이시영, "산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구" 동국대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1~12, 1995.

[3] 이철호, 김상욱, "전기절연재료 표면의 열화현상", 공업화학회, Vol.1, No.2, pp. 718~721, 1997.

[4] R. S. Gorur, E. A. Cherney and R. Hackam, "Electrical Performance of Polymeric Insulating materials in Salt fog", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 2, No. 2, pp. 486~492, 1987.

[5] ANSI C29.11, "Composite Suspension Insulators for Overhead Transmission Lines tests", 1989.

[6] R. S. Gorur, E. A. Cherney and J. T. Burnham, "Outdoor Insulators", Ravi S. Gour, Inc., pp. 179~205, 1999.