

**태양광 모의 열화에 의한 옥외용 실리콘 고무의 열화특성에 관한 연구**

임창열\*, 이정현\*\*, 김정태\*\*\*, 구자윤\*, 박완기\*\*\*\*  
 \*한양대학교 EM&C, \*\*대구공업전문대학교, \*\*\*대진대학교, \*\*\*\*LG전선

**A Possible Sunlight Effect on the Aging Characteristics of Silicone Rubber used for Outdoor Insulation**

C.R. Lim\*, J.H. Lee\*\*, J.T. Kim\*\*\*, J.Y. Koo\*, W.K. Park\*\*\*\*  
 \*HanYang Univ. EM&C, \*\*TaeGu Tech. College, \*\*\*DaeJin Univ, \*\*\*\*LG Cable & Machinery

**Abstract** - In this paper, aging characteristics of silicone rubber used for outdoor insulation have been investigated with regards to sunlight effect. For this purpose, silicone rubbers were aged under the artificial sunlight by use of xenon arc lamp(1500W) and various tests were performed such as tracking, breakdown, contact angle, stress, strain. And then, in order to elucidate the changes of material, analysis have been followed as follows: FT-IR, SEM and EDS.

Regarding the effect of the sunlight, it was obs that the surface of test samples are severely da with decreased hydrophobicity, tracking resistan breakdown strength .

**1. 서 론**

옥외용 고분자 절연체는 항상 태양광에 노출되어 있어 여러 환경 스트레스 중 태양광은 어느 열화 요인보다 많은 영향을 미치므로, 중요한 열화요소로 고려되고 있다. 따라서 본 연구에서는 태양광에 의한 열화 연구를 위해 모의 태양광 가속 열화를 통해 실리콘 고무의 태양광에 의한 열화 특성을 분석하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 시료준비**

본 연구에서는 1500W 크세논 램프를 이용하여 ASTM G 26 기준에 따라 모의 태양광 가속 열화 장치를 제작한 후, 가교시킨 HTV 실리콘 고무에 Al(OH)를 filler로 첨가하여 만든 옥외용 고분자 절연재로 사용되는 시료를 챔버속에서 각각 1000, 2000, 3000 시간 안 열화 시켰다.

[표1] 시험에 사용된 시료의 구분

시료구분	열화상태
U0	열화되지 않음
U1	1000시간 열화
U2	2000시간 열화
U3	3000시간 열화

**2.2 특성시험**

**2.2.1 트랙킹 시험**

시료의 규격과 시험방법은 IEC Pub. 587 기준에 따 4kV 전압을 인가하며 경사면에 오순액을 흘려주면서 600분 동안 트랙킹 진전상태를 알아보았다.

**2.2.2 절연파괴 시험**

Hipotronics AC Dielectric test set 7100 -10/D 149 장비를 이용하여 직경 0.5인치 전극으로 절연유 속에서 전압상승속도 1kV/sec 로 측정하였다.

**2.2.3 접촉각 시험**

열화된 시료와 virgin 시료를 정적접촉각 측정 방법으로 TYOWA KAIMENAKAGAKU CO. LTD. 의 model CA-DT를 사용하여 측정하였다.

**2.2.4 인장강도, 인장율**

UNITEL 사의 model STM-10E universal test machine을 이용하여, ASTM D 412 Method A 로 시험하였다.

**2.2 특성분석**

ATR FT-IR, SEM, EDS 분석을 통하여 결과에 대한 해석을 뒷받침하였다.

**2.3 시험결과 및 고찰**

**2.3.1 트랙킹 시험**

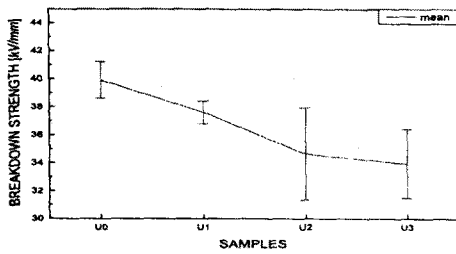
트랙킹시험결과, [그림1]에서 보는바와 같이 U0, U1 시료에서는 트랙킹 진전이 거의 일어나지 않았으나, U2, U3 시료에서는 거의 1인치까지 진전하였고, 시료 뒷면까지 깊은 침식이 발생되었다. 2000시간 이상 열화된 시료에서 이와같은 결과는 표면이 딱딱해 지면서 매끄럽게 되어 소수성을 잃고 표면에 전도성 탄화경로가 쉽게 형성되기 때문이라 생각된다.



[그림 1] 트랙킹 시험결과

**2.3.2 절연파괴 시험**

절연파괴 시험결과는 [그림2]과 같다.

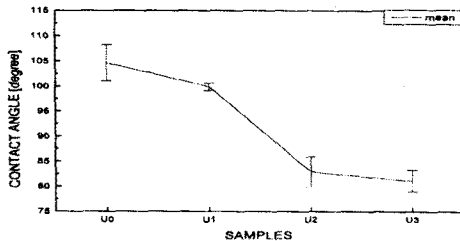


[그림 2] 절연과괴 시험결과

열화가 진행될수록 절연내력은 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

### 2.3.3 접촉각 시험

접촉각 시험결과는 [그림3]와 같다.

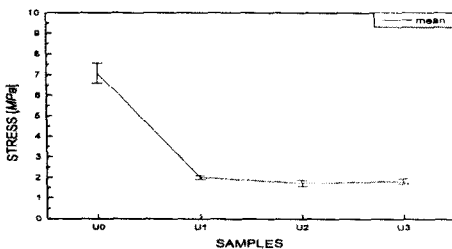


[그림 3] 접촉각 시험결과

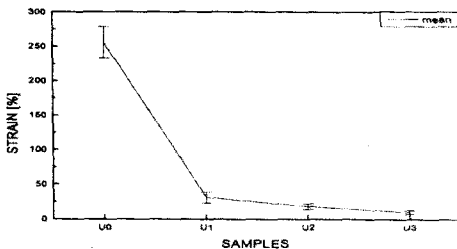
열화가 진행될수록 표면이 딱딱해지고, 매끄러워져 고분자 절연재가 소수성을 잃고 접촉각이 낮아짐을 볼 수 있다.

### 2.3.4 인장강도, 인장율 시험

인장강도, 인장율 시험결과는 각각 [그림4], [그림5]와 같다.



[그림 4] 인장강도 시험결과



[그림 5] 인장율 시험결과

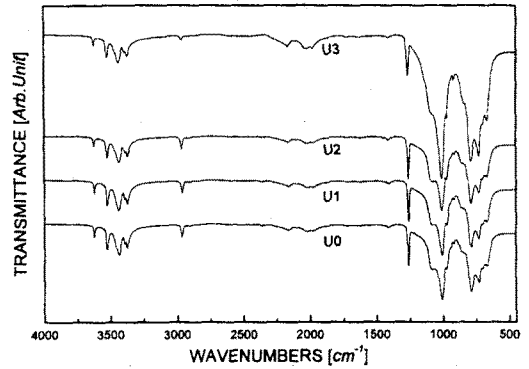
시료가 일단 열화되면 인장강도, 인장율이 매우 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 실리콘 고무가 태양광에 열화되면 딱딱하게 되어, 인장강도, 인장율이 현저히 저

하됨을 볼 수 있다.

## 2.4 특성분석

### 2.4.1 ATR FT-IR

ATR(Attenuated Total Reflection) FT-IR (Fourier Transform Infra-Red) 분석 결과는 [그림 6]과 같다.



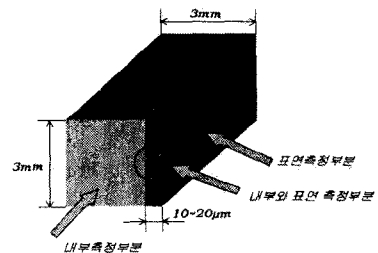
[그림 6] FT-IR 분석

Wavenumbers  $3700\text{cm}^{-1} \sim 3200\text{cm}^{-1}$  는  $\text{Al}(\text{OH})_3$  peak를 나타낸다[1]. 모든 시료에서 거의 변가 없음을 알 수 있다. Wavenumbers  $2960\text{cm}^{-1}$  주변  $\text{CH}_3$  중 C-H의 peak를 나타내는데, 열화가 진행될수록 약간씩 감소한다.  $\text{CH}_3$ 는 실리콘 고무가 유연성을 갖는 특징을 나타내는데[2], 열화가 진행될수록 유연성을 잃고 딱딱해지는 특징을 확인할 수 있었다. Wavenumber  $1050\text{cm}^{-1} \sim 1070\text{cm}^{-1}$  와  $770\text{cm}^{-1} \sim 780\text{cm}^{-1}$  는 실리콘의 주채인 Si-O-Si peak를 나타낸다[1]. 열화가 진행될수록 peak가 점점 증가하는 경향을 보이며, U3 시료에서는 매우 증가함을 보이고 있다. 이는 실리콘 고무가 에너지를 받아 열화되어  $\text{CH}_3$ 가 떨어져 나가고 그 자리에 Si-O 결합이 증가하여[3]  $\text{CH}_3$ 에 의한 가리움 효과(Shield effect)가 없어지게 되어 표면극성이 증가함에 따라 시료가 딱딱해지는 특성을 확인할 수 있다.

이상과 같은 IR 분석과 접촉각, 트랙킹, 인장강도 시험을 통해, 실리콘 고무가 태양광에 열화되면 산화에 의한 가교가 일어나 표면이 유연성을 잃고 딱딱해지고 매끄러워짐을 알 수 있었다.

### 2.4.2 SEM

SEM(Scanning Electron Microscopy) 분석 결과는 1000배 확대 촬영하여 [그림8]과 같으며, 측정부분은 [그림7]에 표시된 부분을 각각 측정하였다.



[그림 7] SEM, EDS 측정부분

시료No.	표면	내부	내부와 표면
U0			
U1			
U2			
U3			

[그림 8] SEM 결과

SEM 측정결과 시료내부는 영향을 받지 않았고, 표면도 SEM으로는 거의 변화를 찾아볼 수 없었다. 그러나 내부와 표면 부분을 보면, 열화된 시료에서 표면이 매끄럽게 되고 딱딱해진 것을 볼 수 있다. U1, U2, U3 시료에서 거의 일정한 깊이까지만 영향을 받은 것을 볼 수 있다. 이는 태양광에 의한 열화는 표면에만 한정되어 있음을 알 수 있다.

#### 2.4.3 EDS

EDS(Energy Dispersion Spectroscopy) 분석 결과는 [그림9]과 같으며, 측정부분은 [그림7]에 표시된 부분중, 표면과 내부를 각각 측정하였다.

시료No.	표면	내부
U0		
U1		
U2		
U3		

[그림 9] EDS 결과

EDS 분석결과 표면과 내부의 Al, Si 함량은 모든 시료에서 거의 변화가 없었다. 시료자체 물성의 정량적인 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

특성시험을 거친 시료 분석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다. 옥외용 절연재로 사용되고 있는 실리콘 고무가 태양광에 의해 열화되면, 표면열화가 일어나 실리콘 고무를 유연성이 떨어지며 표면 극성이 증가하여 소수성을 잃게 된다. 도전로의 형성이 쉽게 되어 트래킹 특성에 영향을 미친다. 인장강도, 인장을 또한 열화된 시료에서 매우 감소함을 볼 수 있다. 이러한 견해는 FT-IR 분석에서 재 확인 되었으며 SEM분석에 의하면 시료의 열화가 표면에 한정되며, EDS 분석결과 시료표면의 Si, Al의 함량에는 변화가 없음이 확인되었다.

이러한 결과로부터 태양광 열화는 표면 Resin을 가교시키며 Filler에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] T.Uchino, T.Sakka and M.Iwasaki, "Interpreta Hydrated States of Sodium silicate Glasses by Infrar Raman Analysis", Journal of the American Ce Society-Uchino et al., Vol.74, No.2, pp 306-313, 199
- [2] A.E.Vlastos, T.Sorqvist, "Field Experience of Agei Performance of Polymeric Composite Insulators", electra, No. 171, April, 1997
- [3] Clive H.Hare, "PROTECTIVE COATINGS Fundamentals of chemistry and Composition", Chapter 17.