

가속열화 실험에 의한 고분자 애자의 분해

Degradation of Composite Insulator as Accelated Aging Test

이용희, 장동욱, 박영국, 박정남, 강성화*, 임기조
(Y.H.Lee, D.U.Jang, Y.G.Park, J.N.Park, S.H.Kang, K.J.Lim)

Abstract

The effect of accelerated aging test on ethylene-propylene-diene monomer(EPDM) rubber used for outdoor insulation was studied by X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), scanning electron microscope(SEM), FFT spectrum analysis, and electrical pulse counts using PC by oscilloscope(300 MHz).

In electrical analysis, FFT spectrum analysis indicated arcing caused a significant increase in the third harmonic content of the leakage current of polluted insulator. Also, pulse counts increased as aging time. The surface oxygen and aluminum content were found to increase and that of carbon and nitrogen were found to decrease with time. The detailed XPS analysis indicated that the concentration of carbon in C-C decreased and concentration of highly oxidized carbons increased with time, which was due to the oxidation of EPDM rubber polymer. SEM analysis indicated that crack and erosion of EPDM rubber occurred with time.

Key Words: accelerated aging test, degradation, EPDM, FFT, pulse counts

1. 서론

옥외절연물은 기계적, 전기적 stress를 항상 받고 있을 뿐만 아니라 사용환경에 따라 오염물질에 노출 되는 것을 피할 수 없다. 또한, 산업의 대규모화와 도시의 과밀화로 인한 매연과 분진에 의한 오손이 증가하고 있으며 전력부하가 밀집된 도시의 공단지역은 대부분이 염해가 있는 해안지역에 위치하고 있기 때문에 절연물의 오손에 의한 사고는 늘어나고 있는 추세이다^[1,3,5,6]. 따라서, silicone 러버나 EPDM 과 같은 고분자가 자기나 유리 대신에 옥외 절연체로서 사용이 증가되고 있다. 이것은 주로 좋은 내파괴성과 무게의 가벼움등의 이점이 있기 때문이다 [1-7].

고분자는 코로나 건조대 아킹, UV조사, 습도, 화학약품 등에 영향을 받는것으로 알려졌다. 전기적인 열화와 기계적인 힘이 열화로서 알려졌다, 이것이

수명을 단축시킨다^[1,3,5,7]. 그러므로, 많은 연구자들은 이러한 고분자의 열화 현상에 더 많은 주의를 기울이게 되었으며 실험실에서 가속열화실험등 많은 방법으로 실험을 하고 있다. 또한 많은 실험장비(SEM, XPS, XRD, SIMS, FTIR)등이 고분자의 열화를 진단하기 위하여 사용되고 있다. XPS는 이미 고분자의 표면특성을 연구하기 위하여 사용되어지고 있다 [1-7].

이 논문에서는 인공 가속 열화가 어떻게 EPDM의 조직과 구조에 영향을 끼치는지 연구하였고, 이때의 전기적 특성을 측정 해석하였다..

2. 본론

2.1 실험방법

실험에 사용한 salt fog chamber는 1.1×1.1×1.0 [m]의 크기로 제작하였으며, 지붕에 15° 의 각도를 주어 salt fog가 맺혀 시편으로 떨어지는 현상을 방지하였다. salt fog의 분무는 초음파 분무기를 사용하였고, 시편에 부착되는 양은 9[ml/m²·min]으로 하

충북대학교 전기공학과 (충북 청주시 개신동 충북대학교,
Fax: 0431-263-2419, E-mail : freeman_lee@hanmail.net)
*충청대학 산업안전과 (충북 청원군 강내면 월곡리 330번지)

였다. 실험에 사용된 전원은 110[V], 출력전압 AC 50[kV], 출력용량 0.3[kVA]인 변압기를 사용하였다. 염수의 전도도는 800[μ S/cm]로 유지하였으며, 인가 전계는 0.5[kV/cm]로 하였다.

시편은 22.9[kV]의 배전급에 사용되는 EPDM 애자를 절단하여 사용하였으며, 표면에서 발생하는 트랙킹이나 침식 등의 열화를 억제하기 위해서 ATH 충전제가 포함되어 있다. 전극의 재료는 황동을 사용하였고, 애자의 절단면과 전극의 접촉면은 에폭시 수지를 이용하여 처리되었다. 그림 1은 실험에 사용한 시편을 나타내었다.

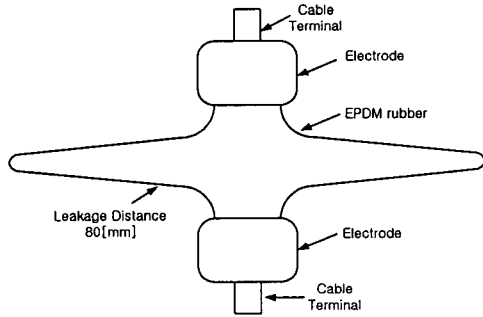


그림 1. 시편의 형상

실험에 사용된 실험장치의 블록도를 그림 2에 나타내었다.

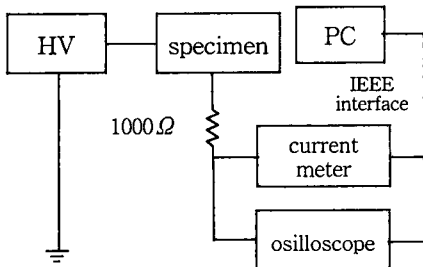


그림 2. 실험장치의 블록도

시편의 열화시간은 750시간으로 이 기간동안 전압 인가와 염수분무를 계속 유지하였다. 이 기간동안 전기적인 특성을 분석하였다.

플래시오버시 발생되는 단락전류를 제한하기 위하여 시편과 직렬로 1000[Ω]의 저항을 접속하여 누설전류와 방전전류를 측정하였다. oscilloscope(Lecroy 9310, 300MHz)를 이용하여 salt fog 시험시에 EPDM rubber 표면에서 발생하는 방전전류펄스는 300 cycles 동안 측정하여 기록하였으며, FFT 스펙트럼 분석^[8]을 위하여 파형을 기록하였다.

평균 누설전류의 측정은 Keithley 195A를 사용하여 측정하였으며, 누설전류 값은 방전시에 급변하기

때문에 60초동안 60개의 값을 평균하였다.

시험의 종료후 화학적인 특성을 분석하였다. XPS의 측정은 ESCALAB 210을 이용하였으며, 시편은 10×30×1[mm³]의 크기였다. SEM의 측정은 HITACHI S-2500C을 이용하였으며, 시편은 5×5×1[mm³]로서 측정하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 3에서 누설전류의 시간에 따른 변화를 나타내었다. 그림에서 누설전류는 열화가 진행함에 따라 약 13시간 후부터 증가하기 시작하였으며 시간에 따른 변화가 심함을 알수 있다. 이는 방전의 발생에 의하여 심하게 변화함을 나타내주고 있으며 약 120시간후에는 누설전류가 약 1[mA]로 일정해지는 것을 알수 있다. 하지만, 방전에 의한 누설전류의 급변에 의하여 상당한 변화를 나타내고 있다.

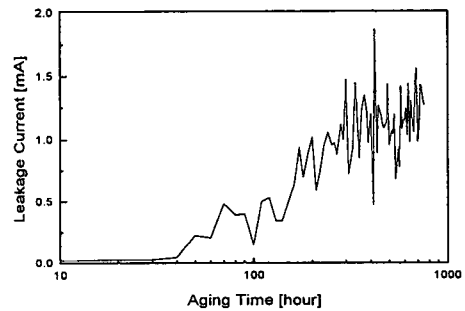


그림 3. 시간에 대한 누설전류의 변화

그림 4~5는 pulse의 발생빈도를 나타내었다.

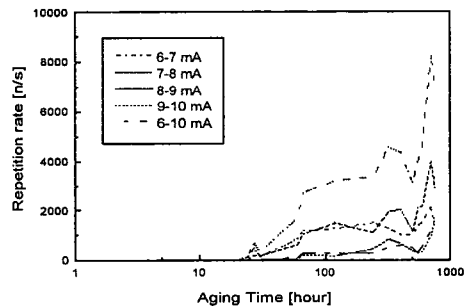


그림 4. 6~10[mA]의 발생빈도수

그림 4는 전류펄스의 크기가 6~10[mA]의 발생빈도를 나타내었고, 그림 5는 21~25[mA]를 도시하였다. 그림4에서는 약 11시간이 지나서 미약하게 발생하였고 서서히 증가하였다. 그림 4가 그림 5보다는 더 큰 변동이 없이 증가하였고, 그림 5는 변화가 심하였다. 이는 21~25[mA]의 누설전류펄스가 시간에 따라서, 변화가 더 심함을 나타내며, 누설전류의 값

의 변화에 많은 기여를 함을 그림 3과 비교하여 알 수 있다. 6~10[mA]의 펄스는 21~25[mA]의 펄스보다는 누설전류의 값의 변동에 대한 영향은 미약하다.

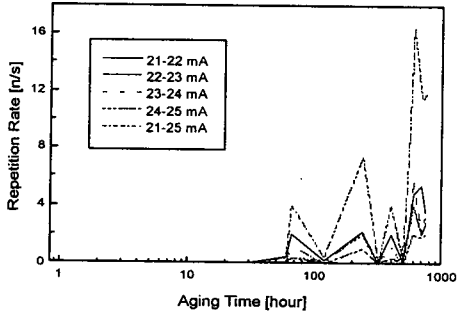
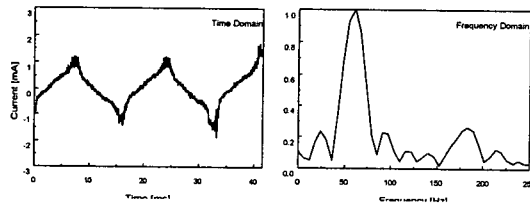


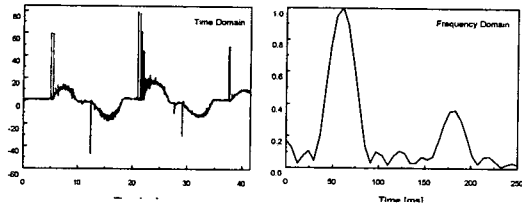
그림 5. 21~25[mA]의 발생빈도수

그림 6~7는 누설전류의 파형과 FFT분석에 의한 주파수 스펙트럼을 도시하였다. 누설전류의 파형은 열화 50시간에는 그림 6. (A)와 같은 형상으로 나타나며, 열화 550시간에는 그림 7. (A)와 같이 나타났다. 그림 6. (A)와 그림 7. (A)의 FFT 스펙트럼은 그림 6. (B)와 그림 7. (B)에 나타내었다.



(A) LC waveforms (B) FFT spectrum

그림 6. 50시간 후



(A) LC waveform (B) FFT spectrum

그림 7. 550시간 후

열화 50시간에서의 누설전류 파형은 크기가 550시간에서의 파형보다는 작고 FFT 분석시 3고조파도 작게 측정되었다. 열화 550시간에서는 크기가 매우 크며 많은 펄스가 발생되었고, 이로 인하여 3고조파가 크게 증가하였다. 또한 그 외의 다른 주파수 대역을 갖는 많은 고조파가 발생하였다. 이는 누설전

류 펄스의 영향으로서 모든 주파수 영역에 존재하게 된다. 따라서, 3고조파의 분석뿐 아니라 기본파와 그 이외의 고조파를 분석할 필요성이 있다.

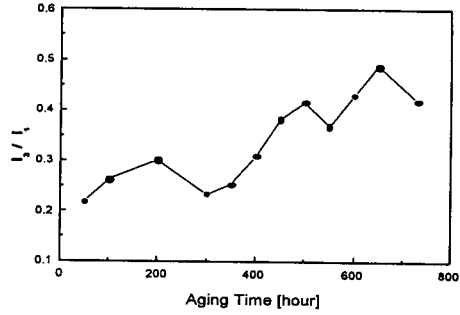


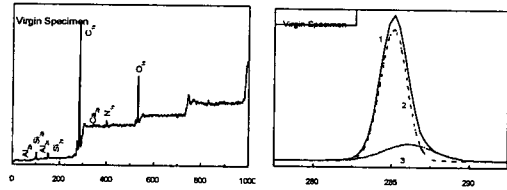
그림 7. FFT 분석에 의한 I_3/I_1 의 비

그림 7은 FFT분석에 의한 I_3/I_1 의 비를 도시하였다. 그림 7에서 I_3/I_1 의 비가 시간에 따라 증가함을 볼 수 있다. 이는 누설전류 펄스에 의한 파형의 왜곡에 의하여 발생되며, 실제로, 기본파 외의 주파수 대역에서 기본파보다도 더 큰 값을 갖는 것도 있었다.

표 1. XPS분석에 의한 원소의 분포(atomic ratio %)

Sample	C	O	Si	N	Al	Ca
Virgin	77.80	14.92	4.13	2.49	0.48	0.18
Aging	72.85	18.68	5.04	1.23	1.94	0.25

표 1은 XPS분석에 의한 열화전과 열화후의 원소의 분포를 나타내었다. 열화가 진행함에 따라 C는 감소하며 O와 Al은 증가하였다.

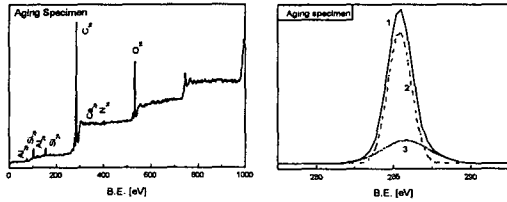


(A) wide scan (B) narrow scan (C_{1s})

그림 8. 열화전 시편의 XPS 분석

그림 8~9는 XPS 분석결과이다. 그림 8은 열화전 시편의 XPS 분석결과이며, 그림 9는 750시간 열화 후 시편의 XPS 분석결과이다. 그림 8의 (A)과 그림 9의 (A)는 wide scan을 한 결과이며, C_{1s} 와 O_{1s} 에서 가장 큰 피크를 나타낸다. EPDM rubber 시편은 침식이나 트랙킹 저항성을 향상시키기 위하여 많은 양의 ATH(총 중량의 40%이상)를 함유하고 있지만 XPS에 의하여 검출된 Al의 양은 실제 경우의 값보다는 상당히 작게 나타났다. 이것은 XPS가 검출할 수 있는 표면의 깊이가 매우 한정적이기 때문으로

생각된다. 그림 8. (B)와 그림 9. (B)는 C_{1s} 의 narrow scan 결과이며, software적으로 처리하여 curve 1로 curve 2와 curve 3을 얻었다. 표 2는 C_{1s} 의 피크 조성의 결과를 나타내었다. 표 2에서 C-C와 C-H결합이 248.6[eV]와 대응한다. 또한 C_{1s} 의 결합 에너지에 대한 값들이 문헌에 많이 언급되어 있으며; 대표적으로 C-O는 286.5 ± 0.3 [eV], C=O(O-C-O)는 287.8 ± 0.2 [eV], O-C=O는 289.0 ± 0.2 [eV]로 주어진다.^[7] 그림 8의 (B)와 그림9의 (B)에서는 C-H 또는 C-C 결합과 C-O 결합만이 분석되었다. 이들의 결합에너지와 비율은 표 2에 나타내었다.

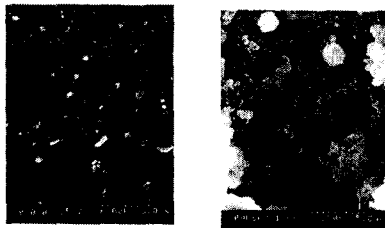


(A) wide scan (B) narrow scan (C_{1s})

그림 9. 열화 750시간 후 시편의 XPS 분석

표 2. C_{1s} 피크의 분할에 의한 영역비율

Sample	C_{1s} peaks	
	2	3
	284.6	286.2
Virgin	81	19
Aging	74	26



(A) Virgin (B) Aging

그림 10. SEM 분석

3. 결론

본 연구에서는 EPDM rubber의 표면 열화 특성을 검토하기 위하여 염수 분부 조건하에서 전기적인 특성인 누설전류 펄스를 측정하였고, 화학적인 변화를 분석하기 위하여 XPS와 SEM 등을 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 열화가 진행됨에 따른 누설전류의 증가는 애자

열화의 좋은 지표이다.

2. 누설전류펄스가 5~10[mA]에서의 발생빈도가 20~25[mA]의 것보다 더 많이 발생하지만 열화의 더 좋은 지표는 20~25[mA]에서 발생하는 펄스이다.
3. FFT 분석에 의한 I_3/I_1 의 비는 열화를 추정하는 좋은 지표이다. 하지만 그 외의 고조파도 많이 발생하므로 이에 대한 연구가 필요하다.
4. XPS분석에서 열화가 진행됨에 따라 C는 감소하며 O와 Al은 증가하며 C-O등으로 화학적으로 결합이 변화한다. SEM 분석에서는 열화가 진행됨에 따라서 침식이나 크랙이 관측되었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었으며 감사드립니다. (과제번호 : 97-중-06)

참고 문헌

- [1] H. Deng and R. Hackam, "Electrical performance of RTV silicone rubber coating of different thickness on porcelain", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, pp.1157-1164, 1997
- [2] A. de la O, R. S. Gorur and J. T. Burnham, "Electrical Performance of Non-ceramic Insulators in Artificial Contamination Tests", IEEE Trans. EI, Vol. 3, pp.827-835, 1996.
- [3] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, "Wettability of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, pp.888-900, 1991
- [4] T. Sorqvist and A. E. Vlastos, "Performance and Aging of Polymeric Insulators", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, pp.1657-1665, 1997
- [5] S. H. Kim, E. A. Cherney, R. Hackam and K. G. Rutherford, "Chemical Changes at the Surface of RTV Silicone Rubber Coatings on Insulators During Dry-band Arcing", IEEE Trans. on EI, Vol.1, pp106-123, 1994.
- [6] R. S. Gorur, E. A. Cherney, R. Hackam, "Evaluation of polymeric cable terminations in a fog chamber", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, pp. 2214-2221, 1989.
- [7] Y. Xu, Y. He, F. Zeng and R. Zhang, "Aging in EPDM used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. on EI, Vol. 6, pp. 60-65, 1999.
- [8] George G. Karady, Felix Amarth, "Signature Analysis for Leakage Current Wave Forms of Polluted Insulators", Proceedings of the 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference, Volume 2, pp. 806-811, 1999.4.11