

工學碩士 學位論文

3상 전력선하의 전계 및 자속밀도 계산

指導教授 姜 大 夏

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

李 永 植

李永植의 工學碩士 學位論文을 認准함

2003年 7月

主 審 工學博士 金 鍾 經



委 員 工學博士 洪 淳 一



委 員 工學博士 姜 大 夏



목 차

제 1 장 서 론.....	1
제 2 장 전력선로하의 전계 및 자속밀도계산.....	3
2.1 전계.....	3
2.2 자속밀도.....	6
제 3 장 3상 전력선하의 전계 및 자속밀도의 계산.....	9
3.1 계산식의 정식화.....	9
3.1.1 전계.....	9
3.1.2 자속밀도.....	14
3.2 계산예.....	18
3.2.1 전계.....	21
3.2.2 자속밀도.....	35
3.3 전계 및 자속밀도성분의 위상각 변화.....	49
제 4 장 결 론.....	57
참고문헌.....	58
Abstract.....	60

그림 목 차

Fig. 2-1	Electric field under electric power line.....	3
Fig. 2-2	Magnetic flux densities under electric power line.....	7
Fig. 3-1	Vertical configuration of 3 phase power lines with 2 circuits.....	9
Fig. 3-2	Horizontal configuration of 3 phase power lines with 1 circuit.....	12
Fig. 3-3	Configuration of 22.9 [KV] distribution lines.....	18
Fig. 3-4	Configuration of 154 [KV] transmission lines.....	19
Fig. 3-5	Configuration of 345 [KV] transmission lines.....	19
Fig. 3-6	Configuration of 765 [KV] transmission lines.....	20
Fig. 3-7	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m]).....	21
Fig. 3-8	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=5$ [m]).....	22
Fig. 3-9	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=10$ [m]).....	23
Fig. 3-10	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	24
Fig. 3-11	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	25

Fig. 3-12	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	26
Fig. 3-13	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	27
Fig. 3-14	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	28
Fig. 3-15	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	29
Fig. 3-16	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	30
Fig. 3-17	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	31
Fig. 3-18	Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	32
Fig. 3-19	Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m]).....	35
Fig. 3-20	Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=5$ [m]).....	36

Fig. 3-21	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=10$ [m]).....	37
Fig. 3-22	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	38
Fig. 3-23	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	39
Fig. 3-24	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	40
Fig. 3-25	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	41
Fig. 3-26	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	42
Fig. 3-27	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	43
Fig. 3-28	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	44
Fig. 3-29	Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m]).....	45

Fig. 3-30	Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=10$ [m]).....	46
Fig. 3-31	Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m]).....	49
Fig. 3-32	Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	50
Fig. 3-33	Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	51
Fig. 3-34	Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	52
Fig. 3-35	Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m]).....	53
Fig. 3-36	Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	54
Fig. 3-37	Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	55
Fig. 3-38	Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m]).....	56

표 목 차

표 3-1 각 전선로의 전류 및 재원.....	18
표 3-2 CENELEC 노출기준.....	33
표 3-3 주요 국가별 노출기준.....	34
표 3-4 CENELEC 노출기준.....	47
표 3-5 주요 국가별 노출기준.....	47

1 서 론

전기는 현대문명의 기본이 되는 것으로서 인간생활에 필수적인 에너지 형태이다. 그러나 전기의 생산, 수송 및 소비과정에서 사람이 전기설비나 기기 근처에 접근할 수 밖에 없으므로 전자계 환경에 노출되는 것은 필연적이라 할 수 있다. 이러한 전자계 환경에 대한 노출은 고주파의 경우(10 [KHz] ~ 300 [GHz]), 인체내에서 생리, 화학적 변화를 유발할 수 있는 정도의 에너지를 전달할 수 있으나 전력 주파수인 50 ~ 60[Hz]의 극저주파수인 경우는 비교적 안전한 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근의 보고에 의하면 이러한 극저주파의 전자계에 대한 노출이 암 및 자살 혹은 우울증과의 관련성을 지적하고 있다. [1~4]

또한 가정 혹은 직장에서 수 많은 전기기기로부터 발생하는 낮은 전자계에서도 장기간 노출되면 생식에 대한 악효과를 일으킬 수 있다는 보고도 있다.[5~7] 그러나 한편으로는 비슷한 환경에서 생체에 대한 전자계의 노출효과가 거의 없는 것으로 보고된 연구결과도 있다. [8, 9]

이러한 논쟁을 해결하기 위해 세계보건기구(WHO)에서는 IARC (International Agency for Research on Cancer)를 통하여 소아 백혈병에 관한 병리학적 연구를 토대로 극저주파 전계를 “발암 가능성 (possibly carcinogenic)”으로 분류하고 일반적 노출로부터의 일반대중에 대한 유사암 평가 및 암이 아닌 다른 질병의 근거에 대한 평가 등을 수행하는 국제 EMF(Electro Magnetic Field) 프로젝트를 설립하여 2001년 6월부터 3년간 이 일을 수행중에 있다. [10] 앞으로 이 프로젝트가 완료되면 극저주파 전자계에 대한 구체적 노출기준도 마련될 것으로 전망된다.

.오늘날 전력수요의 증가와 함께 송전전압은 특고압, 초고압화되고 전력계통은 대전류설비로 구성되고 있어 송배전선로로부터 발생하는 전자계에 대한 우려는 더욱 높아지고 있다. 이러한 시점에서 송배전 선로로부터 발생하는 전계 및 자계의 정확한 계산이 필요하며 이를 고려한 송배전선로의 설계가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 대지의 영향을 고려한 전력선로하의 전계 및 자속밀도의 계산식을 정식화하였으며 현재 가설되어 있는 22.9 [KV] 배전선로 및 154 [KV], 345 [KV], 765 [KV] 송전선로에 적용하여 전계 및 자속밀도의 크기 및 위상각 특성을 조사하였다.

본 논문의 구성은 제 1장에서는 연구의 배경과 최근의 보고를 소개하였고 제 2장에서는 본 연구에 관련되는 이론으로서 전력선로하의 전계 및 자속밀도 계산에서 수평성분 및 수직성분과 합성성분의 식을 구하였다.

제 3장에서는 3상 전력선로하의 전계 및 자속밀도의 계산식을 정식화하였으며 전계 및 자속밀도는 3상 1회선 수평전선 배열과 3상 2회선 수직전선 배열에 대하여 전주 또는 첩탑 중앙의 계산원점으로부터 수평거리 $L[m]$, 높이 $h_0[m]$ 인 점의 전계 및 자속밀도의 계산식에 있어서 수평방향 성분 및 수직방향 성분과 합성전계, 합성자속밀도의 크기 및 위상각을 검토하였다.

또한 계산의 예로서 현재 가설되어있는 22.9[KV] 배전선로 및 154[KV], 345[KV], 765[KV] 송전선로에 이상의 계산식을 적용하였으며 파라미터는 계산점의 높이 h_0 를 1[m], 5[m], 10[m]인 경우로 하여 전계 및 자속밀도의 크기와 위상각의 변화를 살펴보았다, 제 4장 결론에서는 이상의 연구에서 얻어진 결과 및 결론을 정리하였다.

제 2 장 전력선로하의 전계 및 자속밀도 계산

2.1 전계

그림 2-1과 같이 대지표면위 h [m]의 높이에 선밀도 q [C/m]의 전하를 갖는 반경 a [m] ($h \gg a$)의 전력선 A가 대지와 평행하게 가설되어 있는 경우의 전계를 고려하기로 하며 전력선은 무한장 직선도체로 간주하기로 한다. 대지를 평면도체로 보면 대지는 0전위이므로 전력선 A의 대지면에 대한 대칭점 B에 선밀도 $-q$ [C/m]의 영상도선을 평행하게 배열한 경우와 같으며 도선의 선전하는 중심축에 집중되어 있는 것으로 볼 수 있다. 따라서 대지면 위 h_0 [m]의 임의의 점 $P(x, h_0)$ 에 있어서 전력선 A의 전하밀도 q 에 의한 전계 E_1 의 수평방향성분 E_{1x} 및 수직방향성분 E_{1z} 는 (2.1) 및 (2.2)로 주어진다.

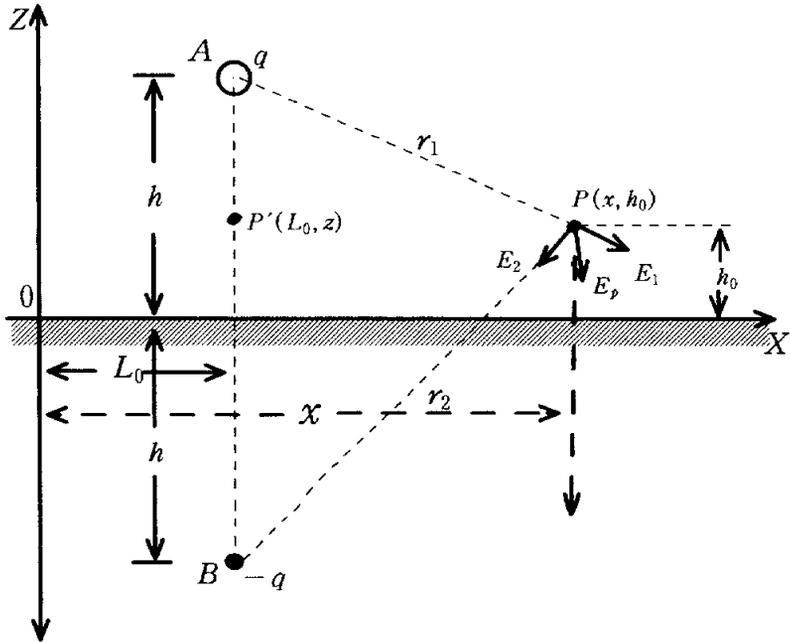


그림 2-1 전력선하의 전계
Fig. 2-1 Electric field under electric power line

$$E_{1x} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{(x-L_0)}{r_1^2} \quad (2.1)$$

$$E_{1z} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{(h-h_0)}{r_1^2} \quad (2.2)$$

$$\text{단, } r_1 = \sqrt{(x-L_0)^2 + (h-h_0)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{(x-L_0)^2 + (h+h_0)^2}$$

또 영상도선 B의 전하밀도 q 에 의한 전기장 E_2 의 수평방향 성분 E_{2x} 및 수직방향 성분 E_{2z} 는 (2.3) 및 (2.4)로 주어진다.

$$E_{2x} = \frac{-q}{2\pi\epsilon_0} \frac{(x-L_0)}{r_2^2} \quad (2.3)$$

$$E_{2z} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{(h+h_0)}{r_2^2} \quad (2.4)$$

그러므로 점 $P(x, h_0)$ 의 수평방향 전기장 성분 E_x 및 수직방향 전기장 성분 E_z 는 식 (2.5) 및 (2.6)과 같다.

$$\begin{aligned} E_x &= E_{1x} + E_{2x} \\ &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{x-L_0}{r_1^2} - \frac{x-L_0}{r_2^2} \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} E_z &= E_{1z} + E_{2z} \\ &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{h-h_0}{r_1^2} + \frac{h+h_0}{r_2^2} \right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

또 AB선상의 임의 점 $P'(L_0, z)$ 의 전계 E_p 를 구하면 식(2.7)과 같이 된다.

$$E_p = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{h-z} + \frac{1}{h+z} \right) \quad (2.7)$$

따라서 전력선 A의 대지에 대한 전위 V_A 는 식(2.8)가 된다.

$$V_A = \int_0^{h-a} E_p \cdot dz = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h-a}{a} \doteq \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{a} \quad (2.8)$$

식(2.8)로부터 전력선 A의 전하밀도 q 를 구하면 식(2.9)가 얻어진다.

$$q = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{a}} \cdot V_A \quad (2.9)$$

그러므로 P점의 전계성분 E_x 및 E_z 는 식 (2.10) 및 (2.11)과 같이 구할 수 있다.

$$E_x = \frac{V_A \cdot (x-L_0)}{\ln \frac{2h}{a}} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \quad (2.10)$$

$$E_z = \frac{V_A}{\ln \frac{2h}{a}} \left(\frac{h-h_0}{r_1^2} + \frac{h+h_0}{r_2^2} \right) \quad (2.11)$$

또 점 P의 합성전계 E는 식 (2.12)로 주어진다.

$$E_x = \sqrt{E_x^2 + E_z^2} \quad (2.12)$$

2-2. 자속밀도

전력선을 무한장 직선도체로 가정하면 전선 외부자계의 세기 H [AT/m]는 식(2.13)로 주어진다.

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2.13)$$

또 자속밀도 B [Wb/m²]는 식 (2.14)과 같다.

$$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.14)$$

단, μ_0 : 공기의 투자율

I : 전력선의 전류[A]

r : 도체 중심으로부터의 거리[m]

그림 2-2와 같이 대지면 위 h [m]에 가설되어 있는 전력선으로서 대지귀로를 가정하기로 한다. 또 대지면의 수평방향을 x 축, 수직방향을 z 축으로 하고 전력선 방향을 y 축으로 하여 대지면 위 h_0 [m]높이인 점 $P(x, h_0)$ 의 자속밀도를 고려하기로 한다. 암페어의 오른나사 법칙에 의해 자속밀도의 성분 중 y 방향성분 B_y 는 0이 되며 x 방향성분 B_x 및 z 방향성분 B_z 만 존재한다. 또한 대지귀로 전류는 반경 H_e [m] ($H_e \gg h$)인 원주형의 대지내에 분포하여 흐르는 것으로 간주한다.

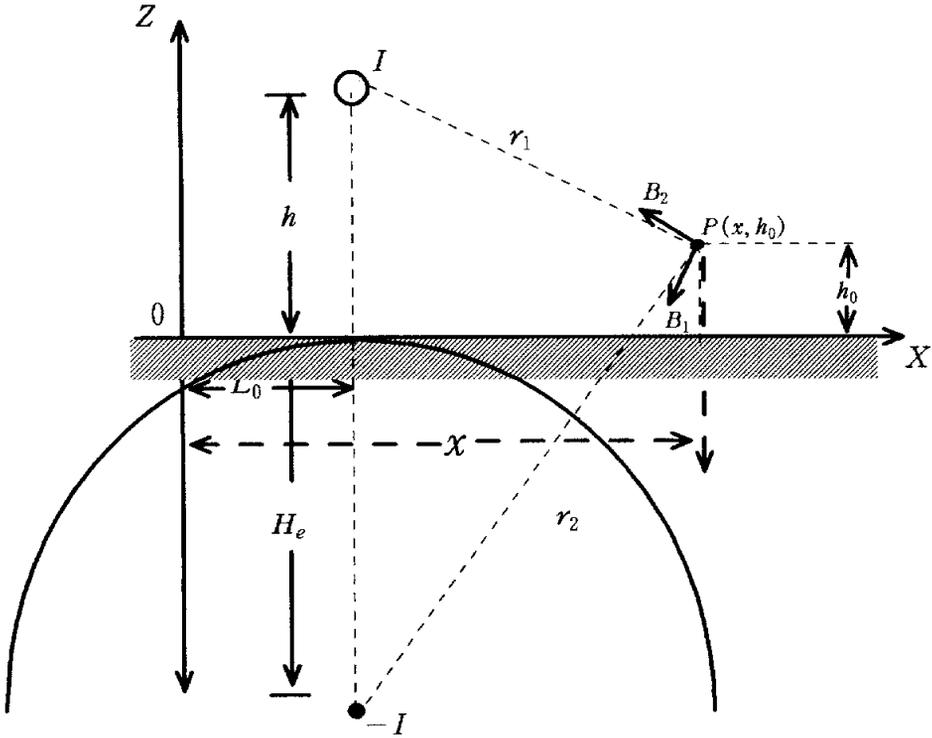


그림 2-2 전력선하의 자속밀도
 Fig. 2-2 Flux densities under electric power line

전류 I 에 의한 자속밀도 B_1 의 수평방향 성분 B_{1x} 및 수직방향 성분 B_{1z} 는 식(2.15) 및 (2.16)로 주어진다.

$$B_{1x} = \frac{\mu_0(h-h_0)}{2\pi r_1^2} I \quad (2.15)$$

$$B_{1z} = \frac{\mu_0(x-L_0)}{2\pi r_1^2} I \quad (2.16)$$

또 귀로전류 $-I$ 에 의한 자속밀도 B_2 의 수평방향성분 B_{2x} 및 수직방향 성분 B_{2z} 는 식 (2.17) 및 (2.18)로 주어진다.

$$B_{2x} = \frac{\mu_0(H_e + h_0)}{2\pi r_2^2} I \quad (2.17)$$

$$B_{2z} = \frac{\mu_0(x - L_0)}{2\pi r_2^2} I \quad (2.18)$$

$$\text{단, } r_1 = \sqrt{(x - L_0)^2 + (h - h_0)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{(x - L_0)^2 + (H_e + h_0)^2}$$

따라서 합성자속밀도 B의 x 방향성분 B_x 및 z 방향성분 B_z 는 식 (2.19) 및 (2.20)으로 쓸수 있다.

$$B_x = B_{1x} + B_{2x} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\frac{h - h_0}{r_1^2} + \frac{H_e + h_0}{r_2^2} \right) \quad (2.19)$$

$$B_z = B_{1z} + B_{2z} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} (x - L_0) \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \quad (2.20)$$

또 합성자속밀도 B는 식 (2.21)로 주어진다.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_z^2} \quad (2.21)$$

3. 3상 전력선하의 전계 및 자속밀도의 계산

3.1 계산식의 정식화

3.1.1 전계

3상 전력선로의 전압을 평형3상 정현파전압으로 가정하면 각 상의 전압은 식 (3.1) ~ 식 (3.3)으로 주어진다.

$$\dot{V}_a = V \quad (3.1)$$

$$\dot{V}_b = V e^{-j\frac{4}{3}\pi} \quad (3.2)$$

$$\dot{V}_c = V e^{-j\frac{2}{3}\pi} \quad (3.3)$$

그림 3-1과 같은 3상 2회선 수직전선배열을 고려하면 계산원점으로 부터의 수평거리 L [m], 높이 h_0 [m]인 점의 수평방향 전계성분 \dot{E}_x 및 수직방향 전계성분 \dot{E}_z 는 $x=L$ 로 한 식 (2.10) 및 (2.11)에 의하여 식 (3.4) 및 (3.5)와 같이 구할 수 있다.

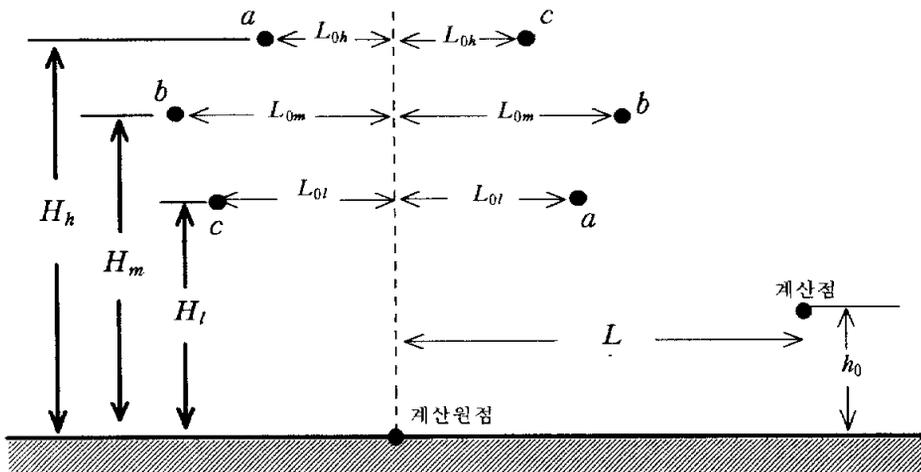


그림 3-1 3상 2회선 수직 전선배열
Fig. 3-1 Vertical configuration of 3 phase power lines with 2 circuits

$$\begin{aligned}
\hat{E}_x = & \hat{V}_a \left[\frac{L+L_{0h}}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{ah_1}^2} - \frac{1}{R_{ah_2}^2} \right) + \frac{L-L_{0l}}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{ar_1}^2} - \frac{1}{R_{ar_2}^2} \right) \right] \\
& + \hat{V}_b \left[\frac{L+L_{0m}}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{bh_1}^2} - \frac{1}{R_{bh_2}^2} \right) + \frac{L-L_{0m}}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{br_1}^2} - \frac{1}{R_{br_2}^2} \right) \right] \\
& + \hat{V}_c \left[\frac{L+L_{0l}}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{cl_1}^2} - \frac{1}{R_{cl_2}^2} \right) + \frac{L-L_{0h}}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{cr_1}^2} - \frac{1}{R_{cr_2}^2} \right) \right] \quad (3.4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\hat{E}_z = & \hat{V}_a \left[\frac{1}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{H_h-h_0}{R_{ah_1}^2} + \frac{H_h+h_0}{R_{ah_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{H_l-h_0}{R_{ar_1}^2} + \frac{H_l+h_0}{R_{ar_2}^2} \right) \right] \\
& + \hat{V}_b \left[\frac{1}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{H_m-h_0}{R_{bh_1}^2} + \frac{H_m+h_0}{R_{bh_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{H_m-h_0}{R_{br_1}^2} + \frac{H_m+h_0}{R_{br_2}^2} \right) \right] \\
& + \hat{V}_c \left[\frac{1}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{H_l-h_0}{R_{cl_1}^2} + \frac{H_l+h_0}{R_{cl_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{H_h-h_0}{R_{cr_1}^2} + \frac{H_h+h_0}{R_{cr_2}^2} \right) \right] \quad (3.5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{단, } R_{ah_1} &= \sqrt{(L+L_{0h})^2 + (H_h-h_0)^2} & R_{ah_2} &= \sqrt{(L+L_{0h})^2 + (H_h+h_0)^2} \\
R_{bh_1} &= \sqrt{(L+L_{0m})^2 + (H_m-h_0)^2} & R_{bh_2} &= \sqrt{(L+L_{0m})^2 + (H_m+h_0)^2} \\
R_{cl_1} &= \sqrt{(L+L_{0l})^2 + (H_l-h_0)^2} & R_{cl_2} &= \sqrt{(L+L_{0l})^2 + (H_l+h_0)^2} \\
R_{ar_1} &= \sqrt{(L-L_{0l})^2 + (H_l-h_0)^2} & R_{ar_2} &= \sqrt{(L-L_{0l})^2 + (H_l+h_0)^2} \\
R_{br_1} &= \sqrt{(L-L_{0m})^2 + (H_m-h_0)^2} & R_{br_2} &= \sqrt{(L-L_{0m})^2 + (H_m+h_0)^2} \\
R_{cr_1} &= \sqrt{(L-L_{0h})^2 + (H_h-h_0)^2} & R_{cr_2} &= \sqrt{(L-L_{0h})^2 + (H_h+h_0)^2}
\end{aligned}$$

r_e : 전선의 등가반경

따라서 식(3.4) 및 (3.5)에 식 (3.1) ~ 식 (3.3)을 대입하고 수평방향 전계성분 \hat{E}_x 및 수직방향 전계성분 \hat{E}_z 를 구하면 식 (3.6) 및 (3.7)이 얻어진다.

$$\dot{E}_x = V[R_{ax} - \frac{1}{2}(R_{bx} + R_{cx})] - j\frac{\sqrt{3}}{2} V(R_{bx} - R_{cx}) = E_{xr} + jE_{xi} \quad (3.6)$$

$$\dot{E}_z = V[R_{az} - \frac{1}{2}(R_{bz} + R_{cz})] - j\frac{\sqrt{3}}{2} V(R_{bz} - R_{cz}) = E_{zr} + jE_{zi} \quad (3.7)$$

$$\text{단, } R_{ax} = \frac{L+L_{oh}}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{al_1}^2} - \frac{1}{R_{al_2}^2} \right) + \frac{L-L_{ol}}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{ar_1}^2} - \frac{1}{R_{ar_2}^2} \right)$$

$$R_{bx} = \frac{L+L_{om}}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{bl_1}^2} - \frac{1}{R_{bl_2}^2} \right) + \frac{L-L_{om}}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{br_1}^2} - \frac{1}{R_{br_2}^2} \right)$$

$$R_{cx} = \frac{L+L_{ol}}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{cl_1}^2} - \frac{1}{R_{cl_2}^2} \right) + \frac{L-L_{oh}}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{1}{R_{cr_1}^2} - \frac{1}{R_{cr_2}^2} \right)$$

$$R_{az} = \frac{1}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{H_h - h_0}{R_{al_1}^2} + \frac{H_h + h_0}{R_{al_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{H_l - h_0}{R_{ar_1}^2} + \frac{H_l + h_0}{R_{ar_2}^2} \right)$$

$$R_{bz} = \frac{1}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{H_m - h_0}{R_{bl_1}^2} + \frac{H_m + h_0}{R_{bl_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_m}{r_e}} \left(\frac{H_m - h_0}{R_{br_1}^2} + \frac{H_m + h_0}{R_{br_2}^2} \right)$$

$$R_{cz} = \frac{1}{\ln \frac{2H_l}{r_e}} \left(\frac{H_l - h_0}{R_{cl_1}^2} + \frac{H_l + h_0}{R_{cl_2}^2} \right) + \frac{1}{\ln \frac{2H_h}{r_e}} \left(\frac{H_h - h_0}{R_{cr_1}^2} + \frac{H_h + h_0}{R_{cr_2}^2} \right)$$

식 (3.6) 및 (3.7)로부터 알수 있는 바와 같이 \dot{E}_x 및 \dot{E}_z 는 복소함수로 주어지므로 위상각을 갖게 된다. 따라서 \dot{E}_x 및 \dot{E}_z 의 크기 및 위상각은 식 (3.8)~식 (3.11)로 주어진다.

$$E_x = \sqrt{E_{xr}^2 + E_{xi}^2} \quad (3.8)$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{E_{xi}}{E_{xr}} \quad (3.9)$$

$$E_z = \sqrt{E_{zr}^2 + E_{zi}^2} \quad (3.10)$$

$$\theta_z = \tan^{-1} \frac{E_{zi}}{E_{zr}} \quad (3.11)$$

또 합성전계의 크기 및 위상각을 구하면 식 (3.12) 및 (3.13)으로 주어진다.

$$E = [\{ E_x^2 \cos(2\theta_x) + E_z^2 \cos(2\theta_z) \}^2 + \{ E_x^2 \sin(2\theta_x) + E_z^2 \sin(2\theta_z) \}^2]^{\frac{1}{4}} \quad (3.12)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{E_x^2 \sin(2\theta_x) + E_z^2 \sin(2\theta_z)}{E_x^2 \cos(2\theta_x) + E_z^2 \cos(2\theta_z)} \quad (3.13)$$

그림 3-2과 같은 3상 1회선 수평전선 배열에 있어서 각 전계성분 및 위상각은 식 (3.14)~식 (3.21)와 같이 된다.

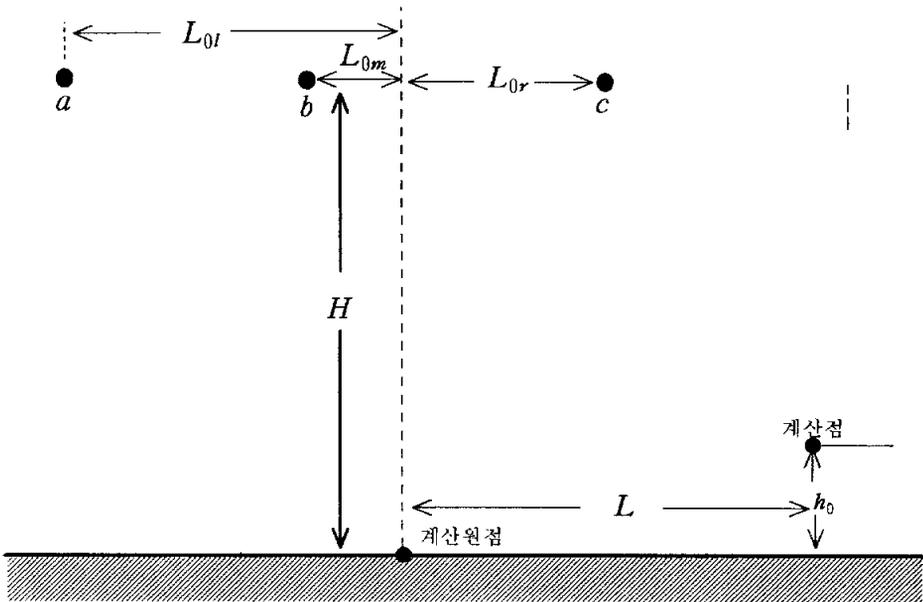


그림 3-2 3상 1회선 수평배열

Fig. 3-2 Horizontal configuration of 3 phase power lines with 1 circuit

$$\hat{E}_x = V [R_{ax} - \frac{1}{2} (R_{bx} + R_{cx})] - j \frac{\sqrt{3}}{2} V (R_{bx} - R_{cx}) = E_{xr} + jE_{xi} \quad (3.14)$$

$$\text{단, } R_{ax} = \frac{L + L_{oh}}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{1}{(L + L_{0l})^2 + (H - h_0)^2} - \frac{1}{(L + L_{0l})^2 + (H + h_0)^2} \right)$$

$$R_{bx} = \frac{L+L_{0m}}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{1}{(L+L_{0m})^2 + (H-h_0)^2} - \frac{1}{(L+L_{0m})^2 + (H+h_0)^2} \right)$$

$$R_{cx} = \frac{L-L_{0r}}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{1}{(L-L_{0r})^2 + (H-h_0)^2} - \frac{1}{(L-L_{0r})^2 + (H+h_0)^2} \right)$$

$$E_x = \sqrt{E_{xr}^2 + E_{xi}^2} \quad (3.15)$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{E_{xi}}{E_{xr}} \quad (3.16)$$

$$\dot{E}_z = V \left[R_{az} - \frac{1}{2} (R_{bz} + R_{cz}) \right] - j \frac{\sqrt{3}}{2} V (R_{bz} - R_{cz}) = E_{zr} + jE_{zi} \quad (3.17)$$

$$\text{단, } R_{az} = \frac{1}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{H-h_0}{(L+L_{0l})^2 + (H-h_0)^2} + \frac{H+h_0}{(L+L_{0l})^2 + (H+h_0)^2} \right)$$

$$R_{bz} = \frac{1}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{H-h_0}{(L+L_{0m})^2 + (H-h_0)^2} + \frac{H+h_0}{(L+L_{0m})^2 + (H+h_0)^2} \right)$$

$$R_{cz} = \frac{1}{\ln \frac{2H}{r_e}} \left(\frac{H-h_0}{(L-L_{0r})^2 + (H-h_0)^2} + \frac{H+h_0}{(L-L_{0r})^2 + (H+h_0)^2} \right)$$

$$E_z = \sqrt{E_{zr}^2 + E_{zi}^2} \quad (3.18)$$

$$\theta_z = \tan^{-1} \frac{E_{zi}}{E_{zr}} \quad (3.19)$$

$$E = \left[\left\{ E_x^2 \cos(2\theta_x) + E_z^2 \cos(2\theta_z) \right\}^2 + \left\{ E_x^2 \sin(2\theta_x) + E_z^2 \sin(2\theta_z) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.20)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{E_x^2 \sin(2\theta_x) + E_z^2 \sin(2\theta_z)}{E_x^2 \cos(2\theta_x) + E_z^2 \cos(2\theta_z)} \quad (3.21)$$

식 (3.20) 및 식 (3.21)에서 알 수 있는 바와 같이 합성전계의 크기에 E_x 및 E_z 의 크기 및 위상각이 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 합성전계도 위상각을 갖고 있음을 알 수 있다.

3.1.2 자속밀도

3상 전력선로의 전류를 평형 3상 정현파 전류로 가정하면 각 상의 전류는 식 (3.22) ~ 식 (3.24)로 주어진다.

$$I_a = I \quad (3.22)$$

$$I_b = I e^{-j\frac{4}{3}\pi} \quad (3.23)$$

$$I_c = I e^{-j\frac{2}{3}\pi} \quad (3.24)$$

그림 3-1과 같은 3상 2회선 수직전선 배열을 고려하면 계산원점으로 부터의 수평거리 L [m], 높이 h_0 [m]인 점의 수평방향 자속밀도성분 \dot{B}_x 및 수직방향 자속밀도성분 \dot{B}_z 는 $x=L$ 로 한 식 (2.15) 및 (2.16)에 의하여 식 (3.25) 및 식 (3.26)으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \dot{B}_x = & \frac{\mu_0 \dot{I}_a}{2\pi} \left(\frac{H_h - h_0}{R_{al_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{al_2}^2} + \frac{H_l - h_0}{R_{ar_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{ar_2}^2} \right) \\ & + \frac{\mu_0 \dot{I}_b}{2\pi} \left(\frac{H_m - h_0}{R_{bl_1}^2} + \frac{H_e - h_0}{R_{bl_2}^2} + \frac{H_m - h_0}{R_{br_1}^2} - \frac{H_e + h_0}{R_{br_2}^2} \right) \\ & + \frac{\mu_0 \dot{I}_c}{2\pi} \left(\frac{H_l - h_0}{R_{cl_1}^2} + \frac{H_e - h_0}{R_{cl_2}^2} + \frac{H_h - h_0}{R_{cr_1}^2} - \frac{H_e + h_0}{R_{cr_2}^2} \right) \quad (3.25) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{B}_z = & \frac{\mu_0 \dot{I}_a}{2\pi} \left[(L + L_{0h}) \left(\frac{1}{R_{al_1}^2} - \frac{1}{R_{al_2}^2} \right) + (L - L_{0l}) \left(\frac{1}{R_{ar_1}^2} - \frac{1}{R_{ar_2}^2} \right) \right] \\ & + \frac{\mu_0 \dot{I}_b}{2\pi} \left[(L + L_{0m}) \left(\frac{1}{R_{bl_1}^2} - \frac{1}{R_{bl_2}^2} \right) + (L - L_{0m}) \left(\frac{1}{R_{br_1}^2} - \frac{1}{R_{br_2}^2} \right) \right] \\ & + \frac{\mu_0 \dot{I}_c}{2\pi} \left[(L + L_{0l}) \left(\frac{1}{R_{cl_1}^2} - \frac{1}{R_{cl_2}^2} \right) + (L - L_{0h}) \left(\frac{1}{R_{cr_1}^2} - \frac{1}{R_{cr_2}^2} \right) \right] \quad (3.26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{단, } R_{al_1} &= \sqrt{(L+L_{0h})^2 + (H_h - h_0)^2} & R_{al_2} &= \sqrt{(L+L_{0h})^2 + (H_h + h_0)^2} \\
R_{ar_1} &= \sqrt{(L-L_{0l})^2 + (H_l - h_0)^2} & R_{ar_2} &= \sqrt{(L-L_{0l})^2 + (H_l + h_0)^2} \\
R_{bl_1} &= \sqrt{(L+L_{0m})^2 + (H_m - h_0)^2} & R_{bl_2} &= \sqrt{(L+L_{0m})^2 + (H_m + h_0)^2} \\
R_{br_1} &= \sqrt{(L-L_{0m})^2 + (H_m - h_0)^2} & R_{br_2} &= \sqrt{(L-L_{0m})^2 + (H_m + h_0)^2} \\
R_{cl_1} &= \sqrt{(L+L_{0l})^2 + (H_l - h_0)^2} & R_{cl_2} &= \sqrt{(L+L_{0l})^2 + (H_l + h_0)^2} \\
R_{cr_1} &= \sqrt{(L-L_{0h})^2 + (H_h - h_0)^2} & R_{cr_2} &= \sqrt{(L-L_{0h})^2 + (H_h + h_0)^2}
\end{aligned}$$

H_e : 등가 대지면의 깊이

따라서 식 (3.25) 및 (3.26)에 식 (3.22) ~ 식 (3.24)를 대입하면 식 (3.27) 및 (3.28)가 얻어진다.

$$\dot{B}_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi} [R_{ac} - \frac{1}{2}(R_{bc} + R_{cc})] - j \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} (R_{bc} - R_{cc}) = B_{zx} + jB_{yx} \quad (3.27)$$

$$\dot{B}_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi} [R_{as} - \frac{1}{2}(R_{bs} + R_{cs})] - j \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} (R_{bs} - R_{cs}) = B_{zx} + jB_{yz} \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned}
\text{단, } R_{ac} &= \left(\frac{H_h - h_0}{R_{al_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{al_2}^2} + \frac{H_l - h_0}{R_{ar_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{ar_2}^2} \right) \\
R_{bc} &= \left(\frac{H_m - h_0}{R_{bl_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{bl_2}^2} + \frac{H_m - h_0}{R_{br_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{br_2}^2} \right) \\
R_{cc} &= \left(\frac{H_l - h_0}{R_{cl_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{cl_2}^2} + \frac{H_h - h_0}{R_{cr_1}^2} + \frac{H_e + h_0}{R_{cr_2}^2} \right) \\
R_{as} &= (L+L_{0h}) \left(\frac{1}{R_{al_1}^2} - \frac{1}{R_{al_2}^2} \right) + (L-L_{0l}) \left(\frac{1}{R_{ar_1}^2} - \frac{1}{R_{ar_2}^2} \right) \\
R_{bs} &= (L+L_{0m}) \left(\frac{1}{R_{bl_1}^2} - \frac{1}{R_{bl_2}^2} \right) + (L-L_{0m}) \left(\frac{1}{R_{br_1}^2} - \frac{1}{R_{br_2}^2} \right) \\
R_{cs} &= (L+L_{0l}) \left(\frac{1}{R_{cl_1}^2} - \frac{1}{R_{cl_2}^2} \right) + (L-L_{0h}) \left(\frac{1}{R_{cr_1}^2} - \frac{1}{R_{cr_2}^2} \right)
\end{aligned}$$

식 (3.27) 및 (3.28)에서 알 수 있는 바와 같이 전계의 경우와 마찬가지로 각 자속밀도성분은 복소함수로 주어진다. 따라서 \vec{B}_x 및 \vec{B}_z 의 크기 및 위상각은 식 (3.29) ~ 식 (3.32)으로 주어진다.

$$B_x = \sqrt{B_{xr}^2 + B_{xi}^2} \quad (3.29)$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{B_{xi}}{B_{xr}} \quad (3.30)$$

$$B_z = \sqrt{B_{zr}^2 + B_{zi}^2} \quad (3.31)$$

$$\theta_z = \tan^{-1} \frac{B_{zi}}{B_{zr}} \quad (3.32)$$

또 합성자속밀도의 크기 및 위상각은 식 (3.33) 및 (3.34)로 구해진다.

$$B = [\{ B_x^2 \cos(2\theta_x) + B_z^2 \cos(2\theta_z) \}^2 + \{ B_x^2 \sin(2\theta_x) + B_z^2 \sin(2\theta_z) \}^2]^{\frac{1}{4}} \quad (3.33)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{B_x^2 \sin(2\theta_x) + B_z^2 \sin(2\theta_z)}{B_x^2 \cos(2\theta_x) + B_z^2 \cos(2\theta_z)} \quad (3.34)$$

그림 3-2와 같은 3상 1회선 수평전선 배열의 경우 각 자속밀도성분 및 위상각은 식 (3.27) 및 (3.28)에 다음 식 (3.35) ~ 식 (3.40)을 대입하고 식 (3.29) ~ 식 (3.34)에 의하여 구할 수 있다.

$$R_{ac} = \frac{H - h_0}{(L + L_{0l})^2 + (H - h_0)^2} + \frac{H_e + h_0}{(L + L_{0l})^2 + (H_e + h_0)^2} \quad (3.35)$$

$$R_{bc} = \frac{H - h_0}{(L + L_{0m})^2 + (H - h_0)^2} + \frac{H_e + h_0}{(L + L_{0m})^2 + (H_e + h_0)^2} \quad (3.36)$$

$$R_{cc} = \frac{H - h_0}{(L - L_{0r})^2 + (H - h_0)^2} + \frac{H_e + h_0}{(L - L_{0r})^2 + (H_e + h_0)^2} \quad (3.37)$$

$$R_{as} = (L + L_{0l}) \left(\frac{1}{(L + L_{0l})^2 + (H - h_0)^2} - \frac{1}{(L + L_{0l})^2 + (H_e + h_0)^2} \right) \quad (3.38)$$

$$R_{bs} = (L + L_{0m}) \left(\frac{1}{(L + L_{0m})^2 + (H - h_0)^2} - \frac{1}{(L + L_{0m})^2 + (H_e + h_0)^2} \right) \quad (3.39)$$

$$R_{cs} = (L - L_{0r}) \left(\frac{1}{(L - L_{0r})^2 + (H - h_0)^2} - \frac{1}{(L - L_{0r})^2 + (H_e + h_0)^2} \right) \quad (3.40)$$

3.2 계산예

현재 우리나라에 가설되어 있는 가공 배전선로 및 3상 송전선로하의 전계 및 자속밀도를 계산하기로 한다. 배전선로는 22.9 [KV] 선로이며 송전선로는 154 [KV] 3상 2회선, 345 [KV] 3상 1회선, 765 [KV] 3상 2회선이다. 표 3-1은 각 전선로의 전류 및 재원을 나타낸 것이며 그림 3-3 ~ 그림 3-6은 각 전선로의 전선배열을 나타낸 것이다.

표 3-1 각 전선로의 전류 및 재원

	회선수	도체수	소도체 반경[cm]	소도체 간격[cm]	전류[A]
22.9[KV] 배전선	1	1	1.48	-	300
154[KV] 송전선	2	1	1.48	-	1000
345[KV] 송전선	1	2	1.48	45.72	1000
765[KV] 송전선	2	6	1.48	45.72	1000

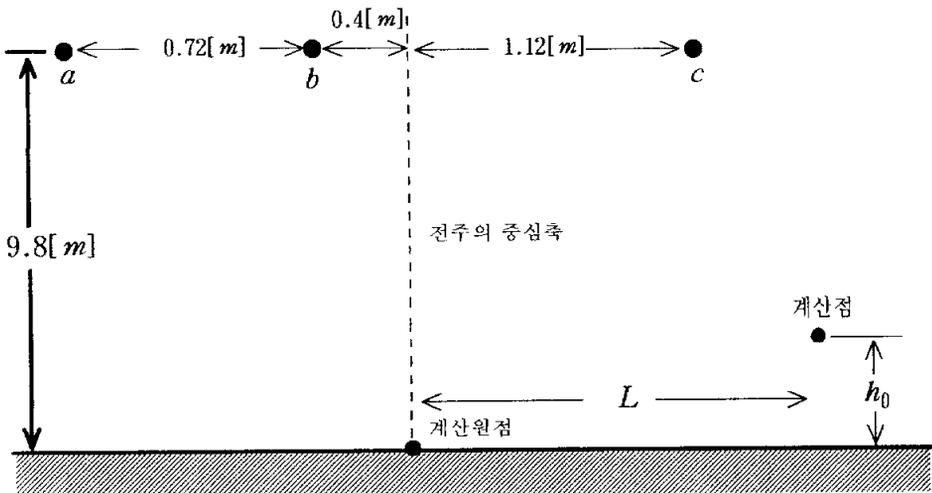


그림 3-3 22.9 [KV] 배전선로의 전선배열
Fig. 3-3 Configuration of 22.9 [KV] distribution lines

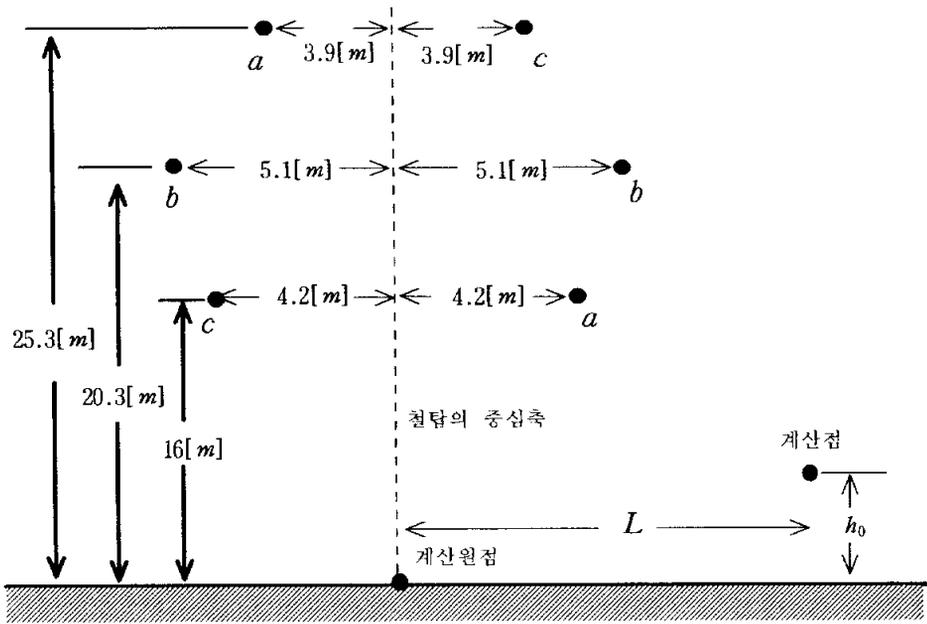


그림 3-4 154 [KV] 송전선로의 전선배열
 Fig. 3-4 Configuration of 154 [KV] transmission lines

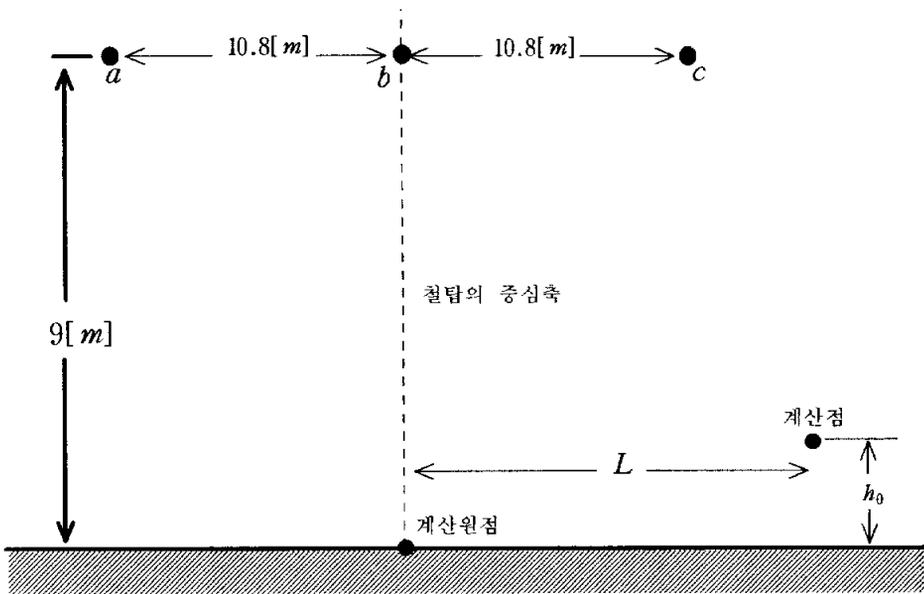


그림 3-5 345 [KV] 송전선로의 전선배열
 Fig. 3-5 Configuration of 345 [KV] transmission lines

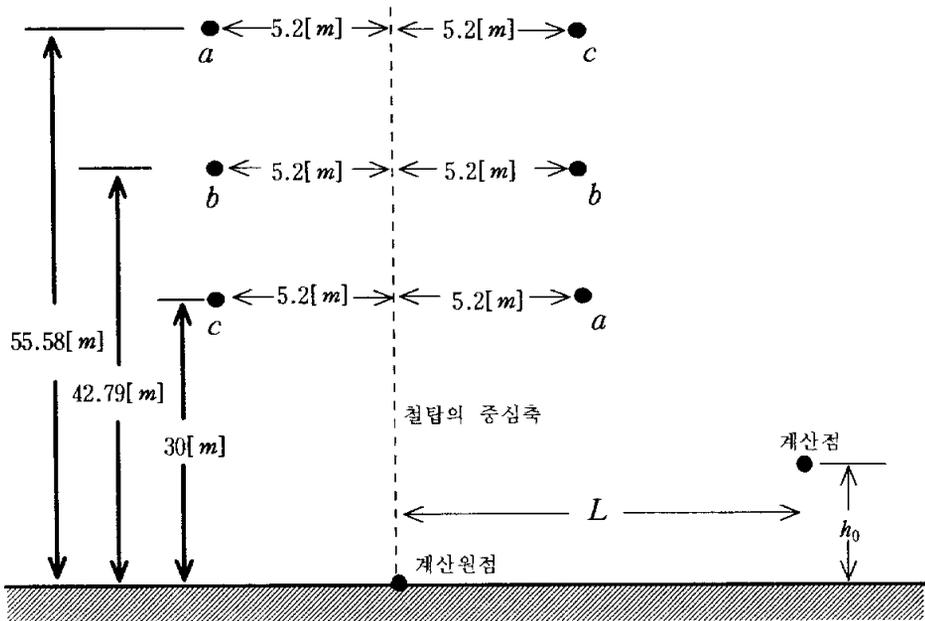


그림 3-6 765 [KV] 송전선로의 전선배열
 Fig. 3-6 Configuration of 769 [KV] transmission lines

전선로하의 각 전계성분 및 각 자속밀도성분을 검토하기 위하여 전주 또는 철탑중양으로부터 수평거리 L 에 대하여 전계성분과 자속밀도성분 크기 및 위상각 변화를 조사하였으며 파라미터로서 계산점의 높이를 h_0 로 하였다.

3.2.1 전계

그림 3-7 ~ 그림 3-9은 22.9[KV] 배전선로의 각 전계성분 E_x , E_z 및 E 변화를 함께 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]인 경우(그림 3-7), 수평방향전계 E_x 는 전주의 중심축에서 비교적 큰 peak, $L=\pm 10$ [m] 근방에서 2개의 작은 peak를 나타내고 있다. 수직방향 전계 E_z 는 $L=\pm 5.5$ [m]에서 같은 크기의 peak 2개가 나타나며, 이 peak의 크기는 E_x 의 peak보다 훨씬 크다. 합성전계 E 는 E_z 와 거의 같은 변화로서 전주의 중심축에서는 E_x 의 영향을 받으나 그 외의 구간에서는 E_z 의 영향을 받음을 알수 있다. 이 합성전계의 최대값은 50 [V/m]로서 $L=\pm 5.5$ [m]에서 나타난다.

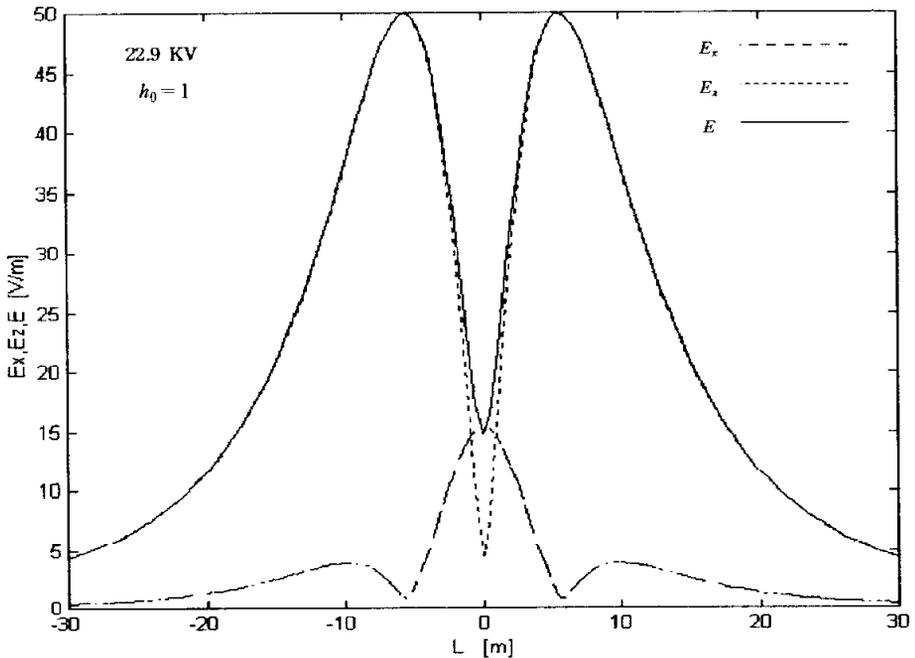


그림 3-7 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=1$ [m])

Fig. 3-7 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines ($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ [m]인 경우(그림 3-8), E_x 및 E_z 의 peak의 모양은 $h_0=1$ [m]의 경우와 거의 같으나 peak의 크기가 확대되어 나타나며 특히 전주의 중심축에서는 E_x 의 peak가 더욱 크게 나타나고 있다. 합성전계 E 는 $h_0=1$ 의 경우와 달리 전주의 중심축에서 1개의 peak를 나타내며 이것은 E_x 의 중앙 peak가 확대되어 합성전계에 영향을 미치기 때문이다. 이 합성전계의 최대값은 133 [V/m]로서 전주의 중심축에서 나타난다.

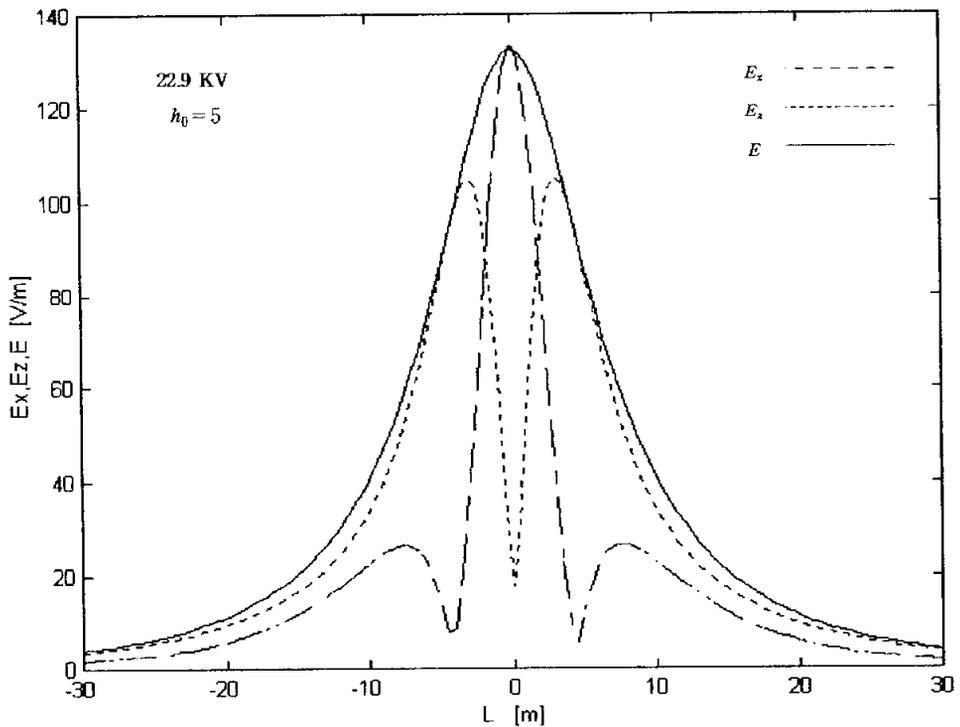


그림 3-8 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=5$ [m])

Fig. 3-8 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines ($h_0=5$ [m])

$h_0=10$ [m]의 경우(그림 3-9), E_x 는 전주 중심축에서의 peak가 없
어지고 $h_0=1$ [m] 및 $h_0=5$ [m]에의 2개의 작은 peak가 더욱 확대되어
나타나며 그 크기가 약 6000 [V/m]에 이른다. E_z 의 peak도 더욱 크게
되어 약 7000 [V/m]로 나타난다. 합성전계 E 는 전주의 좌우 $L=\pm 1$
[m]에서 2개의 peak가 나타나며 그 크기는 8300 [V/m]에 달한다.

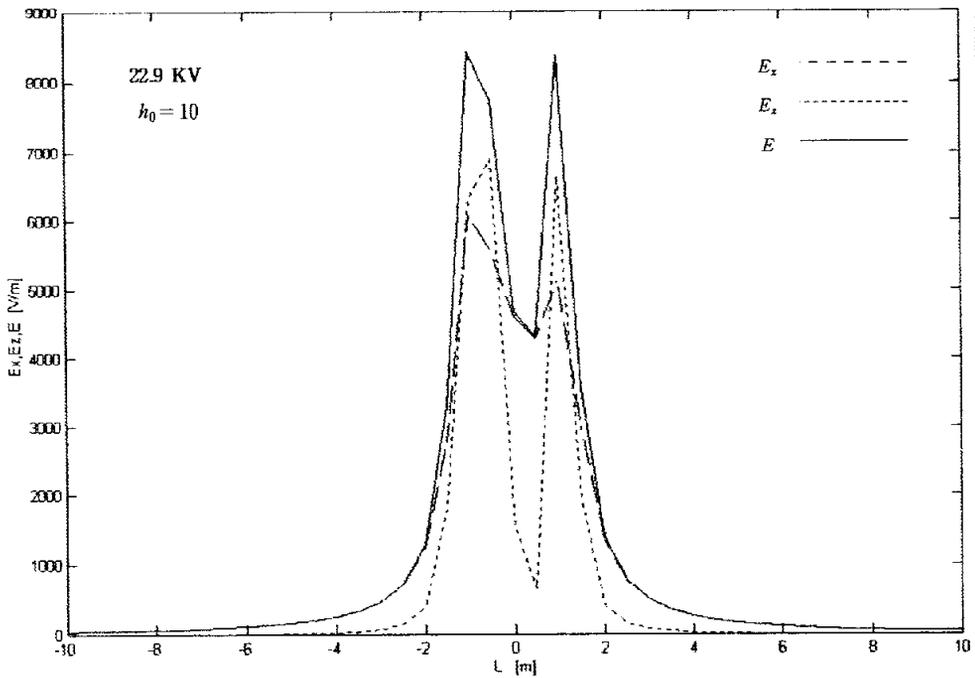


그림 3-9 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화
($h_0=10$ [m])

Fig. 3-9 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal
distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines
($h_0=10$ [m])

그림 3-10 ~ 그림 3-12은 154 [KV] 3상 2회선 송전선로하의 각 전계성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]의 경우(그림 3-10), E_x 및 E_z 는 22.9 [KV] 배전선로 $h_0=1$ 의 경우와 비슷한 특성을 보이고 있으며 합성전계 E 는 전반적으로 E_z 의 영향을 크게 받고 있다. 이 합성전계의 최대값은 $L=\pm 8$ [m]에서 발생하는 2개의 peak값으로서 330 [V/m]이다.

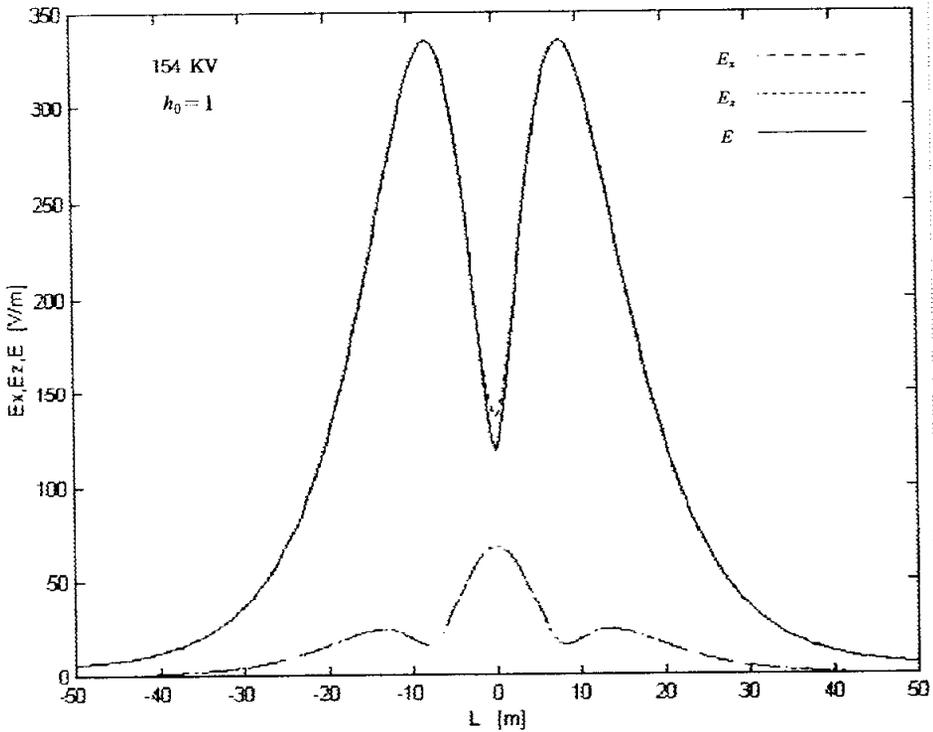


그림 3-10 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=1$ [m])

Fig. 3-10 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines ($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ [m]의 경우(그림 3-11), 철탑의 중심축에서는 E_x 는 중앙 peak가 크게 되어 합성전계의 크기에 큰 영향을 준다. E_z 는 $L=\pm 7$ [m]에서 두 개의 peak가 나타나며 이것은 합성전계의 최대값과 거의 같다. 합성전계 E 의 최대값은 $L=\pm 6$ [m]에서 약 460 [V/m]로 나타난다.

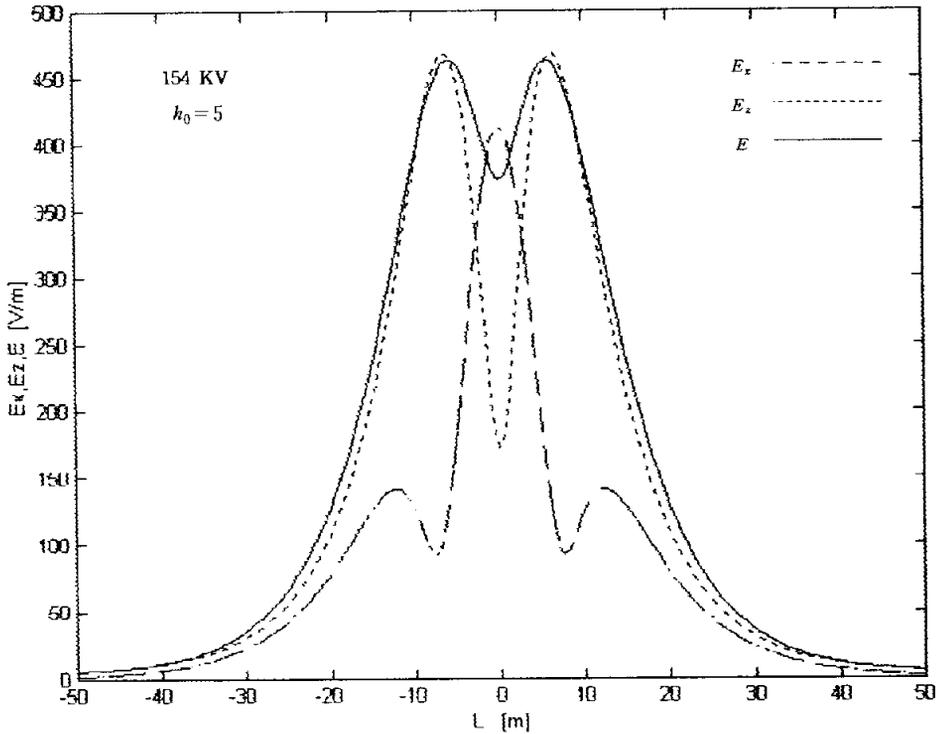


그림 3-11 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=5$ [m])

Fig. 3-11 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]의 경우(그림 3-12), E_x 의 영향이 더욱 커져 합성전계 E 의 peak는 철탑의 중심축에서 1개 나타나며 최대값이 되며 그 값은 약 1570 [V/m]로 된다.

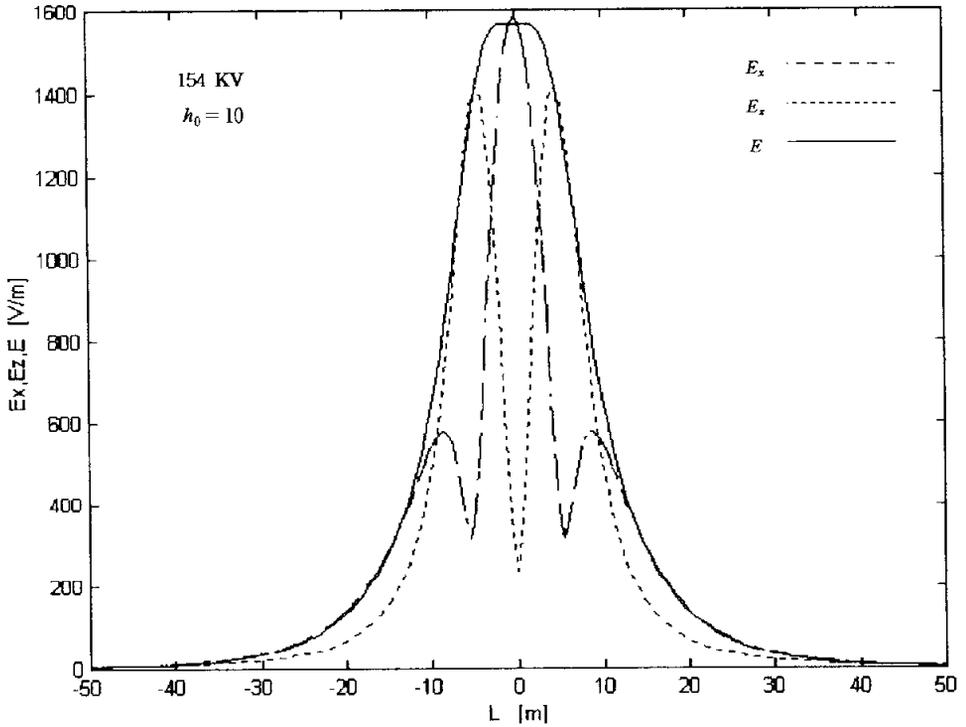


그림 3-12 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-12 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

그림 3-13 ~ 그림 3-15는 345 [KV] 3상 1회선 송전선로하의 각 전계성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]의 경우(그림 3-13), E_x 는 철탑의 중심축에 대하여 좌우 대칭으로 2 개씩의 peak가 나타나며 E_z 는 철탑중심축에서 비교적 작은 peak, 그 좌우 $L=\pm 14$ [m] 근방에서 2개의 큰 peak가 나타난다. 합성 전계 E 는 전구간에서 거의 E_z 만의 영향을 받으며 그 최대값은 $L=\pm 14$ [m]에서 약 6800 [V/m]이다.

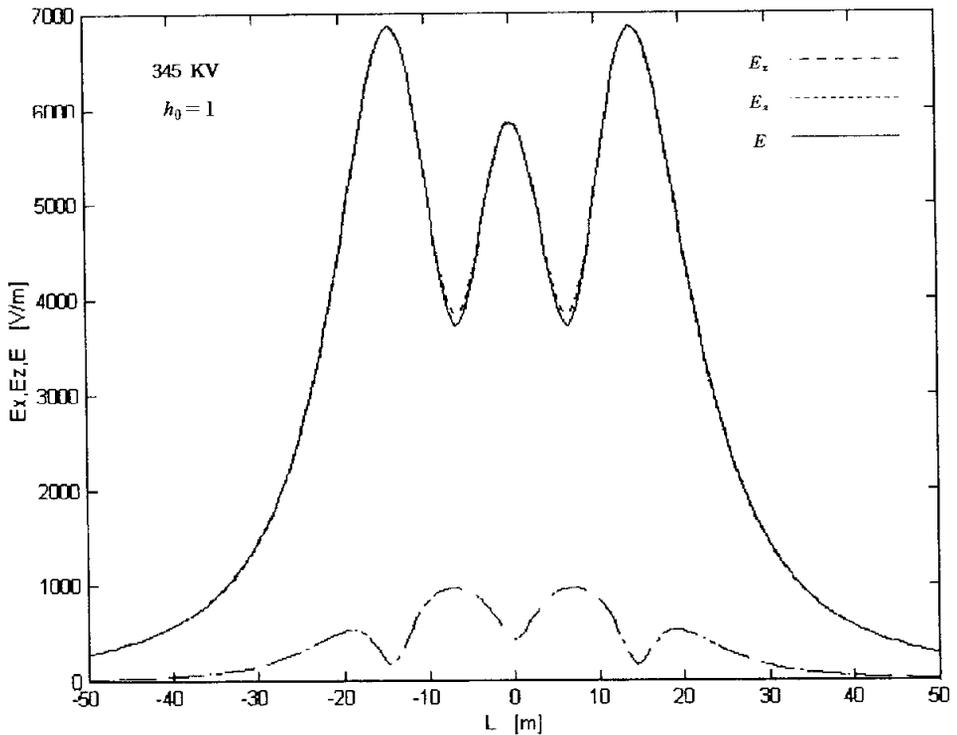


그림 3-13 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=1$ [m])

Fig. 3-13 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines ($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ [m]인 경우(그림 3-14), E_x 및 E_z 값이 더욱 커져 그 최대값은 각각 약 5100 [V/m] 및 약 10500 [V/m]로 된다. 합성전계 E 는 전구간에 걸쳐 거의 E_z 의 영향을 받으며, 그 최대값은 $L=\pm 14$ [m]에서 약 10500 [V/m]로 나타난다.

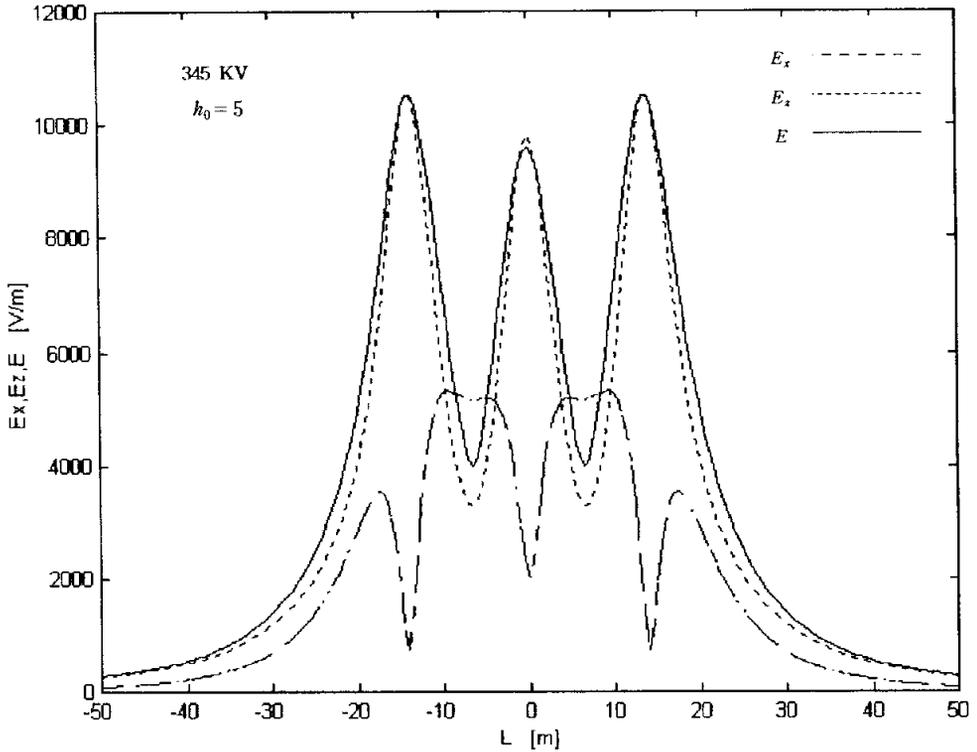


그림 3-14 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=5$ [m])

Fig. 3-14 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]인 경우(그림 3-15), E_x 는 철탑 중심축으로부터 좌우 가까운 쪽의 peak가 2개씩으로 분리되어 합계 6개의 peak가 나타나며 그 최대값은 약 18000 [V/m]로 커진다. E_z 의 peak는 더욱 커져 합성전계 E 의 최대값으로 되며 이 값은 철탑 중심축에서 36000 [V/m], $L = \pm 14$ [m] 근방에서 35000 [V/m]로 나타난다.

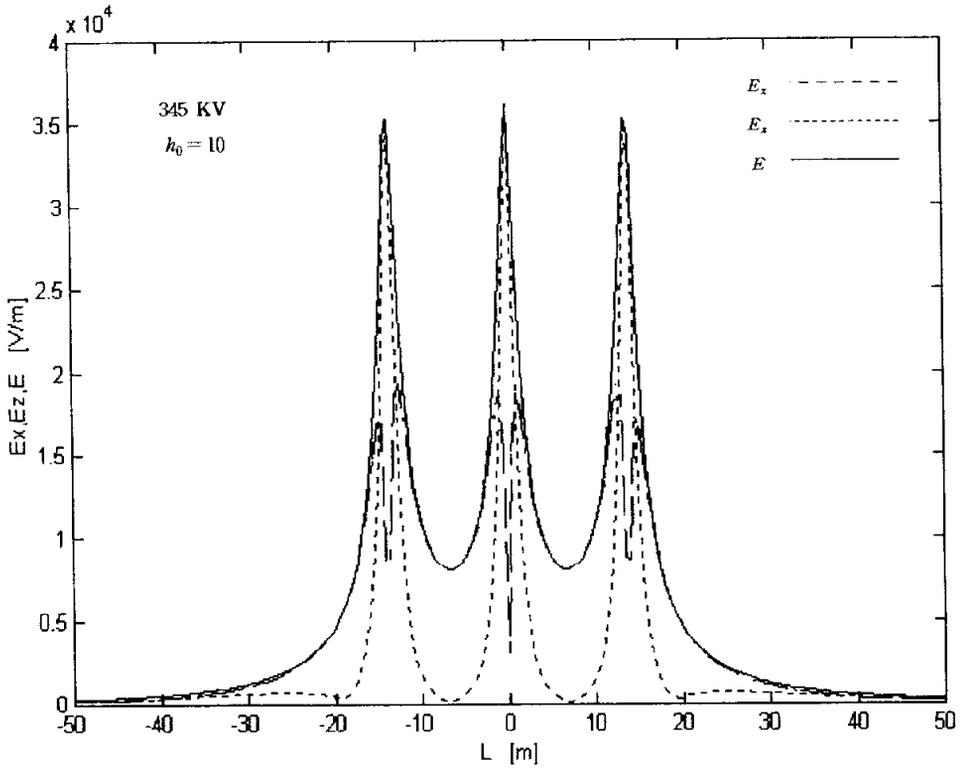


그림 3-15 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-15 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

그림 3-16 ~ 그림 3-18는 765 [KV] 3상 2회선 송전선로의 각 전계 성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]의 경우(그림 3-16), E_x 는 철탑 중심축에서의 peak 1개만 나타나고 다른 전선로에서 나타났던 다른 peak는 거의 나타나지 않고 있다. E_z 는 $L=\pm 12$ [m] 근방에서 2개의 peak가 나타나며 합성전계 E 는 이 E_z 의 변화에 거의 전적으로 의존한다. 합성전계의 최대값은 $L=\pm 12$ [m] 근방에서 약 1000 [V/m]로 나타난다.

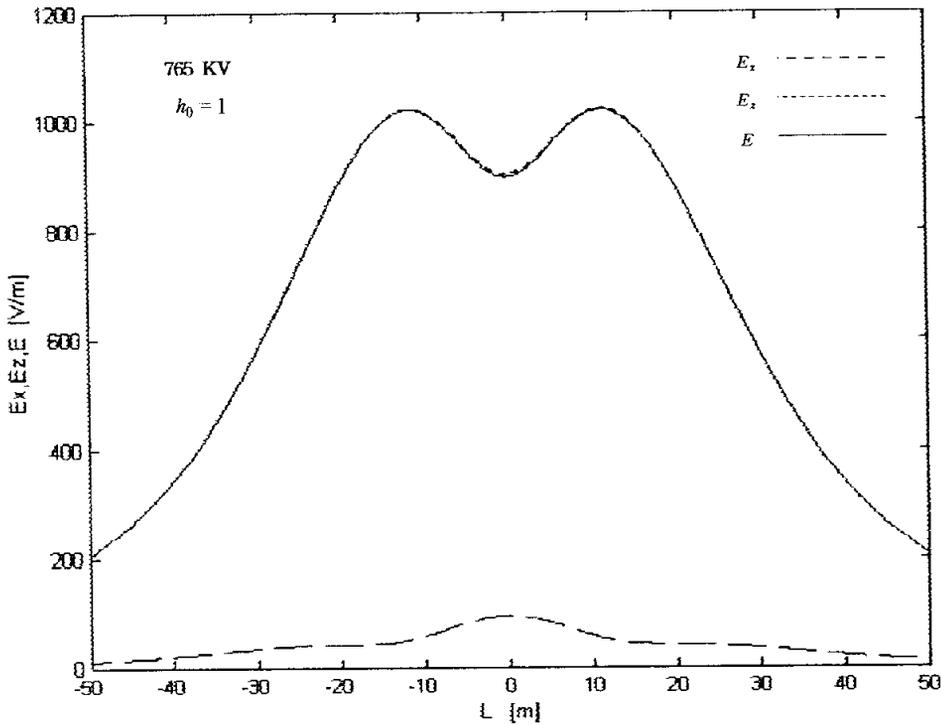


그림 3-16 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=1$ [m])

Fig. 3-16 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ [m]인 경우(그림 3-17), E_x 는 첩탑중심의 peak값이 $h_0=1$ [m]의 경우보다 더욱 커진다. E_z 는 $L=\pm 11$ [m]에서의 peak값이 $h_0=1$ [m]의 경우보다 커져 1100 [V/m]로 된다. 합성전계 E 는 중심축으로부터 $L=\pm 12$ [m] 이상의 거리에서는 E_z 와 거의 같으나, 그 이내의 범위에서는 E_z 의 값보다 작게 된다. 이것은 식(3.12)에서 알 수 있는 바와 같이 합성전계의 크기에 E_x 및 E_z 의 위상각이 관련되기 때문이다. 이 합성전계의 최대값은 $L=\pm 12$ [m]에서 약 1050 [V/m]로 나타난다.

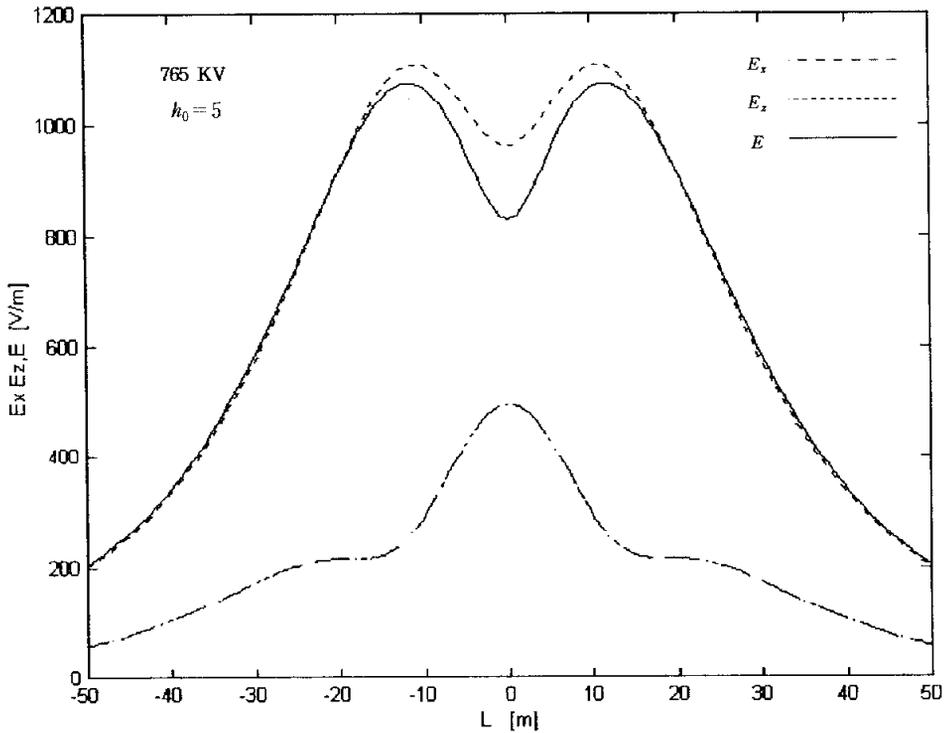


그림 3-17 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0=5$ [m])

Fig. 3-17 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]인 경우(그림 3-18), E_x 는 철탑중심축상의 peak가 더욱 커져 E_z 와 같은 값을 나타내고 있다. E_z 는 $L = \pm 10$ [m]에서 peak 값이 더욱 커져 1400 [V/m]로 나타난다. 합성전계 E 는 $h_0 = 5$ [m]인 경우와 마찬가지로 $L = \pm 10$ [m] 이상의 거리에서는 E_z 와 거의 같게 되나 그 이내의 범위에서는 E_x 및 E_z 의 위상각의 영향을 받아 E_z 보다 작은 값으로 되며 특히 철탑중심축상에서는 매우 작은 값으로 된다. 합성전계의 최대값은 $L = \pm 10$ [m]에서 1250 [V/m]로 나타나 있다.

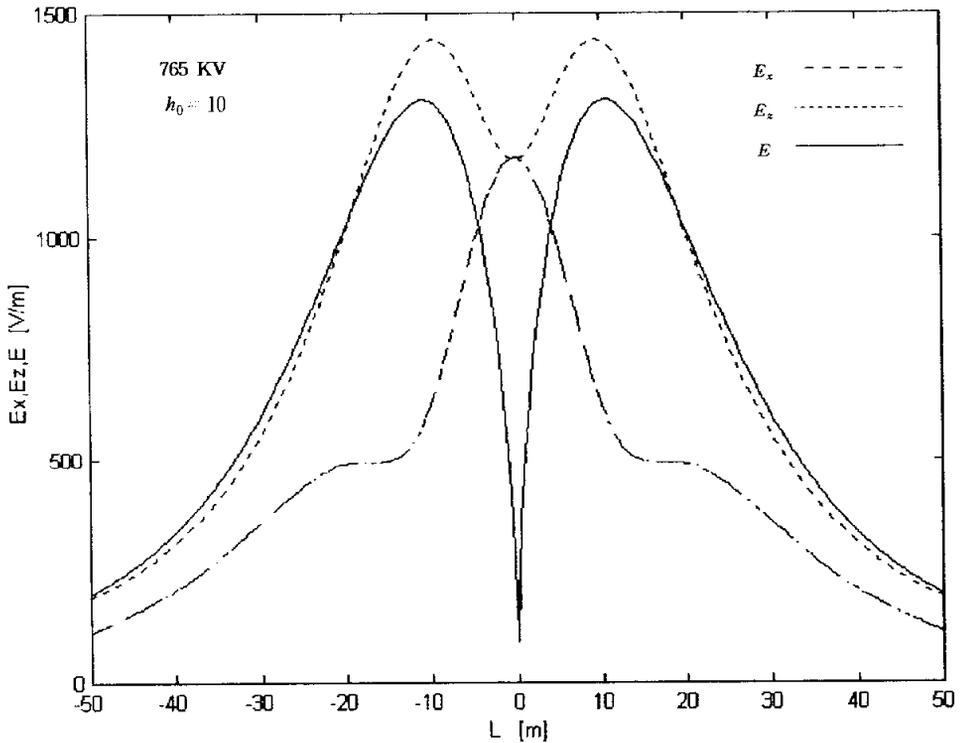


그림 3-18 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 변화 ($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-18 Variations of electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

이상에서 조사한 바와 같이 모든 전선로에 있어서 합성전계의 크기는 대지 표면위 계산점의 높이 h_0 가 클수록 크게된다. 이것은 h_0 가 클수록 각 전선으로부터 계산점까지의 거리가 작아지기 때문이다. 특히 3상 전선로의 수평배열의 경우가 합성전계의 h_0 에 대한 의존성이 강하다. 이것은 계산점까지의 거리가 수직배열의 경우보다 더 작아지기 때문이다. 합성전계의 최대값은 지지물의 중심축 또는 지지물 중심축으로부터의 수평거리 약 16 [m]이내에서 좌우대칭으로 나타난다. 한편 현재 가장 널리 인용되고 있는 전계에 대한 노출 기준은 WHO 산하의 IRPA / ICNI (International Radiation Protection Association / International Commission on Non-Ionization Protection)의 권고 기준으로 볼수 있으며 직업인은 25 [KV/m], 일반인은 10 [KV/m]를 권장하고 있다[11].

50/60 [Hz]대의 극저주파에 대한 노출 기준을 제시하는 또 하나의 국제기준으로서 CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)가 있으며 표3-2와 같다[11].

표 3-2. CENELEC 노출기준

	구 분	전 계 [KV/m]
직업인	업무시간 중 연속	10
	단시간 (하루2시간 이내)	30
일반인	24시간 연속 (개방된 장소)	5
	단시간 (하루 수시간)	10

또 주요 국가별 극저주파에 대한 노출기준은 표 3-3과 같다[11].

표 3-3. 주요 국가별 노출기준

	전 계 [KV/m]			
	일반인	직업인	구 분	제정 년도
일 본	3	-	규제	1976
미 국	-	25	권고	1990
독 일	20.7	20.7	규제	1989
폴란드	1~10	15~20	규제	1980
벨기에	5~10	-	규제	
영 국	12.3	12.3	권고	1989
구 소련	1~20	5~25	규제	1984
호 주	5~10	10~30	권고	1989
한 국	3.5		규제	1983

이상과 같은 전계의 노출기준에 의해 검토해보면, IRPA / ICNI 또는 CENELEC 국제기준을 초과한 경우는 22.9 [KV] 배전선로에서 $h_0=10$ [m], $L=\pm 1.5$ [m]와 345 [KV] 3상 1회선 송전선로에서 $h_0=1$ [m], $h_0=5$ [m], $h_0=10$ [m], $L=\pm 20$ [m] 이내이며 이 경우들은 수평전선 배열의 경우이다. 이중 22.9 [KV] 배전선로의 경우는 거의 전선 부근이므로 국제기준에 부적합하다고는 볼수 없다. 수직전선배열인 154[KV] 및 765[KV] 송전선로의 경우는 각국의 기준값 중 최하값인 한국 및 일본의 기준에도 미치지 않는 값이다. 따라서 수평전선 배열의 경우는 설 계시 국제적 권고 기준을 반영할 필요가 있을 것으로 생각된다.

3.2.2 자속밀도

그림 3-19 ~ 그림 3-21는 22.9 [KV] 배전선로의 수평방향 자속밀도 B_x , 수직방향 자속밀도 B_z 및 합성자속밀도 B 의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]인 경우 (그림 3-19), B_x 는 전주의 중심축에서 좌우대칭으로 크기가 같은 2개의 peak를 나타내며 B_z 는 전주의 중심축상에서 큰 peak, 좌우대칭으로 2개의 작은 peak를 나타내고 있다. 합성자속밀도 B 는 B_z 의 전주 중심축상 peak와 같은 값이다. 이 값이 최대값이며 약 1.9 [μT]이다.

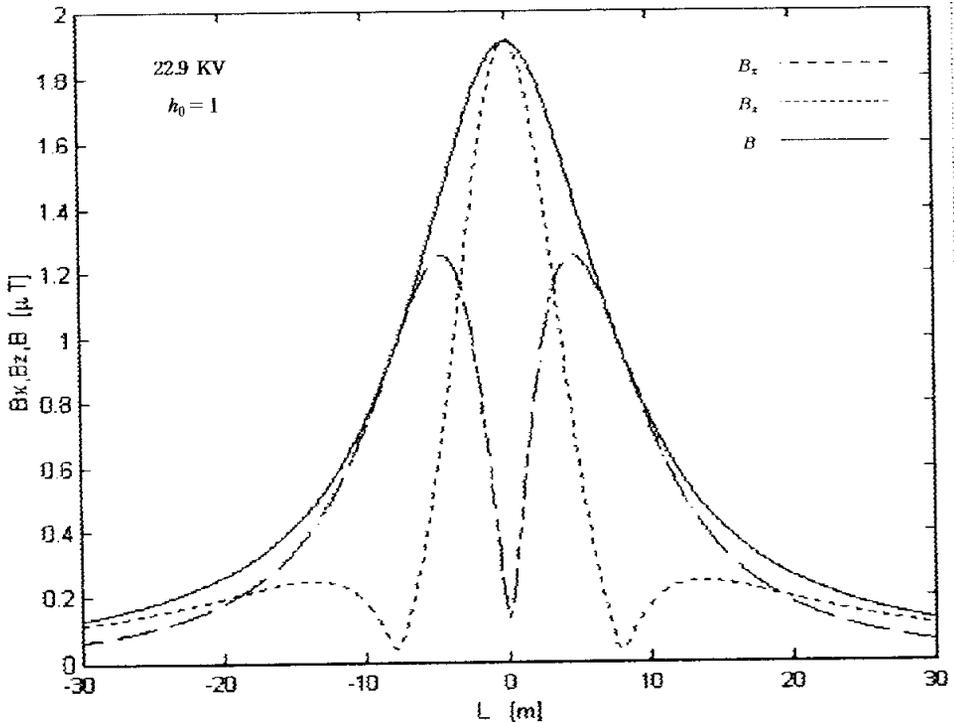


그림 3-19 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-19 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution

lines($h_0=1$ [m])
 $h_0=5$ [m]인 경우 (그림 3-20), 각 자속밀도 성분의 변화양상은 $h_0=1$ [m]의 경우와 같으나 그 값은 훨씬 크다. 합성자속밀도의 최대값은 전주의 중심축 상에서 약 7.6 [μT]를 나타낸다.

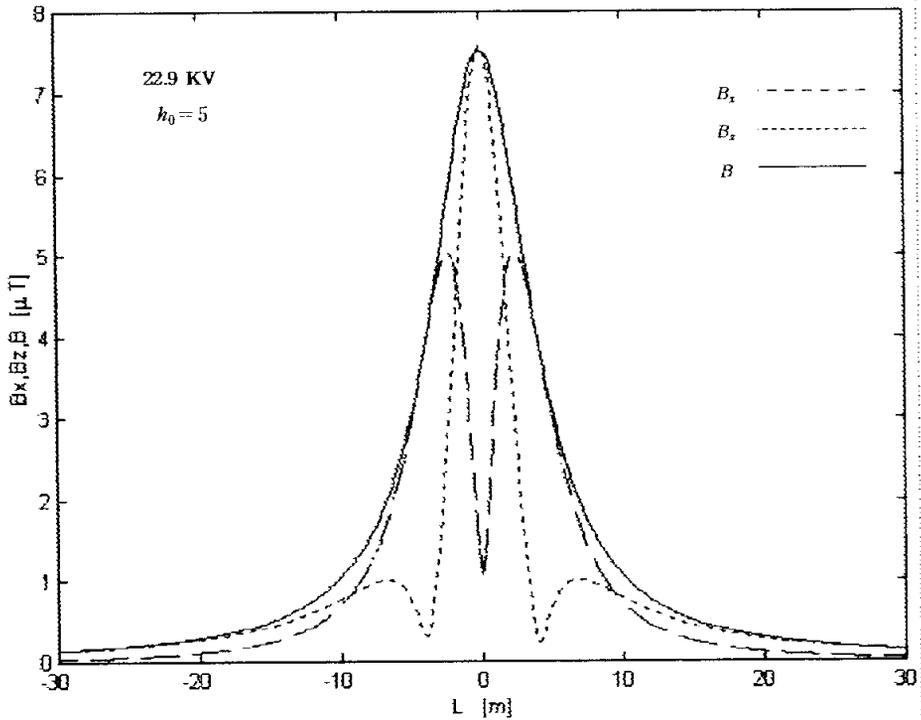


그림 3-20 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0=5$ [m])

Fig. 3-20 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]인 경우 (그림 3-21), B_x 는 두 개의 peak를 나타내나 오른쪽의 peak가 약간 큰 비대칭성을 나타내고 있다. 이것은 22.9 [KV] 배전선로의 전선배열이 전주를 중심으로 비대칭이기 때문인 것으로 생각된다. B_z 의 변화 양상은 $h_0 = 1$ [m] 및 $h_0 = 5$ [m] 경우와 같으나 그 값은 훨씬 크다. 합성자속밀도는 중심축상에서 1개의 peak를 나타내며 이 값이 최대값이 된다. 이 최대값은 약 45 [μT]이다.

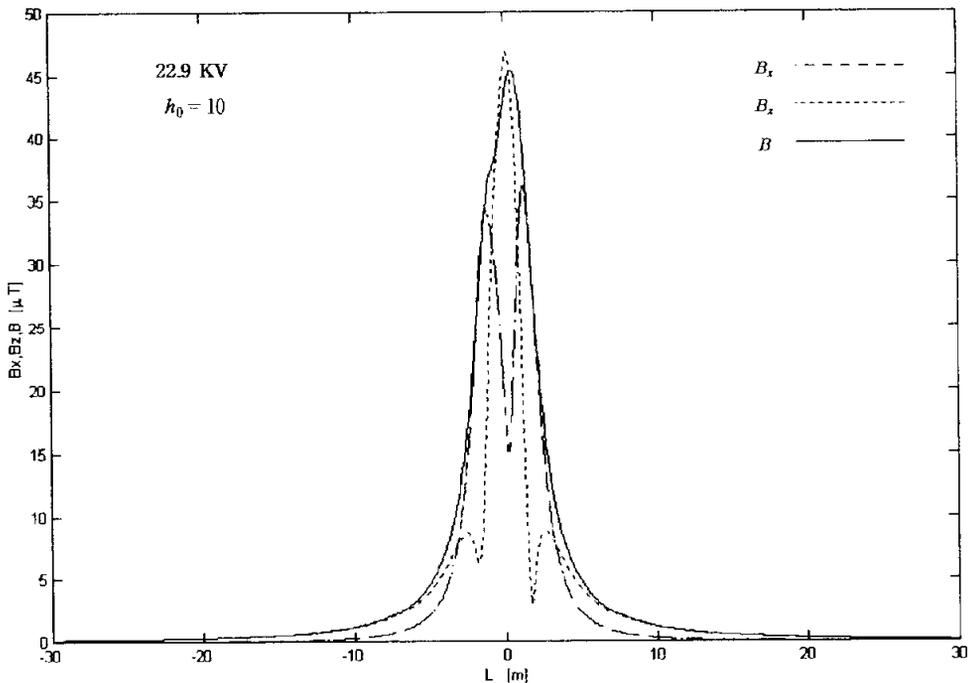


그림 3-21 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-21 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0 = 10$ [m])

그림 3-22 ~ 그림 3-24은 154 [KV] 송전선로의 각 자속밀도 성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m], 5 [m], 10 [m]의 경우 모두 각 자속밀도성분이 22.9 [KV] 배전선로의 경우와 거의 같은 양상을 보이거나 철탁중심축에서 나타나는 합성자속밀도 B 의 최대값은 $h_0=1$ [m]의 경우를 제외하고는 오히려 배전선로의 경우보다 작은 값이다. 이 최대값은 $h_0=1$ [m]인 경우(그림 3-22), $4.25 [\mu T]$, $h_0=5$ [m]의 경우(그림 3-23), $8.7 [\mu T]$, $h_0=10$ [m]인 경우(그림 3-24), $27.75 [\mu T]$ 이다.

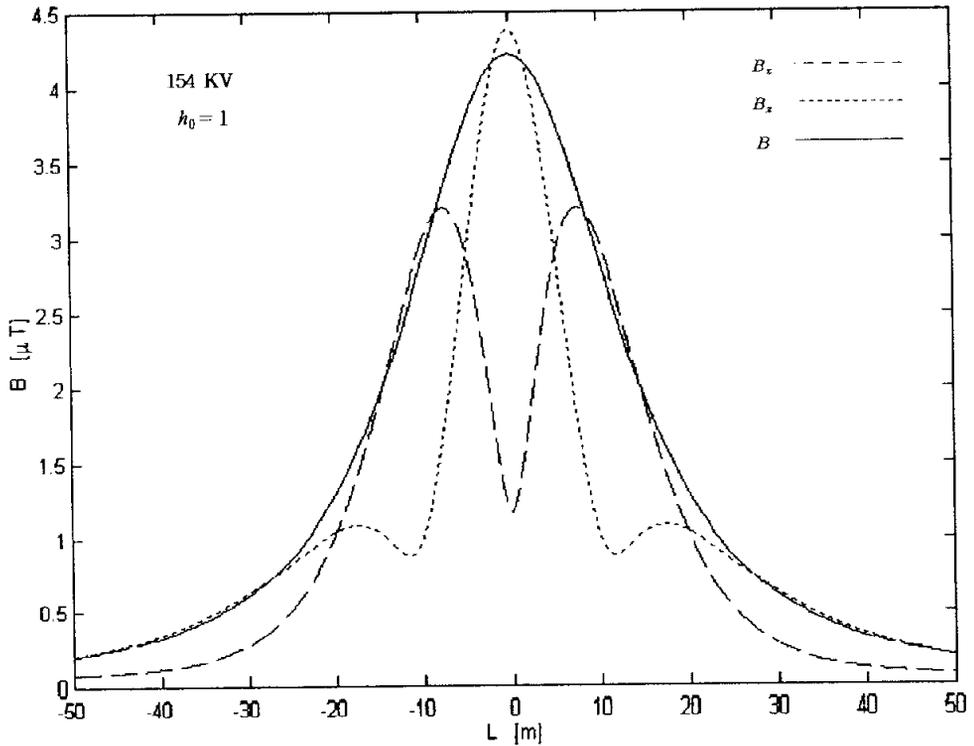


그림 3-22 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x, B_z 및 B 의 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-22 Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines ($h_0=1$ [m])

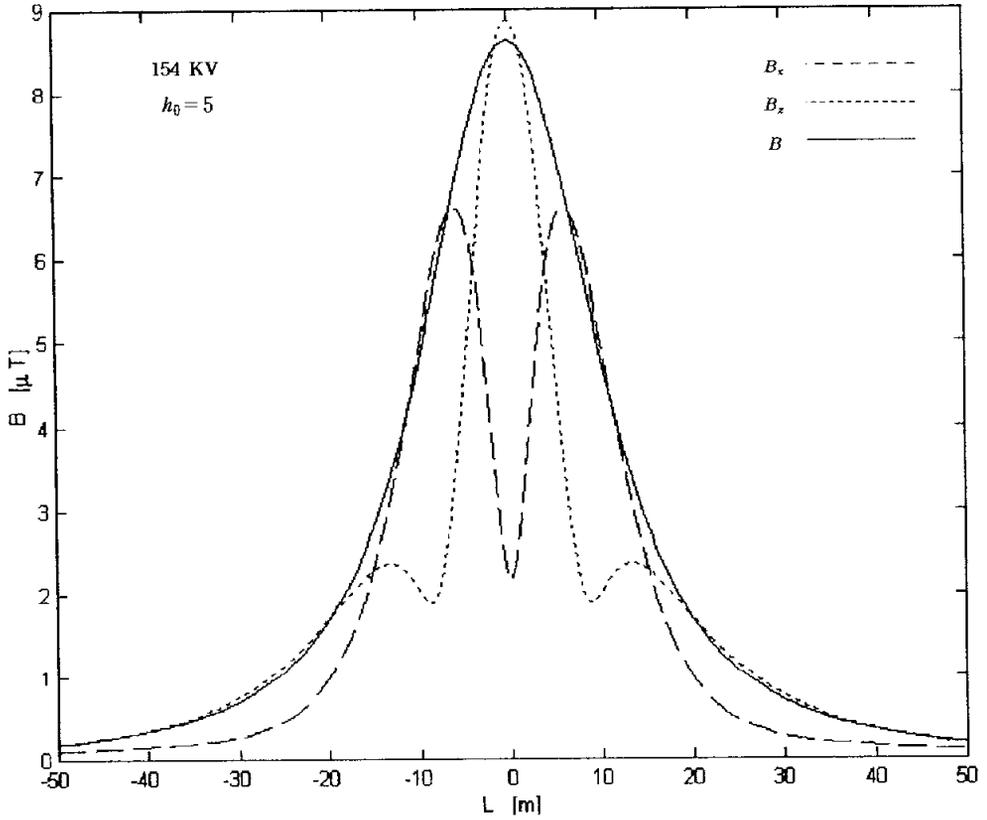


그림 3-23 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화 ($h_0 = 5$ [m])

Fig. 3-23 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines ($h_0 = 5$ [m])

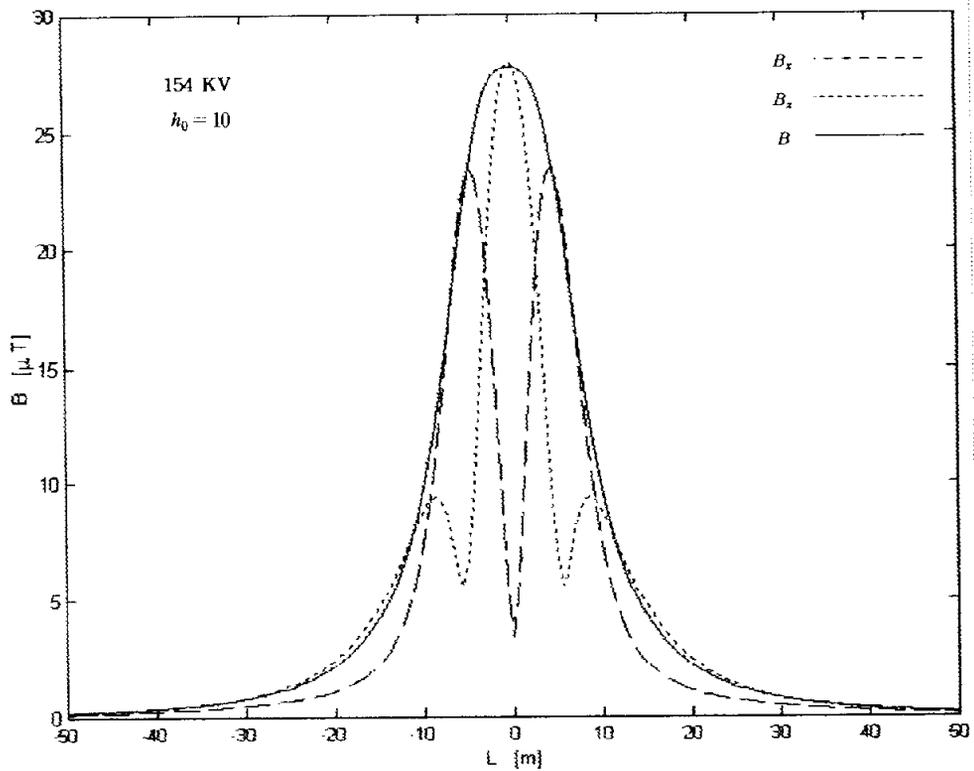


그림 3-24 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-24 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

그림 3-25 ~ 그림 3-27은 345 [KV] 송전선로의 각 자속밀도성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]의 경우(그림 3-25), B_x 는 철탑중심축에서 비교적 작은 peak, 그 좌우대칭으로 2개의 큰 peak를 나타낸다. B_z 는 철탑중심축 좌우대칭으로 크고 작은 2개씩의 peak를 나타내고 있다. 합성자속밀도는 철탑중심축 좌우대칭으로 $L=\pm 11$ [m] 근방에서 2개의 peak를 나타내며 이 peak 값이 최대값이다. 이 최대값은 $23 [\mu T]$ 이다. 중심축상에서는 합성자속밀도 B 가 B_x 및 B_z 의 값보다 작은 값이며 이것은 식 (3.33)에서 알 수 있는 바와같이 B_x 및 B_z 의 위상각이 영향을 미치기 때문이다.

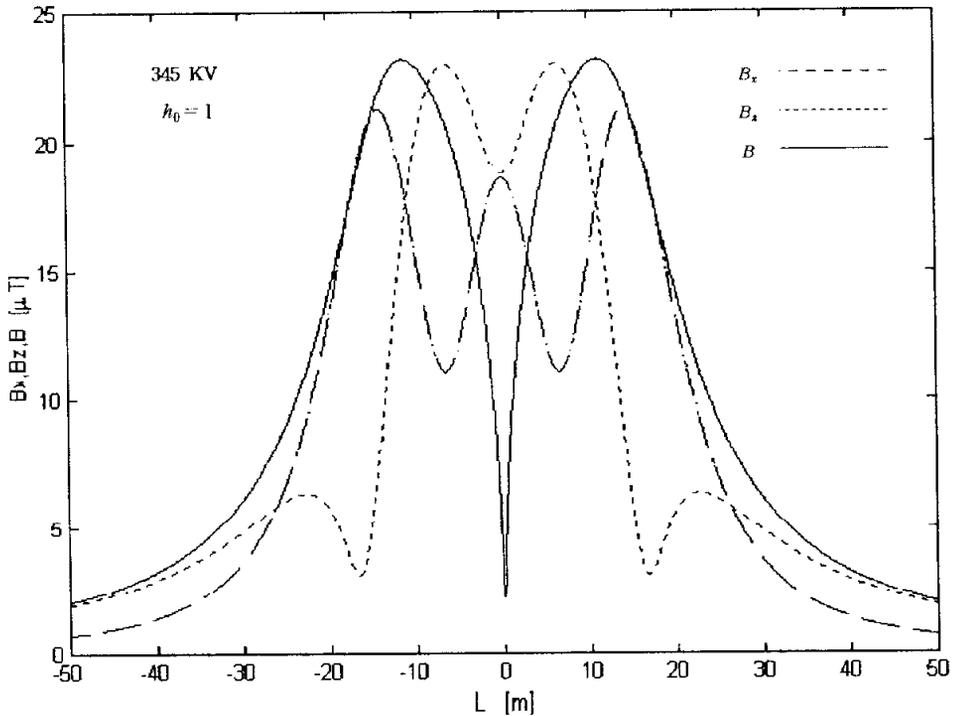


그림 3-25 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x, B_z 및 B 의 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-25 Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines ($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ 의 경우(그림 3-26), B_x 는 중앙 및 좌우 peak가 $h_0=1$ [m]의 경우보다 더욱 확대되어 나타난다. B_z 는 중심축 좌우 2개씩의 peak 중 큰 쪽의 peak가 더욱 확대되어 나타난다. 합성자속밀도 B 는 중심축상에 비교적 작은 peak가 나타나며 그 좌우 대칭으로 $L = \pm 13$ 근방에서 약 $49 [\mu T]$ 의 큰 peak를 나타낸다. 이 큰 peak 값이 최대값이다.

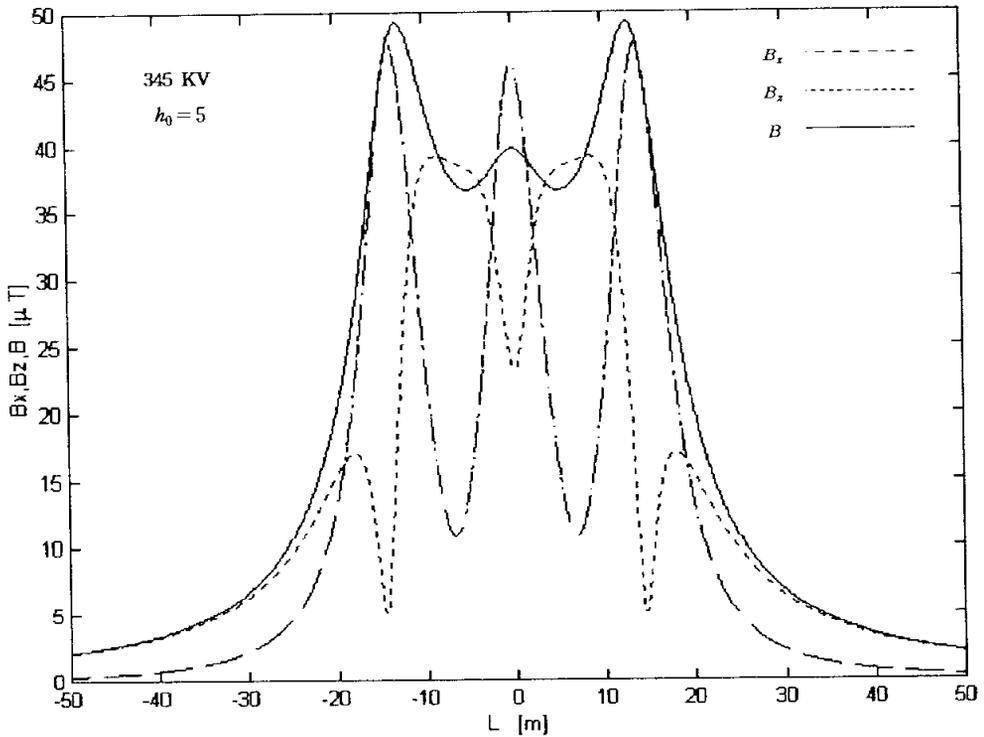


그림 3-26 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x, B_z 및 B 의 변화($h_0=5$ [m])

Fig. 3-26 Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines ($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]의 경우(그림 3-27), B_x 및 B_z 와 합성자속밀도 B 는 모두 중앙 및 좌우대칭의 위치에서 3개의 동일한 크기의 peak를 나타내고 있다. 합성자속밀도 B 는 철탑중심축상 및 $L = \pm 14$ [m] 근방에서 동일 크기 200 [μT]의 최대값을 가진다.

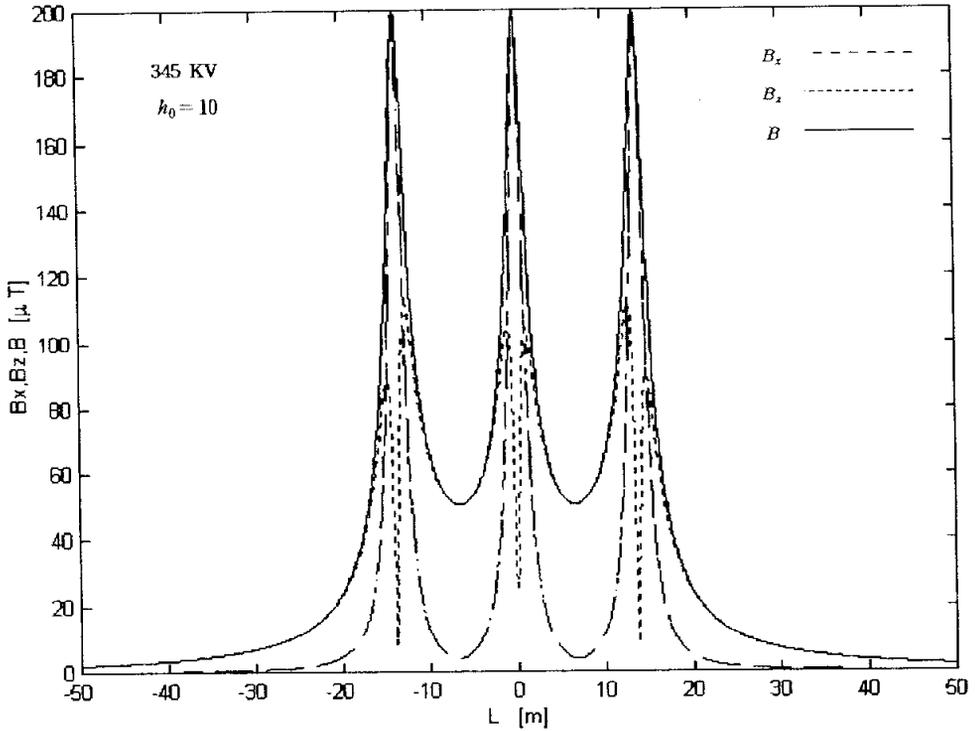


그림 3-27 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-27 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

그림 3-28 ~ 그림 3-30는 765 [KV] 송전선로의 각 자계성분의 변화를 나타낸 것이다.

$h_0=1$ [m]인 경우(그림 3-28), B_x 는 철탑중심축 좌우대칭으로 2개의 peak를 나타내며 B_z 는 철탑중심축상에서 1개의 peak를 나타낸다. 합성자속밀도 B 는 철탑중심축상에서 1개의 peak로서 최대값을 나타내며 이 값은 약 $1.17 [\mu T]$ 이다.

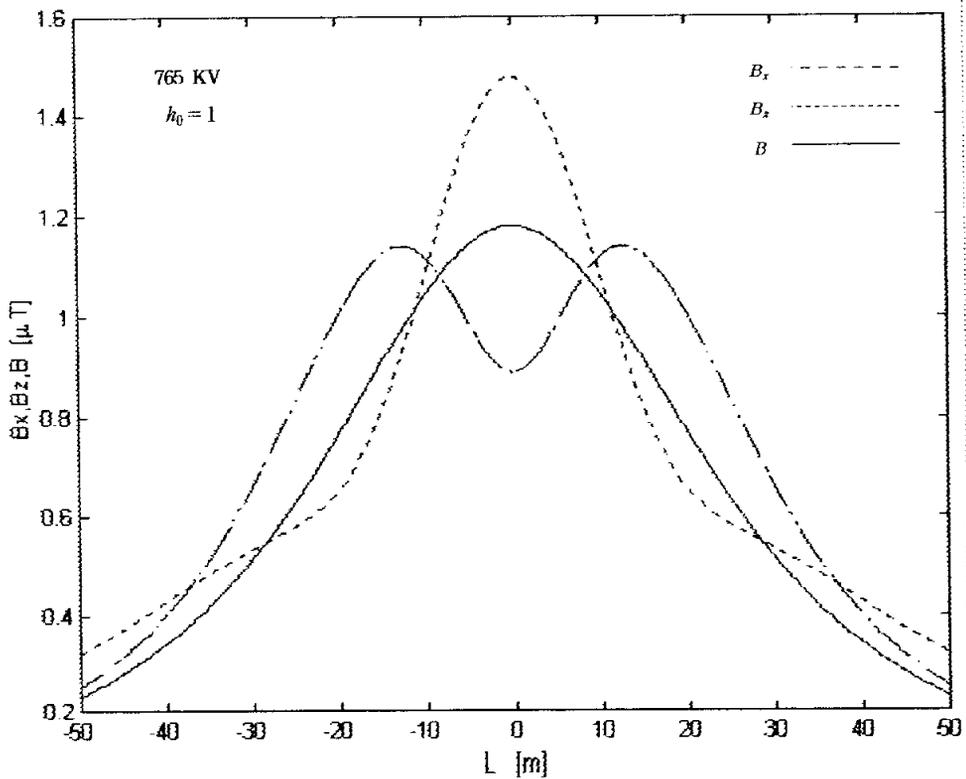


그림 3-28 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x, B_z 및 B 의 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-28 Variations of magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines ($h_0=1$ [m])

$h_0=5$ [m]인 경우(그림 3-29), 각 자계성분의 변화특성은 $h_0=1$ [m]인 경우와 같으며 합성자속밀도 B 의 최대값은 약 $1.68 [\mu T]$ 이다.

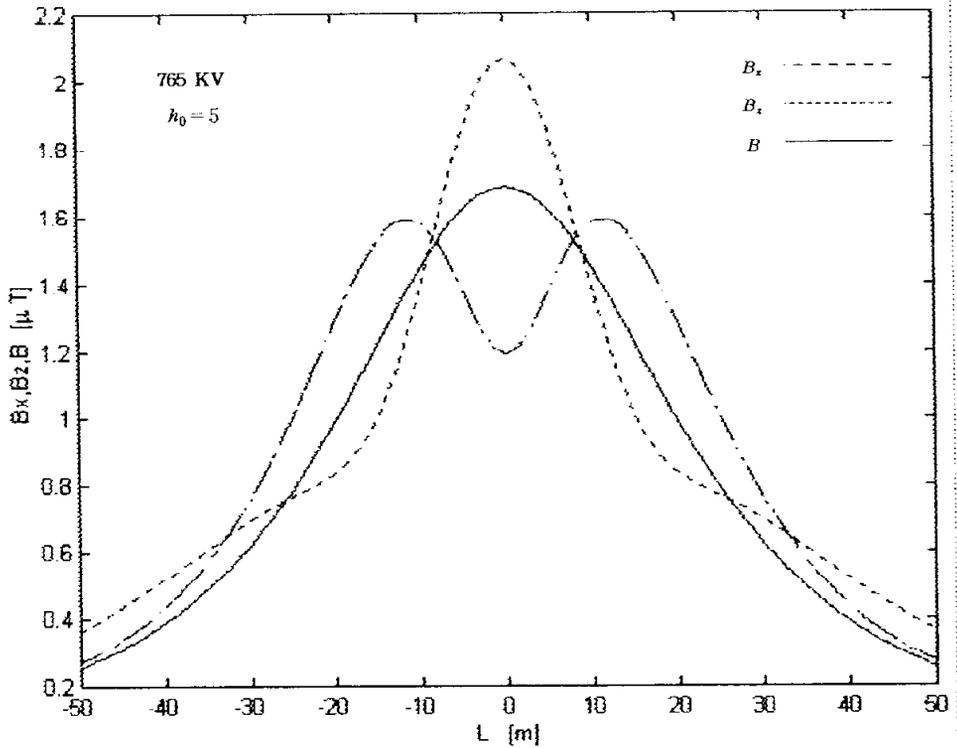


그림 3-29 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0=5$ [m])

Fig. 3-29 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines ($h_0=5$ [m])

$h_0 = 10$ [m]인 경우(그림 3-30), 각 자계성분의 변화특성은 $h_0 = 1$ [m] 및 $h_0 = 5$ [m]의 경우와 같으며 그 최대값은 약 2.75 [μT]이다.

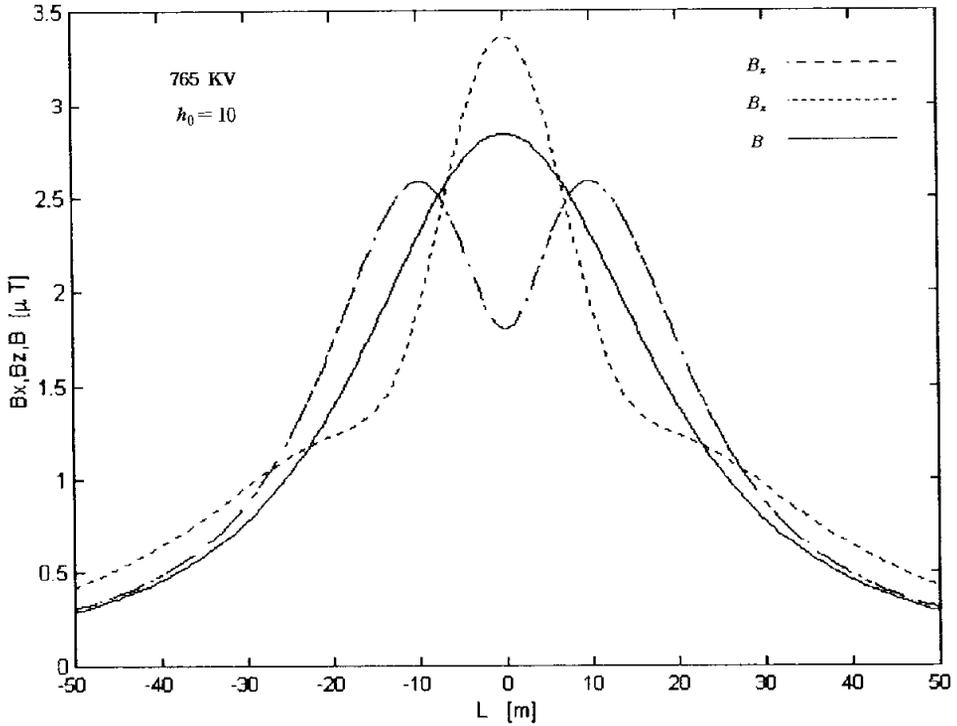


그림 3-30 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 변화($h_0 = 10$ [m])

Fig. 3-30 Variations of magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines ($h_0 = 10$ [m])

이상에서 검토한 바와 같이 자속밀도성분도 전계의 경우와 마찬가지로 대지표면위의 계산점 높이 h_0 가 클수록 큰 값을 나타낸다.

한편 국제기준인 IRPA / ICNIRP의 극저주파 자속밀도에 대한 노출 기준은 직업인은 1333 [μT]이며 일반인은 533 [μT]이다. 또 CENELEC의 노출기준은 표 3-4와 같다.

표 3-4. CENELEC 노출기준

	구 분	자속밀도 [mT]
직업인	업무시간 중 연속	0.5
	단시간 (하루 2시간 이내)	5
	신체일부(팔,다리 등)	2.5
일반인	24시간 연속 (개방된 장소)	0.1
	단시간(하루 수시간)	1

표 3-5는 주요 국가별 저주파 자속밀도에 대한 노출기준을 나타낸 것이다.

표 3-5 주요 국가별 노출기준

	자속밀도 [mT]			
	일반인	직업관	구분	제정년도
미 국		1	권고	1991
독 일	5	5	규제	1989
영 국	2	2	권고	1989
구 소련	-	1.8		1985
호 주	0.1~1	0.5~25	권고	1990
한 국	0.1		한전설계기준	1996

이상과 같은 노출기준에 의해 검토해 보면 IRPA / ICNIRP 국제기준을 초과하는 경우는 없으나 CENELEC 국제기준을 초과하는 경우는 345 [KV] 송전선로에서 $h_0 = 10$ [m], $L = \pm 15$ [m] 이내이다. 이 경우도 전계에서와 마찬가지로 3상 수평전선배열에서 발생한다. 따라서 수평배열 선로설계시 자속밀도를 고려할 필요가 있다.

3.3 전계 및 자속밀도성분의 위상각 변화

그림 3-31 ~ 그림 3-34은 각전선로에 대한 전계성분의 위상각 변화 예를 나타낸 것으로서 $h_0=1$ [m]의 경우이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 수평거리 L 의 변화에 따라 다양한 위상각 변화를 나타내고 있다. $h_0=5$ [m], $h_0=10$ [m]의 경우도 $h_0=1$ [m]의 경우와 마찬가지로 다양한 변화를 수반 하였으나 그 변화 양성은 다르게 나타났으며 자속밀도의 경우도 마찬가지이다.

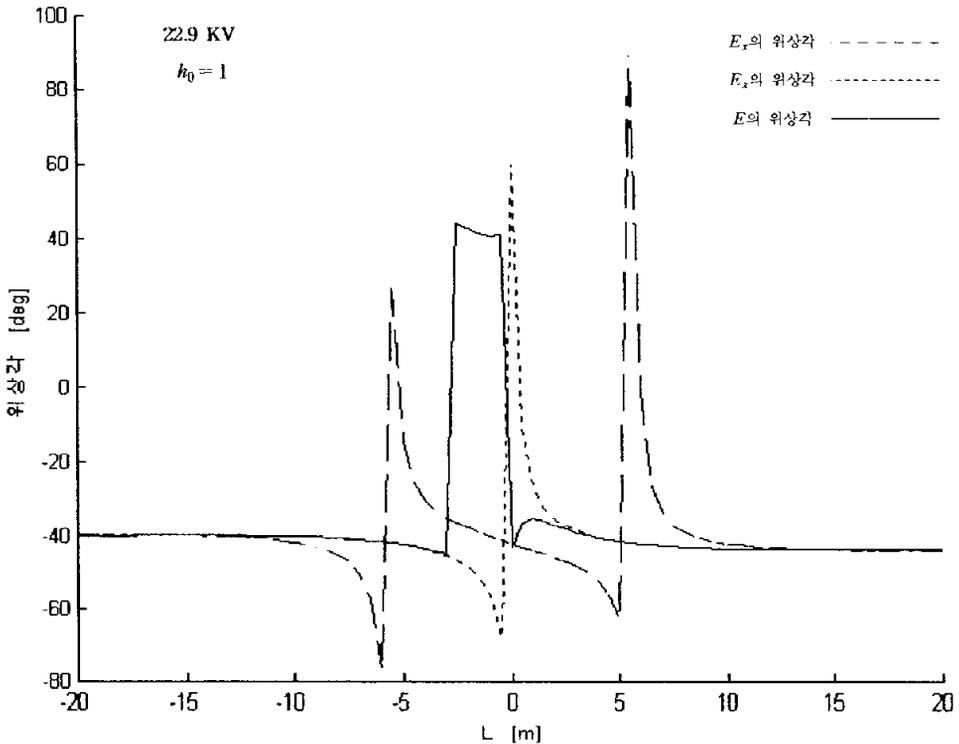


그림 3-31 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-31 Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m])

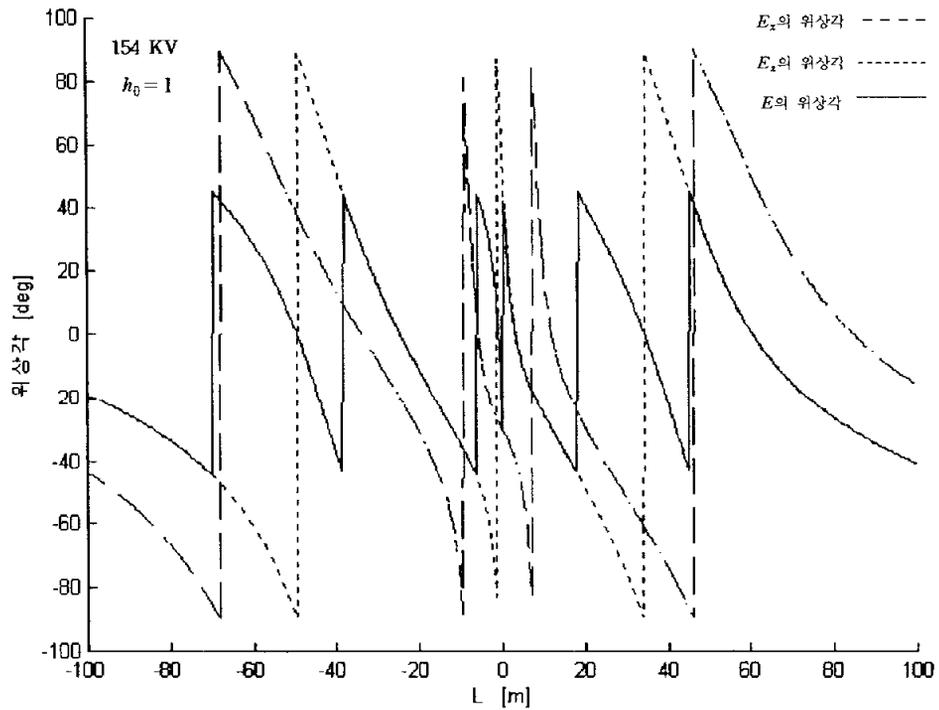


그림 3-32 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-32 Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m])

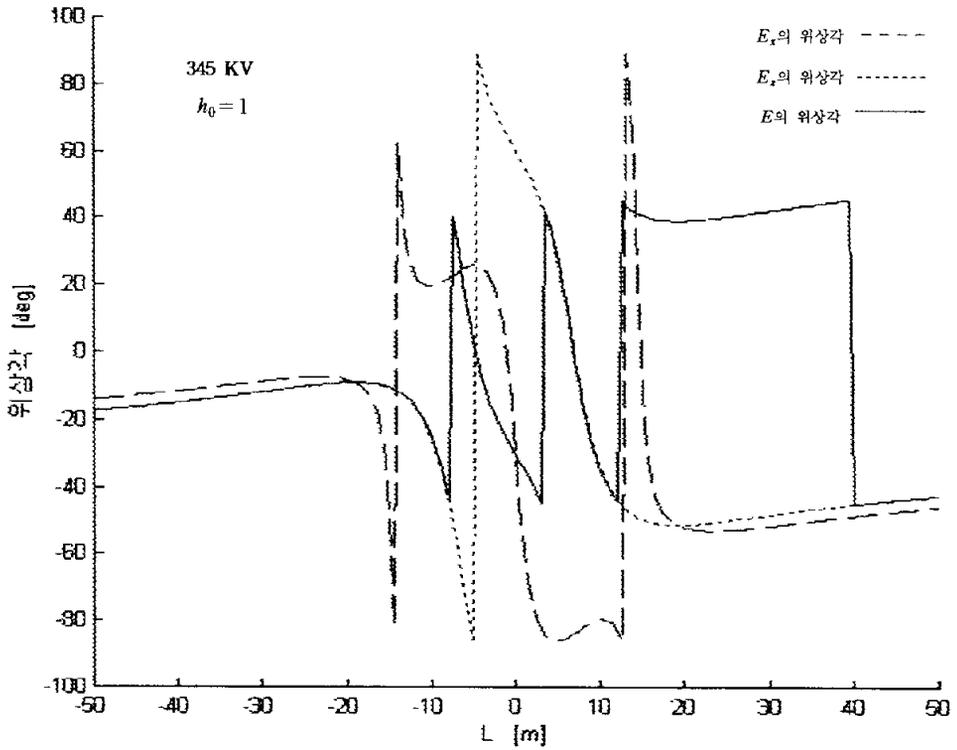


그림 3-33 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전계성분 E_x , E_z 및 E 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-33 Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m])

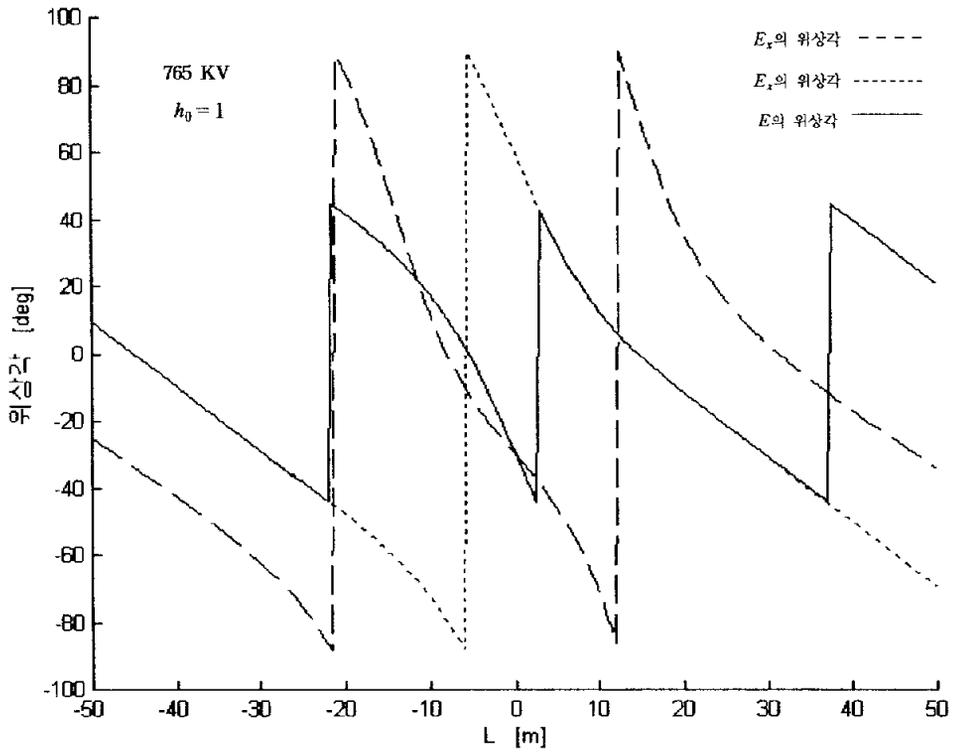


그림 3-34 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 전기성분 E_x , E_z 및 E 의 위상각 변화($h_0 = 1$ [m])

Fig. 3-34 Variations of phase angles in electric field components E_x , E_z and E with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0 = 1$ [m])

그림 3-35 ~ 그림 3-39은 각 전선로에 대한 자속밀도성분의 위상각 변화 예를 나타낸 것이며 $h_0=1$ [m]인 경우이다. 전계의 경우와 마찬가지로 수평거리 L 의 변화에 따라 위상각이 극심하게 변화하는 구간은 전선배열에 관계가 있으며 수직배열의 경우가 수평배열의 경우보다 넓다. 각 전계 및 자속밀도성분의 위상각은 식 (3.12) 및 식 (3-33)에서 알 수 있는 바와 같이 합성전계 및 합성자속밀도의 크기에 영향을 준다.

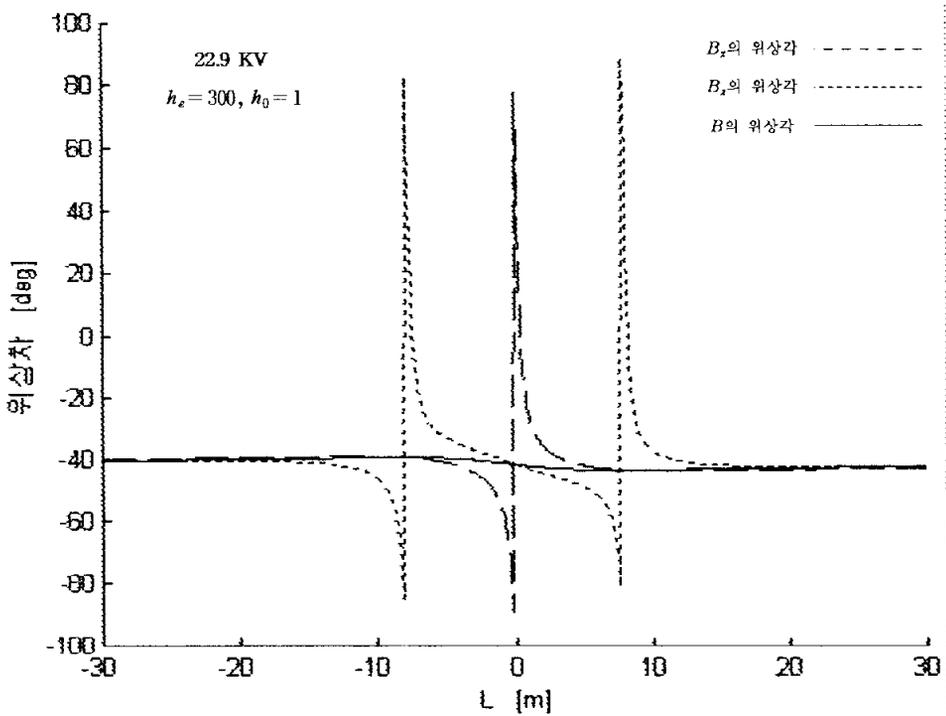


그림 3-35 22.9 [KV] 배전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_y 및 B 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-35 Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_y and B with horizontal distance L from concrete pole under 22.9 [KV] distribution lines($h_0=1$ [m])

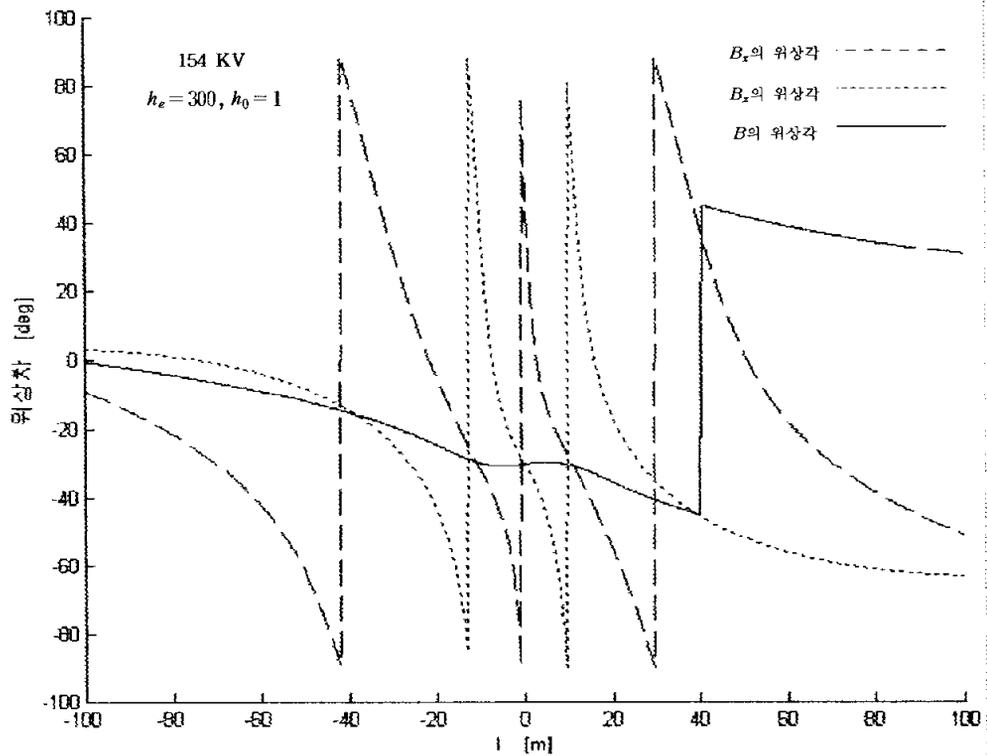


그림 3-36 154 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x, B_z 및 B 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-36 Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x, B_z and B with horizontal distance L from tower under 154 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m])

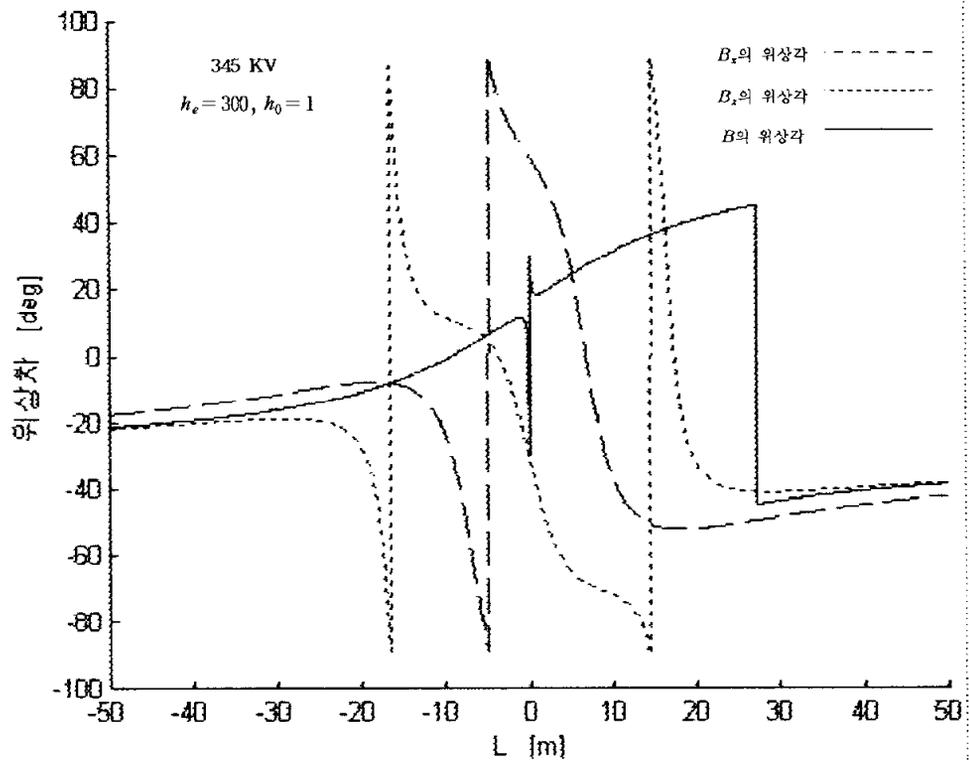


그림 3-37 345 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 위상각 변화($h_0=1$ [m])

Fig. 3-37 Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 345 [KV] transmission lines($h_0=1$ [m])

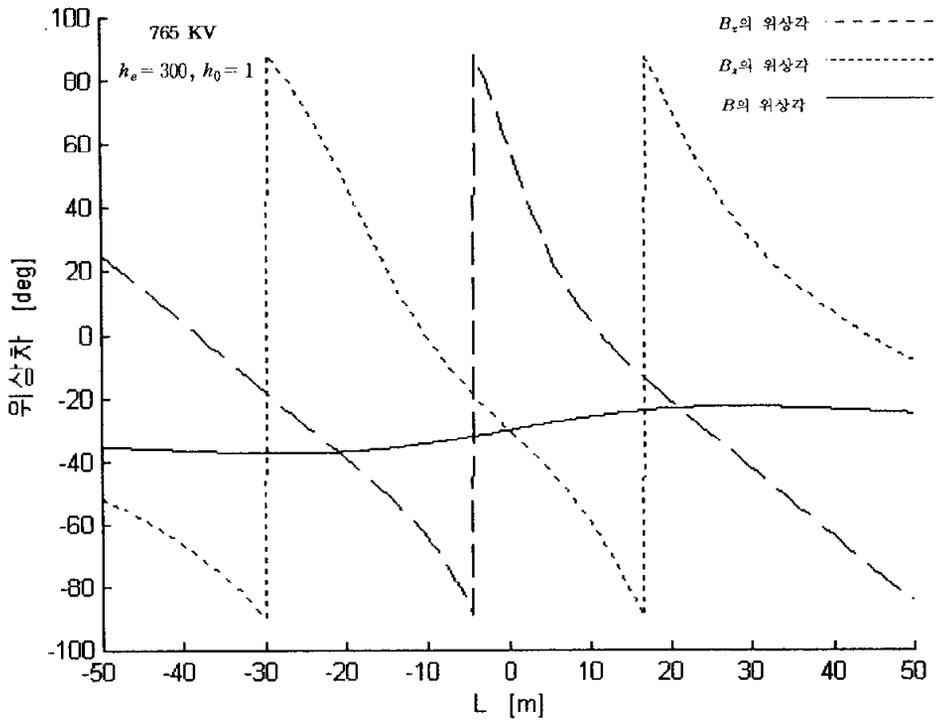


그림 3-38 765 [KV] 송전선로하의 수평거리 L 에 대한 자속밀도성분 B_x , B_z 및 B 의 위상각 변화($h_0 = 1$ [m])

Fig. 3-38 Variations of phase angles in magnetic flux density components B_x , B_z and B with horizontal distance L from tower under 765 [KV] transmission lines($h_0 = 1$ [m])

제 4 장 결 론

본 연구에서는 3상 전력선로하의 전계 및 자속밀도 계산에 대지의 영향을 고려하여, 수직전선배열 및 수평전선배열에 대한 계산식을 정식화하였다. 또한 이 계산식을 현재 국내에 가설되어 있는 배전선로 및 송전선로에 적용하여 계산점의 수평거리와 높이에 대한 전계 및 자속밀도의 성분변화를 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 계산점의 높이가 낮을 경우 합성전계는 거의 수직방향성분에 의존한다.

(2) 계산점의 높이가 클수록 전계 및 자속밀도의 각 성분이 증가하며 합성전계와 합성자속밀도에 미치는 수평방향성분의 영향이 커진다.

(3) 수직전선배열의 경우보다 수평전선배열의 경우가 전계 및 자속밀도값이 훨씬 크며 특히 수평전선배열 345 [KV] 송전선로의 경우 철탑으로부터의 수평거리 17 [m] 이내에서 국제 노출기준을 초과하여 발생한다.

(4) 전계 및 자속밀도의 수평방향성과 수직방향성분의 위상각은 수평거리에 따라 다양하게 변화하며 합성전계와 합성자속밀도의 크기에 영향을 준다.

참 고 문 헌

- [1] Savitz DA., John EM., Kleckner LC., "Magnetic field exposure appliances and childhood cancer", Am. J. Epidemiol 191, pp. 763~773, 1990.
- [2] Feychting M., Shulgen G., Olsan JH., Ahlbom A., "Magnetic fields and childhood cancer, A pooled analysis of two Scandinavian studies", Eur J. Cancer 31A, pp. 2035~2039, 1995.
- [3] Poole C., Kavet R., Funch D., Donelan K., Charry J. Dreyer N., "Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating current transmission line right-to-way", Am. J. Epidemiol 137, pp. 318~330, 1993.
- [4] Savitz DA., Sonnenfeld L., Olshan AF., "Review of epidemiologic studies of paternal occupational exposure and spontaneous abortion", Am. J. Ind Med 25, pp. 361, 1994.
- [5] Wertheimer N., Leeper ED., "Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure", Am. J. Epidemiol 129, pp. 220~224, 1989.
- [6] Juutilainen J., Matilainen P., Saarikoski S., Läärrä E., Suonio S., "Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic field", Bioelectromagnetic, Vol. 14, pp. 229~236, 1993.
- [7] Infante-Rivard C., "Electromagnetic field exposure during pregnancy and childhood leukemia", Lancet 346, pp. 177, 1995.
- [8] Wiley MJ., Corey P., Kavet R., Charry J., Harvey S., Agnew D., Walsh M., "The effects of continuous exposure to 20 [KHz] sawtooth magnetic fields on the litters of CD-1 mice", Teratology 46, pp. 391~398, 1992.

- [9] Svednstal B-M., Johnson K-J., "Fetal loss in mice exposed to magnetic fields during early pregnancy", Bioelectromagnetic, Vol. 16, pp. 284~289, 1995.
- [10] ELF electromagnetic fields, CANCER-Risk factors; UNITED Nations.
- World Health Organization: Journal of Environmental Health, Dec 2002, Vol. 65 Issue 5, pp.47~49.
- [11] 김문덕, "전력선 전자계에 대한 인체 노출기준 설정", 전기전자재료 제 8 권, pp. 313~317, 1998. 4.

Calculations of electric field and magnetic flux density under 3 phase power lines

Lee, young-sik

Department of Electrical Engineering
Graduate School on Industry
Pukyong National University

Abstract

In this study the formula of electromagnetic fields under 3-phase power lines with vertical or horizontal line-configurations were deduced and the effect of the earth was considered in the formula. By using the formula the electric field and the magnetic flux density under distribution and transmission lines constructed currently in our country were calculated and the components of each field were investigated with horizontal distance from tower and height above the earth, The results are as follows.

- If the height of calculation point is low the resultant electric field depends nearly on the vertical component.

- The higher the calculation point each component of electric field and magnetic flux density is larger than larger and also influence of horizontal component on resultant electric field and magnetic flux density increases .

- Intensities of electric field and magnetic flux density are larger in case of the horizontal line-configuration than in the case of the vertical line-configuration .

Especially in the case of 345[KV] transmission lines with horizontal line configuration the intensities of electro magnetic field in 17[m] of the horizontal distance exceed the international standard values.

- Phase angles of electric field and magnetic flux density components vary variously with the horizontal distance and affect intensities of the resultant electric field and the resultant magnetic flux density.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 철저한 지도와 아낌없는 격려를 해주신 강대하 지도교수님께 먼저 진심으로 감사를 드립니다.

또한 바쁘신 중에도 귀중한 충고와 조언으로 섬세하게 논문을 심사해주신 김종경 교수님, 홍순일 교수님께도 깊은 감사 드리며 2년 반동안 여러모로 부족한 저를 많은 가르침으로 오늘이 있기까지 지도해주신 전기공학과 모든 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

아울러 그동안 많은 지원과 도움을 주신 전기재료 및 고전압실험실 여러 선배님들과 여희창, 허진석 후배님께 고마움을 전하고자 합니다.

직장생활 하면서 학위과정에 열중할수 있도록 적극 도와주시고 많은 배려해주신 한국전기안전공사 부산·울산지역본부 정동주본부장님, 김종삼지부장님, 강신대지사장님, 송주용지사장님, 박운동지사장님, 이충훈팀장님, 백승달부장님, 남근우부장님, 서부지사 선·후배님, 부산·울산지역본부 점검팀 선·후배 여러분께도 진심으로 감사드리며 앞으로 더욱더 열심히 노력할 것을 약속드립니다.

마지막으로 정성과 사랑으로 아낌없이 성원해주신 부모님과 장모님께 머리숙여 감사드리며 항상건강 하시길 기원 합니다. 특히 장모님 하루 빨리 건강한모습 되찾으시기 바랍니다. 그리고 어렵고 힘들어 할때마다 위로와 용기를주고 묵묵히 뒷바라지 해준 사랑하는 아내와 나의소중한 아들 정현, 성현이와 이 작은 기쁨을 함께 하고자 합니다.

2003년 7월

논문을 마치며! 이 영 석