

유도협조(誘導協助)와 그 계산

기술해설

19~6~4

Inductive Coordination and Method of Caculation

양 배 덕*
(Bae Duk Yang)

1. 서 언

전력선과 통신선이 가까이 있는 지역에서는 유도 장 해로 인한 통신축 피해가 크게 문제 된다. 전력선 및 통신선의 유도차폐 또는 이상전압에 대한 보호기술이 잘 발달되고 상호협조가 원만한 선전계국에서도 좀 더 양질의 통화를 위해서 꾸준히 연구되고 있는 문제 이다^{1) 2)}.

본고에서는 유도허용 한도에 대하여 기술하고 근본 적인 유도전압 계산에 대하여 적용되는 계산식을 간추 려 보고자한다.

2. 유도허용 한도

통신선에 대한 전력선의 유도전압이 어느정도 까지 허용되느냐 하는 것은 전력사업과 통신사업 사이에 이 해가 상반되는 중대한 문제가 되기 때문에 수년간 논 의 대상이 되고 이것에 관한 연구 조사도 수없이 하여 왔다³⁾. 그러나 실험이나 쓰는 순 기술적인 자료로 써 단순하게 결론을 내리는 것은 곤란한 일이 아닐수 없다.

유도허용한도는 아래와 같이 두 분야로 나누어 생각 하는 것이 좋다.

(1) 전력선의 정상 운전시 존재하는 유도로서 주로 통신장비(잡음)의 관점에서 정한것

(2) 전력선의 고장에 의하여 일시적으로 생기는 유 도로써 주로 통신기기 및 인명보호의 관점에서 정한것
전항에 대해서는 통신업무의 지장을 초래하지 않는 계속적인 유도허용량으로써 통신선로의 상대, 통신방 식, 사용통신기기의 특성, 통신전류의 크기 등에 따라서 각각 다르게 되어 한가지로 결정하는 것은 곤란하나 C.C.I.F.에서 정한 값은 국제전선회로에 통신전류의 5%를 허용한도로 규정하고 있다. 또 전화회 대하여서 는 C.C.I.F.에서 국제 장거리 가공 전화 시설에 있어 서는 잡음기전력 5mV(잡음전압계에 의한 800c/s 환산

치)를 허용한도로 하고 있다. 이는 국제적으로 준수되 고 있으며 국내에서도 이 값을 준수하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

전력선의 고장시에 있어서 일시적인 유도 전압의 허 용치는 통신기기 및 인명에 대한 위험전압 전류 및 이 것에 대한 보호장치의 특성과 전력선에 있어서 고장의 빈도 고장계속 시간을 좌우하는 차단기 및 보호계전기 의 성능과 관련하여 결정된다. 이 허용치로써 C.C.I. F.에서는 중배 교육 실험치 300V로 규정하였으나 1950년 C.C.I.F. 총회에서 다시 430V로 변경하기에 이르렀고 고장이 적고 안정도가 높은 송전계통에서는 고장계속시간이 0.2초 이하에 있으면 650V도 편함을 것으로 결론 내렸으나 현재 154KD 계통에 대하여 6 cycles~8 cycles 이내에 동작하는 차단기가 일반적으 로 사용하고 있으며 고장발생후 4 cycle⁴⁾ 이내에 차단 할 수 있는 차단기를 채용하려는 움직임에 비추어 이 유도허용 한도는 매우 유동적인 상태에 있다.

또한 전력계통의 안정을 위해서도 이 차단시간의 단 축은 필요하며 더욱이 최근 초고압 직접접지 송전방식 의 채용으로 인하여 지락전류는 증가하게 되었으며 차 단기의 신뢰도를 높이고 있다. 그러나 이는 起誘導 전 류를 증가시키는 결과가 되므로 계속 연구되어야 할 과 제이다.

3. 유도전압의 계산

전력선과 통신선이 가까이 있게되면 두선사이에는 전기적 자기적 결합에 의하여 통신선에 전압 혹은 전 류를 유기하게 되며 이때 전압 혹은 전류를 일으키는 원인축을 기유도회로라 하고 결과축을 피유도회로라고 한다. 기유도회로와 피유도회로 사이에는 통전결합 정 전결합 전자결합(電磁結合) 세가지 형태로 존재하며 계산을 간단히 하기 위해서 각각이 취급한다. 물론 이 들 세가지 종류의 영향은 실험적으로 구별된다.

(1) 電磁界에 의한 결합⁵⁾

그림 1에서 기유도선 1의 전압을 U_1 , 전류를 I_1 , 종 단저항을 R_1 , 주파수를 $f(Hz)$ ($\omega=2\pi f$)라고 하면 $U_1 =$

*정회원 : 한국과학기술연구소

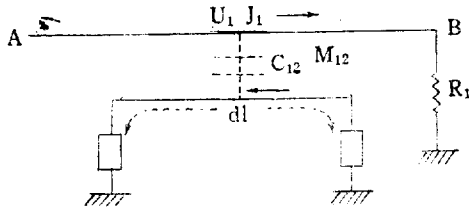


그림 1

$R_1 J_1$ 피유도선 2는 저항 R_2 를 갖고 그 양단이 접지되어 있는 것으로 생각한다.

$C_2 M_{12}$ 를 1과 2사이의 단위길이당 상호 Capacitance 상호 Inductance라고 하면 dl 길이에서 충전전류는 $U_1 j \cdot C_{12} dl$ 로 된다. dl 양측의 Impedance는 같고 R_2 라고 생각하면 충전전류는 선로의 양쪽으로 등분하여 흐른다. 따라서 dl 내에서는 전압 $-J_1 j \omega M_{12} dl$ 가 유기되고 이때문에 $-J_1 j \cdot M_{12} dl / R_2$ 인 전류가 흐른다.

충전전류의 방향은 선로 2의 양끝에서 똑같이 대저로 향하나 유도전류의 방향은 반대로 된다. 또한 유도전류는 상기 관계로 부터 $-U_1 j \cdot M_{12} dl / R_1 R_2$ 로 된다.

선로 2의 전류 J_2 는 A端에서 B端을 향한 방향을 정으로 한다. 이때 dl 중의 전류는 靜電誘導에 의한 충전전류와 電磁誘導에 의한 誘導電流의 합이 흐르게 되고 그 결과는 다음과 같다.

선로 2의

$$A\text{端에서는 } J_2 = -\frac{U_1 j \cdot dl}{2} \left(C_{12} + \frac{2M_{12}}{R_1 R_2} \right)$$

$$B\text{端에서는 } J_2 = \frac{U_1 j \cdot dl}{2} \left(C_{12} - \frac{2M_{12}}{R_1 R_2} \right)$$

선로 1이 Z_1 으로 B端이 접지되고, 선로 2가 Z_2 로 兩端이 접지되고 또 선로의 저항을 무시하면 아래와 같이 일반화 된다.

$$\left. \begin{aligned} A\text{端에서는 } J_2 &= -\frac{U_1 j \cdot dl}{2} \left(C_{12} + \frac{M_{12}}{Z_1 Z_2} \right) \\ B\text{端에서는 } J_2 &= +\frac{U_1 j \cdot dl}{2} \left(C_{12} - \frac{M_{12}}{Z_1 Z_2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

이와 같이 피유도선의 A端에서는 靜電誘導電流와 電磁誘導電流는 합해지고 B端에서는 일부가 상쇄하게 된다. Z_1 나 Z_2 가 정하여지면 位相關係도 명확해진다.

실제로 전력선과 통신선 사이의 유도문제의 경우에는 $R_1 \approx Z_1$ $R_2 \approx 2Z_2$ 이고 또 전력선은 여러가지 접지방식이 사용되고 통신선은 양단이 절연 혹은 저항을 통하여 접지되어 있어서 靜電誘導電流와 電磁誘導電流 사이에도 복잡한 관계로 되고 따라서 (1) 식은 가로만 어느 한쪽이 우위로 남아서 위상관계도 복잡한 식으로 된다. 양쪽의 계산은 독립적으로 하게 되지만 최종요소가 線形인 경우에는 重疊하게 된다.

(2) 靜電誘導

(가) 靜電容량의 계산

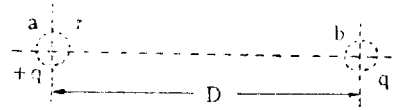


그림 2

반경 r [m]되는 무한장의 직선상의 2도선 a, b가 갖는 靜電容량은 다음과 같이 계산된다.

$$V_a = 27 \times 9 \times 10^8 \log_e \frac{D}{r} \quad [V]$$

$$C_a = \frac{q}{v_a} = \frac{1}{2(\log_e \frac{D}{r}) \times 9 \times 10^9} \quad [F/M]$$

$$= \frac{1}{2 \log_e \frac{D}{r}} \times \frac{1}{9} \quad [\mu F/M] \dots\dots\dots(2)$$

$$= \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{D}{r}} \quad [\mu F/M] \dots\dots\dots(3)$$

도선 b에 있어서도 똑같은 방법에 의해서

$$V_b = 27 \times 9 \times 10^8 \log_e \frac{D}{r} \quad [V]$$

$C_b = -\frac{q}{V_b}$ 로 부터 C_a 와 같은 값을 갖는다. 즉

$C_a = C_b$ 되며 실제의 충전선로에서는 (2)식이나 (3)식을 사용하며 계산하게 된다.

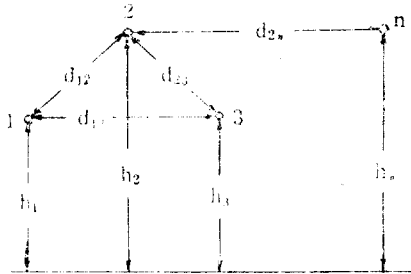


그림 3

또한 그림3에 있어서 V 를 자선의 전위, Q 를 전하, P 를 전위계수라고 하면

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= P_{11}Q_1 + P_{12}Q_2 + P_{1n}Q_n \\ V_2 &= P_{21}Q_1 + P_{22}Q_2 + P_{2n}Q_n \\ V_n &= P_{n1}Q_1 + P_{n2}Q_2 + P_{nn}Q_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 $P_{11} = 2 \log \frac{2h_1}{r_1}$ $P_{22} = 2 \log \frac{2h_2}{r}$

$$P_{12} = P_{21} = \log \left(1 + \frac{4h_1 h_2}{d_{12}^2} \right) \text{ 등등}$$

r : 도체의 반경 h : 도체의 평균 地上高
 d : 선간거리

(4) 식에서 V 를 알고 있으면

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= k_{11}V_1 - k_{12}V_2 + \dots + k_{1n}V_n \\ Q_2 &= k_{21}V_1 - k_{22}V_2 + \dots + k_{2n}V_n \\ Q_n &= k_{n1}V_1 + k_{n2}V_2 + \dots + k_{nn}V_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5) 식의 Q 를 다음과 같이 쓸수 있다.

$$Q_1 = (k_{11} + k_{12} + \dots + k_{1n}) V_1 + (-k_{12})(V_1 - V_2) + (-k_{13})(V_1 - V_3) + (-k_{1n})(V_1 - V_n),$$

즉 각도체의 대지용량 즉 상호용량을 다음과 같이 구하게 된다.

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= k_{11} + k_{12} + \dots + k_{1n} \\ C_2 &= k_{21} + k_{22} + \dots + k_{2n} \\ C_n &= k_{n1} + k_{n2} + \dots + k_{nn} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$C_{12} = -k_{12}, C_{13} = -k_{13}, C_{23} = -k_{23}$ 등등,
 $k_{11}, k_{22}, k_{33}, \dots$ 을 靜電容量係數, k_{12}, k_{13}, k_{23} ,
 등을 靜電誘導係數라고 부른다.

靜電容量, 靜電誘導係數는 선로의 기하학적 dimension으로 부터 電位係數를 계산하고 송전선로, 통신선로에 대한 조건을 넣어서 (4), (5), (6)식으로 부터 구하게 된다.

(나) 靜電誘導電壓의 계산식

靜電誘導電壓의 실제적인 경우의 산출식을 이하에 표시한다.

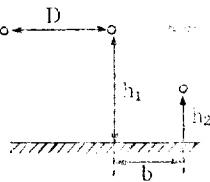


그림 4

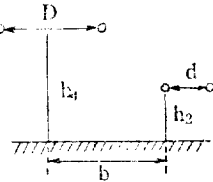


그림 5

i) 단상 교류 선로와 단상통신선로 (그림4)

$$V = \frac{E}{4 \log \frac{r_1}{r_2}} \log \frac{[b^2 + (h_1 + h_2)^2][(b + D)^2 + (b^2 + (h_1 - h_2)^2)]}{[b^2 + (h_1 - h_2)^2][(b + D)^2 + (h_1 + h_2)^2]} \dots\dots\dots(7)$$

ii) 單相교류 선로와 복선식 통신선로(그림5)

$$Vad = \frac{E}{4 \log \frac{r_1}{r_2}} \log \frac{[(b + d)^2 + (h_1 - h_2)^2][(b + D)^2 + (b^2 + (h_1 - h_2)^2)]}{[(b + D + d)^2 + (h_1 - h_2)^2] [b^2 + (h_1 - h_2)^2]} \dots\dots\dots(8)$$

iii) 3 상교류선로와 통신선 (그림 6)

엄밀히는 (가) 항과 같이 계산하지만 근사적으로 다음과 같이 한다.

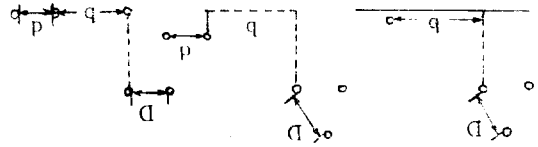


그림 6

(a) $b < 15m$ 일때 $V = 0.055 ED/b^2 \dots\dots\dots(9)$

$b > 15m$ 일때 $V = 1.06 ED/b^2 \dots\dots\dots(10)$

(b) $V_{ab} = 0.065 DI E/b^2 \dots\dots\dots(11)$

(c) $V_{ab} = 0.17 DI E/b \dots\dots\dots(12)$

(iv) 전력선과 통신선의 상호용량이 주어질때는 다음과 같이 구한다.

(a) 단상단선식 전력선과 단선 통신선

$$\frac{wC_1CRE}{\sqrt{1 + w^2(C_1 + C_2)^2}R^2} \dots\dots\dots(13)$$

(b) 三相교류선로와 단선 통신선

$$\frac{wCRE}{\sqrt{1 + w^2(C_0 + C_1 + C_2 + C_3)^2}R^2} \dots\dots\dots(14)$$

단 $C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2} - C_1C_2 - C_2C_3 - C_3C_1$

(13)(14)식은 통신선의 대지 절연저항을 고려한 때이나 이것을 무시하면 다음과 같이 유도전압을 구하게 된다.

$$V = \frac{C_1E'_a + C_2E'_b + C_3E'_c}{C_0 + C_1 + C_2 + C_3} \dots\dots\dots(15)$$

$$|V| = \frac{\sqrt{C_1(C_1 - C_2) + C_2(C_2 - C_3) + C_3(C_3 - C_1)}}{C_0 + C_1 + C_2 + C_3} \times \frac{E}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(16)$$

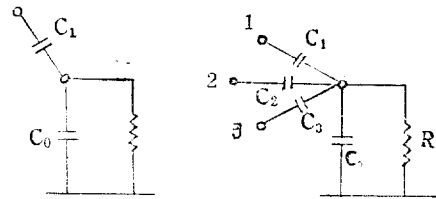


그림 7

E'_a, E'_b, E'_c 는 전력선의 자상전위 E 는 선간 전압이다.

(다) 靜電誘導 전류

그림(4)에서 통신선이 Impedance $R + jwL$ 로써 접지된 때에는 유도전류 J_2 는 (C_2 는 통신선의 대지용량)

$$J_2 = V / \{ R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C_2}) \} \dots \dots \dots (17)$$

통신선이 왕복 2선의 경우는 양선의 대지 결연저항이 다르기 때문에 양자간에 유도된 전압 V_e 에 의하여 그 사이에 있는 통신기에 흐르는 전류는 다음과 같다.

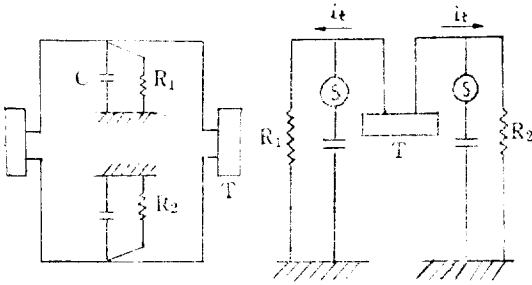


그림 8

$$i_t = \frac{\omega C(R_1 - R_2)V_e}{(R_1 + R_2)\sqrt{1 + 4\omega^2 C^2 \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)^2}} \dots \dots \dots (18)$$

(라) 기타 기술기준에 의한 유도전류의 계산법

i) 특별고압 架空送電線의 사용전압이 15,000V 이하의 경우,

$$i_r = V_K \times 10^{-3} \left(2.57 + 2.76 \sum \frac{l_1 \log \frac{b_2}{b_1}}{b_2 - b_1} + 1.2 \sum \frac{l}{b} \right) \dots \dots \dots (19)$$

不並行부분 並行부분
(15M 이하)

$$+ 18 \sum \frac{l_1}{b_1 b_2} + 18 \sum \frac{l}{b_2} \dots \dots \dots (19)$$

不並行부분 並行부분
(15m를 초과할때)

i_r : 전화기에 통하는誘導電流 (μA)

V_K : 전선로의 사용전압 (kV)

b_1 : 전선로와 전화선이 병행하지 않는 부분의 전선과 전화선사이의 이격거리 (m)

l_1 : $b_1 b_2$ 사이의 전화선로의 길이 (m) 전선과 전화선이 교차하는 때는 교차점 전후 25m 부분은 그 계산을 가하지 않음.

b : 전력선과 전화선이 병행하는 부분의 전선과 전화선의 이격거리 (m)

l : 전력선과 전화선의 병행하는 부분의 전화선의 길이

n : 교차수

$$\sum \frac{l_1 \log \frac{b_1}{b_2 - b_1}}{b_2 - b_1} = \frac{l_1 \log \frac{b_1}{b_1 - b_2}}{b_1 - b_2} + \frac{l_2 \log \frac{b_2}{15 - b_2}}{15 - b_2} + \frac{l_7 \log \frac{b_4}{15 - b_4}}{15 - b_4} + \dots$$

$$\frac{l_8 \log \frac{b_4}{b_4 - b_5}}{b_4 - b_5} + \frac{l_9 \log \frac{b_6}{b_5 - b_6}}{b_5 - b_6}$$

$$\sum \frac{l_1}{b_1 b_2} = \frac{l_3}{15 \times 60} + \frac{l_4}{60 \times b_3} + \frac{l_6}{b_3 \times 15}$$

$$\sum \frac{l}{b_2} = \frac{l_5}{b_3^2} \quad n=1$$

※ 계산식을 적용하는 방법

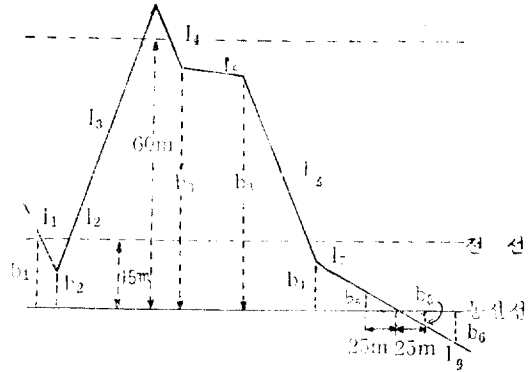


그림 9

전선로와 통신선의 이격거리가 60m를 초과하는 경우는 계산하지 않는다.

ii) 특별高壓架空送電線의 사용전압이 15,000V 이상의 경우는 다음계산식을 따른다.

$$i_r = V_K D_1 \times 10^{-3} (0.33n + 26 \sum \frac{l_1}{b_1 b_2}) \dots \dots \dots (20)$$

i_r : 수화기에 통하는 유도전류

V_K : 전선로의 사용전압 (kV)

D_1 : 전선로의 선간거리 (m)

b_1 : 전선과 전화선 사이의 이격거리 (m)

l_1 : $b_1 b_2$ 사이의 전화선로의 길이 (m)

전선로와 통신선이 교차하는 경우에는 60,000V이하

※ 계산식 적용 방법

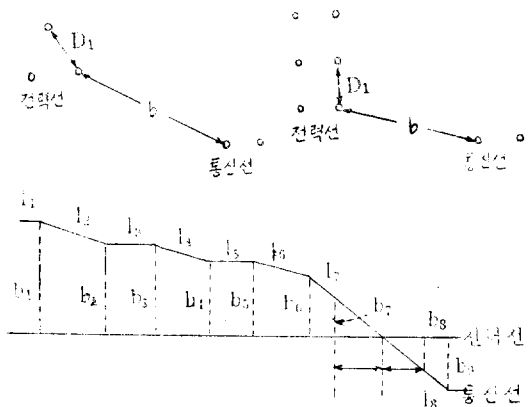


그림 10

에서는 전후 각 50m 60,000V 이상에서는 전후 각 100m 부분은 계산하지 않는다.

$$\Sigma \frac{l_1}{b_1 b_2} = \frac{l_1}{b_1 b_2} + \frac{l_2}{b_2 b_3} + \frac{l_3}{b_3 b_4} + \dots$$

다음표의 사용전압에 따라서 표의거리 이상 전화선의 이격거리에 대해서는 계산을 생략한다.

사용전압	25KV이하	25~35KV이하	35~50KV이하	50~70KV이하
이격거리	60m	100m	150m	180m
사용전압	70~80KV이하	80~120KV이하	120~160KV이하	160KV이하
이격거리	250m	350m	450m	500m

※ 이는 일본 기술기준에 의한것임.

(가) 靜電誘導 차폐효과

정전유도는 전력선과 통신선관저 위치에 의하여 결정되고 그 길어질수록 무관하다. 또한 정전결합의 정도는 대단히 약한것이 보통이고 전력선과 통신선 사이에 나무 또는 구멍이 있으면 정전유도는 대단히 적게 된다. 또 지선의 관에도 정전결합에 영향을 준다. 이것을 정전차폐효과라고 부른다. 전력선 혹은 통신선을 열가하면 자선의 상호유도용량은 평균하게 되고 유도전압도 감소하여 통신선에 인피케이션을 사용하면 그 인피는 충분한 차폐 효과가 있다.

(3) 電磁誘導起電壓

(가) 電磁誘導起電壓의 계산

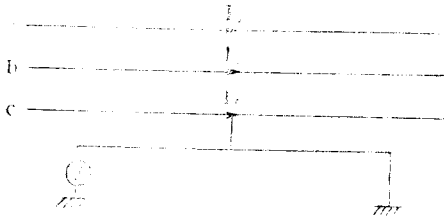


그림 11

$$\dot{E}_m = -j_2 \pi f \dot{M}_{12} I_1 - j_2 \pi f \dot{M}_{13} I_1 - j_2 \pi f \dot{M}_{23} I_2 = -j_2 \pi f \dot{M} I_0 \dots (21a)$$

즉 통신선이 받은 電磁유도전압은 송전선의 영상전류 I_0 만에 의하여 유기 됨을 알수 있다. 따라서 충분히 연가를 하면 평상운전에서는 전자유도는 없게 된다.

상기식을 일반화 하면 아래와 같이 쓸수 있다.

$$V_m = \lambda I_m I [V] - (22) \quad Z_m = j^2 \pi f M \dots (21b)$$

여기서 I : 전력선 중의 기유도 전류(A)

Z_m : 양선간의 대지위로 상호 임피단스(Ω/km)

M : 양선간의 대지위로 상호 인덕탄스(H/km)

l : 양선로의 평행거리 (km)

λ : 양선로에 근접한 多重接地도체에 의한 전자 차폐계수

f : 전력선의 주파수

3상전력선과 같이 여러개의 전력선에 각각 기유도전류가 있는 때의 피유도전압은 개개의 기유도전류를 모두 대지위로 생각하여 상기식을 사용하여 전자유도전압의 총화를 구한다. 三相電力에서는 (21)식을 사용하여 전자유도전압을 구한다. 실제로 양선간의 거리는 평행경사, 교차가 조합되어 있어서 (22)식중의 lZ_m (전 상호임피단스)산출에는 어떠한 방법으로도 각구간의 평균거리를 구하고 또 各斜行 구간에서는 적분을 구할 필요가 있다. 지표면에 평행히 가설된 대지를 위로 하는 가공 송전선의 인덕탄스는 전선의 굵기 地上高 전과지에는 거리 무관하게 다음 표와 같다.

표 2. 대지를 위로하는 전선의 인덕탄스 [mH/km]

	1선 파지 (L/1)	2선인발 파대지 (L/2)	3선인발 파대지 (L/3)	6선인발 파대지 (L/6)
평균치	2.44	1.78	1.48	1.25
최대치	2.66	2.01	1.73	1.45
최소치	2.22	1.64	1.32	1.08
계산치	2.40	1.78	1.57	1.36

(나) 상호 임피단스의 산출

여러가지 방법의 있으나 Carson⁽⁶⁾ palfacjek⁽⁷⁾ 공식은 소개한다.

i) 양선로가 평행한 경우

大地를 위로 하는 무한상의 길이에서 또 지표면에 평행한 2선간의 상호 인덕탄스는 다음식으로 구하여진다.

$$M = \left[2l_m \frac{2}{d} 0.1544 + \frac{2\sqrt{2}}{3} k(h+y) - j \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{2\sqrt{2}}{3} k(h+y) \right\} \right] \times 10^4 (H/km) \dots (22)$$

단 $kx < 0.5$

$$M = \left[4 \frac{K_{e_1}(kx)}{kx} - jA \left\{ \frac{K_{e_1}(kx)}{kx} + \frac{1}{(kx)^2} \right\} \right] \times 10^4 (H/km) \dots (23)$$

단 $kx \geq 0.5$

$$M = -j \frac{4}{(kx)^2} \times 10^4 (H/km) \dots (24)$$

단 $kx > 10$

여기서

$$d = \sqrt{x^2 + (h-y)^2} : \text{양선간의거리 } [m]$$

x = 양선간의 수평거리 [m]

h, y : 전력선 및 피유도선의 地上高 (m)

$k = \sqrt{4\pi\sigma\omega} \times 10^{-4}$

σ : 大地導電率 (v/m)

양선의 地上高가 문제되는 것은 (23)식이나 상용 주파수에서는 (23)식 대신 다음식을 사용하여도 충분하다.

$$M \approx (2I_m \frac{2}{kx} - j \frac{\pi}{2}) \times 10^{-4} [H/km] \dots\dots(25)$$

상용주파수에 대하여 Z_m 의 계산용수표가 있어서 이격거리 $x_{(m)}$ 에 대한 $Z_m = R_m + jX_m [\Omega/m]$ 가 쉽게 구하여진다.

ii) 양선로가 傾行하는 때

그림 12에서 피유도선 AB에 대하여 상호 임피던스는

$$Z_m = R_m + jX_m = \int_0^l Z_m dl$$

$$= \frac{l}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} (rm + jxm) lx \dots(26)$$

(26)식은 상용주파수에서 또 도체의 地上高가 어느정도 크지 않는 이상 근사적으로 다음과 같이 된다.

$$Z_m = 4\omega l \left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left| S_p(\lambda) + jS_q(\lambda) \right| \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + j \frac{1}{2(x_2 - x_1)} \left[(x_2 \log \frac{x_2}{\rho_2} - x_1 \log \frac{x_1}{\rho_1}) - (h-y)(\varphi_2 - \varphi_1) \right] \right] \times 10^{-4} (\Omega) \dots\dots(27)$$

$$\lambda = kx = x \sqrt{4\pi\delta\omega} \times 10^{-7}$$

地上高를 무시하면 제2항은 0가 된다. 1단이 교체하는 경우는 $x_1 = 0, x_2 = l > h, y, \lambda_2 = \rho_2, \frac{\pi}{2}$ 라 하면

$$Z_m = 4\omega l \left[\frac{1}{\lambda_2} \left[S_p(\lambda) + jS_q(\infty) \right] - j \frac{\pi(h-y)}{4x} \right] \times 10^{-4} (\Omega) \dots\dots(28)$$

$\rho_s(\lambda) S_q(\lambda)$ 의 계산은 數表가 용이하다. 대지도전율은 지질에 따라서 다르고 실측치가 없는 경우에도 다음 공식을 사용해도 좋다.

$$\sigma = 1.5 \times 10^{-12} \sqrt{f} [emu]$$

송전선과 통신선의 간격이 일정하지 않은 경우에는 다음식의 기하학적 평균거리를 사용한다.

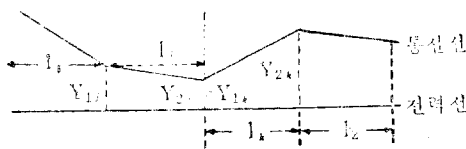


그림 13

$$\log Y_m = \frac{\sum_{k=1}^n I_k \log \sqrt{Y_1 K Y_2 K}}{\sum_{k=1}^n I_k} \dots\dots(29)$$

(다) 深尾氏의 계산식

電磁誘導電壓을 예측하는 실용공식으로써 深尾氏의 계산식이 있다. 즉 起誘導 전류 1A당 유도전압은 다음 식으로 주어진다.

$$V = K \cdot f \left[\sum \frac{l_{12}}{1(b_1 + b_2)} + \sum \frac{l}{100} \right] (V/A) \quad (30)$$

여기서 V : 피유도 전압 (V/A)

f : 기유도 전류의 주파수 (Hz)

b_1, b_2 : 송전선과 통신선사이의 수평거리 (m)

l_{12} : b_1, b_2 사이의 통신선의 전력선상에 투명한 길이 (m)

l : 이격 100m 이내의 통신선의 전력선상의 투명한 길이 (m)

K : 정수

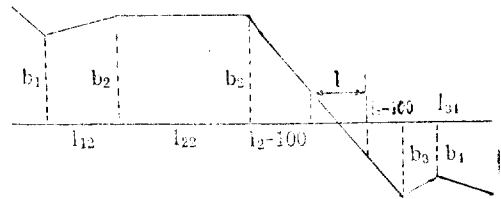


그림 14

(라) 架空地線の 誘導輕減効果

架空地線の 兩端이 Z_m 되는 임피던스로서 통신선이 충분히 멀리 있을때 架空地線の 차폐계수는 아래와 같다.

$$X = 1 - \frac{Z_m}{Z} \left\{ 1 - \frac{2Z_s}{\alpha l(R + Z_s)} \right\} \dots\dots(31)$$

단 $\alpha = \sqrt{Z_s}$ $R = \sqrt{Z/g}$

Z : 架空地線の 단위 길이당 大地歸路 자기 임피던스 (Ω/km)

g : 架空地線の 단위거리당 對地누설 콘덕턴스 (S/km)

Z_m : 架空地線과 起誘導 송전선과 사이의 大地歸路 상호인덕턴스 (S/km)

λ' 를 가능한 한 적게 하기위해서는 Z_m 을 크게 하고 또 Z 를 적게 하기위하여 Z_s 를 충분히 적게 하는 것이 좋