

고체 절연물 표면의 흡착수분에 따른 전계분포 해석

김주환*, 한상옥*, 이세현**
 충남대학교*, 대전폴리텍대학**

Computation of Electric Field by Droplet on HV Insulator Surface

Ju-Han Kim*, Sang-Ok Han*, Sei-Hyun Lee**
 Chungnam National University*, Korea Polytechnic College IV**

Abstract - 옥외용 고전압 절연물의 절연성능은 표면저항과 밀접한 관계를 가지며, 이는 절연물 표면에 존재하는 수분의 거동에 의해 민감하게 반응하게 된다. 또한 절연물 표면에 흡착된 수분의 존재로 인해 절연물과 수분, 공기층의 유전율 차이로 인해 경계면에서의 전기력선속과 공간전하밀도의 변화가 급격해지므로 불평등전계를 형성할 우려가 있다. 따라서 본 논문에서는 옥외용 고전압 절연물의 표면에 작은 물방울 형태로 존재하게 되는 흡착수분에 의한 전계분포를 확인하기 위해 FEM을 이용하여 전산해석을 수행하였다.

1. 서 론

옥외용 고전압 절연물은 대기 중에 노출되므로 오손물질이 표면에 부착될 우려가 있으며, 절연물 표면에 부착된 오손물질과 수분으로 인해 전도성 피막이 형성되면 누설전류가 발생하게 되어 이로 인한 건조대형성이 결국 아킹을 초래하여 결과적으로 절연물의 연면방전으로까지 발전하게 된다.

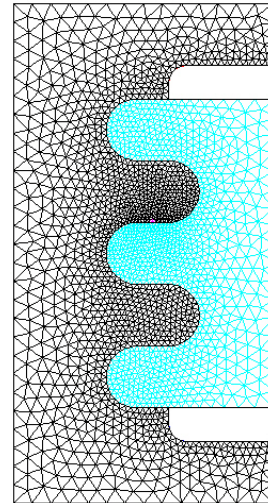
또한 옥외용 절연물 표면에 먼지나 수분 등이 부착하게 되면 고전압 절연물 표면의 전계분포 왜곡을 초래하게 되는데, 이는 오손물질의 존재로 인해 공기층과 절연물, 오염물 간의 유전율 차이로 인해 절연물 표면의 전기력선속 및 등전위 분포가 변하기 때문이다. 특히 표면에 수분이 흡착될 경우, 수분이 공기층과 절연물에 비해 유전율이 매우 크므로 공기와 절연물, 그리고 수분의 경계면에서 공간전하밀도의 변화가 급격해지게 되며, 불평등전계로 인한 국부적인 전기적 스트레스로 인해 절연물 표면에서의 국부 방전이 발생할 가능성이 있다. 그러므로 대기 중에 노출되어 국부적으로 대기와 경계면을 형성하게 되는 고전압 절연물의 표면 상태에 따른 전기적 스트레스 및 전계분포에 대한 연구가 다방면으로 진행되어져 왔다. 특히 대기와 절연물, 절연물 표면에 부착된 오손물 간의 형성되는 경계조건을 통해 절연물 주변의 전계분포와 표면전하밀도 등을 해석하는 다수의 기법들이 연구되고 있는 실정이다.[1-3]

본 논문에서는 이러한 전산해석 기법을 활용하여 고전압 절연물의 표면에 흡착된 오손물의 기하학적 형태, 즉 절연물이 가지는 발수성 및 표면장력 등으로 인해 흡착 수분의 기하학적 형태가 달라지는데, 이를 모의하여 오손물이 부착된 고전압 절연물 주변의 전계분포의 왜곡현상을 시뮬레이션해보고자 하였다.

2. 본 론

2.1 전계분포 해석을 위한 모델링

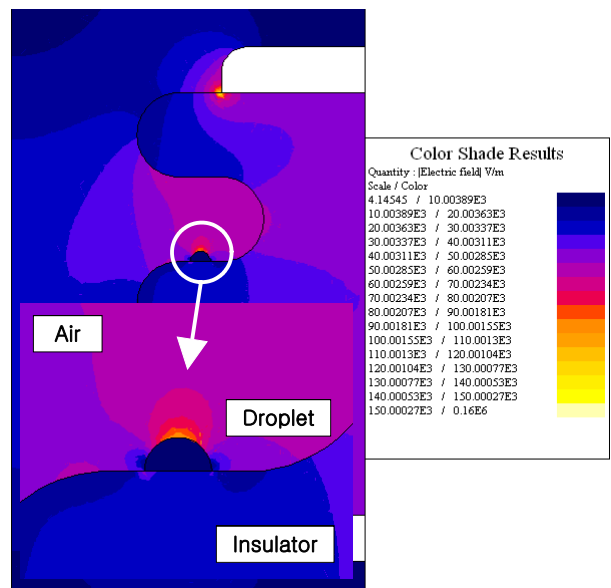
해석모델은 옥외용 고전압 절연물이 우천 시나 대기습도가 증가하여 절연물의 표면에 수분이 작은 물방울 형태로 존재할 수 있으므로, 이러한 경우를 가정하였으며, 옥외용 절연물은 기본적으로 연면누설거리를 증가시키기 위해 주름갓(shed) 형태를 띄는 동축 구조이므로 22.9 [kV] 배전선로용 붓싱류의 형태와 유사하게 모델링하였다. 또한 경계조건 설정을 위해 절연물의 상하부에 전극을 위치하여 전압을 인가하였는데, 국내 22.9 [kV]급 배전선로의 단상전압인 13.2 [kV]가 인가되는 것으로 가정하여 IEC 60815에서 제시하고 있는 24 [kV] 최고전압 및 중오손(重汚損) 등급에서 600 mm 이상의 외피 최소누설거리를 규정하고 있으므로 해석모델을 단순화하기 위해 연면누설거리 700 mm에 13.2 [kV]가 인가되는 것을 기준으로 하면, 단위길이 당 인가되는 전압이 약 18.8 [V/mm] 이므로 해석에 사용된 모델의 연면거리인 108.5 [mm]로 환산하여 절연물의 상부전극엔 약 2.05 [kV]의 전압을 인가하고, 하부 전극은 Ground로 설정하였으며 옥외용 절연물임을 감안하여 절연물 주변은 대기층으로 설정하였다.[4-6] 공기층과 물방울, 절연물의 비유전율은 상온상습임을 기준으로 하여 각각 1, 81, 2.8을 입력하였으며, 절연물은 FRP로 구성된 고분자 절연물로 모의 하였다.



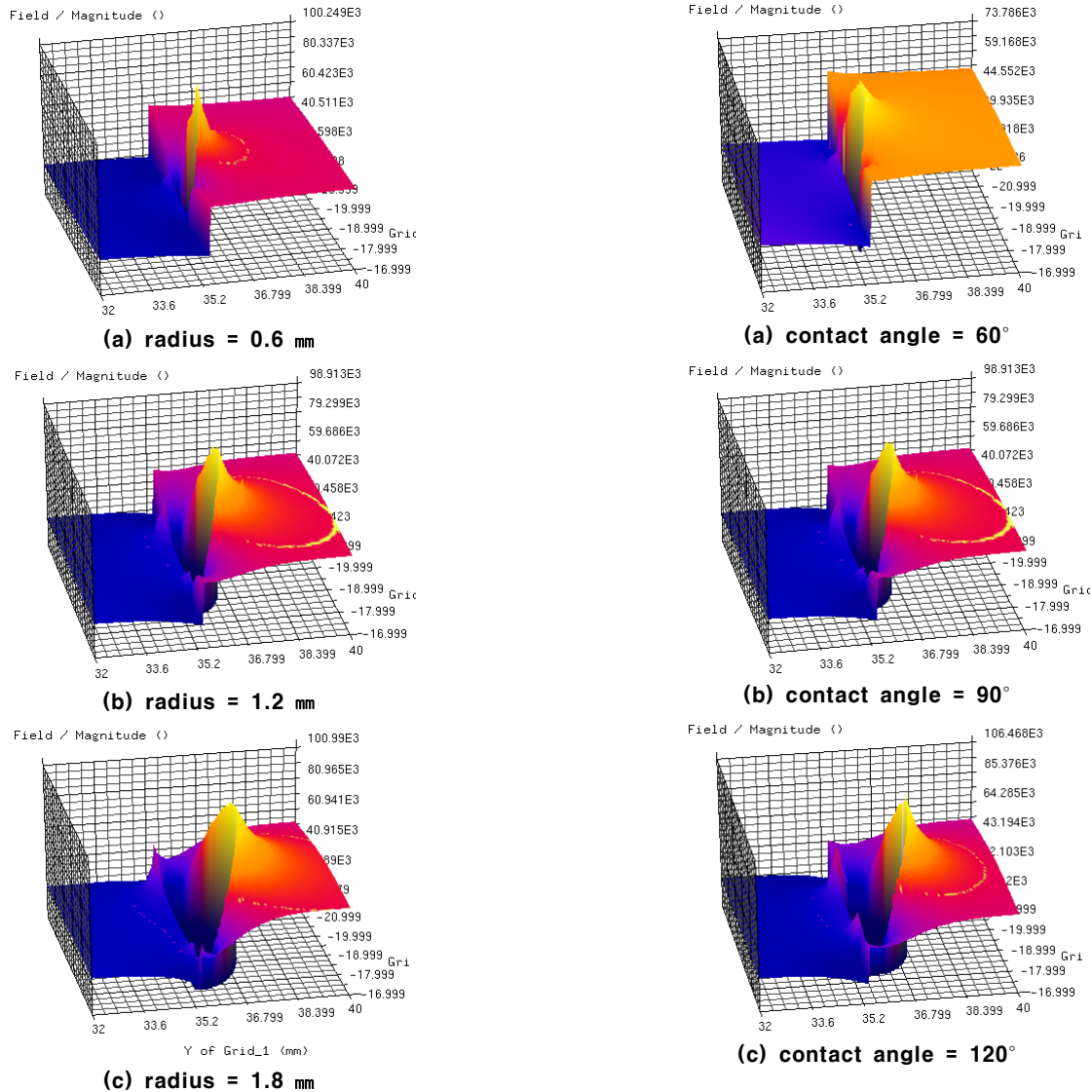
〈그림 1〉 요소분할도

그림 1은 전계분포 해석을 위해 절연물과 상하부 전극, 표면 오손물 및 대기층으로 구성된 해석모델의 요소분할도로 전계분포는 주로 오손물과 그 주변의 절연물, 대기층에서 왜곡이 됨을 예상할 수 있으므로 요소를 더욱 조밀하게 분할하였다.

2.2 흡착 수분의 반경에 따른 전계분포



〈그림 2〉 절연부 표면 흡착수분에 의한 전계분포



〈그림 4〉 절연부 표면 흡착수분의 접촉각에 의한 전계분포

〈그림 3〉 절연부 표면 흡착수분의 지름에 의한 전계분포

그림 3은 절연부 표면에 흡착된 수분의 지름이 증가함에 따라 절연부 및 공기와 수분의 전계분포를 해석한 결과이다. 수분의 반경은 그림에서와 같이 각각 0.6 mm, 1.2 mm, 1.8 mm로 증가시키면서 수분과 절연물간의 접촉각은 90°로 일정하게 하여 전계분포를 해석하였다. 따라서 접촉각을 일정하게 유지시켜주기 위해 수분의 반경을 증가시킬수록 수분의 체적 역시 증가하게 된다. 접촉각이 일정한 상태에서 수분의 반경이 증가하게 될수록 수분과 공기층이 접하게 되는 경계면에서 큰 비유전율 차이로 인한 공간전하밀도가 증가하면서 최대 전계강도는 큰 변화가 없으나 수분과 공기층의 경계면뿐만 아니라 주변 공기층 영역까지 전계분포 왜곡 및 전계집중 부위가 확대되는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 공기층에 인가되는 전계집중 영역이 증가하게 되므로 공기층에서 국부적인 부분 방전이 발생할 우려가 클 것으로 판단된다.

2.3 흡착 수분의 접촉각에 따른 전계분포

고체 표면에 액체가 흡착하였을 경우, 액체의 자유 표면이 고체 평면과 이루는 각도, 즉 접촉각은 액체와 고체의 재질에 따라 달라지며 접촉각이 90°보다 크면 액체는 고체표면을 적시지 않고 반대의 경우엔 고체 표면에 흡착하여 적시게 된다. 즉, 접촉각이란 고체표면의 젖음성(Wettability)을 나타내는 것으로서 수분에 의한 옥외용 절연물의 절연 성능을 판단하는 중요한 척도로 작용하게 된다. 따라서 매니폴레이터 절연물 표면의 흡착 수분의 접촉각에 따라 전계해석을 수행하였다.

그림 4는 절연부 표면에 흡착된 수분의 접촉각이 증가함에 따라 절연부와 공기층, 수분이 접하게 되는 영역에서의 전계분포를 해석한 결과이다. 앞서 언급한 바와 같이 절연물에 수분이 흡착되었을 경우 염분이나 매연입자 등이 수분에 용해되면 도전성을 띄게 되므로 주변의 전기력선 속이 불균등하게 존재하게 되며, 도전성을 띤 수분에서 전도성 전류로

인해 절연물 표면에 트래킹이나 침식 등을 발생시킬 우려가 있다.

특히 고분자 절연물 등에선 트래킹이나 침식으로 인해 화학적 변화뿐만 아니라 표면에 심각한 손상을 받게 되어 절연성능이 현저히 떨어지게 된다. 따라서 옥외용 절연물이 양호한 절연성능을 유지하기 위해서는 표면에 수분이 흡착되지 않기 위해 양호한 발수성이 요구되어 지는데 이러한 발수성을 판단하는 기준으로 수분의 접촉각을 측정하게 된다.

흡착수분의 접촉각에 따른 전계분포 해석결과를 참조하면 절연물 표면에 흡착된 수분의 접촉각이 증가함에 따라 최대 전계강도가 증가하였다. 이는 수분과 절연물이 접촉하고 있는 면적을 동일하게 가정함으로써 결과적으로 접촉각 증가할수록 수분의 체적 역시 증가하므로 상대적으로 전위가 높은 상부 주름과의 거리가 가까워지는 결과를 초래하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 수분 주변의 전계분포를 살펴보면 수분과 공기층 그리고 상부 절연물이 서로 수직하는 영역에서 강한 전계집중현상을 보이고 있으며 반대로 수분과 절연물의 접선 방향으로 수분의 접촉각이 증가할지라도 전계분포가 비교적 완만한 것으로 나타나고 있다. 따라서 절연물의 주름 사이의 거리를 짧게 설계할 경우, 수분의 존재로 인해 공기층에서의 국부적인 전계집중현상이 발생하여 섬락이 일어나면 상하부 주름이 전기적으로 단락될 우려가 있을 것으로 판단된다.

또한 접촉각 증가에 따른 전계분포 왜곡의 변화는 흡착 수분의 반경 증가에 따른 전계분포 왜곡보다는 현저하지는 않는 것으로 나타났는데, 결과적으로 흡착수분의 반경 증가가 수분의 접촉각 증가에 비해 주변전계의 왜곡효과가 더 크다고 하겠다.

3. 결 론

본 논문에서는 옥외용 고전압 절연물에 수분이 흡착되었을 경우, 흡착

수분의 기하학적 형태, 즉 수분의 지름과 접촉각에 따른 절연물 주변의 전계분포의 왜곡 현상에 대해 전산해석을 수행하였다.

먼저, 흡착 수분의 반경에 따른 전계분포는 절연부 표면에 흡착된 수분의 반경이 증가할수록 공기층과 수분, 절연물 간의 비유전율 차이로 인해 공기와 수분의 경계면에서 공간전하밀도가 증가하게 되므로 공기층 영역의 전계 왜곡 및 전계집중이 심화되는 것을 확인할 수 있었다.

또한 옥외용 고전압 절연물의 발수성이 절연성능에 미치는 영향이 현저하므로 절연물에 흡착된 수분의 접촉각에 따른 전계분포를 해석한 결과, 흡착 수분의 접촉각이 증가될 경우 수분과 공기층의 경계면에서 전계집중 현상이 증가하였지만 주변 공기층 영역의 전계분포의 왜곡은 현저하지 않았다. 또한, 흡착수분의 반경이 증가되는 것에 비해 전계집중 현상은 비교적 낮은 수준임을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] H.El-Kishky and R.S.Gorur, "Electric Field and Energy Computation along AC HV Insulators", IEEE Trans.on Diel.&Elect.Ins.,Vol.3,No.4,pp.587-593, August 1996
- [2] F.Gutfleisch, H.Singer,K.Forger and J.A.Gomollon, "Calculation of HV Fields by Means of the Boundary Element Method",IEEE Trans.on Power Delivery,Vol.9,pp.734-749,1994
- [3] P.K.Mukherjee, A.Ahmed and H.Singer,"Electric Field Distortion Caused by Asymmetric Pollution on Insulator Surfaces",IEEE Trans.on Diel&Elect.Ins.,Vol.6,No.2,pp.175-180, April 1999
- [4] KS C IEC 60137, "1 000V 이상의 교류전압을 위한 절연부싱"
- [5] IEC 60815, "Guide for Selection of Insulators in Repect of Polluted Conditions"
- [6] IEC 60815, "IEC standard voltages"