

가교시간에 따른 고분자 재료의 트래킹성과 자외선 열화특성

Tracking Resistance and UV Degradation Property of Polymeric Insulating Materials by Cross-Link Time

천중욱, 이운용, 조한구

(J. U. Cheon, U. Y. Lee, H. G. Cho)

Abstract

Recently polymeric insulators and arresters are being used for outdoor high voltage applications. Polymeric insulators for transmission line have significant advantages over porcelain and glass insulators, especially for ultra-high voltage(UHV) transmission lines. Their advantages are light weight, vandalism resistance and hydrophobicity. Polymeric insulator kind are a relatively new technology, but their expected life is still unknown. In this paper, the material property for polymeric insulating material such as silicone rubber and EPDM is investigated by cross-link time and the relation between tracking resistance and UV resistance is analyzed by IEC 60587 and UV aging experiment.

Key Words : Tracking, Cross-Link, Contact Angle, UV Radiation, Non-ionic Wetting Agent

1. 서론

현재 송,배전 선로에 폴리머 피뢰기, 애자류가 국외뿐만 아니라 국내에서도 활발하게 확대 사용되고 있는 실정이다. 폴리머 절연물의 절연성능에 영향을 주는 요인으로 표면특성의 변화, 오손정도, 오손물질의 종류 및 표면에서의 오손액의 유동성, 막대한 양성자 에너지로 열화의 주원인인 자외선 등이 절연성능에 영향을 미치므로 재료의 선택에 주의를 해야한다.

본 연구에서는 고분자 절연재료의 비중, 신율, 인장강도, 경도, 절연파괴 강도 변화 등으로 인해 전기적 절연재료에 미치는 영향을 비교분석 평가하

였다. 또한 옥외에서 전기적 절연재료로 사용되었을 때 절연성능에 가장 크게 영향을 미치는 내후성의 변화에 따라 트래킹성을 IEC 60587시험법에 의한 트래킹의 파괴현상, 전도로의 진행변화를 분석함으로써 가져야할 중요특성을 평가한다. 열화의 주원인인 자외선에 의한 폭로시험을 통한 표면특성의 변화에 대한 접촉각을 측정하고 시간에 따라 표면특성의 변화가 열화상태에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

2.1 인장강도, 신율 실험

1) 시편 제작

인장강도 및 신율, 비중실험에 사용된 시편은 미가류고무 혼합물을 170℃에 가류시간을 다르게 하여 프레스로 가류한 고무판에서 가황고무 물리시

한국전기연구원 전략기술연구단
(경남 창원시 성주동 28-1,
Fax: 055-280-1673
E-mail: chju1027@hanmail.net)

험 방법에 따라 아령형 3호로 시험편의 두께는 2~3mm로 제작하여 실험하였다.^[1]

인장강도 및 신율 실험은 시험편 집계의 이동속도를 500mm/min로 하였고 인장강도의 측정치는 시험편이 끊어질 때까지의 최대하중을 읽는다. 해당 하는 값의 계산식은 아래 식(1)와 같다

$$T_B = F_B / A \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 T_B : 인장강도(kgf/cm²)

F_B : 최대하중(kgf)

A : 시험편의 단면적

신율의 측정치는 아령형의 시험편일때는 적당한 방법으로 절단할 때의 눈금사이의 길이를 미리미터 까지 측정한다. 해당하는 값의 계산식은 아래 식(2)와 같다

$$E_B = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100 \dots\dots(2)$$

여기에서 E_B : 신장율(%)

L_0 : 눈금거리(mm)

L_1 : 절단될 때의 눈금사이의 거리(mm)

2.2 비중 실험

비중실험의 목적은 시료의 공기중의 무게와 수 증기 무게를 측정하여 비중을 측정하는 실험이다.

2.3 경도 실험

1) 시편제작

시편은 미가류고무 혼합물을 170℃에 가류시간을 다르게 하여 프레스로 가류한 고무판에서 가황 고무 물리시험 방법에 따라 시험편의 두께는 12mm이상으로 Shore A경도기를 수직으로 세우고 누름바늘이 시험편 측정면에 수직이 되도록 가압면을 가볍게 접촉시켜 즉시 눈금을 읽고, 그 시험편의 경도를 측정하였다.

2.4 내후성 실험

본 실험은 Ultraviolet Condensation Tester를 사용하여 자외선 열화를 가속시키기 위하여 313nm의 단파장 영역에서 최대방사강도를 가지는 UVB Type 형광램프를 좌우 각 4개씩 8개를 사용하였고 자외선 폭로 Cycle은 Panel 온도 70±3℃에서 자외선 노출 8시간, Panel 온도 50±3℃에서 Condensation 4시간으로 실험하였다.^[2]

2.5 접촉각 실험

접촉각은 고체표면의 젖음성(wettability)을 나타내는 척도로써, 대부분 고착된(sessile) 물방울에 의해 측정된다. 낮은 접촉각은 높은 젖음성(친수성,

hydrophilic)을 나타내고 높은 접촉각은 낮은 젖음성(소수성, hydrophobic)을 나타낸다. 시험편 표면에 접촉한 액체의 접촉각은 액체-고체-기체 접합점에서 물방울 곡선의 끝점과 시험편 접촉점에서 측정된다. 접촉각은 물방울을 떨어뜨린 후 시간이 지남에 변화가 일어나므로 수초이내에 측정하였다.

2.6 트래킹 및 절연파괴 강도 실험

실험에 사용한 실험장치는 IEC 60587(오손액 경사평 판시험법)을 이용하였다. 실험시료의 크기는 50×120×6mm로 하였으며 시험조건은 오손액을 0.6ml/min을 시험장치의 상부전극으로 공급하였고 시험전압은 시료의 양단에 4.5kV의 전압을 인가하였다.^[3] 절연파괴 강도 실험은 절연물에 전압을 인가하고 절연파괴를 일으키는 최대의 전압을 구하는 절연파괴 강도 실험을 하였다. 트래킹 실험의 오손액 제조는 아래 표 1과 같은 혼합액이다.

표 1. 오손액의 상태

혼합물의 성분	오염 물질
전해질	NH ₄ Cl(0.1wt%)
계면 활성제 (Nonionic)	iso-octylphenoxypolyethoxy-ethanol(0.02%)
저항율	390±10(Ω·cm)

3. 결과 및 고찰

3.1 인장강도 및 신율, 비중 측정결과

표 2는 성형제품의 가교정도에 따라 인장강도, 신율 및 경도, 비중의 변화를 나타내었다. 성형된 시료에서 가교도 정도가 적정하지 않는 시료는 적정한 시료보다 인장강도, 신율의 변화가 대체로 크게 나타나고 경도가 적게 나타나는 것은 온도변화에 따른 가류제의 반응이 전반적으로 적게 일어나므로 화학적 결합이 완전이 이루어지지 않아 자외선 폭로후의 변화가 적정한 가교가 된 시료보다 적정한 가교가 되지 않은 시료에서 변화가 심하게 나타난다고 사료된다.

이러한 현상은 절연파괴 강도 실험과 내후성 실험 후의 트래킹 실험에서도 같은 현상이 일어남을 관찰하였다. 또한 비중은 표준물질에 대한 어떤 물질의 비를 나타내므로 시료가 분해되어 없어지지 않을 경우 변하지 않은 것으로 사료된다. 하지만 장시간의 옥외에 사용되었을 경우 적정한 가교가 이루어지지 않으면 화학적 반응에 의해 변화가 일어날 것으로 사료된다.

표 2. 인장강도 및 신율, 비중, 경도 측정값

가류 시간	초기측정값				내후성 시험 후			
	강도 (kgf/cm ²)	신장율 (%)	비중	경도	강도 (kgf/cm ²)	신장율 (%)	비중	경도
A	4	35.9	452	1.40	75	31.3	257	1.42
	6	37.5	283	1.41	79	33.9	169	1.42
	8	37.7	235	1.42	81	34.9	192	1.42
B	4	26.4	858	1.43	75	16.1	719	1.42
	8	20.8	416	1.42	81	17.0	353	1.43
C	2	57.3	285	1.51	73	52.0	248	1.53
	4	59.1	259	1.53	74	53.5	229	1.53
	10	54.5	231	1.54	76	53.1	182	1.53
D	6	29.4	387	1.55	68	28.8	223	1.53
E	6	44.1	264	1.53	71	40.9	242	1.54
	2	40.5	202	1.59	60	36.9	178	1.60
F	6	41.6	171	1.59	73	38.2	132	1.60
	10	41.8	166	1.57	73	37.8	134	1.60
G	2	38.5	225	1.54	69	36.8	166	1.54
	10	42.7	235	1.53	73	40.6	195	1.52

3.2 내후성 실험

아래 표 3에 나타난 A사, B사 제품의 경우는 자외선 폭로시간이 증가함에 따라 접촉각의 변화가 증가하는 형태로 나타났다.

표 3. 내후성 전, 후의 접촉각 변화

	내후성 전(°)	내후성 후(°)
A	117	130
B	116	120
C	120	118
D	121	120
E	117	114
F	116	116
G	120	118

이러한 현상은 Ozone 및 UV에 안정화시키기 위하여 화학적인 방법으로 EPDM Base Polymer에 UV흡수 또는 Ozone흡수 및 방지제를 첨가하여 내후성을 좋게 하였다고 사료된다.^[4] Ozone이나 자외선(UV)으로 인한 고분자 재질의 표면에 Crack 발생 등 내후성에 미치는 영향이 크기 때문에 Ozone 및 UV 흡수제인 첨가제를 투입하여 화학적인 방법으로 차단하고 또한 Blooming 발생에 의하여 Wax 류, 저분자물들이 고무표면으로 서서히 올라와서 표면에 얇은 피막을 형성^[5]하여 Ozone 및 자외선(UV)을 차단하는 역할을 하여 접촉각이 증가한 것으로 생각한다.

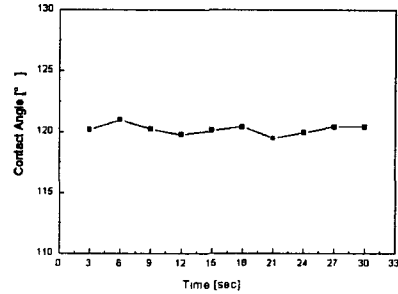


그림 1. 가교정도가 적절한 시료의 접촉각 변화

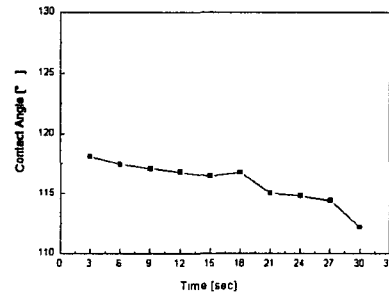


그림 2. 가교정도가 부적절한 시료의 연속적 촬영에 의한 접촉각 변화

그림 1과 2은 가교정도가 적절한 시료(A, B사는 약 170℃에서 8분, C, D, E, F, G사는 170℃는 6~10분)와 적절하지 않은 시료의 내후성 실험 후 연속 촬영에 의한 접촉각 변화를 나타낸 그래프이다. 가교 정도가 적절한 시료의 접촉각 변화는 물방울이 시료 표면에 떨어진 후 시간이 지남에 따라 변하지 않고 적절하지 않은 시료는 물방울이 시료표면에서 시간의 변화에 따라 퍼지는 현상이 일어남을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 시료표면의 변화가 가교된 정도가 적절하지 않은 시료가 적절한 시료보다 표면의 변화가 빠르게 일어남을 알 수 있다. 이러한 현상은 표면열화 정도가 빠르게 일어나 트래킹 실험에게 현저하게 차이가 남을 관찰할 수 있었다.

3.3 절연파괴 강도 실험

그림 3에서 알 수 있는 것처럼 시료에 따라 차이가 있지만 가교도 정도에 따라 절연파괴 강도의 변화가 일어날 수 있다.

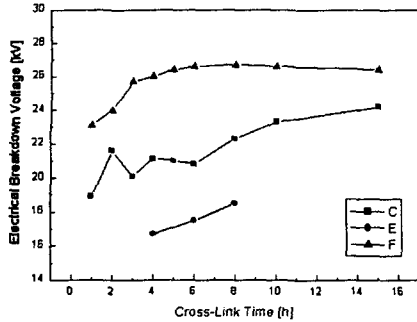


그림 3. 가교정도에 따른 절연파괴 강도 값

3.4 내 트래킹 실험

내트래킹성 실험에 대한 시편을 가교정도 차이에 의해 시료를 제작하여 자외선 노출실험 전 트래킹 실험과 자외선 노출 후 트래킹 실험의 변화를 관찰하였다.

표 4, 그림 4 및 그림5는 내후성 실험 전, 후의 트래킹의 변화를 나타내었다. 시료의 차이에 따라 내후성 실험전의 시료는 대체로 양호하게 나타났지만 내후성 실험 후 트래킹 실험을 했을 때 심한 침식과 6시간동안 견디지를 못하였다.

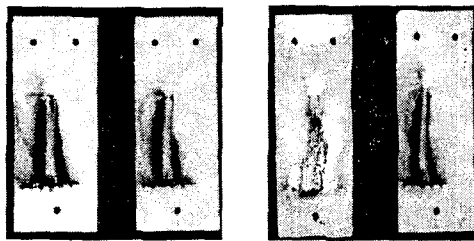


그림 4. C社 내후성 실험 전, 후 트래킹 시험

또한 적절한 가교가 된 시료가 가교정도가 적절하지 않은 시료보다 초기 현상 및 트래킹에 견디는 정도가 현저하게 우수하게 나타났다.

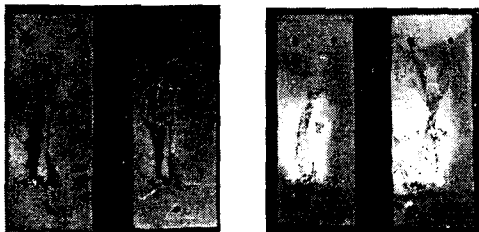


그림 5. E社 내후성 실험 전, 후 트래킹 실험

이러한 현상은 가교정도의 차이에 따라 표면의 열화에 따른 트래킹 파괴에 영향을 미친다고 사료된다.

표 4. 트래킹 실험 비교

가교시간 (분)	초기실험	내후성 실험 시료	판정	
A	4	약간침식	심한침식	합
	8	약간침식	약간 침식	합
C	4	약간침식	2시간07분	불
	8	약간침식	초기침식	합
	10	약간침식	약간침식	합
D	8	약간침식	약간침식	합
E	6	5시간14분	1시간35분	불
	8	약간침식	3시간28분	불
F	2	약간침식	초기침식	합
	6	약간침식	약간침식	합
G	8	약간침식	약간침식	합
	4	3시간38분	1시간04분	불
8	약간침식	1시간08분	불	

4. 결론

고분자 절연재료인 EPDM과 Silicone을 이용하여 물리적 특성 및 가교정도에 따른 내후성, 트래킹 파괴, 절연파괴 강도의 변화에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가교정도가 T_{80} 이하인 시료보다 가교정도가 T_{90} 이상인 시료가 인장강도, 신율의 변화가 적게 나타났으며 경도의 차이도 적게 나타났다.
- 2) 가교정도가 T_{90} 이상인 시료는 내후성 시험후, 접촉각의 변화가 거의 없었으며, T_{50} 이하인 시료에서는 접촉각의 변화가 크게 나타났다.
- 3) 가교시간이 큰 시료일수록 절연파괴 강도는 크게 나타났다. 특히 시료 F의 경우는 다른 시료보다 절연파괴 강도가 크게 나타났으며, T_{90} 이상에서는 거의 일정하게 나타났다.
- 4) 가교정도가 T_{90} 이상인 시료에서는 내후성 실험 후, 트래킹이 심하지 않았으며, T_{80} 이하인 시료에서는 트래킹이 심하게 발생하였다.

참고 문헌

- [1] KS M 6518(1996), "가황고무 물리 시험 방법"
- [2] ASTM G154, "Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials"
- [3] IEC 60587, "Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions"
- [4] Monsanto, Rubber Chemicals Seminar
- [5] Rubber Technology Handbook