

코로나 케이지 내부에서의 풍소음 저감용 특수 다중도체 방식의 3차원 전계분포해석

민석원, 송기현

순천향 대학교 정보 기술 공학부

3-Dimensional Analysis on Electric Field of Special Conductor Bundle for Reducing Aeolian Noise In Corona Cage

Suk Won Min, Ki Hyun Song

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745.

Abstract - In this paper, 3-dimensional charge simulation method was applied to analyze electric field distributions of special conductor bundles equipped with spiral rods for reducing aeolian noise in a corona cage.

We found calculation error of this method was within a reasonable boundary of 0.5%.

1. 서 론

현재 우리 나라는 전력수요증가와 인구의 대도시 집중화 현상으로 인해 신뢰도 높은 대용량 장거리 전력수송 설비를 점점 확충해야 하는 실정으로 765 kV 송전선로를 건설 중에 있다[1]-[4].

이런 765 kV 송전선로의 운전을 앞두고 새로이 대두된 문제점으로 송전선에서 바람으로 인한 풍소음의 기계적 소음이 문제가 되었고, 그 문제의 해결 방안으로 spiral rod를 송전선로의 소도체에 감음으로써 풍소음을 줄일 수 있었다.

한편 이런 spiral rod의 반경은 소도체의 반경에 비해 매우 작아 spiral rod 표면은 전계강도가 높아지는 전계불균등 현상이 나타나게 되어 코로나가 쉽게 발생하게 된다.

따라서 본 저자들은 2차원장 전하 중첩법을 이용하여 기계적인 풍소음을 줄이면서 동시에 전계를 가장 낮게 형성하는 spiral rod의 형상과 수를 찾는 연구를 하여 대각 밀착 4조가 적합함을 발표한 적이 있다[5][6].

그러나 2차원장의 해석으로 3차원 송전선로에서 일어나는 물리적인 현상을 정확히 예측한다는 것은 한계가 있을 것으로 생각되었고, 실제 송전선로를 3차원으로 모의 계산을 해 보는 연구의 필요성이 제기 되어, 본 연구에서는 3차원장으로 spiral rod를 모의할 수 있는 3차원 전하 중첩법을 개발하여, 그 결과를 발표했었다[7][8].

본 논문에서는 상기 도체 방식의 코로나 잡음 특성을 시험하기 위한 코로나 케이지에서의 도체 방식의 3차원 전계분포를 해석하였다. 왜냐하면, 코로나 케이지에서의 도체방식의 전계분포가 실제 송전선로 도체 전계분포와 가까우면 가까울수록 좋은 실험 결과가 예상되기 때문이며, 이번에는 대각 밀착 4조의 경우만을 해석하였다.

추후에 다른 도체 방식에도 적용할 예정이다.

2. 본 론

2.1 계산 원리

2.1.1 나선 전하의 전위식

나선전하의 전위식은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\phi = \int \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0 \ell} d\ell \tag{1}$$

여기서 분모의 ℓ 은 거리이므로 식(2)와 같이 표현된다.

$$\ell = \sqrt{(x - a \sin u)^2 + (y - a \cos u)^2 + (z - bu)^2} \tag{2}$$

여기서 $d\ell$ 를 du 로 변환하면

$$\begin{aligned} |d\ell| &= \sqrt{(-a \sin u)^2 + (a \cos u)^2 + (b)^2} du \\ &= \sqrt{a^2 + b^2} du \end{aligned} \tag{3}$$

로 나타내어진다.

또한, 전하밀도 ρ_L 의 모의는 밀도함수 표현식을 어떻게 하는 것이 가장 계산 오차를 줄일 수 있는가에 대해 참고 문헌[7]을 통하여 검토한 결과, 상수로 모의하는 것이 가장 좋음을 확인하였다.

따라서, 선전하 밀도를 상수로 모의한 전위식은 다음과 같이 표현된다.

$$\phi = \int \frac{\sqrt{a^2 + b^2} k}{4\pi\epsilon_0 \ell} du \tag{4}$$

2.1.2 나선 전하의 전계식

나선 전하의 전계식은 식(1)에서 ρ_L 의 종류가 다양하므로 먼저 전위 값을 구해서 그 결과가 가장 작은 오차를 포함하고 있는 식을 토대로 전계 계산식을 유도하였다.

오차분석의 과정을 통해서 선전하 밀도를 상수로 취급하는 것이 가장 오차를 줄일 수 있었다.

또, 적분구간도 $-\pi \sim 3\pi$ 까지 설정해서 계산할 때 전위 계산 오차가 가장 적게 나타나서 전계 계산의 적분구간도 $-\pi \sim 3\pi$ 로 하였으며 x, y, z 방향의 전계 성분식은 다음과 같다.

$$E_x = - \frac{\partial \phi}{\partial x} = \int \frac{\sqrt{a^2 + b^2}(k)(x - a \sin u)}{4\pi\epsilon_0 \ell^3} du \tag{5}$$

$$E_y = - \frac{\partial \phi}{\partial y} = \int \frac{\sqrt{a^2 + b^2}(k)(y - a \cos u)}{4\pi\epsilon_0 \ell^3} du \tag{6}$$

$$E_z = - \frac{\partial \phi}{\partial z} = \int \frac{\sqrt{a^2 + b^2}(k)(z - bu)}{4\pi\epsilon_0 \ell^3} du \tag{7}$$

2.2 코로나 케이지 모의

그림 1은 단상 모의 선로인 코로나 케이지 모형이다.

코로나 케이지는 가로, 세로길이가 각각 6m 이며 지면으로 수직인 방향으로 길이가 20m 인 직육면체이다. 따라서, 전위가 0인 케이지의 4면의 모의는 유한 직선 전하를 이용하여 모의를 하여야 3차원 전계를 계산할 수 있으나, 이 경우는 지면 방향으로의 전계가 크게 변화가 없을 것으로 가정하여, 본 논문에서는 무한 직선 전하로 모의하였다.

또한, 케이지는 4면이지만 영상 전하를 고려하여 3면만 모의하였으며 한 면당 15개의 무한 직선 전하를 사용하였다.

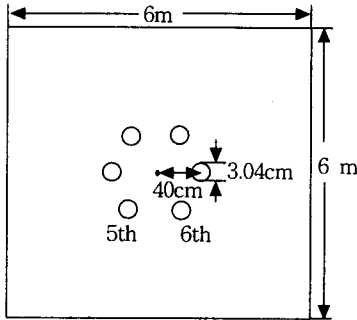


그림 1. Corona Cage 모형도

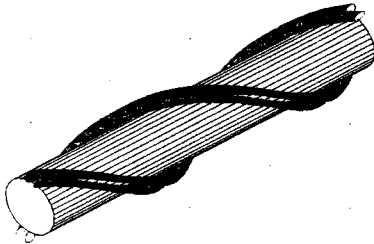


그림 2. 대각 밀착 4조 풍소음 저감전선 방식

2.3 케이지 내부의 전계분포

케이지 내부의 전계분포를 계산하기 위해 각 소도체에는 6개의 무한장 선전하를 배치하였다.

또한, 각 spiral rod에는 2개의 나선전하를 배치하였고, 한 개의 나선 전하는 z 축 방향으로 0에서 2π 구간을 3개로 나누어 전하밀도를 달리 표현하였다.

즉, 각 spiral rod 에는 6개의 나선전하를 배치하였기 때문에, 각 소도체에는 24개의 나선전하를 이용한 것이며, 각 소도체와 spiral rod 에는 100kV를 인가하여 계산하였다.

2.3.1 소도체의 표면 전계분포

본 논문에서는 6번 소도체의 계산결과만을 나타내었다.

그림 3에서 알 수 있듯이 전위 계산 최대 오차는 소도체 표면에서 약 0.3%로 신뢰할 만한 수준이었으며, 소도체 표면 최대 전계강도는 그림 4와 같이 케이지에서는 6.64 kV/cm 인 반면, 송전선에서는 7.84

kV/cm 가 나왔다.

이는 케이지로 송전선을 모의하기 위해서는 케이지 계산에 인가한 100kV의 1.2배에 해당하는 120kV 전압으로 실험을 해야하는 것을 의미하는 것으로 spiral rod 도 같은 결과가 나오는 지를 검토해야 한다.

한편 케이지의 각 소도체의 최대 전계치들은 다중 도체 중심점과 소도체 중심점을 연결한 방사상의 위치에 나타나고 있었다.

2.3.2 Spiral rod 표면 전계 분포

그림 5는 6번 소도체의 spiral rod 표면 전위 계산 결과로 두 번째 spiral rod에서 약 0.5%의 최대 전위 계산 오차가 발생하여 계산 결과가 신뢰할 만한 수준임을 알았다.

그림 6은 spiral rod 표면의 전계강도 분포로 최대 전계강도는 5.5 kV/cm 이었다.

한편 그림 7은 송전선로의 경우에 spiral rod 표면에서 나타나는 전계강도 분포로 최대 강도치가 13.4 kV/cm 이었다.

즉, 코로나 케이지 내의 spiral rod 표면 전계강도 분포가 송전선로의 spiral rod 표면 전계강도 분포를 나타내기 위한 케이지 실험전압이 100kV의 2.4배인 240kV임을 알 수 있었다.

이와 같이 소도체 표면과 spiral rod 표면의 전계 분포가 동시에 코로나 케이지 내에서 정확하게 모의가 가능하지 않음을 알았다.

따라서, 코로나케이지 시험 전압은 코로나 케이지가 송전도체 방식의 코로나 잡음 특성을 시험하는 설비이고, 코로나 잡음 특성이 시험 도체의 최대 전계강도에 좌우되어서, 본 논문에서는 소도체와 spiral rod 구분없이 최대 전계강도로 결정하였다.

즉, 송전선의 최대 전계강도가 13.4 kV/cm 이고, 케이지의 최대 전계강도가 7.028 kV/cm 이므로, 케이지 실험 전압은 약 180 kV로 하였다.

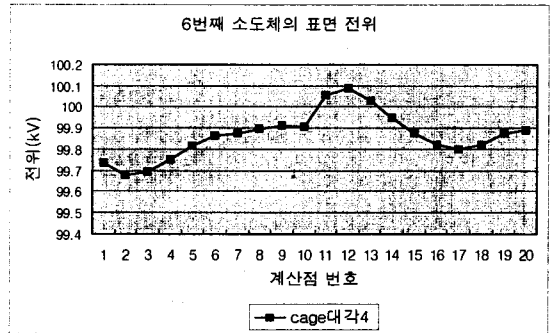


그림 3. 소도체 표면에서의 전위

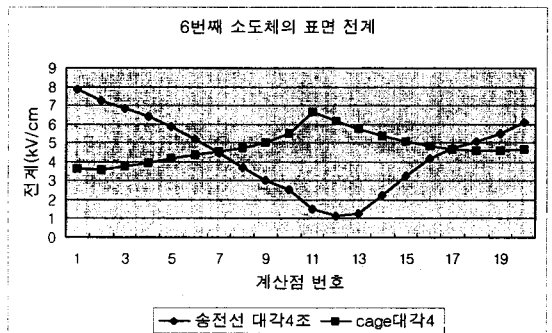


그림 4. 소도체 표면에서의 전계

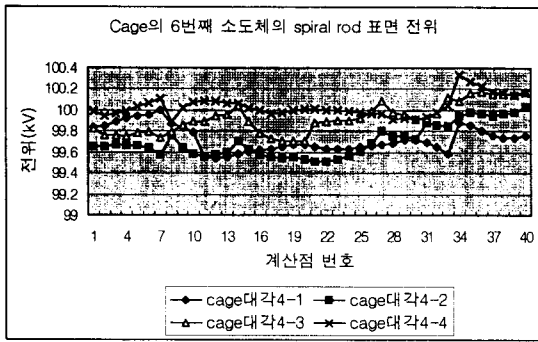


그림 5. 케이지의 경우 spiral rod 표면에서의 전위

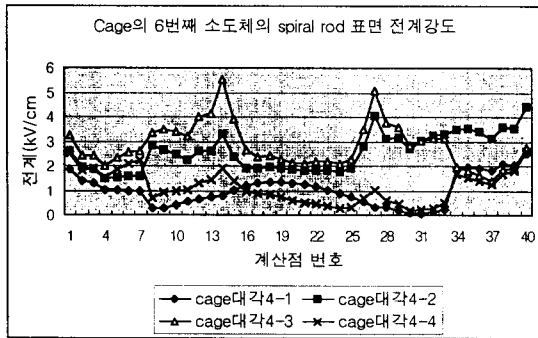


그림 6. 케이지의 경우 spiral rod 표면에서의 전계

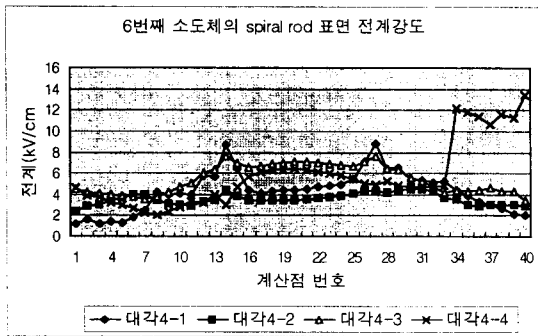


그림 7. 송전선로의 경우 spiral rod 표면에서의 전계

(참 고 문 헌)

[1] 민석원, 김정부, "코로나 케이지를 이용한 765 kV 초고압 송전선 다중 도체방식 선정", 대한전기학회 논문지 제542권 7호, 84-94, 1993
 [2] 민석원, 박종근, "코로나 잡음 특성을 고려한 초고압 송전선의 다중 도체 배열 방식 연구", 대한전기학회 논문지 제39권 5호, 508-515, 1990
 [3] S.W.Min, J.B.Kim, D.I.Lee, "A Study on Corona Characteristics of Symmetric and Asymmetric Conductor Bundle for 765kV Double Circuit Transmission Line by the Use of Corona Cage", Proc. of 8th ISH, Vol.3, 457-460, 1993
 [4] S.W.Min, J.K.Park, J.B. Kim, "Conductor Bundle Geometry Optimization in view of Conductor Surface Gradient", IEE Japan, 111-B, 1065-1072, 1991
 [5] 민석원, 김용준, 송기현, 박은서 "전하 중첩법을 이용한 765kV 2회선 송전선로 특수 다중도체 방식의 전계분포 해석", 2000년도 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계 학술연구 발표회 논문집, 3-8, 2000
 [6] S.W.MIN, Y.J.Kim, K.Y.Shin, D.I.Lee, M.N.Ju, K.H.Yang, "Analysis on Electric Field Distributions and Corona Characteristics of Special Conductor Bundles For 765kV Double Circuit Transmission Line", ACED-2000, H-802, 423-426, 2000
 [7] 민석원, 박은서, 송기현, "전하중첩법용 spiral 전하에 관한 검토", 2000년 한국 조명, 전기 설비 학회 학술대회 논문집, 179-182, 2000
 [8] 민석원, 송기현, "풍소음 저감용 특수 다중도체 방식의 3차원 전계해석", 2001년도 대한전기학회 전력기술부분회 춘계 학술대회 논문집, 254-258, 2001

3. 결 론

본 논문에서는 풍소음 저감용 특수 다중도체 방식의 코로나 잡음 특성을 시험하기 위한 코로나 케이지에서의 도체 방식의 3차원 전계 분포를 해석하였다.

해석 결과로 본 논문에서 제시한 방법은 최대 전위 계산 오차가 약 0.5%로 신뢰할 만한 수준임을 알았고, 코로나 케이지 내의 소도체 표면 전계강도 분포와 송전선의 소도체 표면 전계강도 분포가 약간의 상이하였으며, spiral rod 는 유사한 분포를 갖고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 코로나 케이지가 코로나 잡음 특성을 시험하는 설비이고, 코로나 잡음이 최대 전계강도에 좌우되므로, spiral rod의 표면 전계강도를 기준으로 코로나 케이지의 전압을 결정하면 문제가 없을 것으로 생각된다.