

## 여러 환경 조건에 의한 Silicon애자의 표면열화 진단기술

박재준\*, 정명연\*, 이승욱\*, 김정부\*, 송영철\*\*, 김희동\*\*\*

\*중부대학교, \*\*경북대학교, \*\*\*한전전력연구원

### Diagnosis Technique of Surface Aging according to Various Environment Condition for Silicon Polymer Insulator

Jae-Jun Park\*, Myeong-Yeon Jung\*, Seung-Wook Lee, Jeong-Boo Kim\*, Young-Chul Song\*\*,

Hee-Dong Kim\*\*\*

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

#### Abstract

This paper presents the results of spectral analysis of leakage current waveforms on contaminated insulators under various fog and environment conditions(.salt fog, clean fog, rain)

The larger the leakage current during 200ms, the higher the power spectrum at 60Hz. For almost equal maximum current during 200ms, however, the spectrum at 60hz and the odd order harmonics increase emphatically when discharges occur continuously for several half-waves.

If contaminated insulators suffers from high salt-density fog, the leakage current occurs with high crest value intermittently, results in the low spectrum.

Analysis of leakage current data showed that this electrical activity was characterized by transient arcing behavior contaminants are deposited on the insulator surface during salt fog tests. This provides a path for the leakage current to flow along the surface of the insulator .It is important to have an indication of the pollution accumulation in order to evaluate the test performance of a particular insulator .If the drop in surface resistivity is severe enough, then the leakage current may escalate into a service interrupting flashover that degrade power quality.

#### 1. 서론

오손된 고분자애자 고장(failure)는 송.배전 시스템의 전력품질의 원인으로 오랫동안 만연되어 왔다. 고장과정은 공수된 오손물질들은 안개,비,또는 이슬로부터 애자 표면상 전도되는 오손영역을 형성하여 습도와 함께 결합될 때부터 시작된다. 이것은 전류가 애자들을 가로질러 전도되게 하는 표면저항이 떨어지는 결과를 가져온다. 자연적인 세정이 이루어지든지 아니면 인공적으로 세정을 시키든지 하지 않으면 이러한 전기적인 활동이 섬락(애자 고장)의 형성으로 과전류결함으로 결국 확대될 것이다. 송전선 애자들에서 일어나는 섬락은 배전선애자들에서 나타난 유사한 사건 보다 더욱

해로운 영향을 받는다.

일반적으로 실리콘고무로 만들어진 고분자애자는 EPDM고분자애자에 비하여 오손에는 항상 되어진 강한 퍼포먼스를 보여왔다.

그 차이는 실리콘재료는 혹독한 날씨에도 오래 동안 노출된 후에도 소수성(Hydrophobic)을 유지하고, EPDM재료는 날씨에 노출기간이 짧은 기간 후에도 친수성(Hydrophilic)으로 되기 때문이다. 오손과정도 친수성 때문에 EPDM애자의 섬락메커니즘은 자기애자와 유사하다. 고전압애자의 오손의 종류는 크게 두가지 타입이었다. 즉, 해안과 공장 지역이다. 이들의 애자들은 해안지역에 위치한 애자들은 해안의 오손에 노출되어 있다. 바람은 해안

으로부터 애자로 수분을 포함한 소금물 방울을 이송시키고, 욕지로부터의 바람은 먼지 또는 애자표면으로 공수된 입자들은 다소 균일한 오손층을 만든다. Salt fog 챔버는 해안조건외의 고분자애자 가속열화를 시뮬레이션하기 위한 것이고 그리고 해안지역 산업단지외의 오손은 더욱 심각한 조건외의 오손을 만든다.

본 연구에서는 오손된 배전용 실리콘 고분자애자를 이용하여 포그챔버내에서 여러 가지 환경적인 결합을 모의 하였다. 즉, 염무(salt fog)의 모의는 증류수에 소금을 50g/1000ml로 혼합한 오손물질을 초음파가습기를 이용하여 섬락시까지 일정하게 분무하였다. 아침이슬/안개과 같은 경우를 모의하기 위하여 clean fog을 실시하였으며, 주수실험을 모의하기 위하여 우천시 빗물을 보관하여 주수장치에서 주수하여 누설전류파형을 구하였다. 여러 가지 경우의 환경조건에 따른 누설전류파형을 통한 스펙트럼의 변화양상을 구하여 열화의 원인에 고조파의 성분 및 분포양상을 구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

누설전류의 계측은 그림1에서 나타낸 실험장치를 이용하여 clean fog 및 salt fog 그리고 Rain의 실험에 의하여 측정되어 이루어졌다. 지름이 100mm인 배전용 silicon rubber의 재질을 갖는 현수애자로서, 94년 미국산 제품으로서 이미 오염지역에서 서비스되어 열화가 상당히 진행된 고분자애자를 사용하였다.

자체 제작된 포그챔버 (1190×1210×1670mm)에 설치된 고분자 애자를 깨끗이 세정한 후 건조시키고, 초음파 가습기(Ultra Sonic Humidifier, 400cc/hr, 연속연무)를 이용하였고 salt content는 증류수(1000ml)당 50g으로 하였다. Salt fog를 적용한 후 일정전압 20Kv(60hz)로 섬락 시까지 일정하게 인가하였다. 고분자애자의 누설전류는 fog를 적용함과 동시에 측정되었고, 측정하는 동안에 Digital Camcorder는 방전형태를 기록하기 위하여 사용되어졌다. 주수실험은 분당 56ml의 주수량을 갖는 챔버를 이용하여 실험하였으며, clean fog의 실험은 초음파가습기를 이용하여 증류수를 포그포그하였다. 누설전류는 고전압을 인가하여 고분자애자의 표면

을 통하여 접지로 흐르는 누설전류가 전기저항 100[Ω]의 전압강하를 통하여 영전위로 입력되게 된다. 100Ω의 전압강하를 차동푸르브(ADP305, Lecroy)을 통하여(100:1) 디지털오실로스코프(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 파형을 획득하게 된다. 획득된 데이터는 Matlab 6.5을 통하여 스펙트럼을 분석하게 된다. 여러 경우의 환경조건과 누설전류 파형 그리고 스펙트럼과의 상관관계를 구하게 된다.

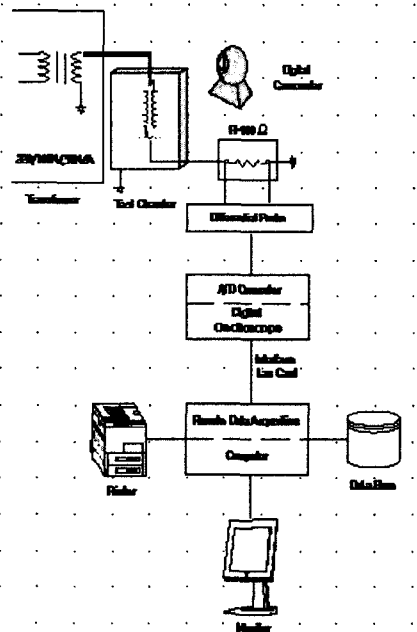


그림 1. 전체 시스템 구성도

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. Salt Fog

그림2의 경우는 salt fog 적용으로부터 섬락시까지 매 200ms시 마다 누설전류 최대값의 변화양상을 나타내고 있다. 일반적으로 누설전류는 섬락시까지 점진적으로 증가하게 된다. 그림2(a)~그림2(f)까지 200ms동안 그림2에서 지시된 부분의 누설전류파형과 그 파형에 대한 스펙트럼을 나타내고 있다.

그림2(a)는 전압인가초기에 발생된 누설전류파형으로서 최대 0.1mA의 왜곡된 전류파형으로서 주파수스펙트럼의 경우 기본파 최대값이 0.005로서 미약하였고 섬락시까지 홀수 고조파의 우세경향을 나타내고있다. 그림2(b)로부터 섬락직전인 그림2(e)까지는 표면의 국부적인 건조대 아크 발생 및 주기적인 전류파형의 중첩으로 인하여 누설전류의 증가를 나타내고 있고 그리고 스펙트럼분석의 경우도 기본파 증가와 더불어 3고조파 및 5고조파도 점진적으로 증가되고있다. 섬락이 가까워 질수록 기본파의 크기는 3고조파 및 5고조파에 비하여 상대적으로 크게 증가되고있다.

섬락직전에서는 최대로 격렬한 표면방전이 발생되고있음을 볼 수가 있다.

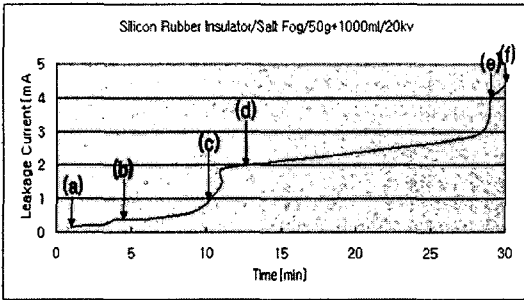


그림 2.열화 시간에따른 누설전류파형의 변화 (salt fog시)

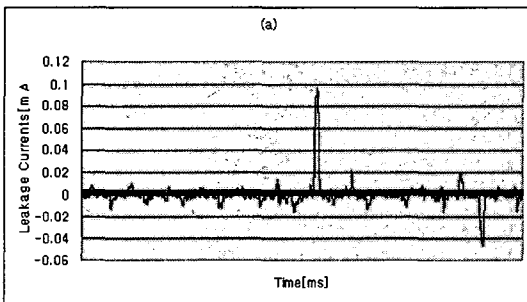


그림 2(a) 누설전류파형.

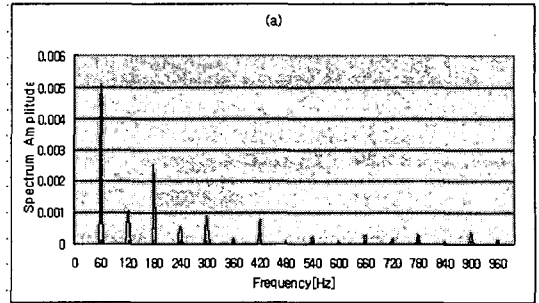


그림 2(a)누설전류파형에 대한 스펙트럼

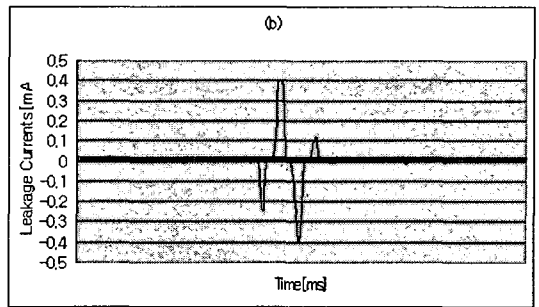


그림 2(b) 누설전류파형

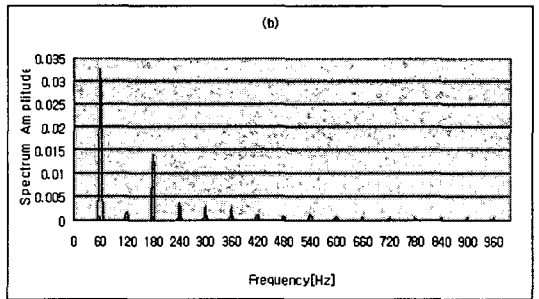


그림 2(b)누설전류파형에 대한 스펙트럼

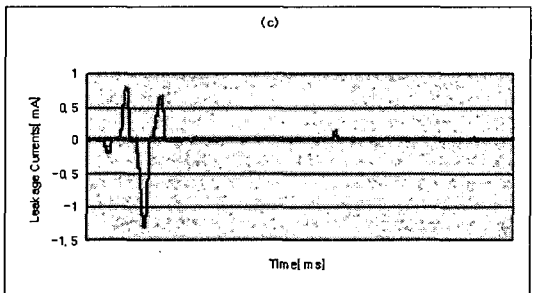


그림 2(c) 누설전류파형

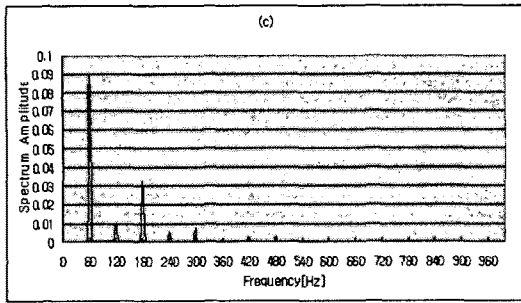


그림 2(c) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

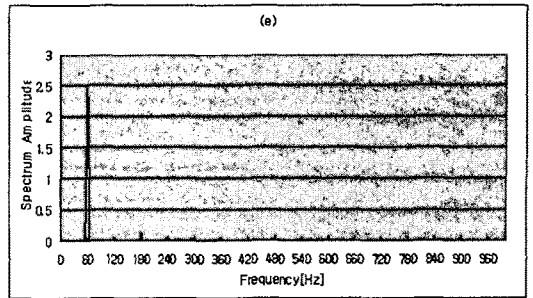


그림 2(e) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

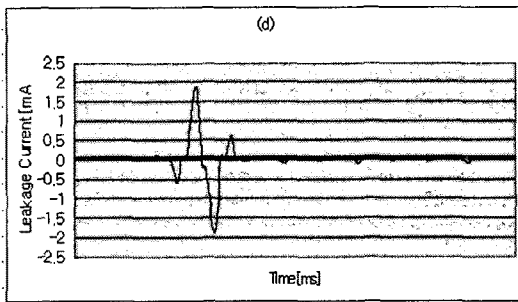


그림 2(d) 누설전류파형

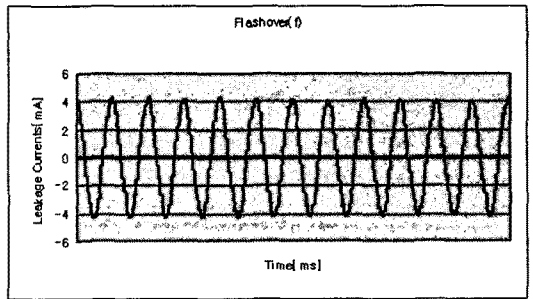


그림 2(f) 누설전류파형

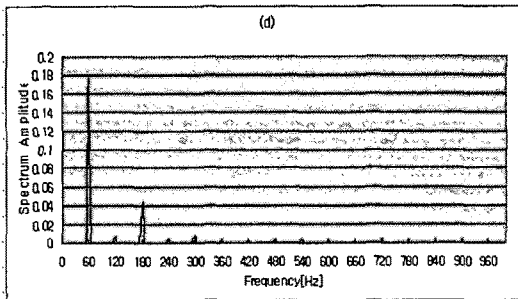


그림 2(d) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

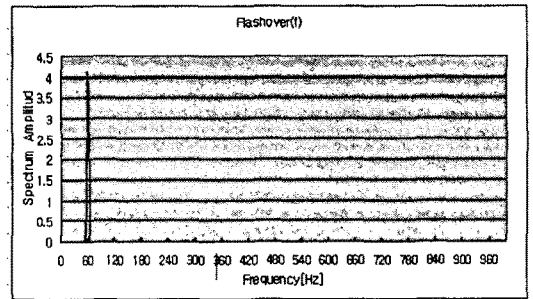


그림 2(f) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

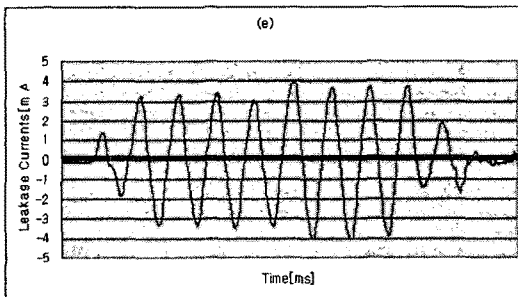


그림 2(e) 누설전류파형

### 3-2. Rain

고분자애자 표면저항의 떨어짐 결과는 물방울의 갑작스런 떨어짐이 증가되어 애자표면을 가로지르는 전류전도가 현격하게 증가되어지기 때문이다. 오손의 정도에 따라 전기적인 방전활동이 변화되어 표면저항이 현격하게 떨어지는 결과를 가져온 것이다.

주수에 의한 물방울의 충돌에 의한 아크성분과 표면이 가지는 일정상태 저항성분이 증착되어 용광성 전류에 더해지는 결과로서 누설전류파형을 볼수 있다. 주수의 경우 누설전류 변화치는 0.2mA

이하범위를 나타내었고 섬락시까지 급증하는 양상을 보여주고 있다.

그림2(e)의 경우는 salt fog시 아크에 의한 누설전류파형과 주수시 누설전류파형은 유사하지만 스펙트럼의 차이는 약 40배의 차이를 나타내고있다.

전기적인 활동의 두가지 중요한 특성이 그림으로부터 추출되어 될 수있다.

첫째: 아크의 에너지는 대체로 저주파 홀수의 고조파에 집중되어졌다.

둘째: 누설전류에 아크에너지의 기여는 주파수의 증가에 따라 대체로 감소된다.

### 3-3. Clean Fog

clean fog시 오손된 실리콘에자의 전기적인 활동은 비교적 다른 환경조건에 비하여 누설전류의 크기가 미약하였다. 주수시의 경우는 주기파의 전류파형을 나타내고 있고, clean fog시는 찌그림이 더욱 크고 주파수 스펙트럼의 경우 열화 초기상태를 비교할 때 기본파가 17배의 차이를 나타내고있다. 열화말기에서는 약 56배의 스펙트럼차이를 나타내고있다. 오손이 없다면 누설전류가 만들어지는 정도는 극히 미미하겠지만 결국 오손에 의한 누설전류의 발생으로 볼수가 있다.

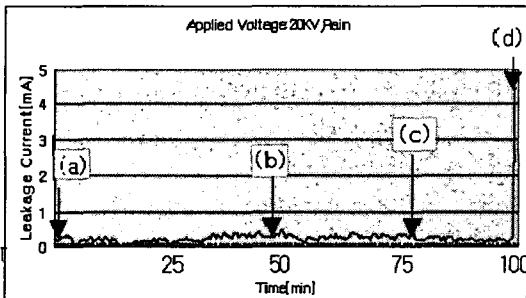


그림 3. 열화 시간에 따른 누설전류파형의 변화 (주수환경시)

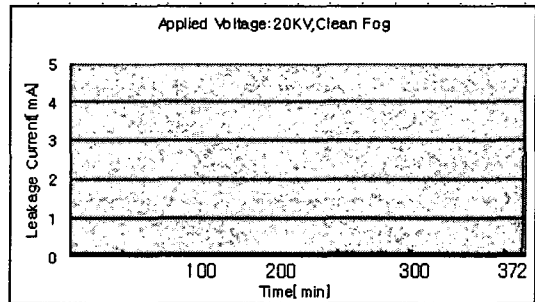


그림 4. 열화 시간에 따른 누설전류파형의 변화 (clean fog시)

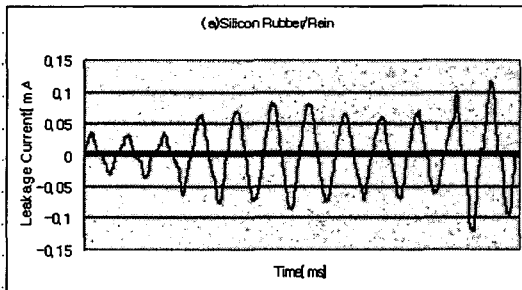


그림 3(a). 누설전류파형

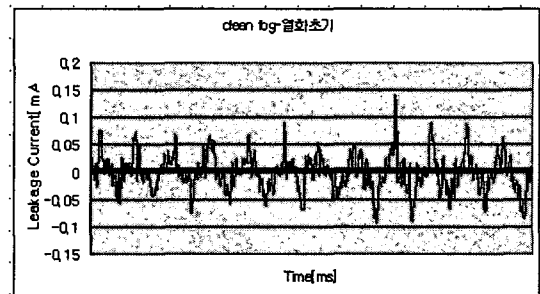


그림 4(a) 누설전류파형

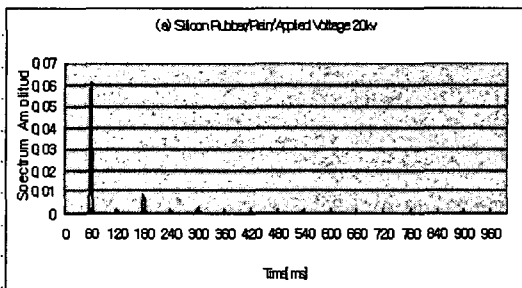


그림 3(a) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

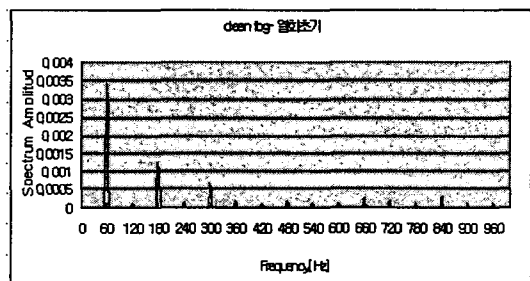


그림 4(a) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

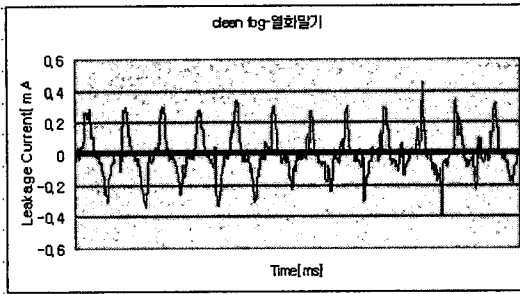


그림 4(b) 누설전류파형

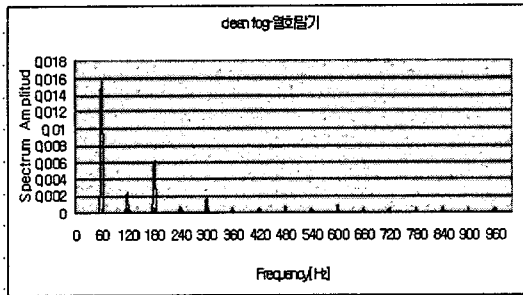


그림 4(b) 누설전류파형에 대한 스펙트럼

#### 4. 결론

애자의 고장을 미리 예방하게 되면 배전 및 송전의 전력품질 향상이 이루어질 수 있을 것이다.

이전의 실험들은 누설전류파형을 이용하는 것보다 오히려 피크값을 이용하여 평균화된 값으로 시간에 따라 경향을 나타내는 연구에 주력하였다. 본 연구에서는 오손된 실리콘 고분자애자 열화초기로부터 섬락시까지 누설전류파형의 변화 및 주파수 분석을 중점적으로 연구하였다.

각기 다른 환경적인 조건에 의해서 누설전류파형 패턴은 각각 각색으로 나타나고, 주파수 분석의 경우 열화가 이루어짐으로서 고조파의 주파수 증가에 따라 감소되는 경향을 나타내었다. 반대로 기본파의 고조파는 오히려 증가되었다.

아크방전은 clean fog 거의 발생이 이루어지지 않았고 표면이 깨끗하면 역시 아크의 발생이 일어나지 않는다. 결국 표면의 오손 및 열화는 표면방전을 유도하게 된 결과를 가져온다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전

력공학공동연구소(02524) 주관으로 수행된 과제임.

#### 참고 문헌

- [1] M.Sato, A.Nakajima, T.Komukai, "Spectral Analysis of Leakage Current on Contaminated Insulators by Auto Regressive Method", IEEE, pp64~66, 1998
- [2] 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.
- [3] 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
- [4]. 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
- [5]. 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.
- [6] Alyman H, EI-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