

## 애자표면의 오손물 누적에관한 메커니즘 연구

박재준\*

### 목 차

- I. 서론
- II. 실험
- III. 결과 및 고찰
- IV. 결론
- 참고문헌
- Abstract

### I. 서론

고분자 애자의 외피재료로서 EPDM(Ethylene Propylene Diene Terpolymer)와 실리콘 고무를 이용하고 있다. 특히, 실리콘 고무는 특히 내후성 외에도 내열성이 우수하고, 동시에 발수성(hydrophobicity)이라고 불리는 독특한 특징으로부터 오손에 견디는 전압특성에도 우수하기 때문에 외피재료의 주류를 이루고 있다. 발수성은 물방울을 형성하는 성질을 말하며, 실리콘 고무 외피의 경우 오손물 부착 후에도 내부로부터 LMW(Low Molecular Weight:이하 LMW라 부른다)성분이 나와서 발수성을 회복하기 때문에 표면에 연속한 수막이 형성하여도 높이 견디는 전압특성을 계속 유지 한다. 최근에는 표면에 나오는 LMW성분의 구조를 설명하기위한 연구도 있었다(1). 실리콘 고무중의 LMW성분이 발수성을 유지, 회복에 기

여하는 것을 밝히었지만 실리콘고무 외피 고분자 애자의 실제사용에 있어서는, 사용 환경 하에서 발수성 LWM 성분량의 영향 등이 연구가 필요함(2).

### II. 실험

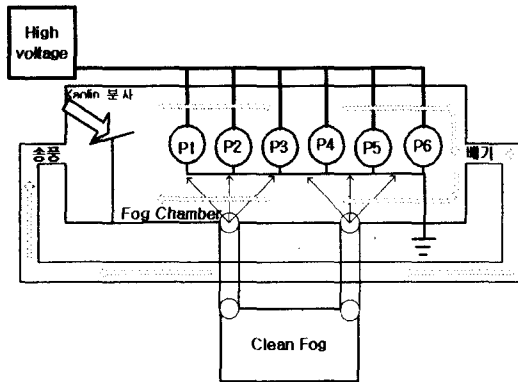
#### 2.1. 실험장치

##### 2.1.1. 오손메커니즘 시뮬레이션

여러종류의 애자에 오손물 누적실험을 위하여 자체 설계하여 제작된 챔버의 크기는 가로×세로×높이가 2100mm×1000 mm×1000mm로 제작되었다. 오손물 누적실험을 위하여 배전용 고분자 장간애자를 수평하게 배치하였다. 일정한 오손물 누적을 알기위하여 애자의 배치도는 오손물 분사대를 기준으로 할 때 P1, P2, P3, P4, P5, P6의 위치는 각각 다음과 같다. 즉 360mm, 600mm,

\* 중부대학교 전기전자공학과 부교수

840mm, 960mm, 1080mm, 1320mm에 위치하였다. 각각에 대한 간격은 240mm로 일정하게 하였다. 단 포스트 자기애자의 경우는 P3와 P4사이에 위치하기 때문에 120mm의 간격을 유지하였다.



〈그림 1〉 오손물 누적 실험장치

〈표 1〉 애자의 위치

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6
분사지점 (기준)	360	600	840	960	1080	1320

오손물 분산기법으로서 인공적인 오손물 누적을 알아보는 실험으로서 오손물 실험재료는 카올린 재료를 이용하였다. 오손의 경우는 크게 3가지의 경우로 나눌 수 있다. 첫째로 농업지역 및 도심지 공해지역 그리고 내륙의 공장지대에서 발생된 오손 물에 의한 애자표면의 오손실험이 있다. 둘째로 해안선에 위치한 산업공업단지에서 발생된 오손실험이 있다. 셋째로 바닷가 근방의 송전 및 배전용 애자의 현상을 모의한 경우가 있을 수 있다. 첫 번째의 경우 오손물 누적 시뮬레이션은 내륙형 공장밀집지역 및 도심지공해지역을 모의한 경우로서 본 연구의 애자 표면에 누적한 오손물 누적 메커니즘을 이해하기 위해 연구한 경우이다. 현장에 수 년 동안 서비스한 경우 애자의 표면 오손성분을 분석하여 볼 때 여러 종

류의 유기물과 무기물이 애자표면에 누적될 수가 있겠지만, 본 연구에서는 카올린(Kaolin) 분말입자를 가진 재료를 사용하였고, 애자의 서비스 환경을 고려하여 다음과 같은 환경조건을 3회 반복한 결과를 논하게 되었다. 24시간을 1사이클로 하였으며, 12시간은 상온·상압 하에서 건조 상태를 유지하였으며, 6시간은 심야의 안개를 모의하였고, 나머지 6시간은 상온~50℃까지 가열 건조하였다. 1주기에 대한 입력 카올린 중량은 100g을 강제 송풍시켰다. 그 중 50g은 12시간동안 건조 상태에서 일정한 양을 분사시켰으며, 안개시의 경우 먼지가 날릴 수가 없기에 오손 물을 분사하지 않았으며, 나머지 50g은 안개의 수분을 제거하고 가열건조 시 사용하였다. 오손 및 환경 주기는 표2에서 나타내었다.

〈표 2〉 오손 발생 주기

1주기		
건조상태 (상온상태)	안개상태	가열건조 상태(상온~50℃)
12시간	6시간	6시간
50g	0g	50g

인가전압은 배전급 전압 교류 13.2kV을 단계적으로 승압 후 일정전압으로 실험을 하는 동안 유지하였으며, Kaolin 오손물을 분사동안에도 전압은 일정한 상태를 유지하였다. 애자의 환경상태를 모의하기위하여 공기상태의 대류현상을 모의하기위하여 송풍기에서 카올린 오손 물을 송풍 후 챔버 내에서 대류현상을 유지하는 입자도 존재하겠지만 배기구를 통하여 배기된 공기가 다시 송풍기로 유입되어 적절한 위치에 가라앉게 된다. 대부분의 카올린 성분들은 상대적으로 무거운 중량을 가지고 있으므로 송풍시 오손물을 분사시키면 아래로 가라앉게 되므로 송풍시 분사된 지점의 분사대를 30°각도를 유지시켰다. 이는 최대한 Kaolin 분말입자가 수평으로 놓여진 애자전

체에 골고루 분사되어 대류 될 수 있도록 하기 위하여 30°각도를 유지하여 분사하였다. 자연적인 안개를 모의하기 위하여 증류수를 사용하였고, 초음파가습기를 애자의 아래에서 안개를 생성시켜 위로 주입하였다. 챔버 내 안개의 상대습도는 70~95% 범위 내 존재하였다.

3사이클 동안의 누적된 오손물의 중량을 측정하기 위하여 0.45µm의 여과지를 통하여 ULVAC DA-121D 일본산 공기흡입기를 통하여 여과하여 중량을 측정하였다.

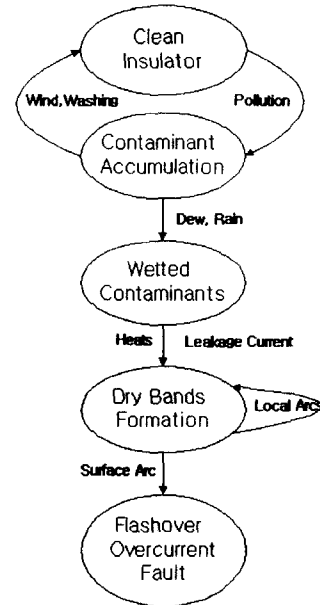
### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 애자의 오손에 의한 파괴 메커니즘(Breakdown Mechanism)

고분자애자 failure의 기본 메커니즘은 많은 수의 비 선형 파라미터 때문에 여전히 잘 이해할 수가 없다. 그렇지만 failure과정에 상당히 영향을 주는 습도와 오손물질과 같은 그러한 요소가 상대적으로 잘 알려져 있다. 애자 failure는 젖은 오손표면을 횡단하여 흐르는 누설전류로서 정상적으로 시작된다. 일반적으로 애자 failure메커니즘은 <그림 1>에서 나타내었다.

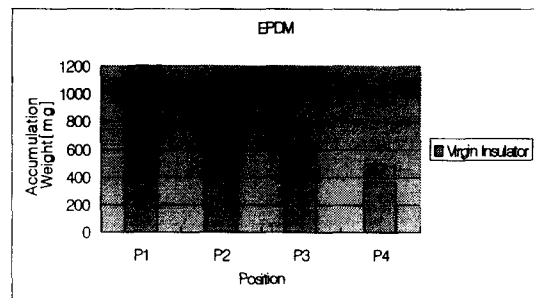
지난밤 응결된 물, 이슬 또는 비가 깨끗 애자의 표면에 누적 될 때, 물의 표면장력은 개개의 물방울을 형성하는 경향이 있다. 이들 물방울들 사이는 애자표면의 물방울들사이 고 저항 갭처럼 건조부가 될 것이다.

표면오손은 물방울 형성을 제약하게하고, 대신에 애자가 더욱 균일한 코팅을 형성하게 된다. 이것은 전체적으로 건조 길이를 줄어뜨게 하고, 그래서 전류흐름을 억제하는 애자의 능력을 감소



<그림 2> Insulator Breakdown Mechanism

시킨다. 전체적으로 건조길이가 임계점이하 레벨로 떨어질 때 라인전압은 애자의 표면 절연특성을 파괴할 수 있고 그리고 전류가 흐른다. 전류로부터 발생된 열은 국부아크가 개시되어 건조대의 원인이 된다. 이 아크는 표면으로 성장, 부분방전과 급속한 물의 증발원인, 아크전류는 자체소멸, 연속 산발적으로 또는 파괴적인 고전류 섬락으로 증가된다. 이것은 과전류 결함으로 이끌고 그리고 서비스를 중단시키는 원인이 된다.



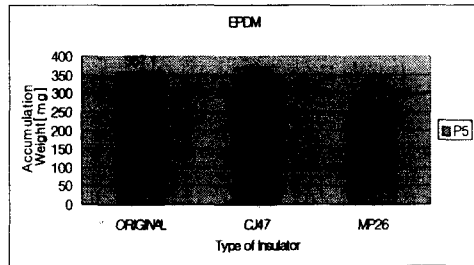
<그림 3> EPDM Virgin Insulator 오손도

### 3.2. 오손 시뮬레이션

신품인 EPDM A형 고분자애자의 경우 오손 메커니즘과 정도의 측정에서는 배전전압 13.2kV를 인가하였고, 그림2에서 나타낸 바와 같이 수평으로 배치하였다. 카울린 분사지점에 20°의 경사를 통하여 분사된 카울린 오손분말의 비행을 멀리하였다. 그 결과 분사지점에 가까울수록 오손량이 증가하였고 이와반대로 멀수록 오손량이 감소하였다. 이는 오손 물을 날릴 수 있는 바람의 세기, 오손물 입자의 중량, 습도의 %에 따라 달라질 수 있다. 애자가 수평으로 설치되었기 때문에 Sheath면에 가장 많은 오손물이 부착되었고, 금구류부분에도 그리고 갓의 부분에는 미약한 정도로 부착되었다. 신품의 경우 발수성이 대단히 양호하고, EPDM하우징전체에 오일성분이 존재함으로 한번 부착되면 떨어지는 확률이 상대적으로 적으며, 초기에 부착된 오손물은 유기물의 경우 빗물에 씻기어 나갈 확률이 있지만 무기물의 경우 약한 바람이나 약한 빗물에 영향이 적을 것으로 사료됨. 오일성분이 존재하는 한 오손이 쉽게 이루어지고, 오일성분이 자연상태에서 수년 지나서 비로서 오일이 없어져, 그 이후 경우에는 초기상태의 표면에 오손된 정도가 수명에 영향을 줄 것으로 사료된다. 왜냐하면 초기에 부착된 오손물이 쉽게 제거되지 못하여 점차로 표면의 발수성은 떨어지게 되고, 누설전류 경로가 생성되어 점차로 확실한 누설전류경로가 생성되게 된다. 더불어, 건조상태에의해 건조될 수도 있지만, 아크로인한 주울열이 발생되어 국부적인 건조대가 형성될 수도 있다. 이러한 과정들이 계속적으로 반복될 것이며, 표면열화가 진행되게 간다. 이는 그림4 ~그림5에서 볼 수 있는 것처럼, 상당기간 현장에서 서비스된 표면에 오일성분이 없는 EPDM애자에 대한 오손물질의 누적량

이 상대적으로 신품애자에 비하여 적게 누적됨을 볼 수 있었다. 오손물질의 누적량은 EPDM고분자 애자표면 발수성과는 밀접한 관계를 가지고 있다. 더불어 발수성과 오일이 표면에 존재하는 정도와도 밀접한 관계가 있을 수 있음을 알 수 있었다. 표면에 오손물질이 누적되면 될수록, 발수성은 점차로 떨어지게 되고, 우천시 자연적인 세정이 이루어지면 다시 상당부분 발수성이 회복되고, 표면의 발수성이 약하게 되면 오손이 적층될 확률이 상대적으로 높아지게 된다. 건조상태의 경우 Kaolin 오손물의 분사한 경우보다 안개가 그치고 건조가열시 오손물의 적층이 오히려 증가됨을 알 수 있었다.

<그림 4> 열화된 EPDM애자들의 오손도 (P2 위치)



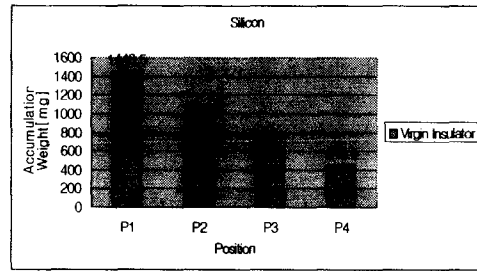
<그림 5> 열화된 EPDM애자들의 오손도 (P5 위치)

<그림 6>의 경우는 Silicon Virgin애자의 오손물 누적실험의 결과를 나타내고 있다. <그림 2>에서 나타낸 것처럼, Kaolin오손물질을 분사된 지점으로부터 P1, P2, P3, P4순으로 수평방향으로 실리콘 배전용 애자에 적게 오손됨을 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 오손물을 분사한 지점으로부터 가까이 있는 애자일수록 오손도가 심하고, 멀리위할 수록 적게 오손됨을 의미한 것이다. EPDM Virgin 애자와 비교하여 볼 때 즉, 그림3의 경우, 같은 신품의 애자이지만 오손도의 정도는 각각의 위치마다 오히려 실리콘애자의 경우가 오손도가 심하다는 사실을 알 수 있었다. 현장에

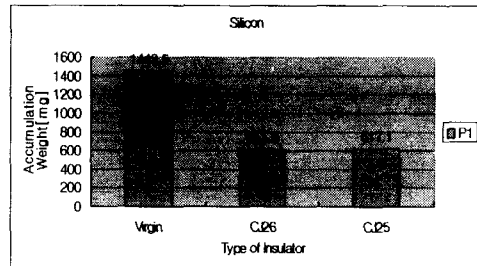
서 서비스된 실리콘애자의 경우가 Virgin애자의 경우보다 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있었다. 즉, P1의 위치에서 Virgin이 CJ26, CJ25모두 약 2.4배 이상의 오손도가 높게 나타남을 볼 수 있었다. <그림 7>의 경우인 P4 위치에서 오손도가 MK14의 경우 1.33배, MP13의 경우 1.65배를 나타내었다. Virgin보다 현장에서 서비스된 Silicon 애자의 경우 오손도를 비교한 결과, Virgin의 경우 오손도가 심한이유는 EPDM의 경우와 같은 이유로서 초기상태 애자표면에 오일이 존재함이 가장 큰 요인으로 생각된다. 동일한 위치선상에 Virgin EPDM과 Virgin Silicon 애자를 으놓고 비교한 결과 실리콘이 EPDM보다 오손이 쉽게 이루어짐을 알 수 있었고, 서비스된 경우의 EPDM애자와 Silicon 애자 역시 같은 위치선상에 있을 경우 오히려 Silicon애자의 경우가 오손도가 쉽게이루어질 것으로 사료된다. 이유는 EPDM 경우는 현장에 가설되어 일정기간이 지나면 표면의 오일이 제거될것이며, 그러나 Silicon의 경우는 오일의 발생이 지속적인 면이 있기 때문으로 사료됨.

Yukihiro Koshino등의 연구에서(1),(2),(3) 고분자 애자 외피용 실리콘 고무의 표면에 오손물을 부착한 후 발수성 회복 거동을 조사한 결과, 다음과 같은 사실을 알았다. 발수성은 고온, 저습도 조건하에서 신속히 회복한다. 특히, 습도가 90% 이상에는 장시간 경과하여도 발수성 회복이 기대할 수 없는 경우도 생각할 수 있다. 발수성은 시료중의 LWM 성분양이 많은 편이 빠르게 회복한다.

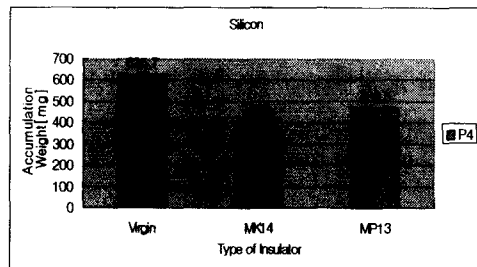
또한 LMW가 오손물상에 누출되기 때문에 오손물은 완전히 제거되지 않은 경우도 많다. 따라서 외피에 손상을 주지않고 효과적인 오손물 제거법을 확립하는 것이 매우 중요하다고 생각한다.



<그림 6> Silicon Virgin Insulator 오손도



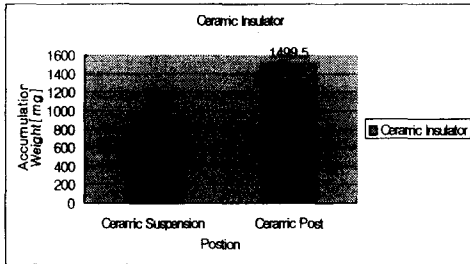
<그림 7> 열화된 Silicon애자들의 오손도 (P1 위치)



<그림 8> 열화된 Silicon애자들의 오손도 (P4 위치)

<그림 9>의 경우는 현장에서 서비스된 세라믹애자 즉, 세라믹현수애자, 세라믹 포스트애자 두 가지종류애자를 이용하여 오손도 측정을 실시하였다. 세라믹현수애자 3개를 수평방향으로 P6 위치에 설치하였고, 세라믹 포스트애자는 P3위치에 설치하여 고분자애자와 똑같은 조건으로 오손을 실시하였다. 그 결과 거리의 영향은 약간 존재하겠지만 설치방향에 크게 영향을 받은 것으로 애자는 직립으로 설치되어 있어서 오손의 효과가 강력한 것으로 생각된다. 또한 세라믹애자의 경

우 표면의 유약성분이 많이 제거되어 표면의 거칠기가 거칠어 오손물이 많이 누적된 것으로 사료된다.



〈그림 9〉 Ceramic Insulator의 오손도

#### IV. 결론

애자 표면에 오손물의 부착된 오손량을 얻기 위하여 오손시뮬레이션 장치를 이용하여 실험한 결과 다음과 같다.

1. 카울린을 분사하는 지점을 기준으로 할 때 거리에 반비례하는 카울린 오손물 누적정도를 알 수 있었다.
2. EPDM이나 Silicon애자의 경우 모두 Virgin과 현장에 서비스된 애자의 표면에 오손물 누적정도가 같은 위치상에서 비교실험 한 후 Virgin의 경우가 현장에서 서비스된 애자에 비하여 오손량 정도가 크다는 사실을 알았다. 이는 Virgin 표면의 LMW 성분이 크게 작용하게된 것이며, 서비스된 애자의 경우는 LMW양이 거의 존재하지 않은 경우로서 오손량이 상대적으로 적은 것으로 사료됨.
3. EPDM과 Silicon애자의 오손실험을 비교 평가하여볼 때 EPDM보다 오히려 Silicon의

경우가 많은 오손량을 나타낸 경우 이는 EPDM의 경우는 어느 일정기간이 지나면 LMW성분이 거의 발생되지 않고, Silicon의 경우는 서비스된 경우라도 계속하여 LMW가 발생되기 때문에 오손량이 많은 경우로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] Yukihiro Koshino, Itsuki Umeda, Masaru Nishitoba, Tetuyoshi Mizutani, Recovery behavior of hydrophobicity of silicon rubber for polymer insulator housing deposited with contaminant, *T.IEE, Japan*, 121-A(9), 2001.
- [2] Yukihiro Koshino Itsuki Umeda ,Katsumi Arakawa, Method of deterioration diagnosis for silicon rubber housing of polymer insulator(I): Pre-treatment method of the specimen and selection of analyzing method, *T.IEE Japan*, 120-A(5), 2000.
- [3] Yukihiro Koshino Itsuki Umeda ,Katsumi Arakawa, Method of deterioration diagnosis for silicon rubber housing of polymer insulator(II): Comparison of insulators aged with artificial method and natural fields, *T.IEE Japan*, 120-A(11), 2000.

## A Study on Mechanism about Contaminant Accumulation of Insulator Surface

Jae-Jun Park\*

### Abstract

We studied a pollution mechanism for simulation of contamination environment in industrial concentrated area of around a metropolitan that made to circulated flow in the chamber. In case of the virgin both side of EPDM or Silicon insulator, we confirmed that the pollution to much more than serviced insulator in the field. Also contamination of initial state of the virgin didn't falling in spite of physical outside factor easily. This study confirmed to that the silicon was too much accumulated pollution contrast to EPDM insulator from scatter(spray) point to regular interval position use the Kaolin contaminant in the chamber. There are effected to the hydrophobicity of polymer insulator due to the pollution. In ceramic insulator, we get to know that pollution is much more at the Post insulator with vertical than with horizontal setup insulator.

Key Words: Kaolin Contaminant, EPDM Insulator ,Silicon Insulator, Ceramic Insulator, Post Insulator, Suspension Insulator

---

\* Associate Professor, Dept. of Electrical Electronics Engineering, Joongbu University.