

자외선 노출에 따른 폴리머애자 하우징의 열화특성평가

Aging Evaluation of Polymer Insulator Housing with UV Exposure

이병성, 한재홍, 김찬영, 한용희
(Byung Sung Lee, Jae Hong Han, Chan Young Kim, Yong Heui Han)

Abstract

Polymeric composite insulators have been in use for outdoor insulation. However, our knowledge about their long-term performance in a outdoor environment is still very limited. Especially, these insulator are subjected to the environmental stress such as ultraviolet radiation. Hence, in this paper, the influence of UV radiation on the aging of the shed materials was evaluated. For the aging evaluation, these insulators studied by experiment methods such as contact angle measurement, oxidation induced time, SEM/EDX, FTIR-ATR, tracking test for the different insulator samples. With the increased UV exposure time, samples are shown to exhibit degradation comparable to those of new ones

Key Words(중요용어): Polymer Insulator(폴리머애자), Natural Aging(자연열화), Hydrophobicity(발수성), Surface Traking(표면 트래킹), UV Exposure(자외선 노출)

1. 서론

전기품질에 대한 사용자의 요구조건을 충족시키기 위해 각국의 전력회사는 전력공급의 신뢰도를 높이는 방안을 강구하고 있다.

이에 대한 일환으로 현재 주로 사용되고 있는 자기재 애자에 비해 주변 환경에 대한 오손특성이 양호하고 취급이 용이한 폴리머재료의 애자 쪽으로 관심의 방향이 바뀌고 있으며, 세계 각국에서 제품이 개발되어 사용되고 있다.

그러나 복합적으로 열화인자들이 작용하는 환경에서 폴리머애자가 충분한 장기 신뢰성이 있는지는 아직까지 의문시 되고 있다.

육외에서 사용되는 폴리머재료는 다양한 주변환경에 놓이게 되므로 시간에 따라 고유한 특성을 잃어버리게 되어 전력공급의 증대한 영향을 미치게 된다. 주요한 열화 인자로는 태양광, 온도, 기계적 작용, 전기적 작용, 화학약품, 대기오염, 수분 등이다.

이들 중에서 폴리머 분자간력에 영향을 주어 재료의 열화에 크게 작용하는 것은 태양광에서 오는 자외선이라 할 수 있다. 지표에 도달하는 태양광 중

에 6% 정도가 자외선으로 막대한 양의 양성자에너지를 갖고 있어 폴리머재료를 쉽게 열화 시킨다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 폴리머애자의 자외선 노출 시간에 따른 열화특성 변화를 관찰하고자 접촉각, 열특성, 화학구조, 산화유도시간, 트래킹, 표면 미세구조 등에 대한 분석을 실시하였으며 이를 신품과 비교하여 자외선에 의한 가속 열화 특성을 알아보았다.

2. 실험방법

본 실험을 위해 국내 및 국외에서 생산되고 있는 4종류의 폴리머애자에서 갓 부분을 일정한 크기로 발취하여 다른 스트레스가 없는 조건에서 각각 30일, 60일간 자외선에 열화시켜 이에 대한 특성 평가 시험을 하였다.

이때, 자외선 조사는 ASTM G53에 의해 60℃에서 4시간 동안 UV 조사, 50℃에서 4시간 동안 응축하였다. 이 규정에 의해 시험을 하였을 경우 미국 플로리다지역 맑은 날의 약 10배의 가속효과를 갖는 것으로 알려져 있다.²⁾

실험에 사용된 A, B, D 시료의 기저폴리머는 EPDM이며, C 시료는 실리콘 고무로 제조된 것이

다.

또한, 자외선에 의해 열화된 시료에 대해 특성을 평가하기 위해 다음과 같은 방법으로 열적성질, 화학구조 분석, 미세구조 및 성분분석, 접촉각 측정, 트래킹 등의 시험을 하였다.

열적 특성 분석에서는 시료의 열화된 부분에서 표면을 얇게 절단하여 DSC-OIT를 이용하여 표면의 산화 저항성을 분석하였다.

실험조건은 질소분위기로 200℃까지 10℃/min의 속도로 승온한 후 5분간 200℃로 유지한 다음 산소분위에서 산화에 의한 발열반응이 나타나는 시간을 측정하였다.

화학구조 분석에서는 적외선분광기-전반사 방법을 사용하여 UV 30일 시료 및 UV 60일 시료의 표면을 측정하여 UV에 대한 표면 화학구조의 변화를 관찰하였다.

미세구조 및 성분분석에서는 SEM/EDX를 사용하여 시료 표면의 미세구조 및 성분을 분석하였다.

접촉각 측정에서는 열화된 시료 표면에 대해 접촉각 측정기(증류수 방울 크기 13μl)를 사용하여 10번 측정하여 평균값으로 구하였다.

트래킹시험에서는 현재 사용되고 있는 폴리머에 자 제품의 값이 IEC-60587에 의해 실험하기에는 적당하지 않으므로 그림 1과 같이 전극거리를 짧게 구성하여 시험하였다. 상하부전극 거리가 2.0 [cm], 시험전압은 3.3 [kV], 오손액으로는 염화암모늄 (NH₄Cl) 0.1 [%] 수용액을 사용하였으며, 오손량은 0.6 [ml/min]로 하였다.

열화시킨 시료에 표면에 각각 60분씩 상기 전압을 인가하여 트래킹 현상을 비교하였다.

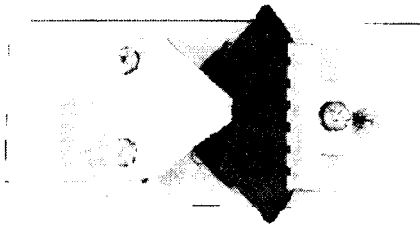


그림 1. 전극의 구성

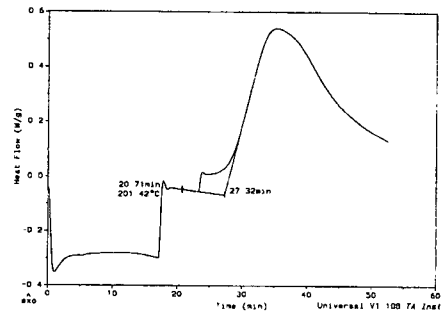
3. 결과 및 고찰

3.1 열적 특성

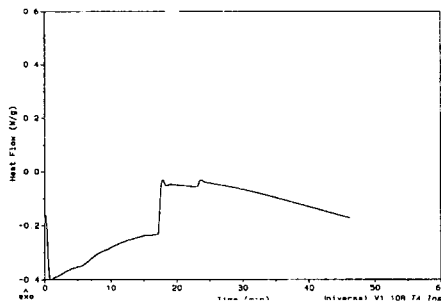
그림 2는 A 시료 및 B 시료의 산화유도시간을

나타내는 그래프이다. 60일간 UV 열화된 A시료(그림 2의 (a))는 산화유도시간이 5분 정도로 짧게 나타났다. 신품의 경우는 약 20분 정도였다. 따라서 A 시료는 경년에 따른 산화방지능력이 저하될 것으로 판단된다.

반면에 B, C, D 시료의 경우는 열화 및 신품 모두에서 산화반응에 의한 발열피크가 관찰되지 않았다.



(a) A 시료

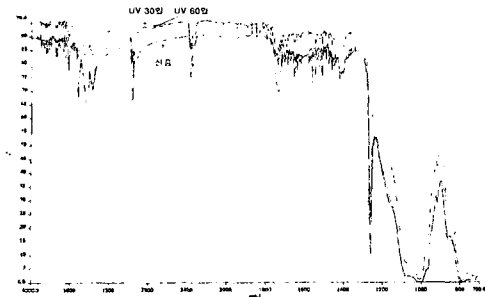


(b) B 시료

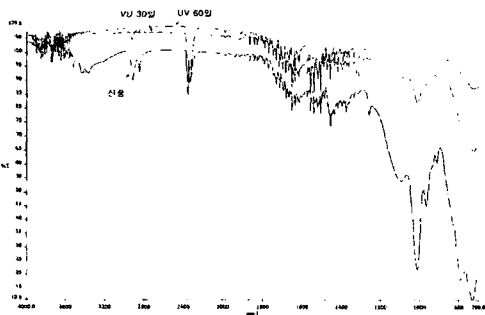
그림 2. 산화유도시간 비교

3.2 화학구조 분석

그림 3의 (a), (b)에 C, D 시료에 대한 화학구조 분석을 나타내었다. 그림 3의 (a)와 같이 C 시료의 경우는 신품과 UV 30일, UV 60일 열화된 시료의 화학구조가 거의 동일하다. 그러나 C시료를 제외한 A, B, D 시료는 그림 3의 (b)에서와 같이 자외선 열화에 따라 특성을 나타내는 피크치가 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 EPDM 재료의 애자는 자외선에 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다.



(a) C 시료



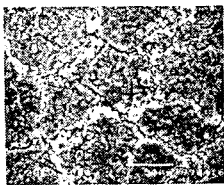
(b) D 시료

그림 3. C, D 시료에 대한 화학구조

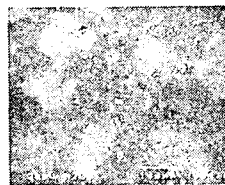
3.3 미세구조 및 성분분석

EPDM 재료인 A, B, D시료는 자외선에 노출되었을 경우 표면 변색이 나타났으며, 표면에 저분자 물질이 스며나온 것을 육안으로 관찰할 수 있었다. 그러나 실리콘 재료의 애자(C 시료)는 신제품과 비교하여 가시적인 방법으로는 표면의 변화가 관찰되지 않았다.

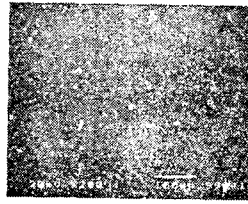
60일간 자외선에 노출된 4개의 시료에 대해 표면 미세구조 및 성분분석을 SEM/EDX를 이용하여 분석하였으며, 이를 신제품과 비교하였다. 그림 4에 자외선에 의한 표면 미세구조 사진을 나타내었다.



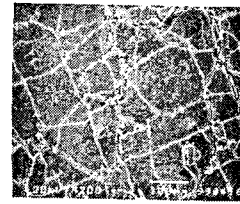
(a) A 시료



(b) B 시료



(c) C 시료



(d) D 시료

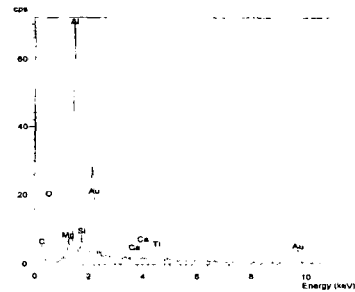
그림 4. 60일간 자외선에 노출된 시료

실리콘 재질인 C시료를 제외한 3개의 시료는 자외선 노출에 따라 정도의 차이는 있지만 표면에 미세 크랙이 발생하였다.

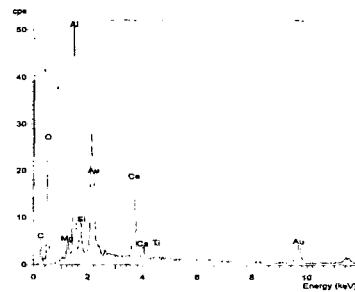
또한 EDX를 사용하여 시료의 열화 표면에 대한 성분분석을 실시한 결과 UV 노출에 따라 표면산화가 진행되고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 C사 제품인 실리콘 재질의 시료표면은 열화전과 큰 변화가 없었다.

따라서 실리콘을 함유한 애자 제품은 UV 노출에 의해 손상을 받지 않고 자외선에 대한 내력이 크다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 D시료에 대한 열화 전, 후의 성분을 분석한 결과이다.



(a) 열화 전



(b) 열화 후(UV 60일)

그림 5. 성분분석 비교 (D 시료)

3.4 접촉각 측정

각 시료별로 접촉각을 측정한 결과를 표 1에 표시하였다. 접촉각은 해당시료에 대해 10회 측정값의 평균값으로 표시하였다. 시료별로 차이는 있지만 표 1에 나타난 것과 같이 장시간 UV에 노출된 경우는 접촉각 특성이 나빠지는 것을 알 수 있으나, 표면을 증류수로 세정하였을 경우 접촉각은 신제품에 미치지 못하나 열화된 상태보다는 상당히 증가한 값을 보였다.

표 1. 접촉각 측정 데이터

구분	A시료	B시료	C시료	D시료
신품	102.8	86.5	112.6	111.5
UV 30일	111.3	86.2	111.3	91.4
UV 60일	99.7	74.7	97.6	81.9

3.5 트래킹 시험

앞절의 그림 1과 같이 전극을 구성하여 60일간 자외선에 노출하여 열화시킨 4개 시료에 대한 트래킹 현상을 관찰하였다. 대체로 자외선에 열화된 시료는 열화 전에 비해 상당히 심한 침식을 보였다. 표 2에 트래킹 시험 후의 표면상태를 나타내었다.

표 2. 트래킹 특성 비교

시료	트래킹 현상(UV 60 시료)
A시료	트래킹 특성 우수함, 60분
B시료	심한 침식 관찰, 25분
C시료	심한 침식 및 부풀음 발생, 17분
D시료	심한 침식 관찰, 60분

A, B, D시료의 경우는 UV 열화 전에 비해 열화 후의 시료가 다소 침식이 심하게 나타난 것을 관찰할 수 있었다.

특히, 실리콘 재질인 C사의 경우 심한 부풀음이 발생하여 17분만에 시험을 종료하였지만 이는 열화 전 시료의 특성과 차이가 없었다. 이것은 실리콘 시료가 UV에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다.

4. 결 론

폴리머 재료는 옥외에서 자외선의 영향을 받는 것이 확인되었지만 조성을 최적화하면 환경 열화 효과를 현저하게 감소시킬 수 있다.

UV에 의해 가속열화한 결과는 우리나라 지형에서 3년 동안 시사용한 폴리머에자의 분석 결과보다

더 가혹한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구로부터 ASTM G53 규정에 따라 60일간의 UV 가속열화 시험은 우리나라 환경에서는 3년 이상의 가속효과가 있는 것으로 판단된다.

또한, 표면이 세정될 경우 시료에 따라 발수성이 다소 회복될 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] “배전용 폴리머에자의 신뢰성평가 및 운용기준 제정 연구” 중간보고서, 전력연구원, 1999.4
- [2] Tiebin Zhao, R. Allen Bernstorff, “Ageing Tests of Polymeric Housing Materials for Non-Ceramic Insulators”, IEEE Electrical Insulation Magazine. 1998.