

# 옥외용 실리콘 고무재료의 가교도에 따른 내트랙킹 특성

김동욱, 이창영\*, 홍진영, 백주홍, 이상진  
LG전선(주) 전력연구소

## THE TRACKING CHARACTERISTICS BY THE DIFFERENT CROSSLINKED DENSITY OF SILICONE RUBBER MATERIAL USED FOR OUTDOOR INSULATION

D.W. Kim, C.Y. Lee, J.Y. Hong, J.H. Baek, S.J. Lee  
LG CABLE & MACHINERY LTD. HIGH POWER TECHNOLOGY CENTER

### ABSTRACT

In this paper, we studied the tracking characteristics of silicone rubbers that differed in the degree of crosslinking. As the tracking method, we adopted ASTM D 2303 and Merry-Go-Round(MGR) test method. It was found that the higher the degree of crosslinking, the better tracking characteristics. In these two test methods, specimens showed similar tendency of performance variation according to the degree of crosslinking. However the degradation phenomena were very different. As for MGR method, only the color of specimens' surface changed without any erosion or tracking path on them. On the contrary, the specimens subjected to ASTM D 2303 test method showed severe erosion.

### 1. 서론

일반적으로 옥외용고분자 재료는 대기중의 먼지, 가스, 염분, 수분등의 흡착으로 인한 표면방전이 트래킹현상을 일으켜 재료의 절연성능을 저하시키게 된다. 이러한 점에서 전기절연용 고분자 재료의 내트랙킹성은 기기의 성능에 있어서 아주 중요한 특성이라 할 수 있다.

이러한 내트랙킹성을 평가하는 방법으로써 기존에는 Dust and fog test, ASTM D 2303 및 IEC 587법등이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 IEC-TC-15에서 제안하여 CIGRE working group에서 검토중인 Merry-go-round Test(이하 MGR)법이 규격화의 움직임이 일고 있으며 이미 국내의 일부 연구기관등에서도 MGR법을 이용한 내트랙킹 시험이 행해지고 있다. MGR시험은 각기 다른 종류의 재료를 동시에 시험하기 때문에 상대 비교가 가능하고 시험의 재현성이 좋을뿐 아니라 운전하기가 쉬운 특징이 있다. 본 연구에서는 옥외용 고분자애자에 주로 사용되고 있는 실리콘 고무의 가교특성이 내트랙킹 특성에 끼치는 영향을 파악하기 위해, 각기 다른 가교조건에서 가교시킨후 이들 시편을 대상으로 ASTM D2303법과 MGR법에 의한 내트랙킹 시험을 하였으며, 그 결과를 비교·분석하였다.

### 2. 시료제작 및 실험방법

#### 1) 시료의 제작

고분자애자 재료로 적절히 처방된 실리콘 comp'd를 이용하여 가교도의 차이를 주기위해 가교온도와 시간을 달리하였으며, ASTM D 2303시험에 사용된 시편은 Press방식으로 120×50×6 [mm]의 치수로 제작하였다. 또한 MGR시험용 시편은 길이 260 [mm], 직경 26 [mm]의 봉형태이며 FRP rod에 실리콘 고무를 금형내에서 press방식으로 제작하였다.

#### 2) 가교도의 측정

시료의 가교도는 ASTM D 2765법에 따라, 초기 0.3[g]의 시료를 Decahydronaphthalene 용액에서 6시간 끓이고 다시 3시간 건조시킨 뒤의 무게를 측정하여 초기 시료와의 무게변화로서 측정하였다.

#### 3) 내트랙킹 시험

ASTM D 2303법에 의한 트래킹 시험은 Time-To-Track법을 채택하여 시험 시료의 트래킹 시간과 트래킹 정도를 관찰하였다. 시료에 설치된 상부전극과 하부전극간의 거리는 50[mm]이며 인가전압은 4 [kV]로 하였다. 오손액은 종류수에 NH<sub>4</sub>Cl 0.1wt%, 계면활성제 0.02wt%를 혼합하여 제작하였으며 이때 오손액의 저항율은 약 300~400 [Ωcm]이다. 오손액은 연동펌프(peristaltic pump)에 의해서 여과지를 통과한 후 시료표면에 공급되고, 유입율은 0.60±0.01[ml/min]을 유지하였다. 시료의 트래킹 파괴의 판정은 트래킹이 진전되어 하부전극에서 25[mm]지점에 이르거나 누설전류가 증가하여 60[mA] 이상되거나 시료가 발화될 때로 본다.

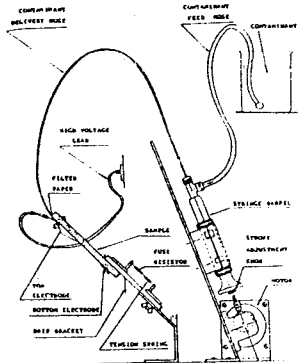
MGR시험법은 경사평판법과 비교하면 옥외폭로시험에 가까운 현상이 관찰된다고 보고되고 있다. 장치의 주요구성은 수직에 대해 15°의 경사를 가진 직경 1.0[m]의 회전판, 회전판 하부에 준비된 오손액수조, 회전판의 상부에 회전판과 평행하게 설치된 반원모양의 고전압 링으로 이루어져 있다. 양단에 전극을 갖춘 봉 모양의 시료는 회전판에 대해 수직으로 부착되어 있으며 회전판의 회전에 따라 아래쪽에서는 10초동안 염수에 담기게 되고 위쪽에서는 30초간 전압이 인가되게 되어 1분을 주기로 오손과 과전을 반복하게 된다. 시험조건은 <표 1>과 같으며 시험에 사용된 시편은 각 조건당 2개씩이다. 시험액은 약 250

시간 마다 교체하고 전극은 약 500시간마다 교체한다.

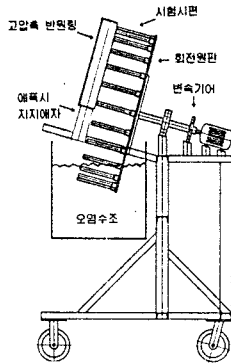
<표 1> MGR 시험조건

인가전압	AC 10[kV]
시험편의 크기	φ 26 × 260[mm]
전극재질	SUS 304
전극간 갭간격	120 [mm]
오염액	중류수 + NaCl (750 ± 25 [Ω·cm])
회전속도	1.0 [r.p.m]

본 시험의 판정기준은 누설전류가 증가하여 300[mA]에 도달하거나 Flashover가 일어나는 시점을 시험의 파괴시간으로 본다. <그림 1>은 ASTM D 2303법과 MGR시험장치의 개략도를 나타내고 있다.



(a) ASTM D 2303 법



(b) MGR 법

그림 1. 시험장치의 개략도

### 3. 실험 결과 및 고찰

가교조건을 달리하여 제작한 각 시험의 기본물성은 <표 2>와 같다. <표 2>에서 알 수 있듯이 가교도가 증가함에 따라 인장강도 및 표면저항이 증가하는 것은 가교반응으로 인한 실리콘 고무 내부의 전자의 자유도가 감소하기 때문으로 생각되며, 한편 유전율과 tan δ의 감소경향은 가교가 진행됨에 따라 쌍극자 모멘트가 감소하여 유전분극의 저하 때문으로 사료된다.

<표 2> 가교도별 기본 물성특성

시험시료	A	B	C	D
가교도 [%]	76	83	90	93
인장강도 [kg/mm <sup>2</sup> ]	0.52	0.60	0.73	0.84
유전율	4.13	4.06	4.01	3.95
tan δ	4.1 × 10 <sup>-2</sup>	3.9 × 10 <sup>-2</sup>	3.7 × 10 <sup>-2</sup>	3.3 × 10 <sup>-2</sup>
표면저항 [Ω]	3.01 × 10 <sup>12</sup>	5.87 × 10 <sup>12</sup>	6.61 × 10 <sup>12</sup>	7.51 × 10 <sup>12</sup>

ASTM D 2303법에 의한 내트랙킹성 시험에서는 실리콘 고무의 가교도에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 대체로 트래킹 현상 보다는 erosion현상이 두드러지게 나타났다. <그림 2>는 각 시험편에 대한 트래킹 파괴시간을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 가교도가 낮은 시험일 수록 트래킹 파괴가 빨리 일어나며, 90분동안 시험을 계속한 후 각 시험편의 erosion 깊이도 <그림 3>과 같이 가교도가 낮은 시험일수록 erosion이 깊게 일어났다. 가교에 따른 이와같은 내트래킹 특성은 Si-O 분자간의 낮은 결합력으로 인해 트래킹파괴의 원인인 재료의 열적분해가 잘 일어나기 때문으로 생각된다.

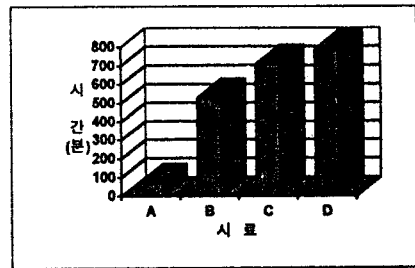


그림 2. ASTM D 2303법에 의한 트래킹 파괴시간

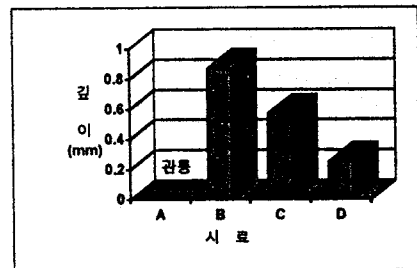


그림 3. ASTM D 2303법에 의한 erosion 깊이

<그림 4>는 MGR시험에 의한 누설전류의 변화를 나타낸 그림이다. 각 시험시험편의 누설전류는 시간의 경과에 따라 서서히 증가하며 가교도가 낮은 시험일수록 흐르는 누설전류의 양은 다소 크게 측정되었다. 이것은 가교도가 낮을수록 표면저항이 저하되기 때문으로 생각되며, 이러한 현상은 ASTM D 2303법에서 얻어진 가교도에 따른 내트래킹특성 변화의 경향과 동일하였다.

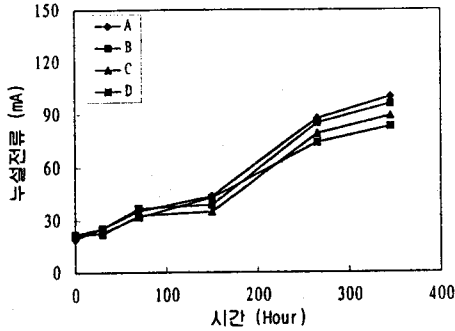
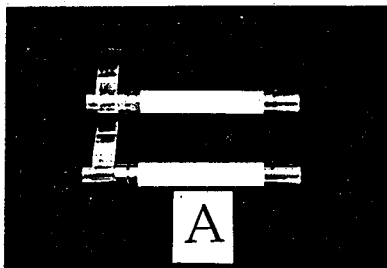


그림 4. MGR시험에 의한 각 시료의 누설전류 변화

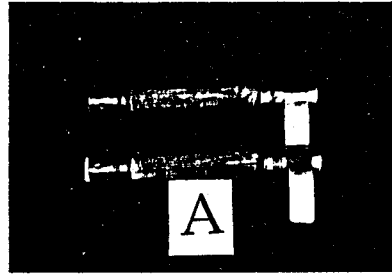
MGR에 의한 실리콘고무의 특징은 시험이 진행됨에 따라 시료의 표면은 초기의 백색에서 점차 암갈색으로 변색되며, 변색의 진행과 함께 누설전류치는 점차 증가하였다. 또한 전압이 인가되는 동안 시료표면에서는 미소불꽃이 발생하는데 이것은 시험시간이 경과됨에 따라 점차로 아크 방전의 형태를 띄게 된다. 시료의 변색은 시료표면에 층상으로 형성된 부착물의 색으로써 시료표면을 손으로 문지르면 부착물은 제거되어 시료본래의 색이 나타났다. 시편의 이러한 변색은 오손과 과전을 반복하는 동안 오손액중의 NaCl성분이 점차 표면에 누적되어 나타나는 현상이며 변색의 진행과 함께 표면저항이 저하하여 누설전류치가 상승된다고 사료된다.

또한 두 시험에서 나타나는 현상이 이처럼 다른 이유를 살펴보면, 두 시험법 모두 시편에 가해지는 전계강도는 약 80[V/mm]로 거의 동일하지만, ASTM D 2303법의 경우 오손과 과전이 끊이지 않고 진행됨에 따라 시편에 가해지는 stress가 크기 때문에 이와 같은 erosion현상이 일어나며 MGR법에서는 오손과 과전의 주기가 30초마다 반복됨에 따라 과전으로 인한 시료의 열화후 나머지 과전이 일어나지 않는 반주기동안 실리콘 고무의 절연회복특성으로 인해 시료표면의 열화가 억제되어 트래킹이나 erosion현상이 나타나지 않는것으로 사료된다.

<그림 5>는 초기시료와 일정시간 시험후의 시료를 비교한 그림이다.



(a) 초기 시편



(b) 300시간 경과후

그림 5. MGR시험에 의한 시편의 변색비교

#### 4. 결론

고분자재료의 외피재로 사용되는 실리콘 고무의 가교도를 달리한 시료에 대하여 내트래킹성 시험을 한 결과 아래와 같은 결론을 내릴 수 있었다.

실리콘 고무는 가교도가 높을수록 재료의 열적분해가 어렵기 때문에 내트래킹 특성이 우수해 짐을 확인할 수 있었으며 이러한 결과는 ASTM D 2303법과 MGR법에서 모두 동일한 경향을 나타내었다. 한편 ASTM D2303법에서는 시료표면의 트래킹현상 보다는 erosion현상이 두드러지게 나타났으며, MGR법에서는 시료의 트래킹 현상이나 erosion 같은 시료손상은 일어나지 않고 시험시간의 경과에 따라 표면의 변색이 일어났다. 이상의 두 시험결과를 비교해 보면, ASTM D 2303법이 MGR법에 비해 훨씬 가혹한 조건의 시험법임을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 吉村 昇, "有機絶縁材料의 耐トラッキング性", 静電學會誌, 1982
2. 門脇一則, "メリゴ-라운드試驗による有機高分子絶縁材料의 評價", 日東會報, Vol. 32, No. 1, pp.83-89, 1994
3. Stanislaw Michal Gubanski, "Experience with the Merry-go-round Test", IEEE Trans. EI, Vol. 25, No. 2, pp.331-340, 1990
4. MO KURTZ, "Comparison of Tracking Test Methods", IEEE Trans. EI, Vol. EI-6, No. 2, pp.76-81, 1971
5. R. Bartnikas, "Engineering Dielectric", Special Technical Publication, 1987