

논문 17-10-18

환경조건의 변화에 따른 EPDM 애자의 표면 오손정도의 진단기술

Diagnosis Technique of Surface Contamination Degree for EPDM Insulator according to Variation of Environment Condition

박재준^{1,a}, 최인혁², 김정부¹
(Jae-Jun Park^{1,a}, In-Hyuk Choi², and Jeong-Boo Kim¹)

Abstract

The waveforms of the leakage currents for the surface discharge according to the degree of salt contamination and the variation of environmental condition on the EPDM polymer insulators, were shown in this paper. The variation phenomena of fundamental wave, 3rd and 5th harmonic waveforms were also shown from the beginning of the applied voltage and to the flashover voltage. To develop the technique of percentage contamination degree of EPDM polymer insulator according to the variation of environmental condition, the distortion degree of 3rd and 5th harmonic wave to the fundamental wave was utilized through the spectrum analysis for the waveforms of leakage current in the simulation of salt and fog test. The fact that distortion degree % of 3rd and 5th harmonics for fundamental wave is a necessary indicator for the assessment of contamination degree for the polymer insulators, was known.

Key Words : Contamination degree evaluation, Arc discharge, Leakage current, EPDM polymer insulator, Degree of distortion

1. 서 론

옥외용 고분자애자에 대한 새로운 모니터링 기법이 오손이 심한 지역의 변전소나 송.배전선 애자에 요구되어지고 있다. 종래의 모니터링기법으로서 많은 시간과 인력이 투입되는 경우가 보편적이였다. 그리고 섬락예지를 위하여 누설전류의 피크값이 어느 설정된 이상 값 보다 크게 되면 섬락이 발생할 것으로 예지하였다[1]. 또 다른 기법

으로, 장기간동안 누설전류의 피크값을 기록하여 오손의 심각정도나 섬락 접근정도를 결정하기 위하여 피크의 통계적인 분포를 사용하였다[2]. 그러나 오늘날에는 다양한 표면열화 및 섬락에 대한 예지 및 진단기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,3,4].

오손현상은 고전압장치의 설계 및 동작 시 고려되어져야할 심각한 문제로 되어있다. 오손이 심한 환경조건하에서 오손물질이 애자의 표면에 누적되고 그 후 이슬의 누적, 안개 또는 가랑비의 원인으로 인하여 습도가 있게 되면, 젖은 전도피막이 형성되어 누설전류의 흐름이 형성되게 된다. 누설전류의 흐름에 대한 방해는 곧 아킹의 결과로 표면의 건조대 형성을 초래하게 된다. 아크는 젖은 표면을 가로질러 순식간에 연장되어 전체섬락으로 이어지게 된다. 교번용력 하에서 오손된 애자의 섬

1. 중부대학교 전기전자공학과
(충남 금산군 추부면 대학로 101)
2. 한전전력연구원 전력계통연구실
a. Corresponding Author : jipark@joongbu.ac.kr
접수일자 : 2004. 5. 3
1차 심사 : 2004. 6. 9
2차 심사 : 2004. 8. 5
심사완료 : 2004. 8. 30

락은 복잡한 메커니즘의 마지막 단계이다[1,5].

결국 애자의 누설전류는 소금의 양 뿐만 아니라 오손의 분포, 오손층의 습도율 그리고 표면의 방전 거동으로 드러나게 된다. 누설전류의 피크 값과 파형은 건조대(dry bands) 형성과 애자 표면방전 발생에 기인되어 주기적 형태에서 변형된 파형이 발생되게 된다.

본 연구의 목표는 EPDM애자의 표면 오손도를 평가하여, 섬락을 예방하고, 고장난 경우의 애자를 미연에 교체하며, 전력품질 향상 및 고분자애자의 세정을 위한 기준 설정이 필요하게 된 것이다. 이러한 이유로 본 연구에서는 환경적인 변화 즉 염무(salt fog), 안개(clean fog), 주수(rain) 등 3가지 환경조건을 모의하였다. 일정전압을 섬락 시까지 인가하였고, 누설전류파형은 계측된 시스템으로 전압인가로부터 섬락에 이르기까지 일정하게 계측하였다. 계측된 누설전류파형은 주파수 분석을 통하여 기본주파수 및 3고조파 그리고 5고조파에 대하여 분석하였고, 표면의 환경에 따른 오손도 평가를 예시하기 위하여 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파의 왜곡도를 정량화된 값으로 표현하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

누설전류의 계측시스템은 이전의 연구[3]와 동일한 방법으로 이루어졌다. 환경조건의 변화 즉, 염무 및 안개 그리고 주수시 조건은 다음과 같다. 안개 및 염무시, 소금의 양과 증류수 양의 비율 중량적으로 증류수 1000 ml당 소금의 양을 0, 10, 25, 50 g으로 가혹하게 설정하였다. 전압 16 kVrms을 인가 후, 환경조건을 적용함과 동시에 측정이 이루어졌다. 또한 전압25 kV인가 후 주수 실시와 동시에 누설전류파형을 측정하였다. 주수시 분당 약 56 ml씩 일정한 수압으로 EPDM 애자표면에 40[°]의 주수각으로 일정하게 주수하였다.

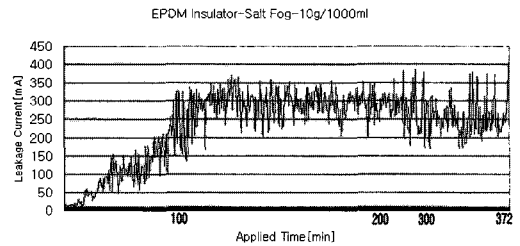
3. 결과 및 고찰

3.1 염무

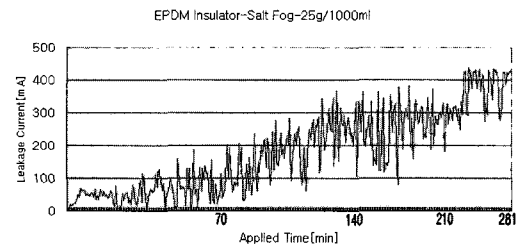
3.1.1 누설전류

그림 1(a)에서는 소금 10 g을 혼합한 경우로서, 염무개시로부터 120분 정도까지는 시간에 따라 전류파형의 피크 값이 일정한 비율로 증가하였다. 이후 섬락시까지 간헐적인 표면의 아크방전 발생과 누적된 소금양의 누적으로 부분섬락에서 섬락으로 이어졌다. 120분 이후 파형의 크기는 200 mA~380

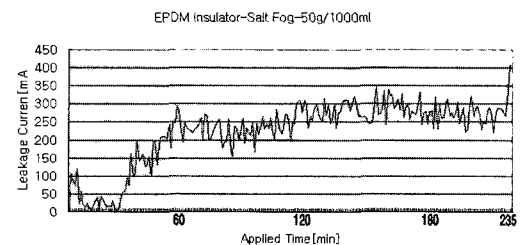
mA정도를 그리고 섬락시 400 mA에 이르렀다. 그림 1(b)에서는 25 g 소금을 증류수에 혼합한 경우로서, 누설전류 파형의 피크 값에 대한 시간변화 대한 경향을 나타내고 있다. 그림 1(a)와 유사한 증가 경향을 나타내고 있으며, 섬락에 이르는 시간은 소금의 함량이 증가될수록 짧았다. 그림 1(c)에서는 50 g의 소금을 증류수에 혼합한 경우이다. 소금의 함량비는 그림 1(a)을 기준으로 할 때 그림 1(b)는 2배, 그림 1(c)는 5배로서, 200 mA에 도달 시 그림 1(a)는 77분, 그림 1(b)는 73분, 그림 1(c)는 34분에 이르렀다.



(a) Peak value of leakage current
(Applied Voltage:16 kV, Flash over time:372 min)



(b) Peak value of leakage current
(Applied Voltage:16 kV, Flash over time:281 min)



(c) Peak value of leakage current
(Applied Voltage:16 kV, Flashover time:235 min)

그림 1. 소금함량의 변화에 따른 누설전류크기.
Fig. 1. Magnitude of leakage current according to variation of salt contents.

오손물질인 염무가 연속적으로 인가되면 소금의 농도가 높은 것일수록 표면의 트래킹과 표면방전 개시가 빨라지게 될 것이고, 오손물질의 전도도는 더욱 크게 증가될 것이다. 전도도가 크게 증가되면 될 수록 표면의 아크방전은 더욱 커지게 될 것이다. 표면방전이 발생되게 되면 방전열, 즉, 건조대 아크의 증가는 표면열화를 가속시키는 원인이 되어 발수성이 더욱 떨어지는 상태에 이르게 되어 쉽게 심락에 이르게 될 것이다.

3.1.2 염무시 고조파분석 및 왜곡률의 변화

① 염무: 10 g / 1000 ml

M. Hikita의 연구자들은, 세가지 주파수성분 영역을 분리하여 연구한 바, 저주파(0~120 Hz), 중간주파수(121~5 kHz), 고주파(10 MHz)로 분리하여, 저주파는 전도성의 진류로서, 중간주파수는 건조대아크 그리고 고주파는 코로나방전으로 보고한 바 있다. 주파수 성분을 추출하여 고분자재료의 열화특성을 평가하는데 효과적으로 이용할 수가 있을 것이다[5].

그림 2(a),(b),(c),(d)는 증류수 1000 ml에 소금10 g을 혼합한 용액을 초음파가습기를 이용하여 염무를 적용하였다. 그림 2(a)는 계측된 누설전류파형을 스펙트럼 분석 결과 기본파(60 Hz)의 성분을 전압인가로부터 심락에 이르기까지 시간에 따라 나타낸 것이다. 전압인가로부터 100분정도까지는 스펙트럼의 크기가 50 mA이하를, 이후 200분 정도까지는 250 mA정도를, 심락 시까지 간헐적으로 큰 스펙트럼(250~400 mA)의 발생과 더불어 심락에 이르렀다. 그림2(b)(c)에서는 3고조파(180 Hz) 및 5고조파(300 Hz)성분의 스펙트럼 변화를 나타내고 있다. 45분정도까지 3고조파의 크기는 0.5~1.5 mA, 5고조파의 경우 0.1~1.5 mA, 이후로부터 심락 전까지 3고조파의 경우 3~27 mA, 5고조파의 경우 0.5~7 mA를 기록하고 있다. 스펙트럼의 크기를 비교하면 다음과 같다. 전압인가로부터 45분정도까지, 기본파에 대한 3고조파는 0.36배, 기본파에 대한 5고조파는 0.06배로 기본파에 대한 5고조파는 10²배의 차이를 나타내고 있고, 이후 심락 시까지 기본파에 대한 3고조파는 0.08배, 5고조파는 0.021를 기록하였다. 그림 2(d)는 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 백분율 %을 나타내고 있다. 3고조파 %는 전압인가로부터 45분까지는 25~65 %를 기록 하였고, 이후 심락 시까지는 20 %로 일정하였고, 더불어 5고조파 %는 인가전압로부터 106까지의 경우 10~30 %, 이후 심락 시까지 4 %로 일정한 값을 유지하여 심락에 이르렀다. 이상의 결과를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 스펙트럼분석(10 g/1000 ml).

Table 1. Analysis of spectrum salt Fog:10 g/1000 ml.

	~45분	심락 전까지	심락 시
Fundamental	25	30~330	393
3rd Harmonic	1.9	3~27	13
5th Harmonic	0.1~1.5	0.5~7	2.5

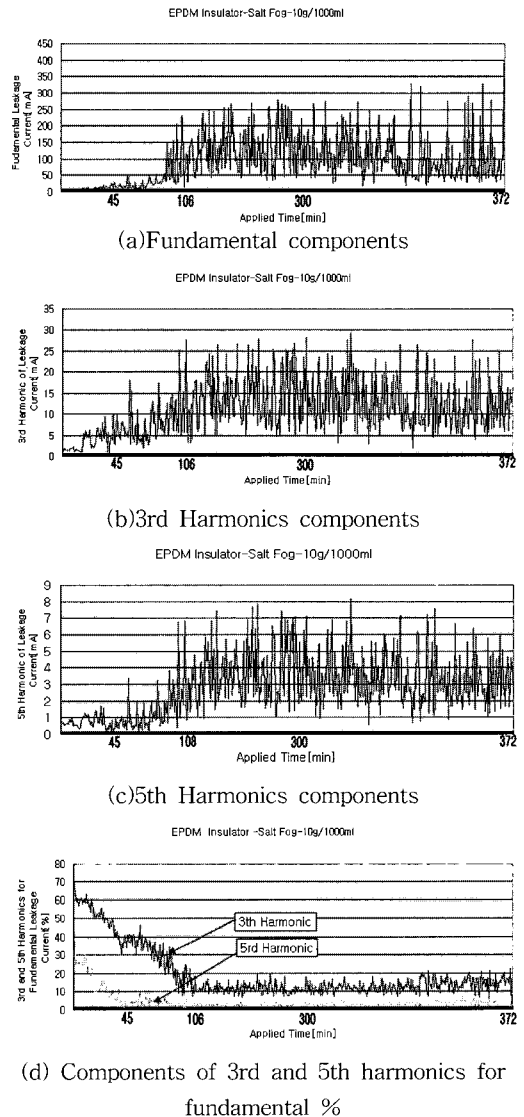


그림 2. 누설전류에 대한 스펙트럼의 분석.

Fig. 2. Analysis of spectrum for leakage current (applied voltage:16 kV, salt Fog:10 g/1000 ml).

기본파의 성분크기가 시간에 따라 크게 변화 되고 있다. 즉, 45분을 경계로 하여 현격한 차이를 나타내고 있다. 이는 전도성전류와 아크성 전류와의 차이를 나타내고 있는 것이다. 전압인가 직후에는 왜곡이 큰 누설전류파형 그림 2(d)에서 65 %을 나타내었고, 이후 염무가 지속적으로 인가됨으로서 고분자에자 표면에는 전도성이 높은 오염물질인 소금성분의 값이 점차로 증가될 것이다. 증가되면 될 수록 왜곡이 적은, 애자에 인가된 전원전압(60 Hz)의 누설전류파형이 계속된 것이다. 45분 이후 섬락시 까지 전도성성분과 아크성 성분의 중첩된 파형의 결과로서, 지속적인 염무는 표면의 전도성을 한층 크게 하여 주고 전류의 크기를 증가시키며, 표면의 아크방전은 파형의 찌그러짐을 증가시킨다. 또한 Masahisa Otsubo는 염무를 인가한 경우 계속된 광신호의 스펙트럼 분석으로부터 3고조파성분의 존재는 고분자에자 표면의 얇은 수막에 흐르는 누설전류가 도전성이라는 사실은 지적하고 있다. 3고조파는 시간에 의존하는 진계 변화 때문에 물방울의 형상의 변화에 기인하기 때문에 일어난다[2]. M. Hikita등도 건조대 아크는 누적전하 증가로, 염무를 인가하는 동안에 나타나게 되고, 중단되면 갑작스런 pulsive 성분이 증가됨을 알 수 있었다[5].

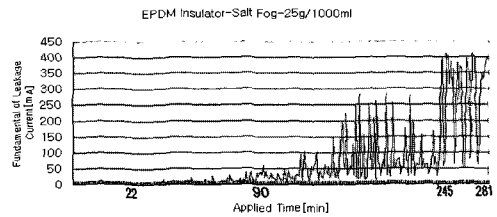
② 염무정도 : 25 g/100 ml

그림 3(a),(b)(c),(d)에서는 증류수 1000 ml에 대한 소금을 25 g 혼합한 용액을 염무로 고분자에자에 적용한 결과 누설전류파형의 스펙트럼분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 기본파의 스펙트럼으로서 전압인가로부터 22분까지는 최대10 mA, 이후 90분까지는 2~38 mA정도, 섬락 전까지 20~390 mA를 섬락시 400 mA이었다. 그림 3(b)에서는 3고조파의 스펙트럼으로서 22분까지는 2~5 mA, 이후 90분까지는 2.5~12 mA, 섬락전까지 3~20 mA을 섬락시 11 mA을 얻었다. 그림 3(c)에서는 5고조파의 스펙트럼으로서 22분까지는 0.2~1.6 mA, 이후 90분까지는 0.15~1.5를 섬락 전까지 0.5~6, 섬락 시 2 mA을 기록하였다. 그림 3(d)는 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 백분율 %을 나타내고 있다. 3고조파 %의 경우 전압인가 직후 42 %를 기록하였고, 22분 40~60 %, 이후 90분 까지는 25~55 %을 이후 섬락 시까지 2.5~3 %을 기록하였다. 섬락 시 3 %로 감소되어지고 있다. 더불어 기본파에 대한 5고조파 %는 전압인가 직후 18 %를 기록하였지만, 22분까지는 10~30 %, 이후90분 까지는 2~20 %, 섬락 시 까지는 0.5~8 %을, 섬락시 0.5 %을 기록 하였다. 이상의 결과를 정리하면 다음 표2와 같다.

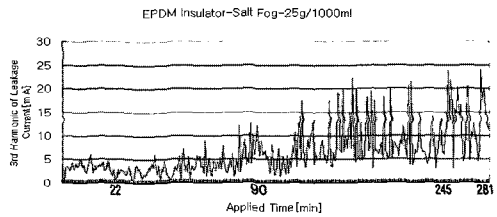
표 2. 스펙트럼분석(25g/1000 ml).

Table 2. Analysis of spectrum. Salt Fog:25 g/1000 ml.

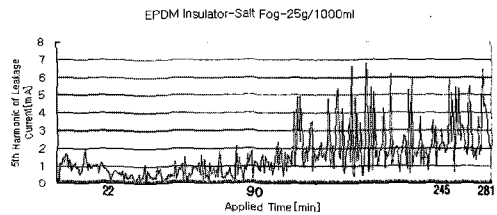
	~45	~90	섬락전	섬락시
Fundamental	10	2~38	20~390	400
3rd Harmonic	2~5	2.5~12	3~20	11
5th Harmonic	0.2~1.6	0.15~1.5	0.5~6	2



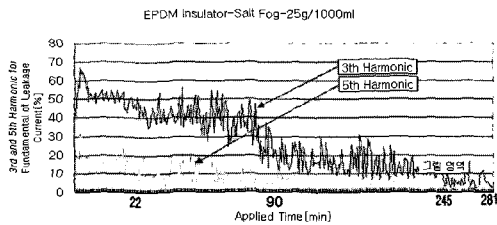
(a) Fundamental components



(b) 3rd Harmonics components



(c) 5th Harmonics components



(d) Components of 3rd and 5th harmonics for fundamental %

그림 3. 누설전류에 대한 스펙트럼 분석.

Fig. 3. Analysis of spectrum for leakage current (Applied Voltage:16 kV, Salt Fog:25 g/1000 ml).

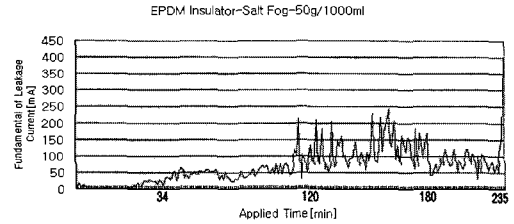
③ 염수량: 50 g/100 ml

그림 4(a),(b)(c),(d)에서는 증류수1000 ml에 대한 소금을 50 g 혼합한 용액을 염수로 고분자에자에 적용한 결과 누설전류파형의 스펙트럼분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 기본파의 스펙트럼으로서 전압인가로부터 34분까지는 최대32 mA, 이후 섬락 전까지 25~390 mA, 섬락시 400 mA이었다. 그림 4(b)에서는 3고조파의 스펙트럼으로서 34분까지는 최대10 mA, 이후 섬락 전까지 3.5~26 mA, 섬락 시 6 mA이었다. 그림 4(c)에서는 5고조파의 스펙트럼으로서 34분까지는 0.3~1.7 mA,이후 섬락 전까지 0.5~7까지 섬락시까지는 최대 4 mA이었지만 섬락 시 1.9 mA이었다. 그림 4(d)는 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 백분율 %을 나타내고 있다. 3고조파 %의 경우 전압인가 직후 43 %를 기록하였고, 34분후 40~60 %, 이후 섬락 시까지 25~10으로 일정하였다. 섬락시의 경우 15 %이었다. 더불어 기본파에 대한 5고조파 %는 전압인가 직후 18 %를 기록하였지만, 34분후 2~30 %,이후 섬락 전까지 4 %로 일정하였고, 섬락시 0.5 %를 기록하였다 이상의 결과를 정리하면 표3와 같다.

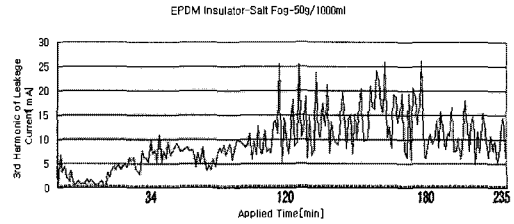
3.1.3 염무시 누설전류파형의 펄스폭 변화

그림 5(a), (b), (c), (d), (e) 50 g/1000 ml로 혼합한 용액을 EPDM에자의 표면에 염무시킨 결과의 계측된 누설전류파형을 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림 5(a)(b), (c), (d), (e)은 전압인가로부터 6분후, 41분후, 124분후, 165분후, 235분후(섬락)까지의 누설전류파형과 1주기에 대한 펄스폭의 변화 즉, 15.1 ms, 15.5 ms, 16.3 ms, 16.6 ms, 20 ms을 나타내었다.

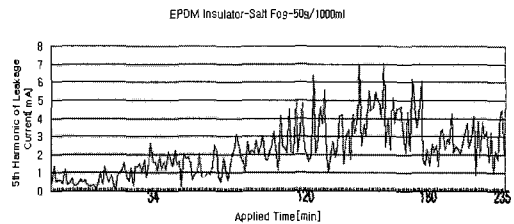
왜곡되는 정도를 보아도 전압인가 초기가 크고, 연속적인 염무가 인가됨으로서 방전의 형태도 격렬한 아크성의 방전형태로 그리고 전류의 크기를 100 mA차이를 두고 선정된 경우로서 누설전류 크기가 커지면 펄스폭도 점차로 커져가는 양상을 나타내었다. 이와 같은 양상은 염무 초기 전도성 및 저항성의 합성된 전류파형으로, 염무가 지속적으로 인가되어 표면의 건조대 아크성 및 도전성이 주류를 그리고 저항성은 미미한 영향 주어 합성된 파형으로 사료됩니다. 또한 섬락 시는 일종의 관통 파괴처럼 화염의 도전로가 형성된 결과로 인가전압에 대한 주기파형이 계측되는 것입니다.



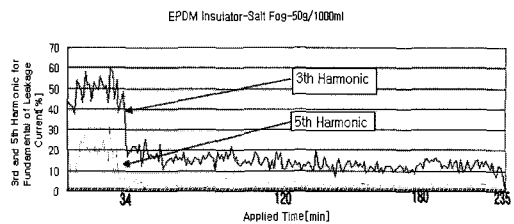
(a) Fundamenta components



(b) 3rd Harmonic components



(c) 5th Harmonic components



(d) Components of 3rd and 5th harmonics for fundamental %

그림 4. 누설전류에 대한 스펙트럼 분석.

Fig. 4. Analysis of spectrum for leakage current (Applied Voltage : 16 kV, Salt Fog : 50 g/1000 ml).

표 3. 스펙트럼분석(50 g/1000 ml).

Table 3. Analysis of spectrum. Salt Fog : 50 g/1000 ml.

	~34분	섬락전	섬락
Fundamental	32	25~390	400
3rd Harmonic	10	3.5~26	6
5th Harmonic	0.3~1.7	0.5~7	1.9

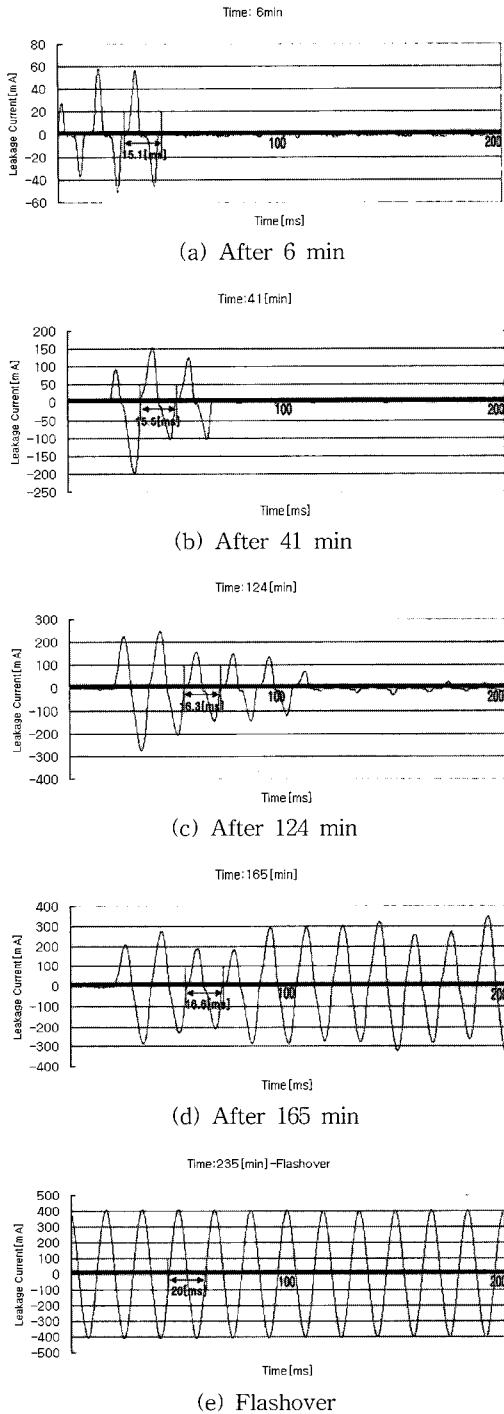


그림 5. 누설전류파형의 펄스폭의 변화
 Fig. 5. Variation of pulse width for waveform of leakage current (Salt Fog:50 g / 1000 ml,16 kV).

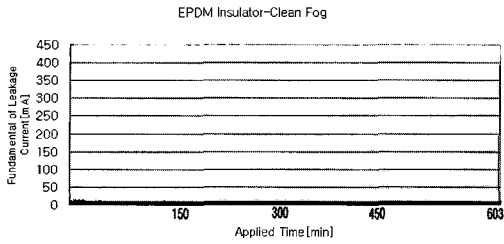
3.3 안개

증류수를 초음파 가슴기를 이용하여 전압(16 KVrms)인가 후 일정하게 안개를 EPDM고분해자의 표면에 적용한 후 섬락 시까지 계측이 이루어졌다. 그림 6(a), (b), (c), (d)는 안개 적용 시 챔버 내의 상대습도는 93 %로서 고습도의 경우 누설전류파형에 대한 스펙트럼을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 그림 6(a-1)은 열화시간에 따른 기본파의 성분을 나타내고 있고, 섬락 시 기본파 성분이 상대적으로 크기 때문에 섬락이전의 파형을 나타낼 수가 없어 그림 6(a-2)에서는 섬락부분만을 제외한 섬락이전의 기본파성분을 나타낸 것이다. 그림 6(a-1), (a-2)에서는 기본파에 대한 스펙트럼을 나타내고 있다. 전압인가로부터 섬락 전까지 1~13 mA을, 섬락 시 385 mA을 기록하였다. 전압인가 직후에서는 7 mA을, 13분 후 13 mA을, 이후 감소되어 270분까지는 2.5 mA을 계측하였다. 270분 이후로부터 섬락 전까지 1~3.8 mA을 기록하였다. 그림 6(b)는 3고조파에 대한 스펙트럼을 나타내고 있다. 전체적인 스펙트럼 양상은 기본파와 유사하며, 전압인가 직후로부터 섬락 전까지의 경우 0.2~5 mA의 범위를 그리고 섬락 시 7.4 mA을 나타내었다. 그림 6(c)는 5고조파에 대한 스펙트럼을 나타내고 있다. 전압인가 직후로부터 섬락직전까지의 경우 0.1~0.9 mA을, 섬락 시 2.2 mA을 기록하였다. 그림 6(a), (b), (c)에 대한 스펙트럼 분석결과 전압인가로부터 섬락직전까지, 기본파에 대한 3고조파는 5~2.6배를, 섬락시의 경우는 52배를 나타내었고, 5고조파의 경우 기본파에 대한 5고조파는 10~14배를, 섬락시의 경우는 174배를 나타내었다. 그림 6(d)는 누설전류파형의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파 백분율 %을 나타내고 있다. 3고조파 %의 경우 전압인가 직후 48 %를 기록하였고, 이후 318분까지는 점차적으로 증가되어, 33~66 %을, 이후 감소되어 22~60 %의 범위를 기록하였다. 섬락시의 경우 1.5 %을 나타내었다. 5고조파에 대한 경우는 전압인가직후 3.5 %을, 3고조파의 경우와 유사하게 318분까지 증가되어, 1~30 %을, 이후 섬락직전까지는 6~30 %을, 섬락시 경우는 0.5 %을 기록하였다. 이상의결과를 정리하면 표4와 같다.

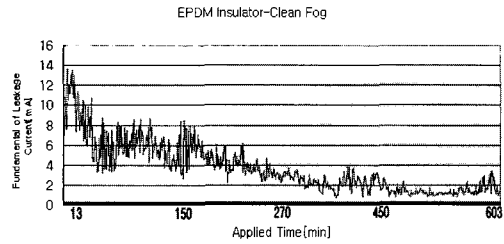
표 4. 스펙트럼 분석, 안개.

Table 4. Analysis of spectrum. Clean Fog.

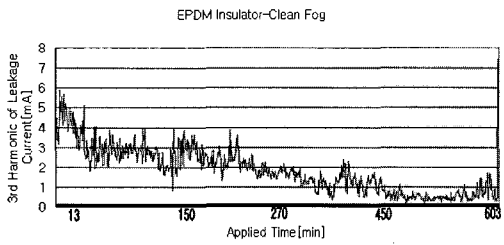
	~150분	섬락전	섬락
Fundamental	3~13	1~7	394
3rd Harmonic	1.5~5	0.22~3.5	4
5th Harmonic	0.1~0.7	0.06~0.9	2



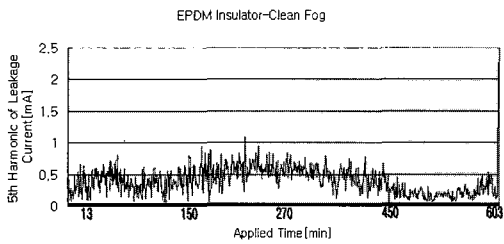
(a-1) Fundamenta components



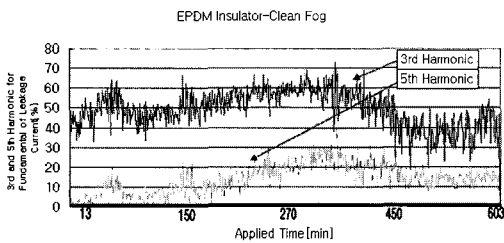
(a-2) Fundamenta components



(b) 3rd Harmonic components



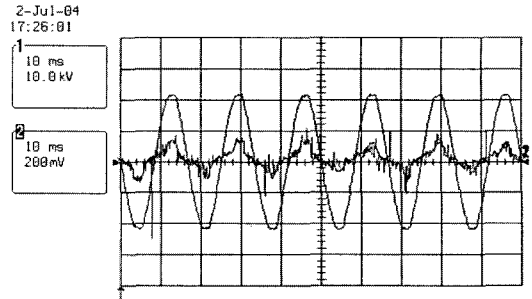
(c) 5th Harmonic components



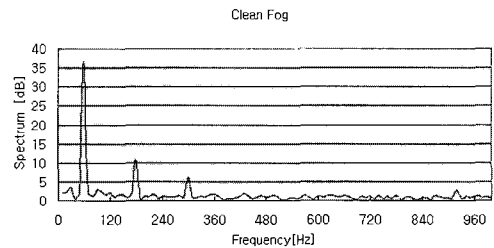
(d) Components of 3rd and 5th harmonics for fundamental %

그림 6. 누설전류에 대한 스펙트럼 분석.

Fig. 6. Analysis of spectrum for leakage current (Applied Voltage:16 kV, Clean Fog).



(a) Waveform of Leakage Current



(b) Spectrum

그림 7. 누설전류파형과 스펙트럼(인가전압위상각, Clean Fog).
Fig. 7. Spectrum and waveform of leakage current (Phase angel of applied voltage, clean Fog).

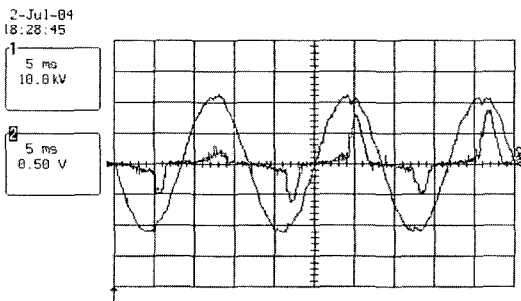
이상의 결과로부터 전압인가 후 안개를 연속적으로 섬락 시까지 인가되었고, 챔버 내의 습도가 93 %로서 고습도가 유지되었기 때문에 누설전류파형이 예측될 수 있었다. Chris S. Richardss, Carl L. Benner 등의 연구[6] 에서 “자연상태로 배전용 애자를 수 십개 설치하여 오손된 애자와 깨끗한 애자를 연구한 결과, 오손된 애자의 경우 습도가 50 %이상에서 오손된 애자의 전기적인 영향이 시작되었고, 이는 소금의 흡습성에 의한 표면전도로 인한 결과를 설명 하였다. 또한 깨끗한 애자의 경우는 습도가(약 > 90 %)임에도 불구하고 오손되지 않으면 전기적인 활동이 최소로 되어짐도 설명하였다. 이는 환경에 의한 애자의 오손이 표면 누설전류에 크게 기여하고 있음을 볼 수 있었다.

그림 6(a), (b), (c), (d)의 스펙트럼 분석결과에 대해서 몇 가지 특징을 찾을 수가 있었다.

첫째로, 염무를 인가한 경우와 안개를 인가한 경우의 차이를 발견할 수 있었다. 즉, 염무 인가 시 기본파를 비롯한 3고조파 및 5고조파의 스펙트럼 크기 mA가 시간이 지날수록 증가되어지고, 기본파의 경우는 최대를 나타내었고, 3고조파 및 5고

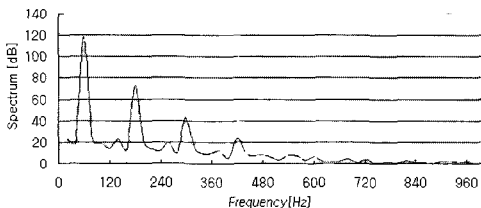
조파의 경우는 최소의 값을 나타내었다. 그러나 안개 인가시 경우는 전압인가 초기상태에서는 기본파 및 3고조파의 경우 상대적으로 증가되어졌고, 시간이 지날수록 감소되어져, 섬락전의 경우 최소상태를 나타내었고, 섬락 시 경우 오히려 최대 값을 기록하였다. 이는 방전의 양상이 염무시 경우는 아크성과 큰 전도성에 의한 방전양상이었고, 안개 적용 시는 순수한 저항성과 약한 전도성에 기인한 결과로 사료된다.

둘째로, 위상각을 고려한 누설전류파형은 그림 7~8에서 보여주고 있다. 그림7의 경우는 상전압 13 kV을 인가한 경우로서 누설전류의 파형을 나타내고 있다. 안개 적용 후 애자표면의 저항성분해 해 나타나는 파형으로서 인가전압위상과 전류 위상이 동상으로서 파형의 왜곡은 3고조파와 5고조파에 의한 영향으로 볼 수 있다. 그림 7(b)의 경우 스펙트럼을 분석한 경우이다. 가장 우세한 성분은 기본파(60 Hz)로서, 인가전압에의한 저항성 성분과 3고조파 및 5고조파 성분으로의 합성파형이다.



(a) Waveform of Leakage Current(arc discharge)

Salt Fog



(b) Spectrum

그림 8. 누설전류파형과 스펙트럼 (인가전압위상각; 염무; 아크방전).

Fig. 8. Spectrum and waveform of leakage current (Phase angel of applied voltage; Salt Fog; Arc).

그림 8(a), (b)는 10 g/1000 ml의 염무 및 상전압 13 kV 를 인가한 경우 아크방전 시 누설전류파형을 나타낸 것이다. 인가전압에 대해서 위상차가 발생된 것을 볼 수 있다. 위상차는 25.5°을 나타내었다. 이러한 아크방전 시 파형은 염무에 의한 표면전도도의 향상과 표면의 저항성성분과 아크방전 시 아크성분의 합성으로 나타난 결과로서 표면저항을 떨어뜨리는 결과의 파형으로 위상차를 가져온 것이다. 그림 8(b)에서는 아크방전 시 발생된 누설전류파형의 스펙트럼을 분석한 결과이다. 기본파를 비롯한 3고조파, 5고조파, 7고조파, 9고조파 등의 스펙트럼의 분포를 나타내고 있다. 고습도에서 안개와 염무의 적용 시 차이점은 애자표면에 발생된 전기적 활동인 아크방전의 차이점을 갖고 있다[6].

표 5. 왜곡도 %을 이용한 오손정도의 평가.

Table 5. Valuation of contamination degree using distortion %.

Time	3rd harmonic of fundamental %	5th harmonic of fundamental %
~45분		30~10(감소)
~106분	65~25(감소)	
섬락전후	20=일정	4=일정

(a) 10 g/1000 ml(Salt Fog)

Time	3rd harmonic of fundamental %	5th harmonic of fundamental %
~22분	40~60	10~30
~90분	25~55	2~20
섬락전	2.5~30	0.5~8
섬락	3	0.5

(b) 25 g/1000 ml(Salt Fog)

Time	3rd harmonic of fundamental %	5th harmonic of fundamental %
~34분	10~60	2~30
섬락전	25~10	4=일정
섬락	1.5	0.5

(c) 50 g/1000 ml(Salt Fog)

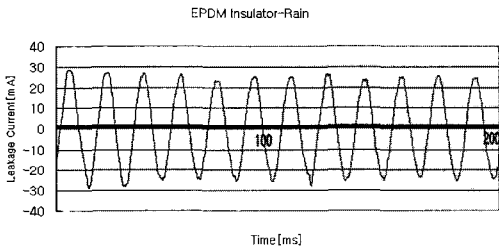
Time	3rd harmonic of fundamental %	5th harmonic of fundamental %
~150분	40~60	30~65
섬락전	1~12	5~30
섬락	1	0.5

(d) Clean Fog

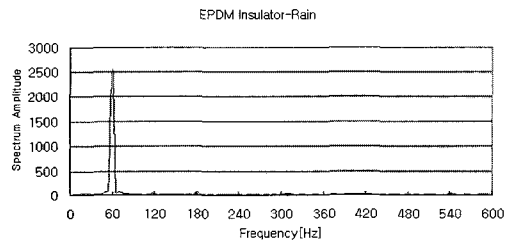
셋째, 주파수분석의 결과를 살펴볼 때 환경조건에 관계없이 누설전류성분은 대체적으로 홀수 고조파이고, 스펙트럼은 주파수와 함께 감소하고 있으며, 이들 주파수는 기본파를 중심으로 3고조파 및 5고조파의 분포가 가장 크게 나타난 현상을 볼 수 있었다.

넷째, 왜곡도를 적용한 결과 오손도의 평가방법에 적용하여 보기로 한다.[7.8]

표5에서 나타낸 것처럼 왜곡도 %가 크다는 의미는 일반적으로 염무의 초기단계 및 아크성의 방전이 심하게 일어나지 않음을 의미한 것이고, 왜곡도가 작다 라는 의미는 상대적으로 전류파형이 크고 펄스폭의 크기가 크다 라는 의미로서 아크방전시 일반적으로 나타나는 파형을 생각할 수 있다. 또한 안개시의 경우는 아크방전이 심하게 발생되지 않으므로 염무에 비하여 왜곡도가 전반적으로 크게 나타나는 현상으로 생각된다. 섬락시의 경우를 살펴 볼때 최소의 왜곡도로 거의 5 % 이하를 기록한 것이 좋은 예이다.



(a) Waveform of Leakage Current



(b) Spectrum

그림 9. 누설전류 파형 과 스펙트럼 (주수시 전압 인가 초기).

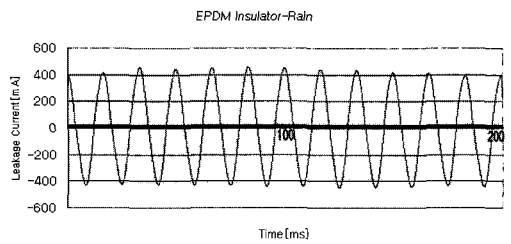
Fig. 9. Waveform of leakage current and spectrum (Rain; Initial).

3.4 비

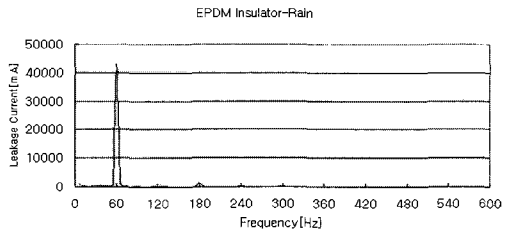
주수에 사용되는 빗물은 우천시 학내에서 빗물을 받아서 주수시험장치에 보관하여 주수실험에

사용하였다. 주수 시 분당 약 56 ml씩 일정한 수압으로 EPDM 고분자재자에 40°의 주수 각으로 일정하게 주수하였다. 전압 25 kV 인가 후 주수를 실시하는 동시에 누설전류를 측정하였다.

그림 9의 경우는 주수 시 인가전압직후의 누설전류파형과 스펙트럼을 나타내었다. 그림 9(a)에서는 전압인가초기의 전류파형으로서 피크 값은 26 mA를 나타내었다. 그림 10(a)(b)의 경우는 주수 섬락 시 누설전류파형과 스펙트럼을 나타내고 있다.



(a) Waveform of Leakage Current



(b) Spectrum

그림 10. 누설전류 파형 과 스펙트럼 (주수, 섬락시).
Fig. 10. Waveform of leakage current and spectrum (Rain; Flashover).

그림 10(a)에서는 섬락시 누설전류파형 피크값은 410 mA를 나타내었다. 두 전류파형의 차이에 대한 비율은 17.3배로서 큰 차이를 나타내고 있다. 그러나 파형은 유사하지만 스펙트럼분석의 결과는 전혀 다른 값을 갖고 있다. 즉, 그림9의 인가전압 초기 누설전류파형인 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파의 왜곡률은 2.75, 0.78 %을 기록 하였다. 그림10의 섬락 시 누설전류 파형의 스펙트럼의 기본파에 대한 3고조파 및 5고조파의 왜곡율은 2.73, 0.67 %이었다. 두 가지의 경우, 인가전압 초기 및 섬락직후를 비교하여볼 때 왜곡률이 거의 같다 라는 사실을 말하고 있다. 중요한 것은 항상 누설전류의 피크 값 만이 어떤 평가의 양호한 지표로 될 수 없음을 확인 할 수가 있었고, 오히려 기본파에 대한 저주파고조파들의 왜곡율을 통한 오손도 및

표면평가에 양호한 파라미터라고 판단된다.

이상의 결과로부터 빗물이 표면에 떨어지면 고 습도의 순간적인 증가에 의하여 표면저항이 떨어 지는 지는 결과를 가져온다. 애자표면을 가로질러 전류전도의 갑작스런 증가의 원인이 된다. 비의 원 인으로 인하여 아크성분과 일정한 저항성에 의하 여 실제의 전류파형이 나타나게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고분자의 발수성이 떨어지고 표 면의 열화가 진행되면, 오손물질의 누적이 쉽게 이 루어질 수 있다. 오손물질이 심하게 누적되면 누설 전류의 크기도 커지게 되고, 아크성의 방전시 간 혈적으로 이루어져서 쉽게 섬락에 이르게 된다. 이 러한 고조파의 성분이 전력계통 및 또다른 전력품 질에 악영향을 미칠 수가 있을 것이다. 이러한 이 유로 본 연구에서 실험한 결과는 다음 과 같다.

첫째, 염무를 인가한 경우와 안개를 인가한 경 우의 차이를 발견할 수 있었다. 염무를 인가할 때 는 아크성과 큰 전도성에 의한 방전양상이었고, 안 개시의 경우 순수한 저항성과 약한 전도성에 기인 한 결과로 사료 된다.

둘째, 위상각을 고려한 누설전류파형은, 안개 적 용후 애자표면의 저항성분배에 의해 나타나는 파형으 로서 인가전압위상과 전류 위상이 동상으로서 파 형의 왜곡은 3고조파와 5고조파의 합성에 의한 것 이고, 염무 인가 시 발생된 위상차는 25.5[°]을 나 타내었고, 이러한 이유는 표면의 저항성성분과 아 크방전시 아크성분의 합성으로 나타난 결과로서 표면저항을 떨어뜨리는 결과의 파형으로 위상차를 가져온 것이다.

셋째, 주파수분석의 결과를 살펴볼 때 환경조건 에 관계없이 누설전류성분은 대체적으로 홀수 고 조파이고, 스펙트럼은 주파수와 함께 감소하고 있 으며, 이들 주파수는 기본파를 중심으로 3고조파 및 5고조파의 분포가 가장 크게 나타난 현상을 볼 수 있었다.

넷째, 왜곡도를 적용한 결과 고분자애자 표면의 오손정도 및 표면열화평가 기법으로 적용이 가능 할 것으로 사료되며, 향후 이러한 기법을 이용한 표면열화평가를 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초 전 력공학공동연구소(02524) 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] Felix Amarrh, George G. Karady, and Raji Sundrarajan "Linear stochastic analysis of polluted insulator leakage current" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, p. 1063, 2002.
- [2] Masahisa Otsubo, Takuhei Hashiguchi, Seiji Yamashita, Naoya Anami, Chikahisa Honda, "Discharge and Emission Spectra on the Surface of Polymer Insulator Materials in Salt Fog Aging Test", 2001 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, p. 620, 2001.
- [3] Jae Jun Park, Young Chul Song, and Doo Hyun Choi, "A flashover prediction method for contaminated insulators using a stochastic analysis of leakage current", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 5A, p. 2693, 2004.
- [4] N. Dhabhi-Megriche and A. Beroual, "Flashover dynamic model of polluted insulators under ac voltage", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7. No. 2, p. 283, 2000.
- [5] 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), p. 375, 2002.
- [6] 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, p. 551, 2003.
- [7] 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, p. 655, 2003.
- [8] 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. Delivery, Vol. 10, p. 128, 2003.