

가속열화시험에 의한 폴리머애자의 신뢰성 평가

Reliability Assessment of Polymer Insulators by Accelerated Aging Test

한재홍*, 이병성*, 정종욱*

(Jae Hong Han*, Byung Sung Lee*, Jong-Wook Jung*)

Abstract

In order to assess the long-term reliability of polymer insulators for distribution power systems, we have developed the accelerated aging test method which can simulate the operation conditions. In this study, 3000 hours aging test for 4 kinds of polymer insulators has been completed by the developed accelerated aging test. After 3000 hours aging test, visual inspection and electrical tests were carried for identifying a change of characteristics. Some specimens showed the surface erosion and the manufacturing defect. In the electrical tests, the wet flashover voltage was significantly decreased by the accelerated aging test. In comparison with the field-aged polymer insulators, it can be concluded that the developed test method can evaluate the long-term reliability within short time and screen the manufacturing defect.

Key Words : Accelerated Aging Test, Polymer Insulators, Reliability Assessment

1. 서 론)

폴리머애자는 절연특성이 우수하고, 다양한 장점을 갖고 있기 때문에 점차적으로 기존의 자기애자를 대체하고 있다[1]. 하지만 국내의 경우 폴리머애자를 적용한 기간이 길지 않기 때문에 장기신뢰성에 대한 의문은 여전히 남아 있는 실정이다.

약 30년 정도의 폴리머애자 운전경험이 있는 외국의 경우에는 이미 자국의 운전환경에 적합한 장기신뢰성 평가방법을 확립한 상태이며, 폴리머애자의 규격 및 시험방법을 표준화하기 위한 연구를 수행하고 있다[2, 3].

현재 폴리머애자의 신뢰성을 평가하는 시험방법에는 많은 종류가 있다. 즉, 단기시험, 장기시험, 재료시험, component 시험, 트래킹시험, 침식시험 등이다. 새로운 재료 또는 디자인을 가진 애자의 장기

적인 성능을 평가하는 방법으로서 시료를 정해진 조건에서 가속열화시켜 성능을 측정하는 다음 실시간 열화된 시료와 비교하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 또한 수명종기(end of life)나 애자 설계, 섬락시험의 전처리 과정으로 시료를 가속열화시키기도 한다. 가속열화 시험방법은 열화인자를 복합적으로 폴리머애자에 인가하여 열화를 가속시키는 방법으로써, 규격시험과 연구시험으로 구분할 수 있다. 규격시험에는 IEC 61109의 1000시간 시험 등이 있으며, 주로 제품의 품질평가에 사용된다. 반면 연구시험은 EPRI 시험법 등이 있는데, 애자가 운전되는 특수환경을 고려하여 장기신뢰성을 평가한다.

최근의 가속열화시험방법은 규격시험보다는 자국의 특수한 기후나 운전환경을 모의할 수 있는 연구시험으로 점차 전환되고 있다 [4]. 이러한 가속열화 시험방법에는 다양한 시험방법이 있으며, 어떠한 열화인자를 모의할 것인지에 따라 달라질 수 있다.

옥외용 고전압에서 사용되는 폴리머애자가 다양한 한 스트레스에 의해 열화된다는 것은 자명한 사실

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

이다. 따라서 전력연구원에서는 폴리머애자가 운전되는 환경을 복합적으로 모의할 수 있는 복합열화 시험설비 (combined aging test facilities)를 국외 시험설비 및 시험법에 대한 분석을 통하여 자체적으로 개발하였으며, 국내 고장형태 및 기후패턴에 대한 분석을 통해 각 열화인자별 스트레스 레벨과 열화시험주기를 선정하였다 [5].

본 연구에서는 전력연구원에서 개발한 복합열화 시험설비와 가속열화시험법을 사용하여 국내의 4개사 제품에 대한 3000시간 시험을 실시하였다. 가속열화시험이 완료된 후에는 육안검사 및 전기적 시험을 통해 특성변화 정도를 관찰하였으며, 현장에서 발취한 폴리머애자와 특성비교를 실시하여 가속시험법으로서의 가능성도 검토하였다.

2. 가속열화시험

2.1 복합열화시험설비

본 연구에서 사용한 복합열화시험설비는 기본적으로 IEC 61109의 주기시험이 가능하도록 설계되었다. 하지만, 본 시험설비는 IEC 61109와 비교하여 시료배치 및 열화변수에서 약간의 차이가 있다. IEC 61109에서는 제한된 수의 시료 (2개)를 수평과 수직 배치하여 5000시간 시험을 실시하도록 되어 있으나, 주어진 시간내에 많은 회사의 제품을 시험하기는 부적절하다. 따라서 본 시험설비에서는 IEC 61109에서 요구하는 기능을 모두 수용하되, 정해진 내부 공간에서 최대한 시료를 밀도있게 배치하여 총 16개의 시료를 동시에 시험할 수 있게 하였다. 또한 실제 선로에서의 하중을 고려하여 각각의 시료에 인장하중까지 인가할 수 있도록 제작하였다.

본 복합열화시험설비의 주요 특징이 표 1에 나와 있다. 복합열화시험설비의 내부챔버 용적은 IEC 기준에 적합하게 10 m³이며, 모의 가능한 환경 열화인자로는 온·습도, 기계하중, 자외선, 염수, 인공비, 전압 등의 스트레스이다. 챔버 (chamber) 내에서 총

표 1. 복합열화시험설비 주요기능

시험 변수	전원	50 kV _{ac} (1 A) 1대, 20 kV _{ac} (0.5 A) 3대
	염수, 주수	순수 이용, 순수제조장치 보유, 주수량 조절 가능
	자외선	형광 UV-A 램프 사용 (파장: 365 nm)
	기계적 하중	12개 애자에 개별적으로 10 ton의 인장하중 인가 가능
	온도	상온~80℃, ±2℃
	습도	30~98%, ±5%
설치 시료수	최대 16개 (수직배치: 12개, 수평배치: 4개)	

16개의 폴리머애자를 동시에 시험할 수 있으며, 12개의 수직배치 애자에 각각 최대 10 ton까지의 인장하중을 인가할 수 있다. 온도 조절범위는 상온~80℃이며, 습도는 98%까지 조절할 수 있다. 태 양광 중의 자외선 열화를 모의하기 위해 형광 자외선 램프를 사용하였으며, 주수/염수로부터 램프 광원을 보호하기 위한 시스템을 갖추었다. 염수 및 인공비 노출 시스템은 국제규격에 적합하게 제작하였다.

2.2 가속열화시험법

본 연구에서 사용한 가속열화시험법은 여름주기와 겨울주기를 구분하여 시험을 실시하는 EPRI/FPL (Florida Power & Light Co.)의 5000시간 시험법을 참조하여 국내 운전환경에 적합하도록 만들어진 것이다 [6].

표 2는 본 연구에서 사용한 가속열화 시험주기와 열화인자별 스트레스 레벨을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 여름주기는 인공비, 자외선, 온난한 온도로 구성되어 있으며, 겨울주기는 오손물, 적은 양의 비, 자외선, 차가운 온도로 구성된다.

표 2. 가속열화시험주기

Salt fog ($\approx 2.5\text{kg/m}^3$)										
주수 ($30\text{--}70\ \mu\text{S/cm}$)										
온습도/자외선 ($50\text{--}60^\circ\text{C}$)										
전압 ($13.2\ \text{kV}$)										
기계적 강도 ($2.4\ \text{ton}$)										
시간 (hours) 여름주기	1	2	3	4	5					

Salt fog ($\approx 2.5\text{kg/m}^3$)										
주수 ($30\text{--}70\ \mu\text{S/cm}$)										
온습도/자외선 ($4\text{--}15^\circ\text{C}$)										
전압 ($13.2\ \text{kV}$)										
기계적 강도 ($2.4\ \text{ton}$)										
시간 (hours) 겨울주기	1	2	3	4	5					

2.3 육안검사 및 전기적 시험

본 연구에서는 2000시간 및 3000시간의 가속열화 시험이 완료된 다음 육안으로 시료표면을 관찰하여 트래킹, 침식 및 관통 등을 조사하였다. 또한 전기적 시험에서는 상용주파 건조/주수/뇌충격 섬락전압 시험과 상용주파 건조전압치의 80%를 30분간 인가는 내전을 IEEE 1024에 의거하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 육안검사

2000시간 및 3000시간의 가속열화시험 완료 후 육안으로 외관상의 변화를 관찰하였다. 각각의 시료에 대한 육안검사 결과가 표 3에 정리되어 있다.

표 3. 가속열화시험에 따른 육안검사 결과

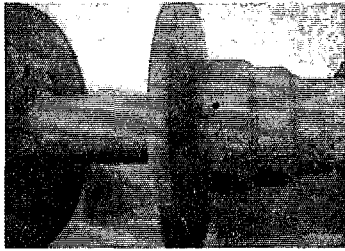
시료	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	국내 D		국외 A		국내 C		국내 A		국외A
2000 시간	관통, 변색, 미소 tracking		침식		변화없음		변화없음		미소 침식
3000 시간	관통 tracking		침식, 초킹		변화없음		미소침식		침식

시료	10	11	12	13	14	15	16
	국내 A	국외 A	국내 D	국내 A	국외 A	국내 D	국내 C
2000 시간	변화 없음	변화 없음	변색	변화 없음	변화 없음	변색, 관통	변화 없음
3000 시간	변화 없음	미소 침식, 초킹	미소 침식	변화 없음	변화 없음	관통 증가	변화 없음

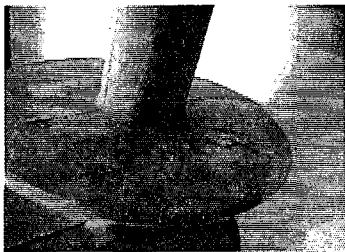
표에서 시료 1부터 시료 12까지는 수직방향으로 설치한 예자이며, 시료 13~시료 16은 수평방향으로 설치한 것이다.

그림 1에 나타난 것처럼 국내 D사 제품의 경우 금구를 감싼 부분에 관통이 발생하였다. 이는 금구와 하우징 계면에 존재한 보이드가 주기적인 온도 변화에 의해 팽창하여 발생한 것으로 판단된다. 이러한 관통 현상은 시험시간이 증가함에 따라 점차 커져서 3000시간 시험이 완료된 후에는 최대 5 mm 까지 확대되었다. 또한 그림 1의 (b)와 같이 표면에서 미소 트래킹 현상도 관찰되었다. 이와 같은 결과로부터 본 가속열화시험법이 제조결함을 선별하는데 사용될 수 있음을 발견하였다.

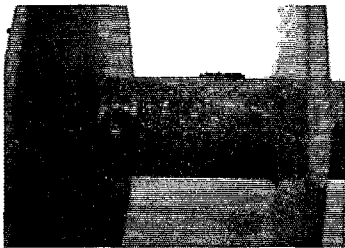
한편 침식의 경우는 국외 A사 제품이 가장 심하였으며, 그림 1의 (c)와 같이 시스 부분에서 길이 20 mm, 깊이 1 mm의 침식이 발생하기 시작한 시료의 경우는 시험시간의 증가에 따라 빠른 속도로 침식이 진행되었다.



(a) 관통 (국내 D)



(b) 트래킹 (국내 D)



(c) 침식 (국외 A)

그림 1. 3000시간 가속열화시험후의 외관상태

3.2 전기적 시험

2000시간 및 3000시간 동안 가속열화된 시료에 대해 전기적 시험을 실시한 결과가 표 4에 나와 있다. 표에서 알 수 있는 것처럼 건조섬락전압 및 뇌충격섬락전압은 신품과 열화시료간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 주수섬락전압의 경우에는 신품에 비해 상당히 낮은 값을 보였다. 이는 가속열화시험에 의해 시료 표면이 많이 열화되어 나타난 것으로 보인다.

표 4. 시료별 섬락전압 시험결과

시료		국외 A	국내 A	국내 C	국내 D	
건조섬락 전압 (kV)	신품 *	151	161	172	171	
	2000시간*	153	163	170	169	
	3000시간 †	151	159	166	167	
주수섬락 전압 (kV)	신품	129	137	147	142	
	2000시간	123	132	143	142	
	3000시간	109	115	133	130	
뇌충격 섬락전압 (kV)	신품	정	223	242	253	245
		부	297	341	388	361
	2000 시간	정	218	245	251	247
		부	299	347	372	379
	3000 시간	정	248	264	277	273
		부	315	330	332	365

(* 신품 & 2000시간 시료: 한국전기연구소 의왕)
 († 3000시간 시험: 모 업체)

표 4에서 표시한 값은 동일제품 수직설치 시료 3개를 평균하여 나타난 것이다. 한편 수평설치 시료의 주수섬락전압은 비교적 염분이 많이 부착되는 수직설치 시료와 비슷한 값을 나타내었다. 이러한 결과로부터 폴리머애자의 섬락전압 특성은 표면에 부착된 염분보다는 표면 발수성에 의해 좌우된다고 판단된다. 이는 폴리머애자 표면에 부착된 염분이 주수섬락시험시 많은 주수량 (4 mm/분 정도)으로 인해 세정되기 때문이다. 한편 각 시료별로 건조섬락전압치의 80% 전압을 30분간 인가하는 상용주파내전압시험에서는 섬락되는 시료가 나타나지 않았다.

4. 결론

전력연구원에서 개발한 폴리머애자 가속열화시험법을 사용하여 3000시간 열화시험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 3000시간 가속열화시험한 결과를 현장에서 4~5년 운전한 폴리머애자의 결과와 비교한 결과, 가속효과가 더 큰 것으로 나타났다. 즉, 현장발취 애자에서 나타나지 않은 침식과 트래킹 현상이 관찰되었다. 따라서 본 가속열화시험법이 폴리머애자의 장기신뢰성을 평가하는 한 방법이 될 수 있음을 확인하였다.

- (2) 수직설치 애자가 수평설치 애자의 경우보다 심한 열화현상을 나타내었다. 이는 수평설치 애자에서는 주수시에 세정이 효과적으로 이루어지기 때문인 것으로 보인다.
- (3) 가속열화시험 완료한 시료의 전기적 특성에서 주수섬락전압이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 반면 건조 및 뇌충격섬락전압에서는 거의 영향이 나타나지 않았는데, 이는 현장발취 애자에서도 동일하게 나타나는 특성이다.
- (4) 가속열화시험을 통해 결함 (보이드 등)을 가진 애자를 구별해 낼 수 있었다. 따라서 screen test로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. Mackevich and M. Shah, "Polymer Outdoor Insulating Materials", IEEE Insul. Magazine, Vol. 13, No. 3, pp. 5-32, 1997.
- [2] IEC 61109, "Composite Insulators for AC Overhead Lines with a Nominal Voltage Greater than 1000V-Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria", 1992.
- [3] I. Gutman and R. Harting, "Experience with IEC 1109 1000 h Salt Fog Ageing Test for Composite Insulators", IEEE Insul. Magazine, Vol. 13, No. 3, pp. 36-39, 1997.
- [4] International Symposium on Modern Technologies, 1997.
- [5] 배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가 및 운용기준 제정, 전력연구원 보고서, 2001.
- [6] H. M. Schneider et al., "Accelerated Aging and Flashover Tests on 138 kV Nonceramic Line Post Insulators", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 325-336, 1993.