

전하중첩법을 이용한 직류 송전선 주변 이온장 해석

민석원¹, 송기현^{1*}

Analysis of the Ionized Fields around HVDC Transmission Line by the Use of the Charge Simulation Method

Suk-Won Min¹ and Ki-Hyun Song^{1*}

요약 본 논문에서는 전하중첩법을 이용하여 다극성, 다도체 직류송전선의 주변 이온장을 해석하였다. 이와 관련한 알고리즘은 비선형 편미분 방정식으로 표현되어 매우 복잡하기 때문에 문제를 해석적으로 풀기가 매우 어렵다. 그래서 여기서는 다극성, 다도체 직류 송전선에 적용할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였고 제안한 알고리즘의 타당성을 증명하기 위해 공간전하를 고려한 도체표면의 전계강도 및 코로나 전류밀도, 공간전하 밀도를 계산하였다.

Abstract This paper analysed the ionized fields around HVDC transmission line by the use of the charge simulation method. As this is very complex and expressed by a non-linear partial differential equations, it is hard to solve problems analytically. So, we developed a computer program which can apply in multi-polar HVDC transmission line with conductor bundles and calculated conductor surface gradient, corona current density and ion charge density to prove validity of a proposed algorithm in this paper.

Key Words : ionized fields, HVDC, charge simulation, corona current

1. 서론

직류송전선은 교류송전선에 비해 몇몇 장점을 갖고 있다. 등가의 교류송전선에 비해 장거리 직류송전선은 낮은 송전손실과 송전비용으로 가능하다. 직류송전 시스템은 고속으로 쉽게 제어될 수 있기 때문에 직류 연계선은 교류시스템의 안정도를 개선시키며 직류 변환소는 또한 다른 주파수의 교류시스템을 연계시키는데 이용될 수 있다. 이러한 장점으로 인해 우리나라에서도 북한, 중국, 러시아, 일본을 연계하는 동북아 연계시스템에 장거리 직류송전선을 구상 중에 있다. 그러나 직류송전선에도 몇 가지의 문제가 있고 그 중의 하나가 직류송전 도체 주변의 이온화 현상의 전기환경장해 현상이다.

잘 알고 있는 바와 같이, 공기에 높은 전계가 걸리면 코로나가 발생한다. 이런 코로나는 공기의 이온화 현상으로 공간전하(이온과 하전입자)가 발생되고 이 공간전하에는 전계가 작용하게 된다. 교류전계 하에서 공간전하는 전계의 교번현상에 의해 선로 근처에 남아 있게 된다. 반면에 직류 하에서는 전계의 방향이 시간에 따라 변화하지 않아 공간전하는 전계에 의해 도체로부터 멀리 이동되어진다. 공간전하는 또한 바람에 의해 먼 거리까지 이동될 수 있다. 공간전하의 이동은 공간에서 이온전류를 생성한다.

이와 같은 코로나는 라디오잡음, 가청소음, 텔레비전 잡음, 코로나 손실 등을 일으킨다. 직류송전선에 의해 발생한 공간전하는 대기의 자연 이온 균형에 영향을 미쳐 미지의 생물학적인 장해와 환경적인 장해를 가져 올 수 있다[1].

한편 직류송전선의 전계는 불균등 전계로 도체표면에서의 전계가 가장 높고 도체표면으로부터 거리가 증가함에 따라 급격히 감소하여 전리층을 제외한 곳에서는 두 극성의 이온이 존재하며 도체는 도체의 인가전압과 같은 극성의 이온의 소스로 작용한다.

이 논문은 2003년도 순천향대학교 학술연구 조성비 공모과제 지원을 받아 수행하였음.

¹순천향대학교 정보기술공학부

*교신저자: 송기현(songkha@hanmail.net)

이와 같이 이온류장의 전계계산을 하는 경우는 전공간의 전계분포가 미지일 뿐만 아니라 공간전하 분포 혹은 이온류 분포도 미지이다. 아울러 전계분포와 공간전하 밀도분포가 상호 의존하기 때문에 쌍방을 동시에 풀어야 된다. 또한 공간전하 밀도분포를 계산하기 위해서는 공간전하 발생량과 그 분포 등이 주어지지 않는다면 이와 같은 발생원의 제 특성을 실험적, 이론적으로 명확히 하기는 매우 어렵다. 더욱이 전계가 공간전하 분포에 의해 변할 뿐만 아니라 공간전하 발생량 자체도 전선부근의 전계분포에 의존하여 크게 변할 것으로 생각된다.

그래서 코로나 존재시의 직류송전선의 전계를 이론적으로, 실험적으로 연구할 필요가 있고 이를 해결하기 위한 많은 방법이 제안되어졌지만[2],[3] 아직도 이런 문제는 완전히 해결 되지 못하고 있다[4]. 그 이유로는 문제의 복잡성, 비선형 편미분 방정식, 코로나 현상에 영향을 미치는 바람, 온도와 습도 등에 관한 여러 요소들 때문이다.

따라서 본 연구에서는 이온류의 발생량은 전선표면 전위경도에 의해 결정된다는 가정을 놓고 이것을 공간전하의 발생량을 결정하는 경계조건으로 하였다. 이 가정을 이용하면 이온류 발생량을 표현하는 함수를 적당히 변화시켜 코로나 전류와 이온류 등의 측정 가능한 광과 계산치를 비교하는 것에 의해 타당한 이온류 발생량을 역으로 구하는 것이 가능하기 때문이다. 이 함수는 도체방식에 따라 다르지만, 전선배치와 극배열에는 거의 의존하지 않을 것으로 생각되기 때문에 본 계산법으로 하나의 배치에서의 실험결과를 기준으로 다회선을 포함한 임의의 전선배치의 코로나 전류, 전계 및 이온류를 개략 예측할 수 있다.

또, 라디오 잡음의 발생량을 표현하는 함수, excitation function과 코로나 소음 발생량을 표현하는 함수 generated acoustic power가 전선표면 전위경도에 의해 결정된다는 가정이 성립하면 본 계산법을 라디오 잡음과 코로나 소음 예측에 이용할 수 있다.

또 다른 본 연구의 특징은 전하중첩법을 이용하여 다도체의 도체표면 전계강도를 계산한 것이다. 기존의 방법은 다도체를 등가의 단일도체로 환산하는 방법을 사용하였으나 본 연구에서는 각 소도체를 있는 그대로 모의하여 각 소도체의 도체표면 전계강도를 계산할 수 있었다.

이상의 방법을 적용하여 본 연구에서는 다극성 다도체 직류송전선의 주변 이온장에 관한 프로그램을 개발한 후, 공간전하를 고려한 도체표면의 전계강도 및 코로나 전류 밀도, 공간전하 밀도를 계산하여 타당성을 검토하였다.

2. 이온류장 전계계산법

본 논문의 계산법에서도 “이온은 전계의 크기에는 영향을 미치지 않지만 전계의 방향에는 영향을 미치지 않는다.”는 이른바 Deutch 가정을 이용하였다. 이것은 2차원으로 취급해야 하는 문제를 간단히 하기 위해, 각 전기력선을 따라 1차원으로 바꾸어 풀기 위한 가정이다. 이 가정은 오래 전부터 코로나 손 해석 등에 이용된 것으로 최근에는 Maruvada[2], Khalifa[3] 등이 사용하고 있다.

그러나 문헌 [2], [3]의 방법은 각각 공간전하 발생량을 결정하는 경계조건이 본 논문의 방법과 다르다. 문헌 [2]의 방법은 “전선표면 전위경도는 코로나 개시전압 이상에서는 코로나 개시 전위경도치를 그대로 유지한다.”라는 가정을 이용하고 있다. 이 방법은 코로나 개시 전위경도를 주어 계산하는 것으로 라디오 잡음과 코로나 소음의 예측계산에는 사용될 수 없다. 이에 반해 본 논문에서는 이온류의 발생량은 전선표면 전위경도에 의해 결정된다는 가정을 놓고 이것을 공간전하의 발생량을 결정하는 경계조건으로 사용하였다. 전기력선 외의 이온류장의 계산법으로는 차분법[5], 유한요소법[6]의 영역분할법이 개발되고 있으며 이들의 특징은 표 1과 같으며 이상의 장단점을 고려하여 본 연구에서는 발생 이온류의 실험식과 전기력선을 이용하는 프로그램을 작성하였다.

2.1 발생 이온류 실험식을 이용한 전기력선법

전기력선법이란 기본적으로 아래의 2개 가정(㉠, ㉡)을 이용하여 정전기력선을 따라 1차원 식으로 바꾸어 푸는 방법이나 본 연구에서는 도체표면 전계강도를 정확하게 구하고 수렴정도를 높이기 위하여 다음의 5개 가정(㉢ ~ ㉥)을 적용하였다.

- ㉠ 이온류는 전선방향으로 균일하게 분포하고 시간적 변동은 없다.(정상, 균일 이온류의 가정)
- ㉡ 이온은 전계 크기에는 영향을 주지만 전계 방향에는 영향을 미치지 않는다.(Deutch 가정)
- ㉢ 등가반경 단도체의 발생 이온류 밀도는 공간전하를 고려한 경우의 표면전위경도에 따라 정해진다.
- ㉣ 바람의 영향은 무시할 수 있다.
- ㉤ 이온류 밀도와 정전계와의 비는 복도체계의 경우와 등가반경 단도체계 간에 변하지 않는다.
- ㉦ 이온 이동도는 전계치와 발생으로부터의 체공시간에 의해 따라 변하지 않고 일정하다.
- ㉧ 정부 이온의 재결합계수는 일정하다.($2.2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$)

표 1. 전기력선법과 영역분할법의 특징

	전기력선법	영역분할법
계산 방법	하나의 정전기력선의 끝에서 전계와 이온류와 관련한 출발치를 정하고 이 전기력선을 따라 전계와 이온류 (또는 공간전하밀도)를 계산한다. 전위는 전계의 수치적분으로 구하고 경계조건이 만족되지 않는 경우는 출발치를 수정한다.	전선주위 공간을 영역분할 하고 적당한 초기치를 주어 전위를 구하는 계산과 공간전하밀도를 구하는 계산을 번갈아 행하여 전위 및 공간전하밀도의 변화량이 작게 될 때까지 반복한다. 전계는 전위의 수치미분에 의해 구한다.
장점	i) 영역분할이 필요 없어 입력 데이터가 최소로 되고 파라미터 변경이 용이하다. ii) 다회선, 접지도체를 포함하는 경우와 복도체계에 대해서도 단도체 1회선의 경우와 같이 쉽게 계산할 수 있다. iii) 일부공간을 대상으로 계산할 수 있다. iv) 기본식이 전계, 이온류 밀도의 형식으로 표현되기 때문에 수치계산에 의한 오차가 작다. v) 복도체 근방 등의 전계 변화가 큰 부분에서도 해석적 방법을 조합할 수 있어서 수치계산에 의한 오차가 작다. vi) Deutch 가정에 의한 오차를 제거하면 전선표면 전위경도의 계산정도가 높아져서 발생 이온류를 표면 전위경도와 결부하여 경계조건을 이용할 수 있다. vii) 따라서 다른 전선배치, 극배열의 전계, 이온류의 예측계산이 가능하다. viii) 계산시간, 계산기의 용량이 작다.	i) 안정한 계산법이다. ii) Deutch 가정을 필요로 하지 않기 때문에 분할을 세분하면 정확한 계산이 가능하다. iii) 바람의 영향을 고려할 수 있다. iv) 비정상장의 계산이 가능하다. v) 유한 요소법에서는 영역분할이 비교적 유연하기 때문에 도체표면 형상에 맞추어 분할할 수 있다.
단점	i) Deutch 가정 때문에 전계, 이온류 분포가 부분적으로 꽤 큰 오차가 발생한다. ii) 바람의 영향을 고려하기 어렵다. iii) 비정상장의 계산이 가능하지 않다. iv) 다소 불안정한 계산법이다. 특히 공간전하량이 많은 경우에는 발산하기 쉽다. 이것을 해결하기 위해서는 반복계산 수순이 복잡하다.	i) 차분법의 경우는 도체근방 등의 경계부근의 영역분할에 유연성이 떨어져서 복도체 등의 복잡한 경계를 표현하기 어렵다. 유한 요소법에서는 비교적 자유스럽게 요소분할을 할 수 있지만 전기력선법에 비하면 요소분할 작업이 어려워 파라미터 변경이 부자유스럽다. ii) 기본식이 전위와 공간전하밀도로 표현되기 때문에 전계와 전류를 구하는 경우에 수치오차를 발생하기 쉽다. 특히 도체표면 등의 전계가 급격히 변화하는 곳에서는 오차가 크게 된다.

이상의 가정을 이용하여 본 계산법은 크게 정전계계산 부분(① ~ ③)과 공간전하를 고려한 전계계산(④ ~ ⑦)으로 되어 있으며 정전계 계산치는 과전압과 발생 이온류, 이온 이동도와 관계없기 때문에 이 값이 변하는 경우에는 정전계 계산은 하지 않는다.

- ① 전하중첩법을 이용하여 각 도체 표면 및 주위의 전계 강도를 계산한다.
- ② 계산대상인 상도체 표면으로부터 나오는 전기력선을 따라 전위를 계산한다.
- ③ 상기의 전기력선을 전위가 등간격으로 되도록 분할하고 그 위치와 규격화 전계를 Lagrange 보간법으로 계산한다.
- ④ 전기력선 한 쪽 끝에서의 전계와 이온류 값을 준다. 이 값은 이후의 반복계산을 통해 수정되어 가기 때문에 어떤 값도 좋지만, 참값에 가까운 쪽이 반복회수가 적게 된다. 초기치는 표면전위경도와 정부 이온류의

비의 형태로 지정한다.

- ⑤ ③에서 계산된 전기력선을 따라 포아송 방정식과 정부 이온류의 전류 연속 방정식으로 구성된 3원 연립 미분방정식을 계산한다. 전위는 전계를 수치적분하여 구한다.
- ⑥ ⑤계산으로 구한 전기력선 종단전위는 일반적으로 경계조건을 만족하지 않는다. 또 전기력선이 쌍극 모드인 경우, 전기력선 종단 전계와 전압과 이온류와의 관계가 경계조건을 만족하지 않는다. 따라서 오차에 맞춰 초기치 수정을 한다. 전기력선 종단의 경계조건이 만족할 때까지 ⑤와 ⑥계산을 반복한다.
- ⑦ 계산 대상도체의 전표면에 걸친 계산을 한 경우에는 각각 전류밀도 값으로부터 구간당의 이온류를 구하고 이것을 가산하여 코로나 전류를 계산한다.

2.2 개발 프로그램 알고리즘

직류 송전선 주변의 이온류와 관련한 전계 E, 이온전류 밀도 j와 공간전하밀도 ρ를 나타내는 기본식은 다음과 같이 된다.

$$\nabla \cdot E = (\rho_+ - \rho_-) / \epsilon_0 \tag{1}$$

$$j_+ = \mu_+ \rho_+ E \tag{2}$$

$$j_- = \mu_- \rho_- E \tag{3}$$

$$j = j_+ + j_- \tag{4}$$

$$\nabla \cdot j + \frac{\partial \rho_+}{\partial t} = -R_a \rho_+ + \rho_- / e \tag{5}$$

$$\nabla \cdot j + \frac{\partial \rho_-}{\partial t} = -R_a \rho_+ + \rho_- / e \tag{6}$$

$$E = -\nabla \Phi \tag{7}$$

여기서, μ는 이온 이동도, R_a는 정부 이온 재결합계수, Φ는 전위이다. 또 위의 (1)식은 포아손 식이고 (5)와 (6)식은 전류 연속방정식이다.

정상, 균일 이온류의 가정 ㉔와 Deutch 가정 ㉕로부터 위 식은 정전기력선을 따라 1차원 식으로 쓸 수 있다. 또 공간전하가 없는 경우의 규격화 전위와 전계를

$$\phi_0 = \frac{\Phi_0}{V}, \quad \xi = -\frac{d\phi_0}{ds} \text{로 표시하여 } (\Phi_0 \text{는 공간 전하가 없는 경우의 전위, } V \text{는 과전압, } s \text{는 정전기력선을 따라 간 거리})$$

$$y_1 = E / \xi, \quad y_2 = j_+ / \xi, \quad y_3 = j_- / \xi \text{로 변수를 변환하면 (1), (5)와 (6)식은 다음과 같이 표현된다.}$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{d\phi_0} &= -(y_2 / \mu_+ - y_3 / \mu_-) / (\epsilon_0 y_1 \xi^2) \\ \frac{dy_2}{d\phi_0} &= R_a y_2 y_3 / (e \mu_+ \mu_- y_1^2 \xi^2) \\ \frac{dy_3}{d\phi_0} &= -\frac{dy_2}{d\phi_0} \end{aligned} \tag{8}$$

전기력선 상의 전위 Φ분포는 y₁을 φ₀에 대하여 수치 적분하여 얻을 수 있다. (8)식을 이용하여, 전기력선 상의 E, Φ, j₊ 및 j₋를 구하기 위해서는 전기력선 양단에서의 경계조건을 정해야만 한다.

우선, 전위에 관한 경계조건은 다음과 같이 된다. 즉,

$$\begin{aligned} \text{정극 도체상 } (\phi_0 = 1) \text{에서 } \Phi = \Phi_0 = V \\ \text{부극 도체상 } (\phi_0 = -1) \text{에서 } \Phi = \Phi_0 = -V \end{aligned} \tag{9}$$

접지 도체 또는 대지면 상 (φ₀=0)에서 Φ=Φ₀=0 이다.

다음에 과전도체의 발생 이온전류 밀도와 관련한 경계조건을 정한다.

가정 ㉔로부터 등가반경 단도체 표면에서의 발생 이온전류 밀도는 공간전하를 고려한 경우의 전선표면 전위경도 G_{re}의 함수이기 때문에 j_{oe}=f(G_{re}) 형으로 표현된다. 정극도체에서는 정이온 전류 j_{oe+}, 부극도체에서는 j_{oe-}를 발생하기 때문에 각각 j_{oe+}=f_p(G_{rep}), j_{oe-}=f_n(G_{ren})로 표현된다. 여기에서 G_{rep} 및 G_{ren}은 각각 정 및 부극도체에 대한 등가반경 단도체 표면 전위경도이다. 또, 등가반경 단도체계의 전계를 E_e, 규격화 전계를 ξ_e, 정, 부이온 전류밀도를 각각 j_{e+}와 j_{e-}라 하면 가정 ㉔에 따라,

$$E_e = \frac{\xi_e}{\xi} \cdot E = \xi_e y_1$$

$$j_{e+} = \frac{\xi_e}{\xi} \cdot j_+ = \xi_e y_2$$

$$j_{e-} = \frac{\xi_e}{\xi} \cdot j_- = \xi_e y_3 \text{로 된다.}$$

따라서, 발생 이온 전류밀도와 관련한 경계조건은 다음과 같이 된다.

정극도체상 (φ₀=1)에서

$$j_{e+} = j_{oe+} = f_p(G_{rep}) = f_p(E_e)$$

부극도체상(φ₀=-1)에서

$$j_{e-} = j_{oe-} = f_n(G_{ren}) = f_n(E_e) \tag{10}$$

혹은 이것을 바꿔 쓰면

$$\begin{aligned} \text{정극도체 상에서 } \xi_e y_2 = f_p(\xi_e y_1), \text{ 부극도체 상에서} \\ \xi_e y_3 = f_n(\xi_e y_1) \end{aligned} \tag{11}$$

이온 전류밀도 j는 (4)식과 같이 정이온 전류밀도 j₊와 부이온 전류밀도 j₋의 합이지만, 정극도체 상에서는 j₊에 대해서는 경계조건이 정해지지만 j₋에 관한 경계조건은 없다. 역으로 부극도체 상에서는 j₋에 대해서만 경계조건이 정해지고 j₊에 관한 경계조건은 없다.

이와 같이 (9) 및 (11)식의 경계조건을 토대로 (8)식을 풀어 E, Φ, j₊, j₋ 등을 구한다. 또, 발생 이온 전류밀도 j_{oe}(j_{oe+} 또는 j_{oe-})를 표현하는 함수 f(G_{re})(f_p(G_{rep}) 또는 f_n(G_{ren}))는 다음 식의 형으로 가정

한다. 즉,

$$f(G_{re}) = be^{aG_{re}} \quad (12)$$

실용 송전선의 G_{re} 의 범위는 대부분 이 식을 이용하
지만, G_{re} 의 값이 매우 작은 경우는

$$f(G_{re}) = d(G_{re})^c \quad (13)$$

식을 이용한다. 여기에서 a, b, c, d는 실험정수이다.

(13)식의 정수 c와 d는 $K_{\xi}G_{re} = 14kV/cm$ 라 놓고

(13)식의 $f(G_{re})$ 및 $\frac{df(G_{re})}{dG_{re}}$ 가 (12)식과 같게 되도

록 정한다. 즉, $c = \frac{14}{K_{\xi}} a$, $d = be^{-\frac{14}{K_{\xi}} a(1 - \ln \frac{14}{K_{\xi}})}$ 이다.

이상의 과정을 정리한 계산과정 흐름도는 그림 1과
같다.

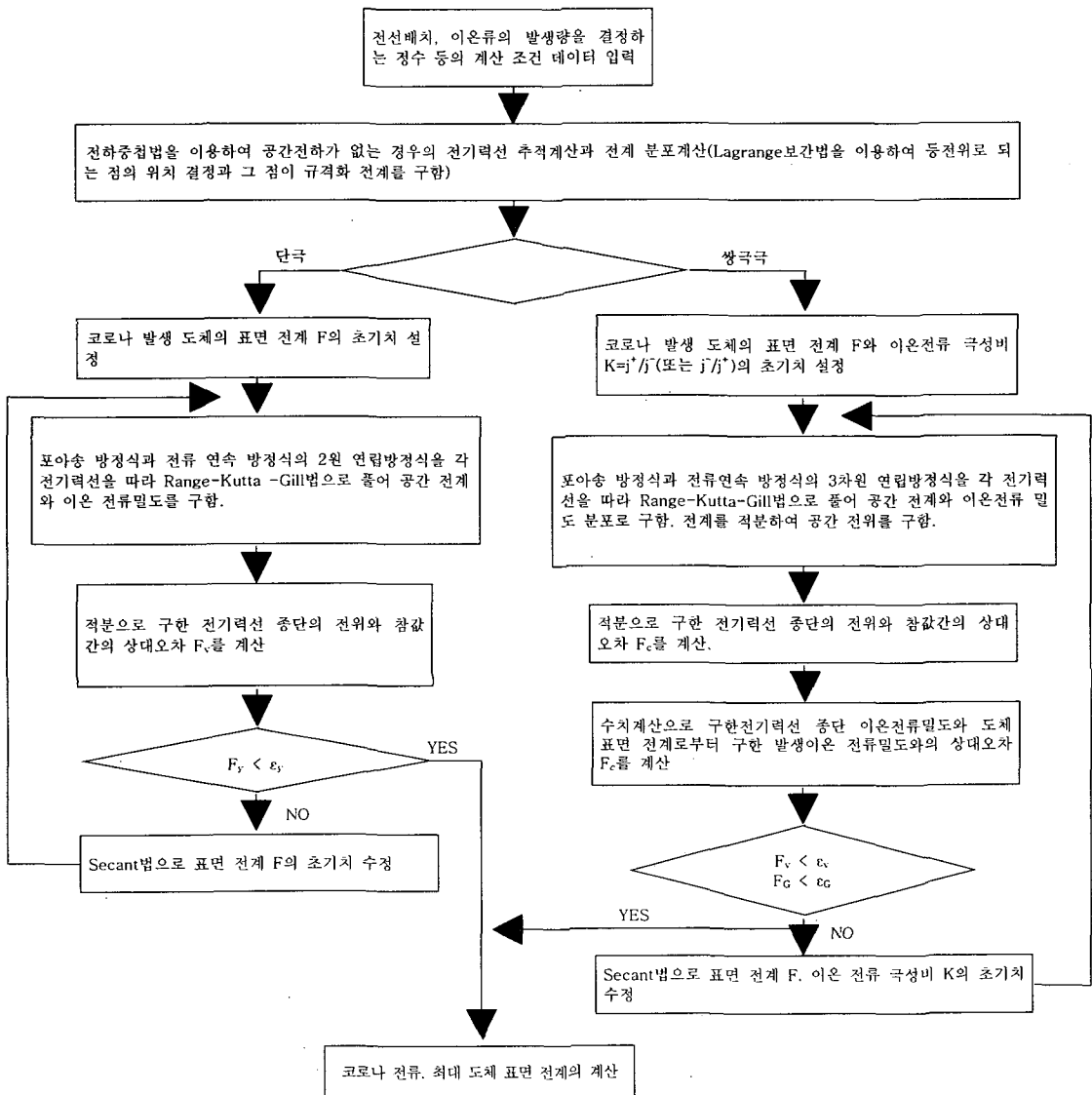


그림 1. 계산과정 흐름도

표 1. 단극성 및 쌍극성 직류 송전선 구조

	상도체 1 위치		상도체 2 위치		상도체 구조		
	수평거리 (m)	수직거리 (m)	수평거리 (m)	수직거리 (m)	소도체 반경 (cm)	소도체 수	소도체 간격(cm)
단극성	0	18	없음	없음	1.92	4	40
쌍극성	9.2	18	-9.2	18	1.92	4	40

3. 계산결과

본 연구에서는 이상에서 검토한 계산 알고리즘을 표 1과 같은 구조의 단극성과 쌍극성 직류 송전선에 적용하여 타당성을 검토하였다. 이 때 단극성 직류 송전선에는 500kV를 인가하였으며 쌍극성에는 상도체 1에는 500kV를 상도체 2에는 -500kV를 인가하였다.

검토한 사항은 공간전하를 고려하지 않은 경우와 공간전하를 고려한 전계강도와 코로나 전류, 전류밀도, 이온전하밀도 등이다. 검토위치는 크게 도체표면과 지표면으로부터 1m 떨어진 지점에서 위의 사항을 검토하였다.

그림 2에서 8까지는 도체표면에서의 여러 가지 검토 결과를 보인 것이다. 그림 2는 공간전하를 고려하지 않은 경우의 단극성 도체와 쌍극성 도체의 표면전계강도로 단극성 도체보다는 쌍극성 도체가 전계강도가 높으며 쌍극성의 경우는 양극 쪽과 음극 쪽 도체의 표면전계강도 거의 같음을 보이고 있다.

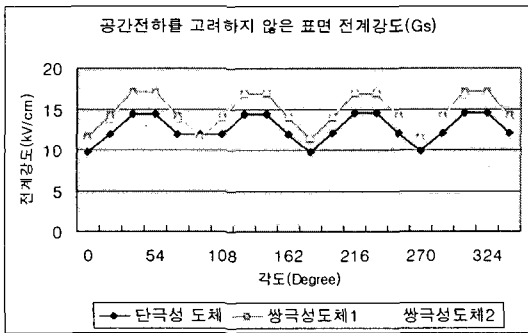


그림 2. 공간전하를 고려하지 않은 경우의 도체표면 전계강도

그림 3은 공간전하를 고려한 경우의 도체표면 전계강도로 단극성의 경우는 공간전하를 고려함에 따라 전계강도가 상당히 낮아짐을 알 수 있으며 쌍극성의 경우는 위치에 따라 약간씩 감소함을 알 수 있었다.

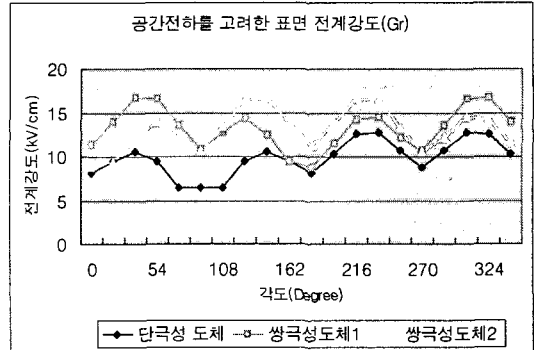


그림 3. 공간전하를 고려한 경우의 도체표면 전계강도

그림 4는 도체표면의 코로나 전류분포로 단극성이나 쌍극성 모두 계산값이 수렴하는 특성을 보여 본 계산 알고리즘으로 안정적으로 계산할 수 있음을 보여 주었다.

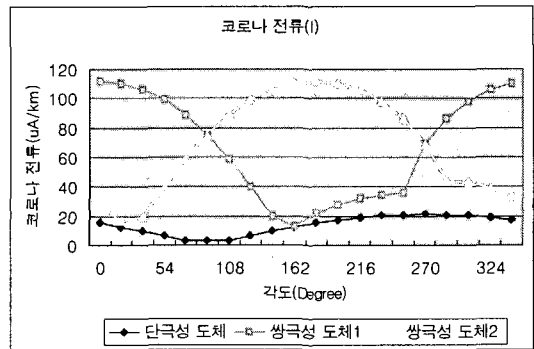


그림 4. 도체표면의 코로나 전류 분포

그림 5에서 8은 도체표면의 전류밀도와 이온전하밀도 분포에 관한 계산 결과로 단극성이나 쌍극성 모두 발산하지 않고 물리적으로 의미 있는 값을 보여 본 계산 알고리즘으로 안정적으로 계산할 수 있음을 보여 주고 있다.

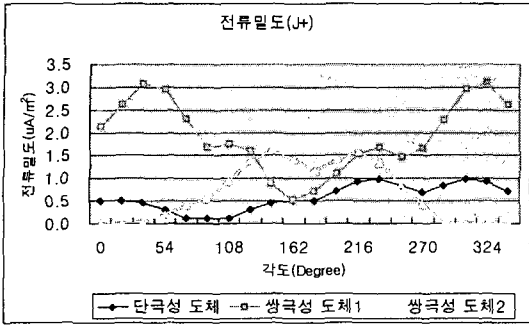


그림 5. 도체표면의 정극성 전류밀도 분포

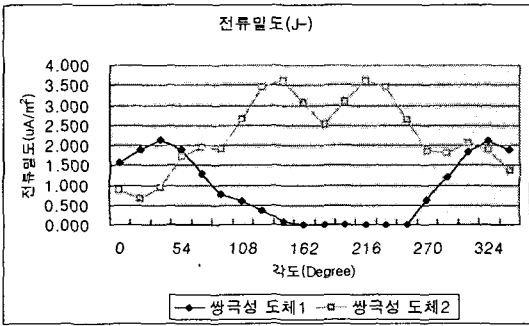


그림 6. 도체표면의 부극성 전류밀도 분포

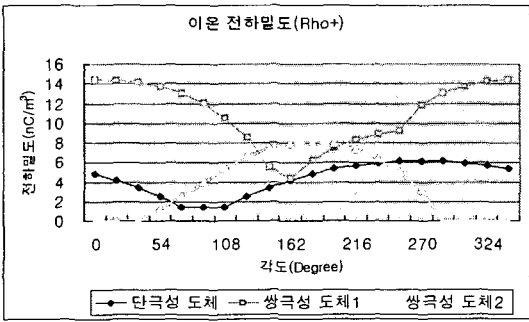


그림 7. 도체표면의 정극성 이온 전하밀도 분포

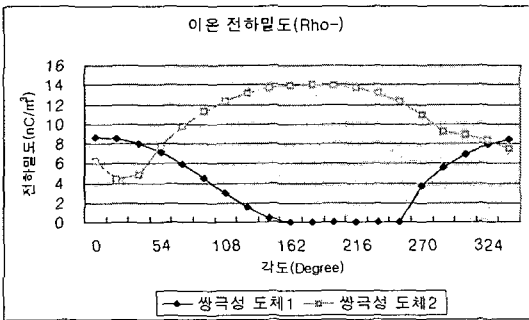


그림 8. 도체표면의 부극성 이온 전하밀도 분포

그림 9에서 12는 지상 1m 지점의 선로 중심으로부터 40m떨어진 지점까지의 전계강도와 전류밀도, 이온 전하 밀도 분포에 관한 계산결과로 도체표면과 마찬가지로 계산결과가 발산하지 않고 물리적으로 의미 있는 값으로 수렴하는 특성을 보여 본 계산 알고리즘을 적용하여 계산이 원만히 이루어질 수 있음을 알았다.

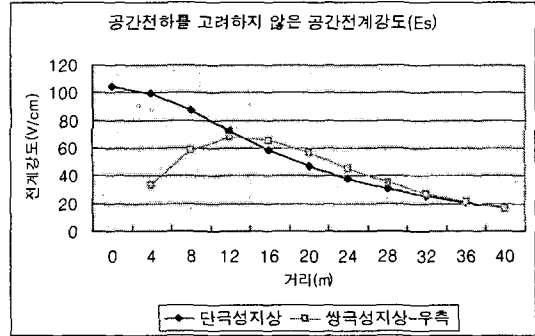


그림 9. 지상 1m 지점의 공간전하를 고려하지 않은 경우의 공간 전계강도

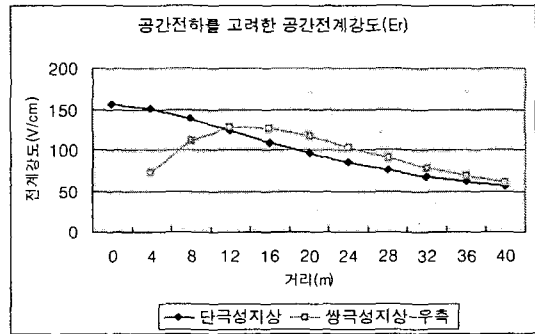


그림 10. 지상 1m 지점의 공간전하를 고려한 경우의 공간 전계강도

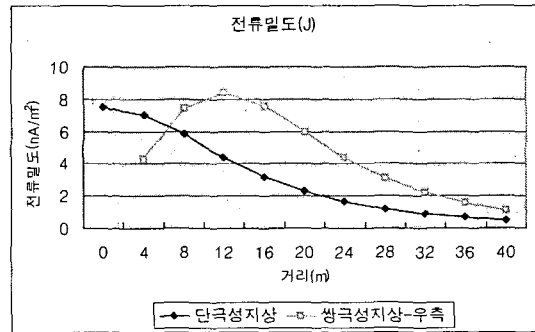


그림 11. 지상 1m 지점의 전류밀도 분포

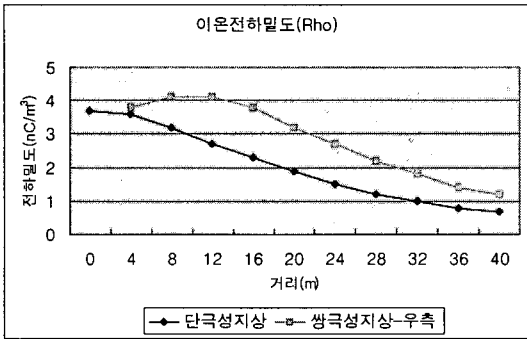


그림 12. 지상 1m 지점의 이온 전하밀도 분포

4. 결론

우리나라에서도 북한, 중국, 러시아, 일본을 연계하는 동북아 연계시스템으로 장거리 직류송전선을 검토 중에 있다. 그러나 직류 송전선 주변의 이온류장은 문제가 복잡하고, 비선형 편미분 방정식으로 표현 등의 풀기 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이온류의 발생량은 전선표면 전위경도에 의해 결정된다는 가정을 놓고 이것을 공간전하의 발생량을 결정하는 경계조건으로 함으로써 본 계산법을 라디오 잡음과 코로나 소음 예측에 이용할 수 있도록 하였다. 또한 전하중첩법을 이용하여 각 소도체를 있는 그대로 모의한 후, 각 소도체의 표면 전계강도를 계산할 수 있도록 하였다. 이상의 두 가지 새로운 기법을 다극성 다도체 직류송전선의 주변 이온장에 관한 프로그램에 적용한 결과, 공간전하를 고려한 도체표면의 전계강도 및 코로나 전류밀도, 공간전하 밀도, 아울러, 지표상의 공간전하밀도 및 공간전하를 고려한 전계강도 등의 모든 해석 결과가 물리적으로 의미 있는 안정된 값으로 수렴하여 본 계산 알고리즘이 타당함을 알았다.

참고문헌

[1] V. L. Chartier, S. H. Sarkine, R. D. Stearns, and A. L. Burns, "Investigation of Corona and Field Effects of AC/DC Hybrid Transmission Lines," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, pp. 72-80. Jan. 1981.

[2] M. P. Sarma, W. Janischewskyj, "Analysis of Corona Losses on DC Transmission Lines, Part II - Bipolar Lines", IEEE Trans. Vol. PAS-88, 10, 1969.

[3] M. Khalifa, M. Abdel-Salam, "Improved Method for

Calculating DC Corona Losses", IEEE Trans. Vol. PAS-93, 2, 1974.

[4] T.Takuma, T.Kawamoto, "A Very Stable Calculation Method for Ion Flow Field of HVDC Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.1, pp. 189-198, 1987.

[5] Y. Sunaga, Y. Sawada, "Method of Calculating Ionized Field of HVDC Transmission Lines and Analysis of Space Charge Effects on RI", IEEE Trans. Vol. PAS-99, 2, 1980.

[6] W. Janischewskyj, G. Gela, "Finite Element Solution for Electric Fields of Coronating DC Transmission Lines", IEEE Trans. Vol. PAS-98, 1979.

민 석 원(Suk-Won Min)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대 공대 전기 공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 서울대 공대 전기 공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 서울대 공대 전기 공학과 (공학박사)
- 1984년 ~ 1991년 : 한전 기술연구원 계통연구실 근무
- 1996년 ~ 1997년 : 일본 교토대학 방문교수
- 1991년 ~ 현재 : 순천향대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>
고전압방전, 송배전설비

송 기 현(Ki-Hyun Song)

[정회원]



- 2000년 2월 : 순천향대학교 전기 공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 순천향대학교 전기 전자공학과(공학석사)
- 2002년 ~ 현재 : 순천향대학교 정보기술공학부 박사과정

<관심분야>
고전압방전, 송배전설비