

폴리머애자 갓 재료에 미치는 자외선 및 오존의 영향

Effects of UV and Ozone on the Weathershed for Polymer Insulators

이병성^{*}, 한재홍^{*}, 한용희^{*}, 한상옥^{**}, 윤여송^{***}, 김수하^{***}
(Byung Sung Lee, Jae Hong Han, Yong Hwei Han, Sang Ok Han, Yeo Soong Yoon, Soo Ha Kim)

^{*}한전전력연구원, ^{**}충남대학교, ^{***}한전서울자재관리처
(*KEPRI, **Chungnam Nat'l Univ., ***KEPCO)

Abstract

The effects of UV and ozone on the weathershed materials for 5 polymer insulators were investigated. This study was carried by material characterizations such as surface microstructure, thermal property, chemical structure and contact angle. The aged specimens are compared with new ones. In case of UV, the chalking of fillers and cracking of surface were increased with the increase of UV radiation time. In case of ozone, aged specimens are not different from new ones. From this study, It can be concluded that UV has more effect on the surface properties of weathershed materials than ozone.

Key Words(중요용어) : Polymer insulators(폴리머애자), UV(자외선), Ozone(오존), Aging(열화)

1. 서론

최근들어 대기오염이 가속화되면서 오존층이 파괴되어 지표면에 도달하는 자외선량 및 대기중의 오존량이 증가하여 문제가 되고 있다. 이로 인해 생태계를 물론이고 산업계에도 상당한 영향을 미치고 있다.

이와 같은 환경요인은 폴리머를 이용한 전력설비에 영향을 미쳐 폴리머 사슬의 절단을 일어나게 하고, 산화반응 등을 촉진시켜 화학구조를 변화시킨다고 추정된다. 그 결과 폴리머 재료 본래의 유연성을 잃게 되고 재료 자체의 기계적인 강도가 저하된다. 또한 표면의 고유한 성질이 상실되어 표면 거칠기의 증가 등에 의해 표면 누설전류값이 증가되어 절연능력의 저하가 유발된다. 특히 폴리머 표면의 침식이 커짐으로 인해 내부까지 관통이 생기는 경우에는 폴리머를 이용한 전력설비가 절연파괴되어 중대한 사고에 도달하게 된다.

약 4년전부터 실선로에서 시사용중인 폴리머애자는 옥외에서 장기간 사용함으로써 표면에 미세한 크랙 및 침식이 생겨 오손물이 부착되기 쉽고, 우천에도 오손물이 세척되지 않아 섬락이 발생될 확률이 높아질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 자외선과 오존 같은 환경요인이 폴리머애자의 갓 재료에 미치는 영향을 평가하기 위하여 5개 제품의 갓 재료를 대상으로 재료 특성분석을 실시하였다. 표면 미세구조, 열특성, 화학구조 및 접촉각 분석을 하였으며, 신품과의 특성변화를 관찰하였다.

2. 실험

2.1 시료

자외선 및 오존에 대한 폴리머애자 하우징 재료의 내구성을 평가하기 위해 시료는 국산 3사 제품과 외산 2개 제품 (A, B)을 선택하였다. 표 1은 시험에 사용한 시료의 사양을 정리한 것이다.

표 1. 시험대상 시료

시료		자외선 시험	오존 시험
A	EPDM	갓의 1/2을 발취	갓에서 덤벨 형상으로 가공
B	EPDM		
C	EPDM		
D	Epoxy		
E	Silicone		

자외선 노출 시험을 위해 애자별로 갖의 1/2을 발
체하였으며, 오존시험을 위한 시료는 ISO 37 규격
에 따라 덤벨 (dumb-bell) 형상으로 가공하였다.

2.2 시험조건

자외선 시험은 ASTM G53에서 권장하는 방법으
로 하였으며, 태양에 의해 지표면에서 받을 수 있는
가장 짧은 파장을 모의한 280~315 nm를 갖는
UV-B 자외선 형광램프를 사용하여 30일, 60일, 210
일 동안 노출하여 표면상태 변화를 관찰하였다.

오존시험은 KSC 3004(JIS 3005)의 고무, 프라스
틱 시험법에 의해 실시하였다. 이 시험법은 덤벨 형
상으로 가공한 시료를 25% 신장한 상태에서 3시간
동안 오존에 노출하여 표면의 크랙유무를 관찰하는
것이지만, 3시간 시험결과 시료표면 상태가 시험전
과 차이가 없어 좀 더 가혹한 환경을 모의하고자
4.5일 동안 노출하는 시험을 하였다. 이때 사용한
오존시험기의 내부용적은 47×47×42 (cm)이었으며,
오존농도는 100~150 ppm으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

열화 후 시료 표면의 열화특성을 관찰하기 위해
우선 육안으로 시료표면의 크랙이나 변색 등을 관
찰하였으며, 표면 젖음성을 파악하기 위해 시료 표
면의 접촉각을 측정하였다. 또한 SEM을 이용하여
표면의 미소크랙 관찰하였으며 자외선이나 오존 영
향에 의해 나타나는 화학구조 변화를 조사하였다.

3.1 열화 표면의 가시적인 관찰

자외선으로 열화시킨 시료에 대해 표면을 육안으
로 관찰한 결과가 그림 1에 나와 있다. 그림에서와
같이 실리콘 재질인 시료 E를 제외한 모든 시료 표
면이 변색된 것을 확인할 수 있었다.

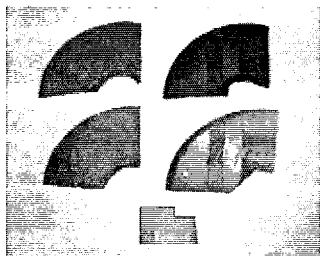


그림 1. 210일간 자외선 노출된 시료의 표면사진

또한, 자외선에 노출된 시료는 정도의 차이는 있
지만 시료 A, B, C에서 저분자 물질로 생각되는 것
이 표면으로 확산된 것을 확인하였으며, 표면으로
확산정도는 자외선에 노출된 시간에 비례하였다. 시
료 D의 표면에는 chalking 현상이 심하게 나타났다.

오존시험에 관해 KSC에서 권장하는 기준보다 가
혹한 시험조건인 4.5일간 열화된 시료는 표면에 오
일성분이 확산되어 나와 신제품보다 더 표면상태가
양호한 것처럼 보였으며, 시료 표면의 변색은 나타
나지 않았다.

이러한 결과로 판단할 때 시료 표면의 변색에 영
향을 미치는 것은 오존이나 다른 요인보다 자외선
에 영향이 가장 우세한 것으로 알 수 있었다.

3.2 접촉각 측정

시료 표면에 증류수 물방울 (13 μ l)을 적하하여
접촉각 측정기로 10회 측정하여 이를 평균하였다.
측정한 결과를 표 2에 나타내었다. 여기서 예폭시
재질인 시료 D는 UV 특성을 알아보기 위해 표면을
가공하였기 때문에 접촉각 측정 데이터는 의미가
없다고 판단되어 제외하였다.

표 2 시료별 접촉각

시료	A	B	C	E
신품	102.8	86.5	111.5	112.6
오존 4.5일	103.7	54.2	61.7	103.3
UV 30일	111.3	86.2	91.4	111.3
UV 60일	99.7	74.7	81.9	97.6
UV210일	111.1	102.2	104.8	111.9

* D 시료의 경우 측정에서 제외되었음

시료 C, E를 제외한 다른 시료는 장기간 자외선
에 노출되었을 경우 접촉각이 높아졌다. 이는 내부
로부터 확산된 저분자량 오일 성분이 원인이 되어
경년품이 신제품에 비해 접촉각이 크게 나타난 것으
로 판단된다. C 시료의 경우는 표면으로 저분자 물
질의 확산을 관찰되었지만 표면 거칠음을 주는 미
소한 크랙으로 인해 표면특성이 다소 나빠진 것으
로 판단된다.

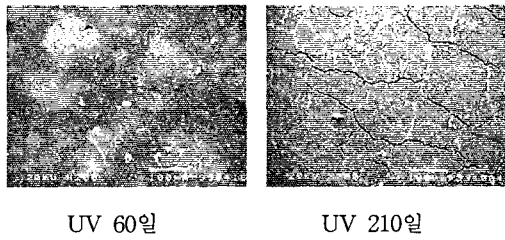
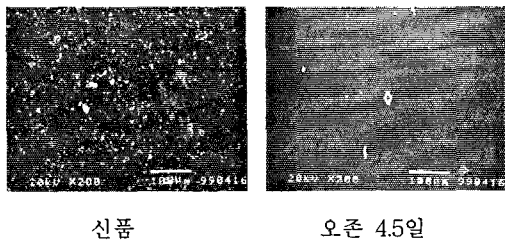
또한, 표면의 내트래킹을 향상시키기 위해 수산화
알루미늄 (ATH) 등의 충전제를 많이 첨가할 경우 표
면열화시에 트래킹이 발생하는 것은 거의 없지만
충진제 성분이 표면으로 나오게 되면 이것이 표면
발수성을 저하하는 원인으로 작용할 가능성이 높다.

오존이 폴리머 재료에 주는 영향을 보면 대체로

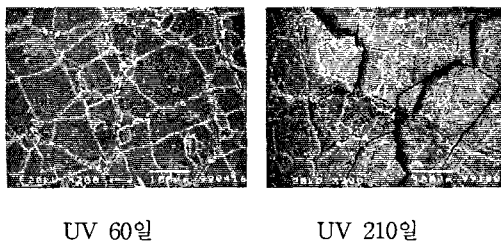
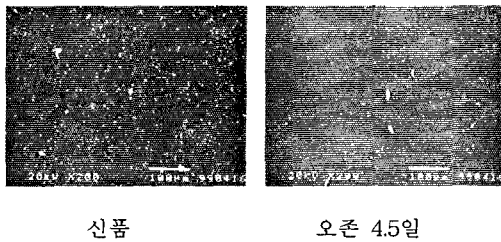
표면의 젖음 특성을 저하시키는 것으로 나타났다. 이는 오존에 의해 재료의 고유특성이 변화한다는 것을 의미한다.

3.3 표면 분석

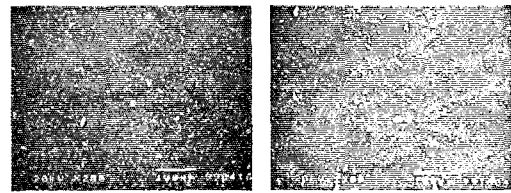
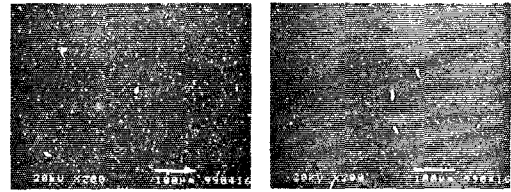
자외선 및 오존에 의해 열화된 시료에 대해 전자현미경 (SEM)을 이용하여 표면특성을 관찰하였다. 시료 B, C, E에 대해 열화 조건에 따른 표면열화 상태를 비교하여 그림 2의 (a), (b), (c)에 나타내었다.



(a) B 시료



(b) C 시료



(c) E 시료

그림 2. 시료표면의 미세구조

EPDM 재질을 갖는 시료 A, B, C의 경우는 시료에 따라 약간의 차이는 있지만 미세한 균열이 열화된 시료 표면에 넓게 분포되어 있으며, 이로 인해 표면 상태가 거칠게 되어 표면의 젖음성이 좋아져 애자표면에 물방울이 부착되기 쉬울 것으로 보인다. 이러한 표면 거칠기와 내부로부터의 저분자량 물질 확산이 표면 젖음성을 좌우한다고 판단된다.

실리콘 재질인 시료 E는 신품에서와 같이 표면에 크랙이 전혀 발견되지 않았으며, 시료 D 또한 에폭시 재질로 표면에 특별한 균열이 발견되지 않았다.

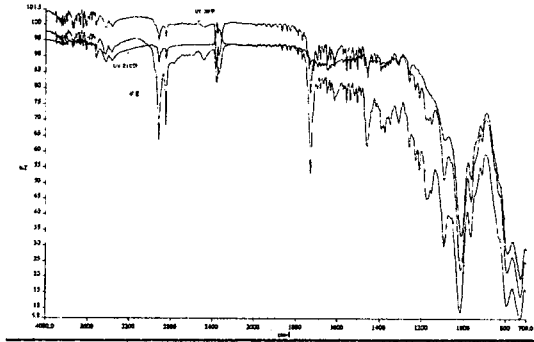
3.4 화학구조 분석

폴리머재료의 열화에 의한 표면 화학구조의 변화를 연구하기 위해 FTIR-ATR을 이용하여 열화된 표면을 분석하였다. 자외선 및 오존에 의해 열화된 시료 표면을 화학구조 분석한 스펙트럼을 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

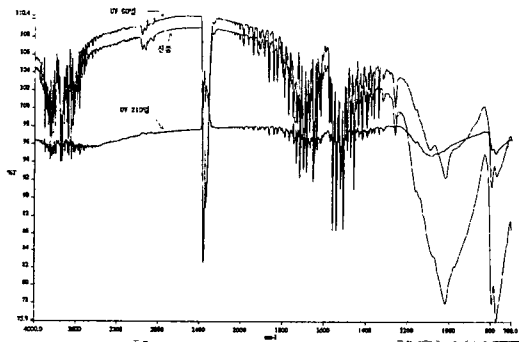
C-H stretching에 의해 나타나는 파수 2960 cm^{-1} 와 C-O 또는 Si-O의 비대칭 stretching에 의한 파수 $1100\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 는 자외선 열화에 의해 피크가 감소하였는데, 이는 chalking 등과 같은 표면열화가 일어났음을 나타내는 것이다. 반면에 hydroxyl formation으로 인한 1640 cm^{-1} 근방의 스펙트럼 흡수는 젖음성이 증가한 표면에서 더 크게 나타난다.

오존에 의해 열화된 시료의 경우는 그림 4에서

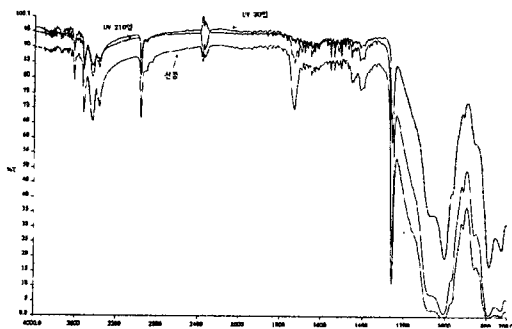
나타낸 스펙트럼과 같이 모든 제품이 신품과 거의 차이를 보이지 않아서 오존에 대한 특성이 양호한 것으로 판단된다.



(a) 시료 B



(b) 시료 D



(c) 시료 E

그림 3. 자외선 열화된 시료의 화학구조 분석

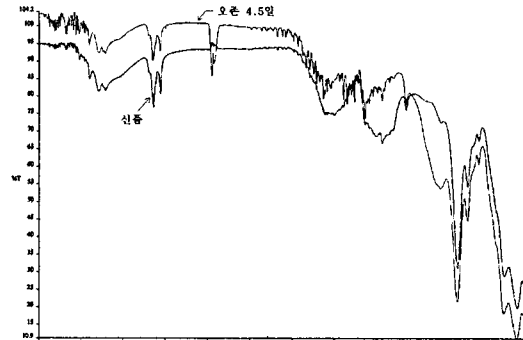


그림 4. 오존에 의해 열화된 시료의 화학구조 분석 (시료 C)

4. 결론

폴리머에 자외선 및 오존에 대해 자외선 및 오존시험을 실시한 결과 자외선의 경우 조사시간의 증가에 따라 일부 시료에서 충전제 성분이 표면으로 노출되었고, 미세한 크랙이 증가하였으며, 화학구조에서 피크 감소가 관찰되었다. 그러나 접촉각 측정에서는 열화된 시료가 신품과 유사하거나 혹은 약간 높은 접촉각을 보였다. 한편, 오존의 경우에는 신품과 거의 특성 차이가 나타나지 않았다.

이상의 결과로부터 폴리머에 자외선 및 오존에 의해 표면특성이 큰 영향을 받지만, 오존에 대해서는 저항성이 높은 것으로 보여진다.

참고문헌

1. 일본 전력중앙연구소 보고서, W10, 전력중앙연구소 1998.
2. 이병성외, "자외선 노출에 따른 폴리머에 열화 특성 평가". 전기전자재료학회 춘계학술대회, 1999.
3. "배전용 폴리머에 자외선 노출에 따른 신뢰성 평가 및 운용기준 제정 연구", 한전 전력연구원 보고서, 1999.