

자외선 열화에 의한 에폭시 절연재료의 표면특성과 내트래킹성

조한구, 유대훈, 강형경
한국전기연구원

Surface Characteristics and Tracking Resistance of Epoxy Insulating Materials against Ultraviolet

Han-goo Cho, Dae-hoon Yoo, Hyung-kyung Kang
KERI

Abstract : This paper describes the influence of Ultra-violet irradiation on time to tracking resistance of epoxy insulating materials by use of the inclined plane test. And, the influence of surface degradation was evaluated through several method such as measurement of contact angle, surface roughness, using a scanning electron microscopy. As the 1000 hours of the surface degradation with UV-CON, the flashover time decreases at different rates depending on epoxy resin and silicone rubber specimen. As the duration of the surface degradation with UV-CON is prolonged, the contact angle of epoxy resin decreases at the rate of degradation time, while that of silicone rubber was not exchanged. It is assumed that this phenomenon is related to the decrease in hydrophobicity of the surface of the materials. Also, as to epoxy resin, the decrease of hydrophobicity due to surface degradation with UV-CON is greater than that resulting from surface degradation with WOM. The UV radiation produced chalking and crazing on the surface of the insulating materials specimen.

Key Words : Tracking resistance, Wettability, Ultraviolet aging, Contact angle, Surface roughness, Hydrophobicity

1. 서 론

폴리머 재료는 절연성, 가공성 및 기계적강도가 우수할 뿐만 아니라 대량생산과 경량화가 가능하여 수요와 용도는 여러 방면에 활용되고 있다. 그리고, 폴리머 재료를 이용한 절연물은 낮은 표면에너지로 발수성이 우수하기 때문에 오손 및 습윤시에도 누설전류가 작으며, 오손내전압도 크다. 이와 같이 표면 특성인 발수성이 오손조건하에서 장기간 유지, 회복될 뿐만 아니라 내트래킹성이 우수하므로 절연물의 누설거리가 단축되어 소형화가 가능하다[1].

그러나, 폴리머 재료의 대부분은 탄소를 분자골격으로 하므로 표면에 방전이 발생하면 국부적인 탄화열화가 일어나고 이것이 진전하여 최종적으로 트래킹파괴에 이른다. 염분과 공업분진 등의 가혹한 자연환경의 외적 열화요인은 내트래킹성에 큰 영향을 미치지만, 그중에서도 자외선에 의해 열화되면 화학적인 조성 및 표면상태가 변화하며, 표면에너지 증가가 일어나 젖음성(wettability)은 좋아져 오손물질과 수분의 부착이 용이하게 되어 절연성은 급격하게 저하된다[2].

본 논문에서는 폴리머 절연물이 자외선에 의해 열화되면 표면 특성에 현저한 영향을 미치므로 이의 영향을 접촉각, 표면거칠기, XPS, SEM으로 분석 고찰하고, 표면 열화가 내트래킹성에 미치는 영향에 대하여 젖음성과 오손액의 표면장력에 따라 확인하였다.

2. 실험

본 논문에서의 에폭시수지는 F중 절연, 내마모성, 내트래킹성이 우수하고, 산무수물(acid anhydride)계 경화제와 혼합한 후 80 ~ 100 °C에서 경화가 시작되며 열변형온도가 높

다. 충전재는 경화수축 및 열응력을 줄이게 되어 균열이 생기는 것을 억제할 수 있고, 열팽창 계수 등을 변화시킬 뿐만 아니라 내트래킹성을 향상시킬 수 있다. 충전재의 표면처리 는 기계적 강도, 접착성, 내수성, 내후성을 개선할 수 있다. 경화는 160 °C에서 15분간 1차 경화시켜 탈형한 후, 140 °C에서 2시간 2차 경화하였다. 표 1에 시료의 배합조성과 기호를 나타내었다.

표 1. 시료의 배합조성과 기호.

Raw materials	Symbols	ER-1 (phr)	ER-2 (phr)
Epoxy resin		100	100
Curing agent		90	90
Accelerator		3	3
SiO ₂		300	
Surface treated SiO ₂			300

3. 결과 및 검토

그림 1에 ER-1의 WOM과 UV-CON에 의한 열화시간에 따른 접촉각의 경시변화를 나타내었는데 ER-1은 열화시간에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 이와 같이 열화시간에 따라 접촉각이 감소하는 것은 수분, 산소, 자외선의 영향으로 표면 광택이 없어질 뿐만 아니라 표면의 유기성분의 손실로 무기물의 탈리가 시작되어 표면 거칠기가 증가하여 다공성으로 되면서 흐름의 용이성으로 수분이 침투, 확산하기 쉽기 때문이다.

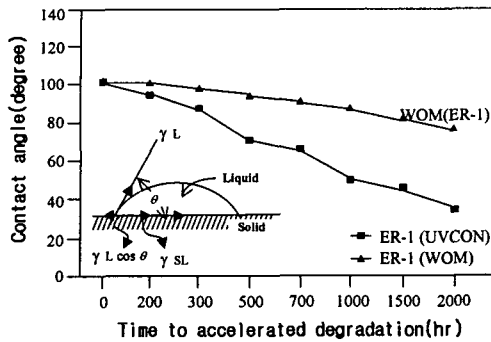
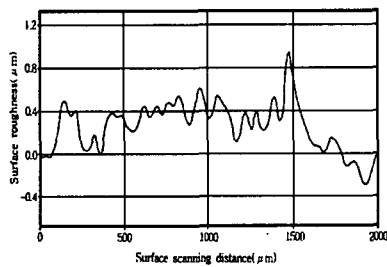


그림 1. 가속열화시간과 접촉각.

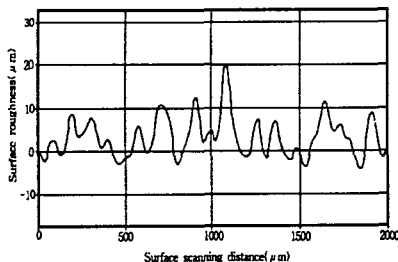
WOM에 의해 열화된 시료와 비교해서 UV-CON에 의해 열화된 시료의 접촉각은 급격하게 감소하는 경향을 나타내는데 접촉각의 저하는 WOM 2000시간이 UV-CON 500시간에 상당하는 값을 나타내고 있다. 이것은 방사에너지의 피크가 WOM의 경우 340 nm에서 0.35 W/m²인 반면 UV-CON은 313 nm에서 0.8 W/m²을 나타내므로 후자의 경우가 태양광에 포함되지 않는 자외선의 에너지량이 큼을 알 수 있다. 자외선량만으로 보면 WOM에 200시간 열화는 옥외의 자연폭로 1년과 동일하다[3].

그리고, 절연물 표면에 수막(water film)이 형성되면 액체 방울이 중심방향으로 후퇴하여 구상으로 되는 과정을 나타내는 후퇴접촉각이 발수성에 대한 특성으로 중요하며, 열화에 의한 영향을 정확하게 평가할 수 있다.

그림 2(a)~(b)은 열화 전과 열화 2000시간 후 표면 거칠기의 변화를 나타낸 것으로 표면 거칠기는 열화에 따라 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 열화에 의해 수지가 분해되고 무기물이 탈리되어 표면 거칠기가 커지며, 표면 거칠기의 정도는 충전재 입자 크기 만큼 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a) Virgin (ER-2)

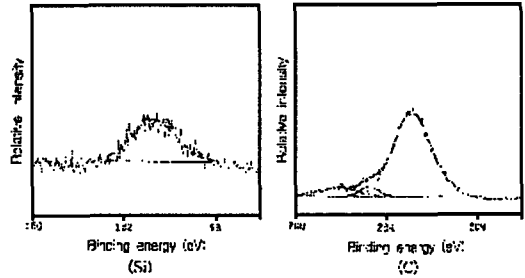


(b) After 2000 hrs (ER-2)

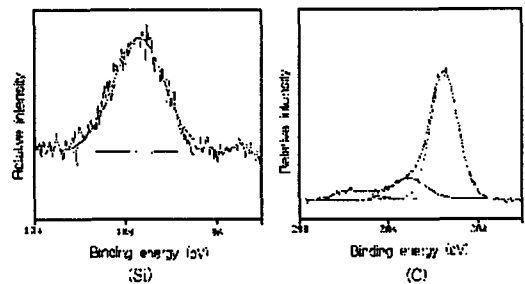
그림 2. 표면 거칠기.

이와 같이 열화에 따른 ER-2의 표면 성분을 XPS로 분석하

였는데, target와 에너지원은 각각 AlK α 1486.6 eV인 x-ray이며, sputtering은 Ar이다. 그림 3에 ER-2의 열화 전과 열화 2000시간의 C, Si의 스펙트럼을 나타내었다. 검출 원소는 C, O, Si이지만, O는 불안정하므로 가장 안정한 C를 기준으로 C에 대한 Si의 intensity ratio를 표 2에 표시하였다.



(a) Virgin



(b) After 2000 hrs

그림 3. XPS 분석.

열화 2000시간에서의 Si/C의 비가 열화하지 않은 시료보다 약 2배정도가 큼을 알 수 있다. 이것은 열화에 의해 표면층이 분해되면 저분자화되므로 충전재와 수지 계면과의 탈리가 진행되어 표면층의 C에 대해서 Si의 농도가 증가한다고 생각되며, SEM에 의해 표면을 관찰한 결과와 동일하다. 그리고 O의 증가는 보고된 바와 같이[4] 열화에 의해 공기중의 O₂가 C와 결합해서 카르보닐기(carbonyl group, -C=O)의 결합이 생성되어 O가 증가하는데 본 실험에서도 미소하게 증가하는 경향을 나타내었다.

표 2. Si/C의 강도비.

Elements	C(wt%)	O(wt%)	Si(wt%)	Si/C
Virgin	66.94	25.69	7.37	0.110
2000 hrs	60.95	25.75	13.30	0.218

4. 결론

- 1) XPS에 의한 열화 전후의 분석에서 열화후의 Si/C비는 열화 전에 비해 약 2배 정도로 이는 표면층에서 C에 대한 Si의 농도가 증가하였고, SEM 사진, 표면 거칠기의 결과와도 일치하였다. 이것은 열화에 의해 무기물이 표면에 노출되기 때문임을 알 수 있다.
- 2) 열화에 의해 표면은 광택이 없어질 뿐 아니라 균열이 발생하여 무기물의 탈리가 시작되고 표면 거칠기가 증가하였다. 그리고, 표면 거칠기기의 정도는 충전재의 입자 크기와 거의 일치하는 경향임을 알 수 있었다.