

Salt fog에 의한 오손된 EPDM애자의 누설전류 파형 분석

박재준*,송영철**,김정부*,이유민*,이현동*,정영호***

중부대학교*,경북대학교**,한전전력연구원***

Analysis on Waveform of Leakage Current of Contaminated EPDM Insulators by Salt Fog

Jae-jun Park, Young-chul Song,Jeong-boo Kim, You-min Lee, Hyun-dong Lee,Young-ho Jung
Joongbu Uni, Kyungbook National Uni, KEPRI

Abstract

This paper presents the results of power spectra using the fundamental and low frequency harmonic components of leakage current waveform to study aging on contaminated EPDM insulator(was serviced during 1997-2001, region Pohang, Korea) under salt fog conditions.

Experiments have been conducted in the chamber salt fog and at the 16KVrms. The salt contents adjusted as 0g,25g,50g and75g per liter of deionized water. The onset of dry-band arcing on polymer insulators could be determined by signal processing the low frequency harmonics components. A correlation has been found between the fundamental and low harmonic components of power spectra on leakage current. Where aging could be associated with an increase in the level of both the fundamental and low frequency harmonics components of leakage current. Surface aging for contaminated EPDM insulators occurred when the fundamental component of leakage current was greater than some level. On the other hand, when the polymer insulator approached failure, the fundamental component of leakage current reached relatively high values and low frequency harmonics components of the leakage current trended to decrease. The results suggest that both the fundamental and low frequency harmonics of leakage current can be used as a tool to determine both the beginning of aging and before flashover, end of life EPDM insulator in salt fog.

Key Words : EPDM insulators, aging, leakage current, harmonic, Power Spectra

1. 서론

고분자애자는 1960대 초기에 배전급 현수 애자에 사용하기 위해 설계된 고분자애자는 초기에 북아메리카 또는 유럽 등지에서만 이용되었지만 30년동안 걸쳐 오면서 많은 좌절과 실패가 있었다. 근래에서는 북아메리카, 유럽 오스트레일리아, 남아프리카, 중국 등에서 사용되어지고 있다. 최근 국내에서도 6~7년 전에 배전 및 송전급 전로에 서비스를 실시하고 있으며 향후 엄청난 양으로 증가될 것으로 기대되고 있다.

고분자애자는 매우 가볍고, 표면의 발수성이 양호하고, 옥외의 서비스 퍼포먼스가 양호하고, 우수한 오손성을 갖고 있기 때문에 전 세계적인 전력회사에서 각광받고 있는 실정이다. 최근에는 가격까지 인하되어 경제적인 면에서도 관심이 또한 증대되고 있다.

그렇지만, 고분자애자는 열화에 불리하고, 장기신뢰성에는 아직 미지수인 셈이다. 또한 결함을 갖는 고분자애자의 결함을 탐지하기가 어렵다. 열화는 트래킹/침식 이라든지 또는 정상적인 동작 전압하에서도 오손이 지나치게 되면 섬락에 이르게 되는 것이 고분자애자에 대한 주요한 결함 원인이 되고 있다.

고분자 애자에 대한 열화의 요인은 여러 가지가 있다. 누설전류와 코로나와 같은 전기적인 원인, 자외선(UV radiation), 열, 산성물질과 같은 환경적인 원인이 있다. 건조대 아킹(dry-band arcing)을 유기한 누설전류는 고분자애자의 주요한 열화원인 중 하나이다. 고분자애자 표면에 발수성이 없으면 애자의 표면에는 얇은 수막이 형성되고, 누설전류가 흐를 수 있는 통로가 된다. 누설전류밀도가 고분자 애자표면에 완전히 균일하지 못하면, 어떤 부분에서든 충분한 열이 발생되면 수막의 수분이 증발되어, 건조영역 또는 건조대가 형성된다. 이런 결과로 인하여 아킹이 이들 건조대 영역을 가로지른다. 이런 아킹을 건조대 아킹이라고 부른다. 이런 이유 때문에 누설전류는 salt fog, tracking wheel, inclined plane test와 같은 고분자애자의 performance을 연구하기 위하여 실험실상에서 가속열화동안에 모니터링을 하여왔다.

salt fog동안 이전의 측정에서는 누설전류 피크 최대값, 펄스 수를 측정하여 보고하여 왔다.

최근의 연구에서는 표면방전의 메커니즘을 연구하기 위하여 누설전류의 low frequency (0~120hz)는 전도성에 기인, middle frequency(121~5khz)는 건조대아킹, high frequency(10Mhz이상)는 코로나방전으로 기인됨을 보고하고 있다. 이전에는 누설전류의 피크값이 메커니즘을 연구하는데 사용되어져 왔다. 그러나 누설전류의 피크값이 애자표면의 손상에는 상관관계를 발견할 수 없기 때문에, 본 연구에서 표면의 열화 및 손상에 책임이 있는 누설전류의 주파수 성분을 구하여 요인을 연구하고, 방전형태와 누설전류 파형과의 관계를 통하여 열화에 기인된 dry-band arcing을 power spectra 이용하여 분석하고자 한다. 이 연구는 salt fog하에서 각기 다른 고분자의 performance을 분석하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

2. 실험

2.1 실험장치

측정은 그림1에서 나타난 실험장치를 이용하여 clean fog와 salt fog는 같은 측정방법으로 실행하였다. 지름이100mm인 배전용 EPDM고분자 현수 애자를 가지고 사용하였으며, 이미 오염지역에서 서비스되어 열화가 상당히 진행된 고분자애자를 사용하였다. 자체 제작된 프로그램버(1190×1210×

1670mm)에 설치된 고분자 애자를 깨끗이 세정한 후 건조시키고, 초음파가습기(Ultra Sonic Humidifier, 400cc/hr, 연속연무)를 이용하여 salt content는 증류수(1000ml)당 0g, 25, 50g, 75g으로 조절하였다. fog를 적용한 후 일정전압 16kv(60hz)로 섬락 시까지 인가하였다. 고분자애자의 누설전류는 fog를 적용함과 동시에 측정되었다. 측정하는 동안에 Digital Camcorder는 방전형태를 기록하기 위하여 사용되어졌다.

누설전류는 접지로 흐르는 전류를 저항 100[Ω]의 전압강하 파형을 Differential Probe(ADP305, Lecroy)을 통하여(100:1) Digital Oscilloscope(wave runner 500MHz,500MS/s, Lecroy)로 입력되어진다. 입력된 analog신호는 인터페이스 Lan Card를 통하여 0.1msec 샘플링주기를 갖는 A/D변환기를 경유하여 원격으로 데이터를 컴퓨터에서 매 200ms동안의 전류 파형을 획득하게 된다. 획득된 데이터는 Matlab 6.0을 통하여 FFT 처리 후 시간에 따른 누설전류 파형의 최대값과 1고조파로부터 16고조파까지 분석이 이루어지고 역시 시간에 따른 기본파에대한 3고조파, 5고조파의 왜곡율이 구하여지게된다.

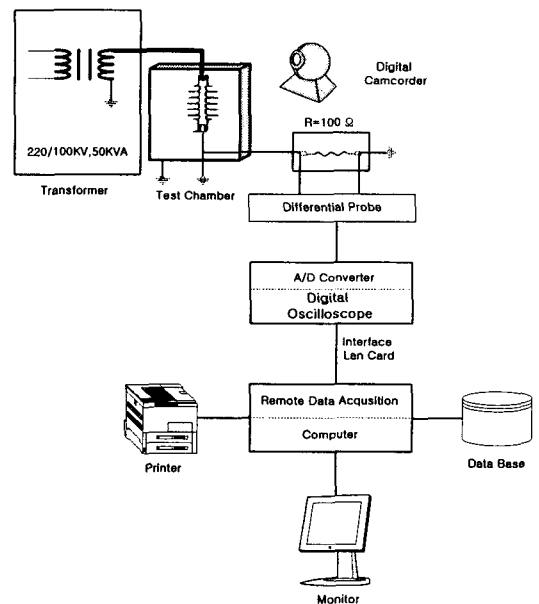
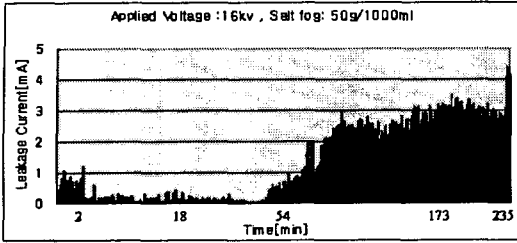


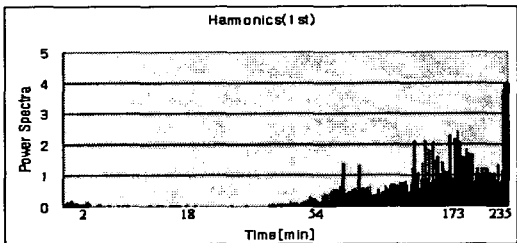
그림1. 실험장치 구성도

3. 결과 및 고찰

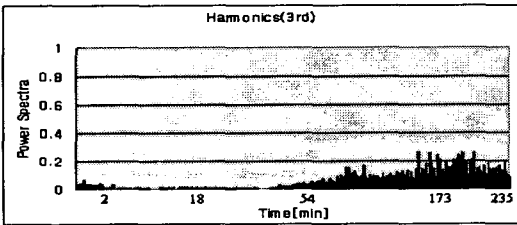
3-1. Analysis of Leakage Current Waveform



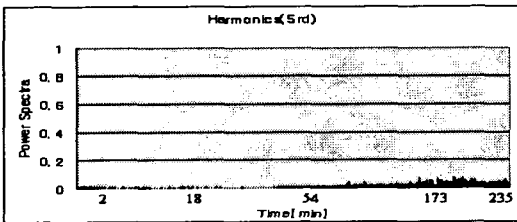
(a) raw data



(b) 기본고조파



(c) 3고조파



(d) 5고조파

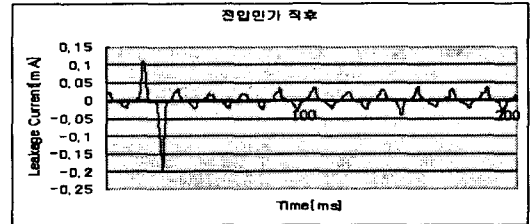
그림2. 16kv, 50g/1000ml, 고분자 애자의 salt fog시 누설전류 파형의 최대치 및 각 고조파 성분들 그림 2(a)에서는 salt fog가 인가되는 동안 매 200ms씩 기록된 누설전류 파형의 최대값이 기록된 raw데이터의 결과를 나타내고 있다.

raw data로부터 어떤 유용한 결과를 얻기란 어렵기 때문에 전체 시간동안 얻어진 모든 전류파형의 데이터를 power spectra를 얻어 그림2(b)에서는 기본파(fundamental components)을 나타내었고, 그

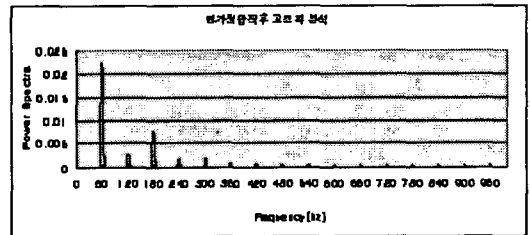
림2(c)에서는 저주파성분인 3고조파 성분을 열화초기로부터 섬락에 이르기까지의 모든 자료를 나타내었다. 그리고 그림2(d)에서는 5고조파의 모든 자료를 보여주고 있다.

그림2(b)~(d)까지의 경우 누설전류 기본파는 뒤틀림이 적을수록 즉, 60hz의 정현파에 가까울수록 power spectra의 진폭은 커지고 파형의 뒤틀림이 클수록 작았다. 열화초기에는 누설전류파형의 뒤틀림이 크기 때문에 진폭은 작고, 열화가 진행되어 건조대아크 방전이 커질수록 정현파에 가까워진다. salt fog량이 많아질수록 전도성 전류와 3고조파가 5고조파의 진폭보다 크게 나타나고 있다.

3-2. Correlation of Leakage Current waveform and Power Spectra



(a) 인가전압직후의 누설전류파형



(b) 누설전류파형에 대한 Power Spectra

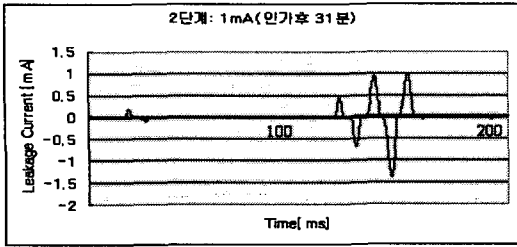
그림3(a) 인가전압 직후의 누설전류 파형

(b) power Spectra

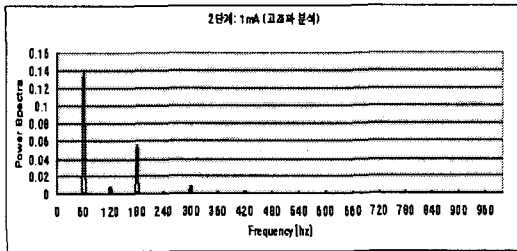
그림3(a)의 경우 fog적용 후 인가전압직 후 누설전류 파형으로서 crest value는 0.19mA을 나타내고 있다. 오염된 층의 누설저항이 주기파의 전류 0.19mA에 가지 기인된다.

Power Spectra의 경우 전 범위에서 가장 낮다.

그림3(b)는 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율은 3.49%, 5고조파 왜곡율은 0.89%이 된다.



(a)전류파형



(b) power spectra

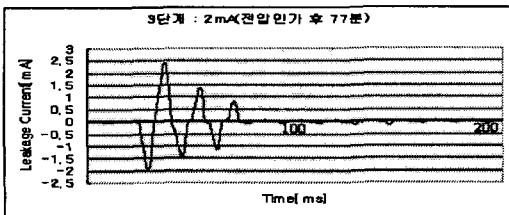
그림4. 2단계, 전압인가 후31분 후 누설전류 파형 및 power spectra

그림4(a) 오손 층이 점차 두터워지고 전류의 세기가 1mA까지 도달, 국부적인 방전이 점차 커져가므로 건조대영역이 점차 커진다.

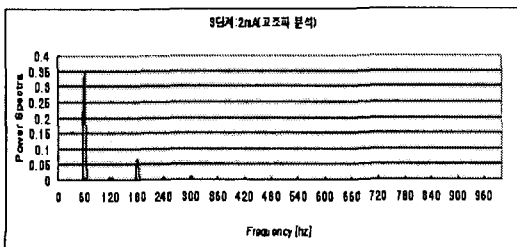
(b)에서는 power spectra의 크기도 전 범위에서 이전의 크기보다 상대적으로 증가 되고있다.

그림4(b)은 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율은 40.4%, 5고조파 왜곡율은 6.07%이 된다.

그림4(b)의 스펙트럼에 비하여 낮다.



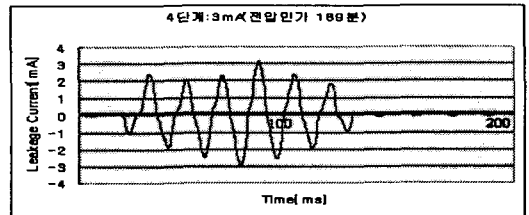
(a)전류파형



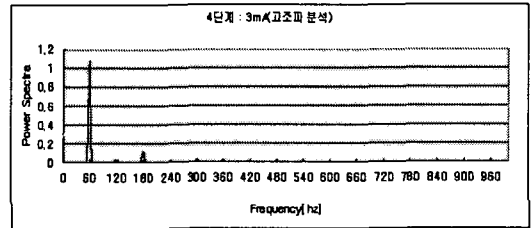
(b) power spectra

그림5. 3단계, 전압인가 후77분 후 누설전류 파형 및 power spectra

이러한 상황에서 60hz의 power spectra는 그림5(a)에서 2mA까지 Crest 값의 전류가 증가함으로 건조대의 경우 더욱 증가되어 강력한 방전을 가져오게 된다.



(a)전류파형

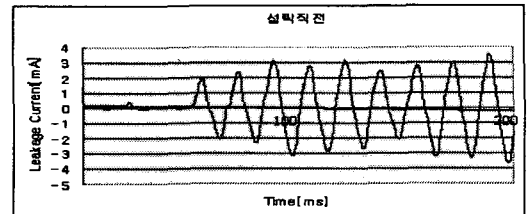


(b) power spectra

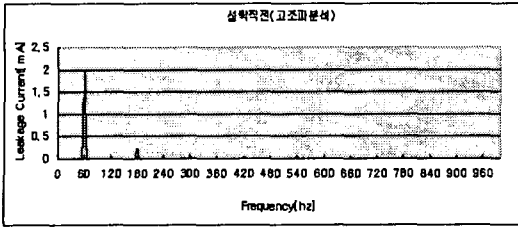
그림6. 4단계, 전압인가 후189분 후 누설전류 파형 및 power spectra.

3mA의 전류가 흐르는 점차 강력해진 방전을 포함한 누설전류가 흐르게된다. 역시 이전보다 power spectra의 크기는 전반적으로 커졌다.

그림6(b)은 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율은 14%, 5고조파 왜곡율은 2.6%이 된다.



(a) 선택적전의 누설전류 파형

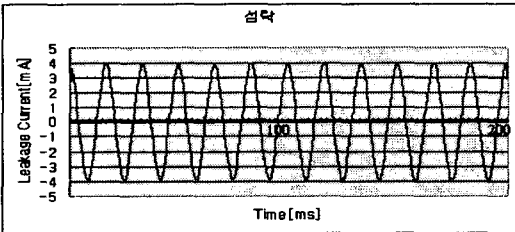


(b) 섬락직전의 누설전류 파형에 대한 Power Spectra

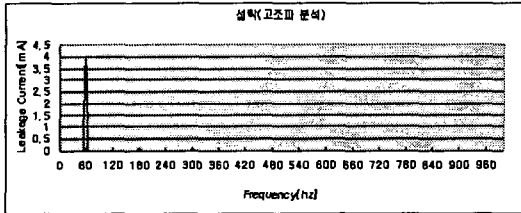
그림7.(a) 섬락직전의 누설전류파형

(b) power Spectra

그림7(a)의 경우 섬락직전의 누설전류파형으로서 crest value는 3.49mA을 나타내고, 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율은10.03%, 5고조파 왜곡율은 2.87%이다. 기본파의 증가비율은 초기상태에 비하여 80배증가되었다.



(a) 섬락직후의 누설전류 파형



(b) 섬락직후의 누설전류 파형에 대한 Power Spectra

그림8.(a) 섬락직전의 누설전류파형

(b) power Spectra

그림8(a)의 경우 섬락직후 누설전류 파형으로서 crest value는 4mA을 나타내고 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율은 2.35%, 5고조파 왜곡율은 0.72%이다.

인가전압 초기에 비하여 섬락시 전류의 증가비율은 약 20배이며, power spectra의 기본파 증가비율은 16배 증가되었다.

전반적으로 불 때 거의 방전의 대부분에서 우수(홀

수)고조파가 기수 고조파에 비하여 상대적으로 컸으며, 본 연구에서도 1000hz범위 내의 경우도 그러했다. 또한 같은 실험조건 하에서도 같은 누설전류 파형이 같은 경우는 거의 없었고, 이는 고분자의 특성, 오염층의 정도, 방전의 소멸, 온도특성, 습도 특성, 인가전압의 크기 등 다양한 변화에 의하여 방전의 형태가 다르기 때문으로 사료된다. 결과적으로 누설전류의 파형은 방전형태에 상당히 의존되고 있음을 짐작할 수 있었다.

이러한 고분자에자의 방전메커니즘으로는 clean fog시 급속한 표면저항의 급속한 감소는 없기 때문에 건조대(dry band)의 점차적인 발달에 결과하고, 애자표면의 높은 염분밀도의 퇴적은 급속한 표면저항을 감소시키기 때문에 강력한 방전과 함께 누설전류의 증가를 가져오게 된다. 더욱 큰 전류는 건조대(dry band)가 팽창되는 것을 지나치게 하므로 연속적인 방전이 일어나게 하는 것을 막는 경우가 되므로 빈번한 방전보다 간헐적인 방전 시 큰 방전이 발생하는 것으로 사료된다.

4. 결론

1. 누설전류의 기본파의 성분은 열화초기 상태에서 작지만 반면에 고분자에자의 섬락에 가까울수록 높게 나타났으며, 섬락시 가장 컸다.

누설전류의 3고조파 성분이 5고조파의 성분보다 크게 나타나고 있으며, 열화초기보다 열화가 진행될수록 커지다가 섬락에 즈음하여 급격히 감소하고 있음을 볼 수 있었다.

2. 누설전류 파형을 통하여 불 때 찌그러짐이 클수록 저주파의 고조파성분들 즉, 3고조파와 5고조파가 증가되어지고 상대적으로 파형의 뒤틀림이 적을수록 저주파 고조파 성분이 작아지며, 파형이 정현파에 가까운 부드러운 파형일수록 기본파의 성분이 크게된다. 역시 섬락시 기본파가 가장 크게 나타내었다.

3.기본파 누설전류의 저주파와 고주파 둘 사이에서 열화의 시작이나 수명의 끝을 결정하는 도구로서 이용될 수가 있음을 제안한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(02524) 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

[1] Masahisa Otsubo, Takuhei Hashiguchi, Seiji Yamashita, Naoyo Anami, Chikahisa Honda, Osamu Takenouchi, Kanji Tsurugida, Yousuke Hashimoto, Michiaki Nakamura, "Discharge and Emission Spectra on the Surface of Polymer Insulator Materials in Salt Fog Aging Test" IEEE(2001 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena), pp. 620~623,2001

[2]. Chris S. Richards, Carl L. Benner, Karen L. Butler-purry, and B. Don Russell, "Electrical Behavior of Contaminated Distribution Insulators Exposed to Natural Wetting" IEEE TRANSACTION ON POWER DELIVERY, vol. 18, pp. 551-558, 2003.

[3]. M. Hikita, M. Miyata, S. Kurihara, S. Ohtsuka, Y. Hashimoto and S. Higashi, "Discussion on discharge mechanism based on leakage current measurements of outdoor polymeric insulating materials in salt-fog test" IEEE(2002 Annual Report conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena), pp.375-378,2002

[4] Ayman H. El-Hag, Shesha H. Jayaram and Edward A. Cherney, "Influence of Shed Parameters on the Aging Performance of Silicone Rubber Insulators in Salt-fog" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 10, pp : 655-664, August 2003.

[5] M.Sato, A.Nakajima, T.Komukai, "Spectral Analysis of Leakage Current on Contaminated Insulators by Auto Regressive Method",IEEE, pp64~66,1998

[6] A.H.El-Hag, S.Jayaram and E.A.Cherney, "Fundamental and Low Frequency Harmonic of Leakage Current as a Diagnostic Tool to Study

Aging of RTV and HTV Silicon Rubber in Salt Fog", IEEE Trans. DEL,Vol.10,pp128-136,2003