

# 트래킹 휠과 복합열화시험에 의한 폴리머 애자의 성능 평가

## Performance Evaluation of Polymer Insulator using Tracking Wheel and Multi-Aging Test

\*조 한 구 · 안 명 상 · 한 세 원 · 허 종 철 · 이 운 용  
( H. G. Cho · M. S. Ahn · S. W. Han · J. C. Her · U. Y. Lee )

### Abstract

Recently polymer insulators are being used for outdoor high voltage applications. Polymer insulators for transmission line have significant advantages over porcelain and glass insulators, especially for ultra-high voltage transmission lines. Their advantages are light weight, vandalism resistance and hydrophobicity. Polymer insulators are a relatively new technology, but their expected life is still unknown. Therefore these estimating technique are very important. Their life time is related to weathering and operating condition. Multi-aging test is requested because aging factor is occurred by multi-aging than unique aging. The aging test about polymer insulators have mainly carried out by IEC 61109.

This paper presents multi-stress chamber experiments and tracking wheel test to examine the tracking and erosion performance of polymer insulator for transmission. Multi-stress testing is able to demonstrate deficiencies of polymer insulator materials and designs, including the nature of interfaces in insulation design. We have investigated IEC 61109 Annex C (5000h aging test) and CEA tracking wheel test as test methods of artificial accelerated aging. The aging degree of polymer insulator is estimated by leakage current, measurement of hydrophobicity degree, damage conditions of insulator surface, withstand voltage test etc.

**Key Words(중요용어)** : Multi-aging Test, Long time performance, IEC 61109 Annex C, Hydrophobicity, Tracking wheel test, Leakage current

### 1. 서 론<sup>1)</sup>

최근 자기류의 절연물을 대체할 수 있는 옥외용의 애자류, 부상, 피뢰기 등의 절연물이 송,배전선로, 변전 기기 및 전철에 이용되고 있으며, 특히 구미에서는 전력계통에 고분자 절연물의 경우 배전급은 90% 정도, 송전급은 40% 정도가 점유되기 시작함에 따라 이들의 기계적 성능, 내트래킹성 및 장기신뢰성을 예측하기 위한 열화평가기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

이들 절연물의 가장 커다란 장점중의 하나는 자기에 비해 최고 90%까지 중량을 감소시킬 수 있는 경량성으로 취급시의 문제점 및 설치시의 파손 및 손상을 줄였

고, 송전선로의 건설경비의 저감효과를 가져올 수 있다. 또한 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐 아니라 갓(shed) 형상의 자유도가 크기 때문에 설계의 가변성이 용이하여 소형화가 가능하며, 송전선로의 신뢰성 많은 이점을 가지고 있다.

그러나, 고분자 절연물은 옥외의 가혹한 사용 환경에 노출되면 자외선, 산성비에 의해 표면이 열화되어 오손물질과 수분이 부착하면 국부적인 탄화열화가 일어나고 이것이 진전하여 최종적으로 트래킹 파괴에 이른다.

따라서, 본 연구에서는 폴리머 애자의 시제품에 대하여 트래킹 휠(tracking wheel)과 복합열화시험에 의해 트래킹 성능을 평가하였다.

\* 한국전기연구소 전략기술연구단

(경남 창원시 성주동 28-1

Fax : 0551-280-1590

E-mail : hgcho@keri.re.kr)

### 2. 인공열화시험기

폴리머 애자는 유기재료를 사용하고 있기 때문에 사

용 환경하에서 자외선, 오존, 습윤등의 각종 환경인자 나 누설전류, 국부방전, 코로나 방전등의 스트레스에 의해 경년열화가 생긴다.

폴리머 애자의 장기성능 평가방법으로는 전기 절연·환경을 대상으로 한 가속열화시험이나 기계적 성능시험이 제안되고 있다. 전기 절연·환경에 대한 가속열화 시험로서는 표 1과 같은 규격을 비롯하여 여러 가지 스트레스를 조합하여 가속배율로서 10~20배정도가 상정되는 시험방법이 제안되고 있다.

인공가속열화시험은 열화조건이 실사용 환경에서의 조건과 유사하여야 하지만, 시험효율의 향상을 목적으로 열화조건에 설정에 있어 과도하게 스트레스를 부여하게 되면 시험의 타당성을 잃게 된다.

표 1. 고분자 애자의 인공가속열화 시험방법

시험법	인가전압	복합 스트레스	시험시간	축지시간 (유, 무)
IEC 61109 Annex C	50 kV/mm (20.8 mm/kV)	염수, 강우, 습도, 온도, 자외선	5000 h	무
CEA 트래킹 휠 시험	35 kV/mm	염수	30000 cycle (192초/cycle)	무 → 유

### 2-1. IEC 61109 Annex 복합열화시험

폴리머 절연물에 대한 열화시험은 주로 IEC 61109에 따라 1000시간 염수분무시험을 실시하고 있지만, 이 실험방법은 순수한 오존시험으로 적합하고 열화평가를 목적으로 하는 시험으로는 적당치 않은 것으로 검토되고 있다. 단순한 염수분무시험보다는 주변환경의 사이클 특성과 열화와의 관계를 고려한 사이클 시험이 절연물의 열화를 모의하기에 더 적합하다. 따라서, 본 연구에서는 송전용 폴리머 애자를 시료로 하여 IEC 61109 Annex C(5000시간)를 복합열화시험으로 선정하였다.

IEC 61109 Annex C(5000h)를 복합열화시험으로 채택하여 시험하였으며, 실험장비 구축상 자외선은 조사하지 않았다. 이 시험은 실제 자연환경 조건과 동일한 비, 염수, 습도, 온도 등을 고려한 복합가속열화조건을 가지고 있다. 그림 1은 KERI에서 제작한 복합열화시험 장치내의 시료 형상 및 배치형태를 나타낸다. 시료는 총 6개를 설치할 수 있으며, 온, 습도가 조절이 가능하며, 챔버의 균일도를 위하여 주수 및 염수 노즐이 전체 공간에 적절하게 6개씩 분포되어 있다. 사용된 시료의 동경은 31mm, 교대 갯 중 큰 갯의 직경은 126mm, 작은 갯의 직경은 47.5mm이며 갯의 수는 모두 5개로 구성되

며, 시료의 누설거리(creepage distance)는 580mm, 공칭시험전압은 20.8mm/kV로 하여 시험하였다.

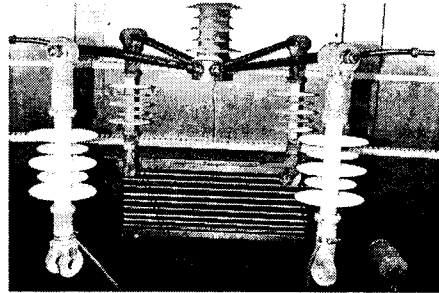


그림 1. 시료의 형상과 배치 형태

### 2-2. CEA LWMG-01 트래킹 휠 시험

그림 2와 같이 시료(복합열화시험과 동일)의 한쪽 금구를 wheel에 90° 간격으로 4개를 고정 설치하여 wheel을 90°씩 회전시켜 하부의 시료가 소금물에 잠기게 하고 상부의 시료는 누설거리 1 mm당 35 V에 연결되도록 한다. 각 위치에서 정지된 상태로 40초간 머물게 되며 한 위치에서 다음 위치로 이동하는 시간은 8초이다. 주기의 첫번째 위치는 염수(비이온수에 NaCl첨가)에 담겨지는 부분이며, 두 번째 위치는 과도한 염수를 떨어뜨려 세번째 위치에서 건조대 방전을 일으키게 하는 부분이다.



그림 2. 시료의 형상과 배치 형태

표 2는 IEC 61109 Annex C와 CEA LWMG-01에 대한 시험을 비교하였으며, 시험 결과는 트랙(track)이 없으며 코어(core)까지 이르는 침식(erosion)이 없었고 갯(shed)과 하우스(housing)에 구멍(puncture)이 없어야 한다. 또한, 트래킹 휠 시험이 끝난 시료는 48시간 이내에 급준파 및 상용주파전압시험을 끝내야 한다. 표 3은 시험용 고분자 애자의 누설거리 및 인가전압을 나타내었다.

표 2. IEC 61109 Annex C와 CEA LWIWG-01 시험의 비교

규격	IEC 61109 Annex C	CEA LWIWG-01
약칭	복합열화시험법	트래킹 훅 시험
샘플	모델애자	모델 애자
방법	모의 태양광 인공강우 건조가열 50℃ 습윤가열 50℃ 98% rh 고습윤 95% rh 24h를 1사이클로 함	전기적 스트레스(최소) 35 V/mm(누설거리) 염수의 NaCl 함량 1.40±0.06g/l 30,000 cycle 시험시간(최소)
오손액 성분	NaCl 7 kg/m <sup>3</sup>	NaCl 1.40±0.06g/l
오손액 도전율	1.15 S/m	2.87ms/cm
전계	20.8 mm/mm	35 V/mm
규정		표5

표 3. 트래킹 훅 애자의 누설거리와 인가전압

시 료	누설거리(mm)	인가전압(kV)
1	578	21.3
2	575	21.3
3	609	21.3
4	587	21.3

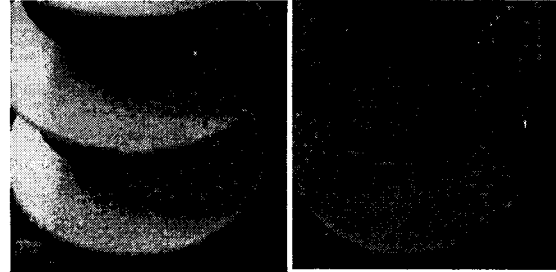
### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 발수성 분석

폴리머 절연물의 발수성은 오손 습윤시에 있어서 수막(water film)형성과 누설전류 증가를 저지하는 효과로 트래킹과 침식현상에 중요한 역할을 한다. 발수성을 평가하는 방법들 중 시료를 계속 열화시키는 과정중에서 발수성을 측정할 수 있는 방법은 별로 없다. 대부분 잘라낸 시료를 가지고 접촉각을 측정하여 발수성을 평가하고 있으나, 본 연구에서는 실 애자를 열화시키면서 발수성을 평가할 수 있는 방법인 STRI의 스프레이에 의한 육안분류법과 최근 일본에서 제안된 거름종이 메가법을 이용하여 평가하였다.

그림 3은 건전시료와 1000시간 열화시료의 표면 발수성 상태를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 1000시간 열화시료의 경우 갓 바깥쪽 표면의 발수성이 상당히 저하된 것으로 보인다. 이는 갓과 갓 사이에서의 표면방전으로 인해 재료가 열화되어 발수성이 나빠진 것으로 생각된다. 또한, 거름종이 메가법으로 누설저항

을 측정한 결과도 갓의 바깥쪽 부분의 누설저항값이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 건전시료 (b) 1000시간 열화된 시료  
그림 3. 표면 발수성 상태

초기 시편과 열화 시간에 따른 4개의 애자에 대한 발수성을 측정하여 비교하여 그림 4에 나타내었다. 각 시편의 1번 큰 갓과 2번 작은 갓의 표면에서 얻어진 표면 누설 저항비가 ∞로 나오지 않은 거름종이 갓수(Bad Hydrophobicity Number)와 열화 시간과의 관계를 나타내었다. 여기서 Bad Hydrophobicity Num. 는 측정한 12개의 거름종이 중 표면 누설저항비가 ∞로 나오지 않은 결과의 수이다. 앞에서 설명한 바와 같이 초기 시편과 같이 발수성이 좋으면 표면 누설 저항비가 ∞로 나오지만 발수성이 나빠지면 표면 누설 저항비의 값이 수~수십 정도의 값을 가진다. 측정 결과에 따르면 열화시간에 따라 Bad Hydrophobicity Num. 가 증가하는 것을 알 수 있었다.

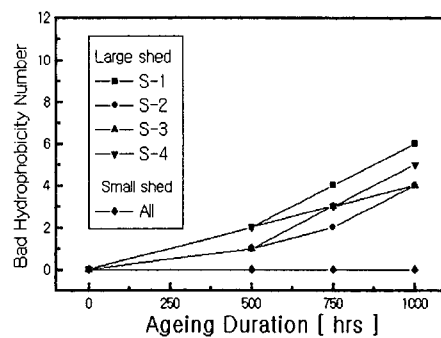


그림 4. 열화 시간과 Bad Hydrophobicity Number와의 관계

#### 3-2. 표면 트래킹 성능 분석

표 4는 전시험에 대한 상용주파관주성락전압 시험결

과를 나타내었으며, 표 5는 트래킹 휠 시험 후에 여러 가지 확인시험을 실시한 결과를 나타내었다.

시험 결과 시료 2개에 트래킹 및 침식이 일어났으며, 파괴 양상은 주로 시험 애자의 작은 갓(shed) 부분에 트래킹에 의한 침식(erosion)이 발생하였는데 대부분의 파괴양상은 parting line부근에 따라서 침식과 트래킹이 일어났다. 또한, 그림 5와 같이 작은 갓 부분에서의 관통파괴와 대부분 시험애자의 동경부분에 트래킹에 의한 침식이 있음을 확인할 수 있었는데 이 부분의 파괴양상도 parting line을 따라 일어났다.

표 4. 전시형인 상용주파건조섬락전압시험

시험방법	시험결과	
시료를 6회씩 섬락시켜서 섬락전압 평균치를 구함.	1	114 kV
	2	103 kV
	3	109 kV
	4	103 kV

표 5. 내트래킹 시험 후 확인시험

시험순서	시험방법	시험기준	시험결과	
육안검사		트래킹이 발생치 않아야 하며 core에 부식이 없을 것	불량	
급준파 파두 충격전압 시험	준도 1,000 kV/μs의 급준파 충격전압을 정·부 각 10회씩 인가	외부섬락이 일어나 절연파괴가 되지 않을 것	양호	
상용주파 건조섬락 전압시험	시료를 5회씩 섬락시켜 섬락전압 평균치를 구함.	섬락전압 평균치는 트래킹 시험전의 섬락전압 평균치의 90% 이상일 것	1	114 %
			2	120 %
			3	101 %
			4	110 %
상용주파 내전압 시험	트래킹 시험후의 상용주파건조섬락전압 평균치의 80% 전압으로 30분 인가	절연파괴가 되지 않을 것	양호	

#### 4. 결 론

1. 표면 발수성의 경우, 표면방전으로 인하여 갓 바깥 쪽이 갓 안 쪽보다 더 저하됨을 두가지 방법을 통해 확인하였다.
2. 시험 애자의 작은 갓(shed) 부분에 트래킹에 의한 침식(erosion)이 발생하였는데 대부분의 파괴양상은

parting line부근에 따라서 침식과 트래킹이 일어났다.

3. 복합열화시험에 의한 손상 등급 평가결과, 2000시간까지는 열화시험 판정기준에 벗어나는 열화는 일어나지 않았다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] I. Gutman et al., "Experience with IEC 61109 1000h Salt fog Aging Test for Composite Insulators", IEEE El., Vol. 13, No. 3, 1997.
- [2] Jeffrey J. Kester, "Multi-stress Aging Tests of Polymer Housed Surge Arrester", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 13, No. 2, 1998.
- [3] 日本電氣學會, "複合絶縁の界面現象とその評價", 電氣學會技術報告, No. 694, 1998.
- [4] I. Gutman et al., "IEC 5000h Aging Test : Critical Review and Further Test Development", Stockholm Power Tech., 1995.

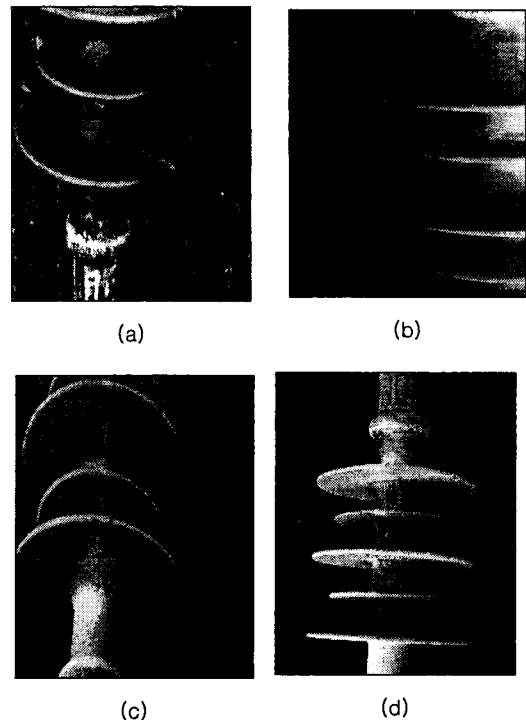


그림 4. 트래킹 휠 시험에 의한 파괴양상