

## 환경 조건에 따른 EPDM고분자애자의 누설전류파형과 스펙트럼분석

박재준\*, 김정부\*, 송영철\*\*

중부대학교\*, 경북대학교\*\*

### Leakage Current Waveforms and Spectrum Analysis of EPDM Polymer Insulator according to Environment Condition

Jae-Jun Park\*, Jeong-Boo Kim\*, Young-Chul Song\*\*

Joongbu Uni\*, Kyungbuk National Uni\*\*

#### Abstract

This research is about the result of leakage current waveform about the situation of surface leakage current and environmental changes(Salt fog, clean fog and rain) by EPDM polymer insulators' amount of salt. The researcher presents the result of changing about fundamental harmonic, 3rd harmonic and 5th harmonic from starting point of supplying power to flashover.

In this study, researched environmental affects (clean fog, salt fog and rain) about surface aging of polymer insulators and used frequency spectrum of leakage current waveform to develop the diagnostic technique of surface aging. When amount of salt contents changed, surface aging stage and the degree of aging (distortion factor) about 3rd and 5th harmonic waveform on low frequency harmonic wave. The distortion factor which is harmonic percentage about basic harmonic is important pointer to evaluate the surface condition of polymer insulators.

**Key Words** : EPDM Polymer Insulator, Harmonic, Salt fog, Distored factor, Leakage Current Waveforms

#### 1. 서론

옥외용 고분자애자에 대한 새로운 모니터링 기법이 오손이 심한 지역의 변전소나 송배전선애자에 필요되어지고 있다. 종래의 모니터링 기법으로는 많은 시간과 인력이 투여되는 경우가 보편적이었다. 그리고 섬락예지를 위하여 누설전류의 피크값 측정과 피크전류가 어느 설정된 이상값보다 크게 되어 섬락을 예지하였다. 또 다른 기법은 장기간 동안 누설전류의 피크값을 기록 그리고 오손 심각 정도나 섬락 접근 정도를 결정하기 위하여 피크의 통계적인 분포를 사용하였다. 그러나 오늘날에서는 다양한 표면열화 및 섬락에 대한 예지 및 진단기법에 대한 연구를 활발하게 하고 있다.

오손현상은 고전압장치의 설계 및 동작시 고려

되어져야 할 심각한 문제로 되어 있다. 오손이 심한 환경에 습도가 있게 되면 젖은 전도피막이 형성되어 누설전류 곧 아킹의 결과로 표면의 건조대형성을 초래하게 된다. 아크는 젖은 표면을 가로질러 갑자기 연장되어 전체 섬락으로 이끌게 된다. 교류용력하에서 오손된 애자의 섬락은 복잡한 메커니즘의 마지막 단계이다.

결국 애자의 누설전류는 소금의 양 뿐만 아니라 역시 오손의 분포, 오손층의 습도율 그리고 애자 표면의 방전거동으로 드러나고 있다.

누설전류의 피크값과 파형은 건조대(dry bands)의 형성과 고분자애자 표면방전의 발생에 기인하여 주기파형으로 각기 변형된 누설전류 파형에 기인된다.

본 연구의 목적은 EPDM고분자애자의 표면열화 상태를 예지하여 섬락을 방지하고, 고장난 경우의

애자를 미연에 교체하여 전력품질을 향상시키며, 고분자애자의 세정을 위한 기준 설정을 위하여 필요한 것이다.

위와같은 목적을 위하여 본 연구에서는 환경적인 변화 즉 salt fog, clean fog, rain의 3가지 환경조건과 salt fog의 경우 다음과 같이 10g/1000ml, 25g/1000ml, 50g/1000ml으로 혼합하여 fog 하였다. 누설전류파형은 전압인가로부터 섬락에이르기까지 일정하게 데이터 계측시스템으로부터 계측되었다. 계측된 누설전류파형은 주파수 분석을 통하여 기본 저주파 고조파 및 3고조파 그리고 5고조파에대하여 분석하였다. 그리고 환경적인 변화에 따른 고분자애자의 표면열화상태를 예지하기위한 정량화하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

누설전류의 계측은 그림1에서 나타난 실험장치를 이용하여 salt fog의 측정이 이루어졌다. 지름이 100mm인 배전용 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)고분자 현수애자를 가지고 사용하였으며, 이미 오염지역에서 서비스되어 열화가 상당히 진행된 고분자애자를 사용하였다. 자체 제작된 프로그램 (1190×1210×1670mm)에 설치된 고분자 애자를 깨끗이 세정한 후 건조시키고, 초음파가습기(Ultra Sonic Humidifier, 400cc/hr, 연속연무)를 이용하였고 salt content는 증류수(1000ml)당 0g,10g,25g,50g으로 조절하였다. Salt fog를 적용한 후 일정전압 16Kv(60hz)로 섬락 시까지 일정하게 인가하였다. 고분자애자의 누설전류는 fog를 적용함과 동시에 측정되었고, 측정하는 동안에 Digital Camcorder는 방전형태를 기록하기 위하여 사용되었다.

누설전류는 고전압을 인가하여 고분자애자의 표면을 통하여 접지로 흐르는 누설전류가 전기저항 100[Ω]의 전압강하를 통하여 영전위로 입력되게 된다. 100Ω의 전압강하를 Differential Probe(ADP305, Lecroy)을 통하여(100:1) Digital Oscilloscope (wave runner 500MHz,500MS/s, Lecroy)로 입력되어진다. 입력된 analog신호는 파형을 디스플레이 하고, 인터페이스 Lan Card를 통하여 0.1msec 샘플링주기를 갖는 A/D변환기를 경유하여 원격으로 데이터를 컴퓨터에서 매 200ms동안의 누설전류 파

형을 획득하게 된다. 획득된 데이터는 Matlab 6.5을 통하여 FFT 처리 후 시간에 따른 누설전류 파형의 최대값과 1~16고조파까지 분석이 이루어진다. 표면열화를 진단하기위하여 기본파의 저주파, 3고조파, 5고조파에 대한 왜곡률을 구하게 된다.

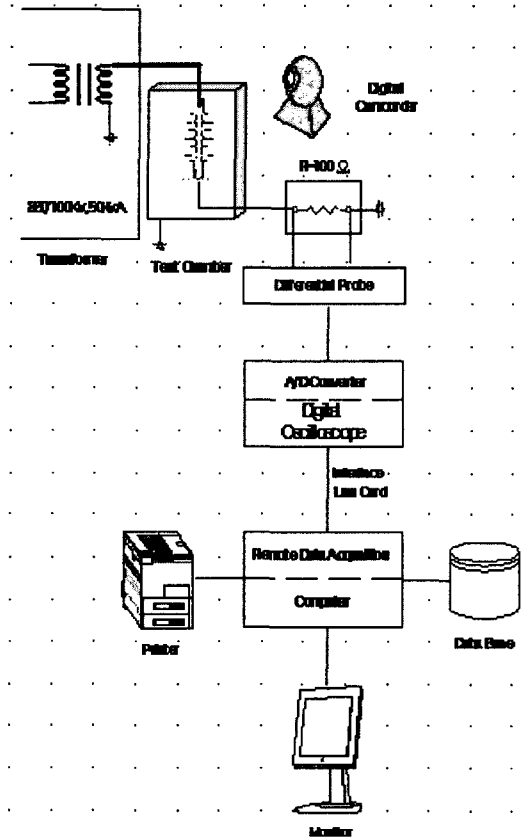


그림 1. 전체 시스템 구성도

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 salt fog에 따른 표면열화

고분자 애자의 표면에 일어나는 건조대아크(Dry-band arc)는 열화에대한 독특한 요소라 생각되어지고 대부분 고분자애자의 표면방전은 아크방전에 의한 것으로, 주파수는 수Khz정도라고 이야기 하고 있다.

누설전류 측정으로 3가지 주파수 성분영역으로 분리한바 있다. 즉, 저주파(0~120hz), 중간주파수(121hz~5Khz), 고주파수(10Mhz)로 구분하며 저주

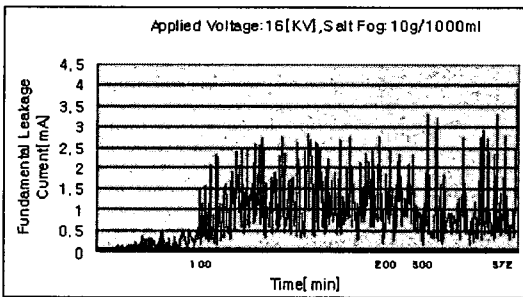
파는 전도전류성분을, 중간 주파수는 건조대아크 성분을, 고주파대는 코로나 성분과 일치함을 보고한바 있다.<sup>(12)</sup>

스펙트럼의 결과 나타내는 몇가지 특성으로서 누설전류성분은 대체적으로 홀수 고조파이고, 스펙트럼은 주파수와 함께 감소하고 있으며, 이들 주파수는 기본파를 중심으로 3고조파 및 5고조파를 중심으로 보여준것이다.

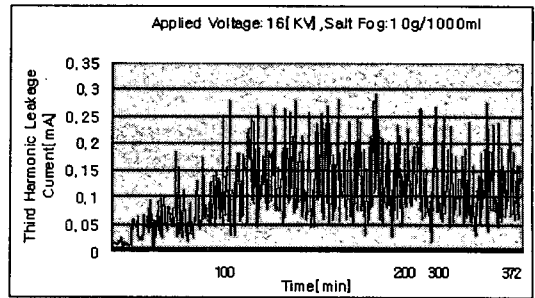
그림2(a)는 10g/1000ml로 혼합된 소금물을 salt fog한후 계측된 누설전류의 스펙트럼 분석에서 기본파(60hz)에 대한 누설전류크기를 나타낸 경우이다. 전압인가로부터 100분정도에 이르기까지 정비례한 누설전류파형을 갖게되고, 그 이후로부터 섬락에 이르기까지 증가와 감소를 거듭하면서 기본파 누설전류를 나타내고 있다.

그림2(b)와 2(c)는 전압인가로부터 섬락에이르기까지 누설전류의 3고조파(180hz) 및 5고조파(300hz)에대한 스펙트럼을 나타내고 있다.

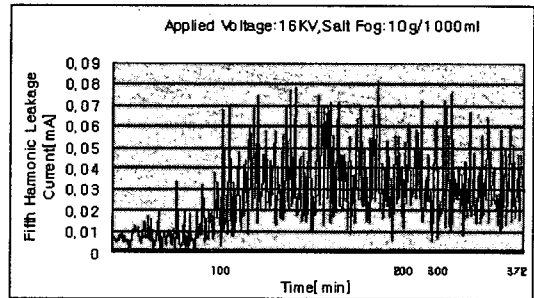
유사하게 누설전류의 성분 중 열화100분정도는 기본파의 전류성분이 작았고 그 이후로부터 섬락에 이르기까지 기본파의 전류성분 및 3고조파 그리고 5고조파 성분도 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 전도성전류와 건조대 아크방전시 발생된 복합방전으로 인하여 누설전류가 크게 흐른다고 사료된다.



(a)기본파 성분



(b)3고조파 성분



(c)5고조파 성분

그림 2. 10g/1000ml소금물을 fog한 경우 누설전류 및 스펙트럼

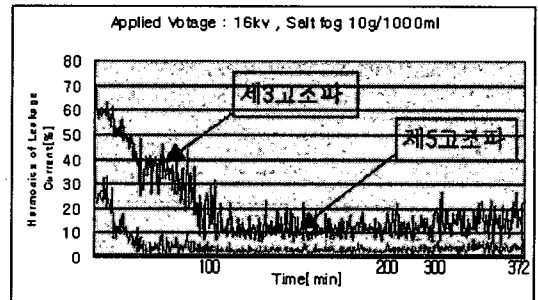


그림 3. 10g/1000ml의 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분의 왜곡도

그림3은 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분을 백분율로서 표현된 누설전류파형에대한 왜곡율(찌그러짐)을 나타낸것이다.

이러한 찌그러짐의 근본원인은 기본파에 저주파 고조파의 합성으로 인한 파형중첩에의한 것으로서, 그림3에서 보여준 것처럼 3고조파는 100분을 경계로하여 시간에 반비례하는 양상을 보이고 있고, 5고조파의 경우는 좀더 일찍 포화상태를 가져왔다.

포화상태의 시작으로부터 섬락에이르기까지 3고조파는 10%대로, 5고조파는 4~5%대로 일정하게 유지하면서 섬락에 이르고 있다. 결과적으로 100분 이후는 거의 건조대아크방전에 의한 열화가 이루어지고 있음을 말하여 준 것이다.

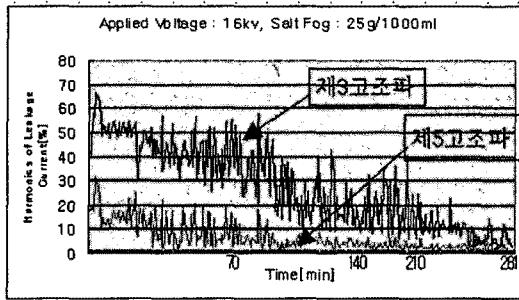


그림 4. 25g/1000ml의 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분의 왜곡도

그림 4에서는 25g/1000ml, 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분의 백분율을 나타낸 것으로 3고조파 전류성분은 열화초기에는 67%정도로 높았던 것이 열화시간에 따라 반비례하는 경향을 보이고 있다. 이는 열화초기에는 찌그러짐이 큰 전류펄스의 발생을 의미하고 백분율이 거의 제로에 가깝다는 의미는 전형적인 주기파인 사인파의 형상에 가까움을 의미한 것으로서 섬락에 가까워지고 있음을 의미한 것이다. 또한 전도성의 전류성분이 점차로 많아진다는 것도 의미한 것이다.

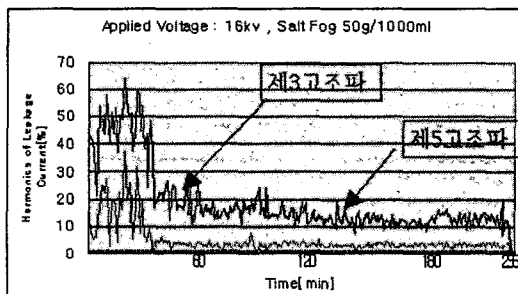


그림 5. 50g/1000ml의 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분의 왜곡도

그림 5에서 3고조파는 40분정도까지는 감소하는율이 크지만 그 이후는 약하게 감소하면서 섬락에 가까워지면 더욱 작아지는 경향을 보이고 있다. 더

불어 5고조파는 40분 정도에서 급강하하여 섬락시까지 포화되는 경향을 보이고 있다., 3고조파의 포화상태는 20~10%, 5고조파는 거의 2~3%정도로 머물다 섬락에 이르고있다.

#### 4. 결론

스펙트럼의 결과 나타내는 몇가지 특성으로서 누설전류성분은 대체적으로 홀수 고조파이고, 스펙트럼은 주파수와 함께 감소하고 있으며, 이들 주파수는 기본파를 중심으로 3고조파 및 5고조파 정도의 이용이 표면열화를 평가하는데 타당한 정도로 사료됨.

전도성전류와 건조대 아크방전시 발생된 전류파형의 중첩에 의한 복합적인 방전의 결과인 누설전류가 크게 흐른다고 사료된다.

또한 저주파 고조파들과 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 성분의 백분율을 이용하여 고분자 애자의 표면조건을 평가하는데 필요한 지시자라는 사실을 알수 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] Jae Jun Park, Young Chul Song, Doo Hyun Choi, "A Flashover Prediction Method for Contaminated Insulators using a Stochastic Analysis of Leakage Current", Journal of Japan Applied Physics, 2004.5
- [2] M.Sato, A.Nakajima, T.Komukai, "Spectral Analysis of Leakage Current on Contaminated Insulators by Auto Regressive Method", IEEE, pp64~66, 1998
- [3] 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.
- [4] Felix Amarth, George G. Karady, and Raji Sundrarajan "Linear Stochastic Analysis of Polluted Insulator Leakage Current" IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, pp : 1063-1069, OCTOBER 2002.
- [5] 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
- [6]. 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
- [7]. 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.
- [8] Alyman H, El-Hag, Shesha H. Jayaram and Edward A. Cherney, "Fundamental and Low Frequency Harmonic Components of Leakage Current as a Diagnostic Tool to Study Aging of RTV and HTV Silicone Rubber in Salt-Fog, IEEE, Vol 10, No1, 2003
- [9] Nam Ho Choi, Jae Hoon Kim, Knag Sik Park, Kyung Wan Koo, Sang Ok Han, "DEGRADATION CHARACTERISTICS OF THE OUTDOOR INSULATION MATERIAL BY SALT FOG" pp : 359-362, Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials, in conjunction with 1998 Asian International Conference on Dielectrics and Electrical Insulation and the 30th Symposium on Electrical Insulating Materials, Toyohashi, Japan, Sept. 27-30, 1998.
- [10] K.J. Lloyd and H.M. Schneider, "Insulation for Power Frequency Voltage", in transmission line reference book (345kv and above) Palo Alto, CA: EPRI, 1982
- [11] N. Dhahbi-Megrache and A. Beroual, "Flashover Dynamic Model of Polluted Insulators under ac Voltage", "IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol 7, No 2, pp. 283-289, 2000
- [12] Tsuyoshi Hisatsunc, et al: "Construction of Leakage Current Measuring System to Separate it into Three Frequency Components for Evaluating Surface Degradation of Polymeric Insulating Materials", Trans. IEEE of Japan, Vol. 122-B, No. 4, pp 486-491, 2002