

자외선 열화에 의한 실리콘고무의 열화 특성 연구를 위한 열화장치 및 시험방법의 개발

이정현
대구공업대학

Development of Aging Equipment and Testing Method for UV Effect Degradation Characteristics of Silicone Rubber

Lee Jeong Heon
Daegu Technical College

Abstract - In this paper, the testing equipment for evaluating aging characteristics of outdoor silicone rubber insulator resulting from the environmental aging effect with regards to sunlight (UV) was developed. Influence of sunlight effect aging is seriously increase due to destruction of ozone layer which is occurred by consumption of fossil fuel.

For this purpose, silicone rubber was aged under the artificial sunlight by exposure of xenon lamp radiation in the accelerating aging chamber and various test and analysis were performed such as breakdown strength, contact angle. And FT-IR analysis has been followed.

1. 서 론

최근 산업의 고도화와 전력 에너지 수요의 급격한 증가로 인하여 전력설비용량이 증가하고 전력의 초고압화, 지역의 산업화, 도시화, 집약화 등으로 인한 환경오염이 계통상 사고의 주요 원인이 되고 있다.¹⁾ 특히, 인구증가 및 설비의 급속한 증가 등으로 인한 공기 오염으로 인해 대기중의 오존층이 점점 얇아져 자외선의 피해의 정도가 날로 증가하여 각종 설비 및 인간의 생활까지도 악영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.²⁾

따라서, 대기 환경에 노출되어 사용되는 옥외용 고분자 절연재료에 대한 태양광의 영향 연구가 요구되고 있다. 또한 실리콘 고무는 절연성³⁾, 가공성 및 내열성이 우수 할 뿐 아니라, 발수성이 좋아 옥외용 절연 재료로서 광범위하게 이용될 수 있다. 그러나 실리콘 고분자 재료가 우수한 특성을 가지고 있어도 옥외의 가혹한 자연환경에 노출되면 절연 재료로서의 기능저하 및 절연파괴 등의 사고를 유발할 수 있으므로 장기신뢰성 확보를 위해 이런 환경 요인에 의한 고분자 재료의 열화특성 규명 및 원인 분석이 필요하다.

본 연구에서는 스펙트럼이 태양광선에 가장 가까운 크세논램프를 광원으로 하여 태양광 가속 열화 챔버를 제작하고 자연열화 조건에 가깝게 상온에서 신선한 공기의 대류에 의해 온도 조절 및 습도 조절을 하였으며 일정한 빛의 조사가 이루어지도록 시료설치대를 일정 속도로 회전시켰다.

또한 모의 태양광에 의해 열화된 시료에 대한 전기적, 물리적, 화학적 특성 평가 및 분석을 통하여 태양광이

실리콘고무에 미치는 영향을 규명하고 아울러 열화 메커니즘을 규명하기 위한 실험장치의 적용 및 기초연구를 수행하였다.

2. 태양광 열화장치

2.1 광원 및 점등회로

(1) 광원

태양광 모의 열화 장치의 광원으로는 크세논램프를 사용하였다. 그림 1에 광원으로 사용된 크세논램프의 스펙트럼을 자연광과 비교하여 나타내었다.

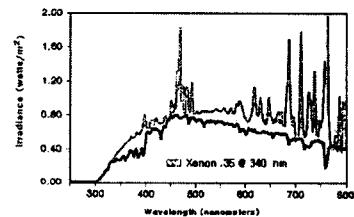


그림 1. 크세논램프 광원과 자연 태양광
(마이애미, 정오)의 스펙트럼 비교

(2) 점등회로

안정기에서 DC 75 V의 전압이 발생되도록 구성하였으며 크세논의 방전 개시전압을 얻기 위해, 점화기에서 임펄스로 아크를 발생 시켜서 램프를 점화시켰다. 기동 후에는 안정기로부터 일정 전압을 유지시키면서 장시간 점등상태를 지속하도록 하였다. 세부회로 구성은 그림 2와 같다.

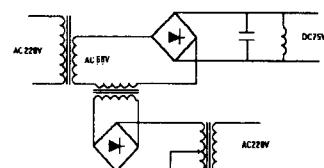


그림 2. 안정기의 세부 구동 회로

① 안정기

AC 220 V의 전압을 68 V로 강압시킨 후 브리지 정류기를 사용해 DC 75 V로 바꿔 램프의 양단에 가하여 보조변압기와 슬라이더스를 이용 전류의 양을 조절해 빛의 밝기를 조절하도록 제작하였다.

② 점화기

점화기는 초기 램프 가동시 전극 사이에 6000 V 정도의 고전압을 가해 아크를 발진시키기 위한 것으로써 캡스 위치로 구성되어 있다. 그림 3에 점화기 회로를 나타내었다.

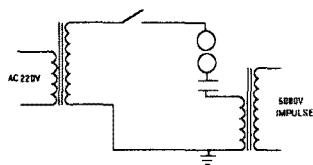


그림 3. Ignitor 회로

2.2 독창적으로 고안한 시료 설치대 및 시료 훌더

본 논문에서는 ASTM G26 method C에 따라 시료를 회전시켰다. 본 챔버에서는 폭넓은 시험이 가능하도록 설치대의 회전속도를 0~10 rpm의 범위 값에서 선택이 가능하게 제작하였으며, 시료의 크기 및 형태에 관계없이 시료 그대로 고정시킬 수 있고, 회전 및 열화시 시료의 손상이 없고, 설치대에 탈착이 빠르고 쉬우며 시료 전체 면이 조사되는 독창적인 시료 훌더 및 시료 설치대를 고안하여 제작하였다.

그림 4에 제작 사용한 시료 설치대 및 훌더의 제원 및 모양을 나타내었다. 설치대 및 훌더의 재질은 시료에 영향을 주지 않도록 스테인리스 스틸을 사용하였으며 그림 5에 시료를 장착한 훌더와 설치대의 모습을 나타냈다.

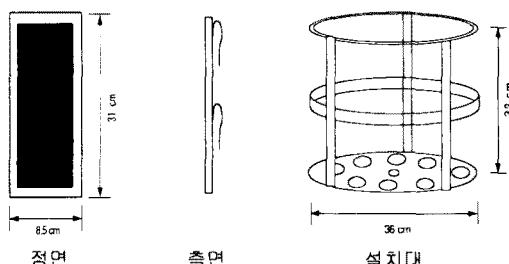
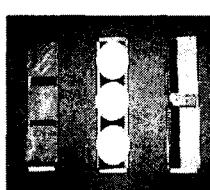
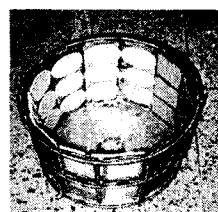


그림 4. 태양광 가속 열화용 시료 훌더 및 설치대



시료 훌더



시료 설치대

그림 5. 시료 장착 후의 시료 훌더와 설치대

2.3 챔버의 제작

본 연구를 위해 모의 태양광 열화 장치를 자체 제작하였다. 표1은 제작한 열화 장치의 세부 사양을 나타내었으며 이 세부사양에 의해 제작한 열화장치의 개략도는 그림 6에 나타내었고, 그림 7에는 열화 장치의 실제 시험 광경을 나타냈다.

표 1. 태양광 가속 열화장치 챔버 세부사양

구 분	세부 사양 및 규격
챔버 크기	800 mm × 600 mm × 800 mm
기본 규격	ASTM G 26 method C
크세논 램프	소비전력 1500 W (정격전력 2000 W)
안정기	정격 용량 DC 75 V
열화 방식	Continuous exposure to light without water spray
냉각 방식	강제 공냉 방식, 신선한 공기 대류
광원-시료 수직 거리	170 mm
내부 온도	63 ± 3 °C
내부 습도	30 ± 5 %
시료 설치대	재질 : 스테인리스 스틸 직경 : 360 mm 높이 : 320 mm
설치대 회전 속도	5.2 ± 0.1 rpm
시료 훌더	재질 : 스테인리스 스틸 85 mm × 310 mm × 12 개
특기 사항	- 설치대 회전 속도 가변 가능 (타시료, 단시험방법 사용가능) - 시료 크기, 모양에 관계없는 새로운 시료 훌더

- ① Air outlet port with fan
- ② Thermometer
- ③ Rotating specimen rack with specimen holder
- ④ Light source (Xenon lamp)
- ⑤ Hygrometer
- ⑥ Stainless steel inner walls
- ⑦ Air inlet port
- ⑧ DC motor
- ⑨ Control box (power, fan, motor speed)

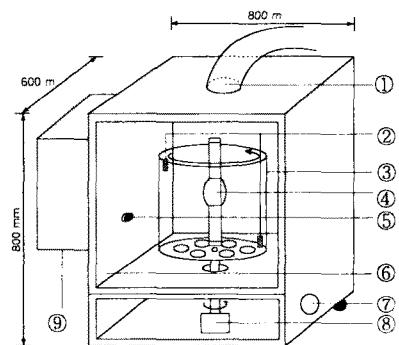


그림 6. 열화 위해 제작한 챔버의 개략도

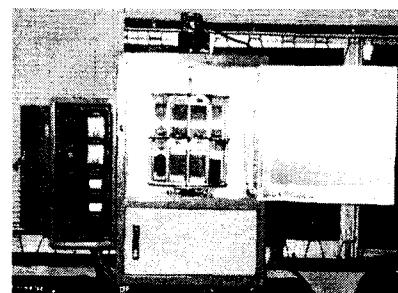


그림 7. 모의 태양광 열화 챔버의 시험 사진

3. 실험 방법

3.1 시료준비 및 열화

본 연구에 사용된 시료는 HTV 실리콘고무에 Al(OH)_3 를 Filler로 첨가하여 제작된 시료를 사용하였다. 자체 제작한 장치를 이용하여 시료를 열화 시켰다. 또한 크세논램프

프의 수명 단축 및 빛 강도의 약화를 보상하기 위해 2000 W 정격의 램프를 사용하여 1500 W의 전력 만큼 사용하면서 전류로 보상하여 1500 W를 유지하도록 하였으며 램프의 시간 수명 연장을 위해 두 개의 램프를 사용하여 500 사용 후 교대로 교체 사용하였다.

3.2 절연파괴 시험

Hipotronics AC DIELECTRIC TEST 7100 -10/D149를 이용하여 절연파괴 시험을 수행하였다. 연면방전 현상을 방지하기 위하여 절연유 속에 직경 0.5 inch 전극을 설치하여, 전압상승속도 1kV/sec로 측정하였다.

3.3 접촉각 측정 시험

정직 접촉각 측정 방법으로 TYOWAKAIMENAKAGAKU Co. Ltd., model Ca-DT를 이용하여 측정하였으며 종류수를 시료 위에 $23\pm2^\circ$ 의 온도에서 직경 0.5~0.1 mm의 물방울로 각각 10번 측정하였다.

3.4 FT-IR 분석

시료에 포함되어 있는 유기물의 성분을 정성 분석하였으며 BIO-Rad사의 FTS-60 장비를 이용하여 ATR방법으로 분석하였다.

4. 실험결과 및 고찰

태양광에 의한 열화 연구를 위해 열화시킨 시료와 처녀 시료에 대해 특성 변화 시험을 수행하였으며 시험에 사용된 시료를 U0(Virgin sample)와 U3(3000 시간 열화)로 구분하였다.

4.1 절연파괴 시험

그림 8에 나타난 시험 결과와 같이 절연내력은 열화에 의해 감소하였다. 이는 자외선 조사에 의해 체인이 끊어져 형성된 라디칼과 산소가 결합하여 극성을 띠거나, 산화 반응 또는 가교되지 않은 잔여 라디칼이 존재하게 되어 이것이 trap site로 존재하여 전기적 특성을 악화시키는 것에 기인한 것으로 판단된다.

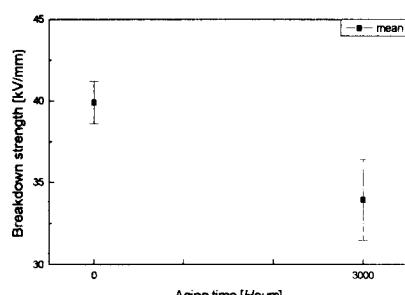


그림 8. 태양광 열화에 의한 절연파괴 전압 변화

4.2 접촉각 시험

그림 9에서 보는 바와 같이 열화에 의해 소수성을 잃고 접촉각이 감소하였다. 이는 열화에 따라 체인 분리가 일어나서 CH_3 가 없어지고 극성이 큰 $\text{Si}-\text{O}$ 가 늘어남으로

인해서 표면 에너지가 증가하고 산소 증가실리콘 고무와 물 사이의 수소결합이 발생하여 접촉각이 감소하는 것으로 사료된다.

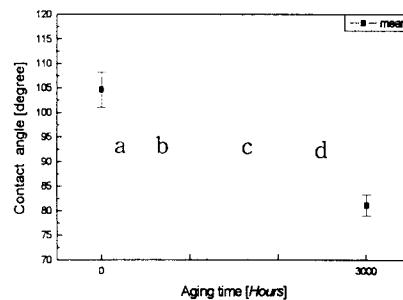


그림 9. 태양광 열화에 의한 접촉각 변화

4.3 FT-IR 분석

그림 10에 나타낸 결과에서 wavenumbers 3700cm^{-1} ~ 3200cm^{-1} (Band a)는 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 피크를 나타내며 시료에서 거의 변화가 없다. 이는 모의 태양광 열화에 의해서는 충진제가 영향을 받지 않으며 ATH의 유출이나 함량 변화가 일어나지 않음을 알 수 있다. Wavenumbers 1050cm^{-1} ~ 1070cm^{-1} , Wavenumbers 770cm^{-1} ~ 780cm^{-1} (Band d)은 실리콘고무의 주쇄인 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 피크를 나타낸다. 이들 피크는 열화가 진행된 U3 시료에서는 매우 증가함을 보이고 있다. 이는 실리콘 고무가 에너지를 받아 열화되어 체인 분리가 일어나 CH_3 가 떨어져 나가게 되어 그 자리에 $\text{Si}-\text{O}$ 결합이 늘어나게 되어 표면극성이 증가하는 것을 알 수 있었다.

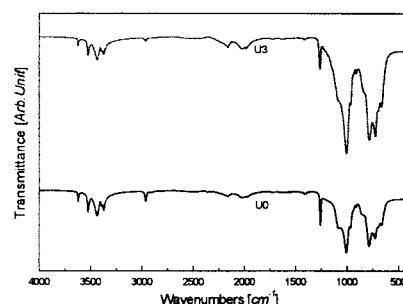


그림 10. 태양광 열화에 의한 FT-IR 분석 결과

5. 결 론

옥외용 실리콘고무의 태양광 열화에 의한 영향을 연구하기 위해 모의 챔버 내에서 열화시킨 시료에 대해 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 크세논램프를 이용하여 태양광 모의 가속열화 연구에 적합한 열화 챔버를 자체 제작 하였다.
- 독창적으로 고안한 시료홀더 및 시료 랙을 사용하여 다양한 크기와 모양의 시료를 열화시켰다.
- 절연파괴 시험 결과 전기적 특성인 절연내력은 열화에 의해 감소하였다.
- 접촉각 시험 결과는 열화에 의해 소수성을 잃고 접촉각

각이 감소하였다.

- FT-IR 분석 결과, 태양광 열화에 의해서는 충진제가 영향을 받지 않아 유출이나 함량 변화가 일어나지 않으며 실리콘고무가 열화되어 체인분리가 일어나고 Si-O 결합이 늘어나게 되어 표면극성이 증가하는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. Thione, "POLLUTION PHENOMENA Introduction", 9th ISH, No. 300, August 28 ~ September 1, 1995
- [2] J. Mackevich, S. Simmons, "POLYMER OUTDOOR INSULATING MATERIALS PART II : MATERIAL CONSIDERATIONS", IEEE E.I. MAGAZINE, Vol. 13, No. 4, pp. 10 ~ 16, July/August 1997
- [3] G. Besztercey, G. Banhegyi, E. Zelenyanszki, F. Tamas, R. Kimata, A. Bognar, "COMPARISON OF ELECTRICAL EROSION TESTS ON MATERIALS USED FOR INSULATORS", 9th ISH, No. 3037, August 28 ~ September 1, 1995
- [4] R. Gs, "POLLUTION PHENOMENA special report", 9th ISH, No. 3000, August 28 ~ September 1, 1995
- [5] ASTM G 26, "Standard Recommended Practice for OPERATING LIGHT-EXPOSURE APPARATUS (XENON-ARC TYPE) WITH AND WITHOUT WATER FOR EXPOSURE OF NONMETALLIC MATERIALS"