

신설 345KV 초고압 송전선 주변지역 전파장해 예측

(라디오 수신장해)

● 技術資料

梁 培 德*

차 례

- 1. 서 론
- 2. 송전선으로 부터의 전파잡음
- 3. 도체의 Corona 잡음특성
- 4. 애자장치의 Corona 잡음특성
- 5. Radio 수신품질에 미치는 Corona 잡음영향
- 6. 결 론

1. 서 론

초고압 송전선에 의한 전파장해는 주로 Corona 잡음에 의한 라디오 수신장해(Radio Interference)와 전파산란에 의한 TV 수신장해(Television Interference) 및 기타 무선 통신에 영향을 주는 잡음장해가 있다.

본고에서는 먼저 초고압 송전선에서의 Corona 잡음특성을 논하고 신설 345KV 송전선 주변에서의 라디오 장해 범위를 예측 해 보고자 한다.

2. 송전선으로 부터의 전파잡음

송전선의 전압인가 부분은 도체 및 애자 장치 부분이며 이 부분에서 氣中放電이 일어나게 된다.

일반적으로 도체(電線)는 Corona 개시전위경도 이하가 되도록 굵은 도체이거나 다도체로 선정된다. 따라서 실제상으로는 Corona방전이 일어 날 수 없겠으나 架設時 표면이 손상되었다거나, 눈, 빗방울등 여러가지 부착물 때문에 전체의 집중이 생기고 이로 인해서 Corona방전이 일어나게 된다.

Corona 방전이 생기면 그점에서 전자파가 복사되며 도체전류중에는 잡음전류가 흐르게 된다. 이렇게 하여 생긴 잡음을 Corona 잡음이라고 하며 수백 KHz에서 수십 MHz까지 분포되어 있다. 그러나 그 잡음 level은 주파수에 비례하여 급격히 감소하며 VHF帶에서는 1MHz에 대하여 40dB 이하로 떨어진다.

또 애자 및 금구에서 일어나는 방전이 있다. 그 하나는 애자표면에서 일어나는 沿面放電이며 두번째는 arc Horn이나 Clamp 등 금구에서 일어나는 氣中 Corona방전으로서 전술한 도체로 부터의 방전과 같은 성질의 것이다.

세번째로 핀과 Cap의 접속부에서 생기는 방전이 있다. 이 경우의 방전은 불꽃방전으로서 그 level도

높으며 주파수도 상당히 높은 영역에 까지 분포되어 VHF帶 까지 영향을 미친다.

이와 같이 생긴 Corona 잡음전류는 송전선을 따라서 흐르게 되며 송전선 주변에 잡음전자계를 만드는 동시에 송전선이 Antena작용을 하여 잡음전자파를 복사하게 된다.

이 잡음이 무선수신기에 침입하면 신호가 약한 경우에 수신장해를 주게 된다.

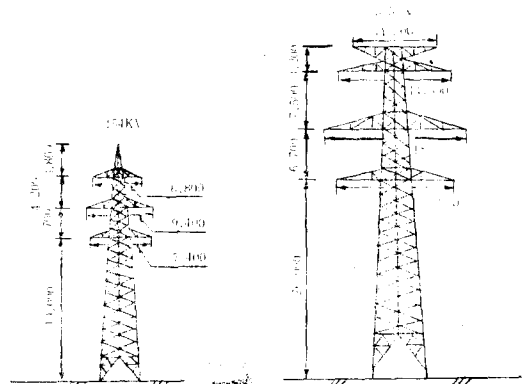
3. 도체의 Corona 잡음 특성

도체의 Corona 잡음은 도체의 표면상태, 인가전압 또는 도체의 표면전위경도, 기상조건등에 의하여 크게 좌우된다.

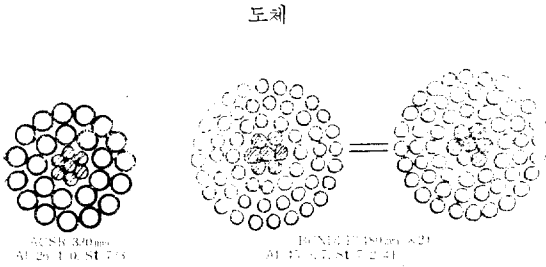
본고에서는 345KV 송전선에 채용된 복도체("RAIL" 483mm²×2)에 대하여 그 잡음 특성및 level을 계산함에 있어서 154KV 단도체 (ACSR 240mm², 330mm²)와 비교한다.

3.1 제원

철탑



*正會員·韓國科學技術研究所 電氣機器研究室 主任研究員



애자 및 애자수탕

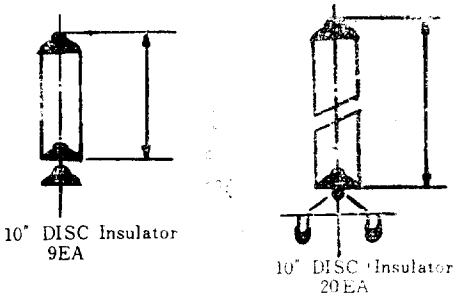


그림 1. 송전설비 개략비교도

3.2 도체표면 전위경도

송전선 도체는 그림 1에 표시 바와 같이 연선도체이다. 도체표면의 전계는 素線에 의한 凹凸를 생각치 않으면 안되지만 일반적으로 그 包絡圓의 직경을 외경으로 하는 圓筒導體로 취급한다.

單導體의 경우는 圓周上の 부분이 모두 같다고 보아 표면전위경도는 다음식으로 표시된다.

$$G = \frac{V}{r \ln \frac{D}{r}} \quad (\text{KV/cm}) \quad (1)$$

단 V : 대기간전압(KV)

r : 도체의 반경 (cm)

D : 等價相間거리 (cm)

多導體의 경우는 圓周上에 따라서 그 전위경도는 아주 다르게 되며 이것을 엄밀히 계산하는 것은 매우 복잡하다. 그러나 송전선은 도체의 地上高 h (혹은 相間거리 D), 素導體 간격을 S라고 할때

$$h \text{ or } D \gg S \gg 2r \quad (2)$$

의 관계가 있으므로 근사적인 계산이 가능해 진다.

이의 계산방법^{1), 2)}은 많이 있으나 어느 것이나 최종적인 결과는 다음과 같다.

$$G_{\theta} = \frac{1 + \frac{r}{s} \cos \theta}{n r \ln \frac{D}{R_e}} \cdot V \quad (\text{KV/cm}) \quad (3)$$

단 G_{θ} : 도체의 표면전위 경도 (KV/cm)

V : 다도체의 대기간 전압 (KV)

D : 등가상간거리 (cm)

n : 소도체 수

r : 소도체 반경 (cm)

S : 소도체간 간격 (cm)

$R_e = n \sqrt{r S^{n-1}} \cdot K_2 =$ 다도체 등가반경 (cm)

θ : 그림 참조

$$K_1 : 2(n-1) \sin \frac{\pi}{n}$$

$$K_2 : n \sqrt{n / \left(2 \sin \frac{\pi}{n} \right)^{n-1}}$$

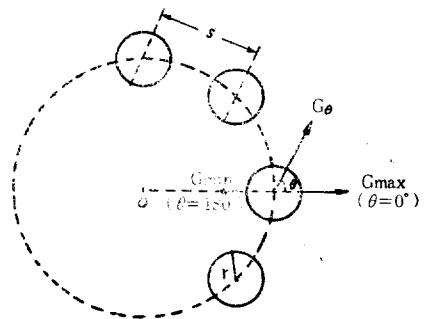


그림 2. 다도체 표면전위경도 설명도

즉 복도체인 경우에는

$$G_{\theta} = \frac{(1 + \frac{2r}{s} \cos \theta)}{2r \ln \frac{D}{R_e}} \cdot V \quad (\text{KV/cm}) \quad (4)$$

로 된다.

여기서 $C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D}{R_e}} (F/m)$ 를 代入하면

$$G_{\theta} = \frac{17.98CV}{2r} (1 + \frac{2r}{s} \cos \theta) \quad (\text{KV/cm}) \quad (5)$$

단 C : 작용정전용량 ($\mu F/m$)

로 된다.

그러므로

$$G_{max} = \frac{1 + \frac{2r}{s}}{2r \ln \frac{D}{R_e}} \cdot V \approx \frac{9CV}{r} (1 + \frac{2r}{s}) \quad (\text{KV/cm}) \quad (6)$$

로 간단히 계산할 수 있다.

여기서 345KV 송전선에서 G_{θ} ("RAIL")을 구하여 보면

조건 (1) $V = \frac{345KV}{\sqrt{3}} \times 1.05 = 209.15KV$

(2) $2r = 2.961cm$

(3) $S = 18'' = 45.72cm$

(4) $D = 913cm$

(5) $R_s = \sqrt{rS} = 8.23cm$

$G_s(\text{"RAIL"}) = 15(1 + 0.0648 \cos\theta)$ (KV/cm)

$G_{max} = 15.968[KV/cm]$ 로 된다.

반면 154KV 송전선의 경우는

ACSR 240mm²일때 $G_{max} = 13.68KV/cm$

ACSR 330mm²일때는 $G_{max} = 12.36KV/cm$

로 345KV 송전선의 경우가 약간 높게 설계되어 있다

3.3 Corona noise level

국내에는 아직 시험송전선이 없으며 송전선 Corona에 의한 잡음연구가 전무한 실정이나 일본만 하더라도 500KV 송전을 위하여 68년도 까지 송전선에 의한 Corona 잡음특성연구가 체계화 되었으며 그 결과를 송전선 설계에 이용하고 있다³⁾.

그 결과를 이용하여 우리의 345KV 송전선 Corona level을 산정키로 한다.

표 1. Corona noise level의 Gmax에 대한 변화율⁽³⁾

명칭	길이 (m)	도체	변화율 (dB KV/cm)
鹽原 (日本)	1.410	4×330mm ² /400mm	3.7
		3×330mm ² /400mm	3.7
		2×330mm ² /400mm	3.7
Leadville (미국)	2.200	1.65''φ	3.9
		2×0.92''φ/18''	3.5
		4×1.40''φ/18''	3.8
Rheinau (독일)	850	42mmφ Al-st	4.0
		2×26.2mmφ/400mm	3.6
	1.002	42mmφ Cu	4.0
		2×32.0mmφ/400mm	3.6
2.100	4×21.0mmφ/400mm	3.6	
Apple Grove (미국)	750	4×1.0''φ/18''	3.5

주: 도체에서 별도 표기되지 않은 것은 ACSR선을 말함

나. 맑은날 Corona noise level

下相導體直下 10M 지점을 기준으로한 주파수 1MHz 의 Corona noise level에 대한 실험식은 다음과 같다.

$$N = [(3.7G_{max} - 12.2) \pm 3] + 40 \log_{10} \frac{d}{2.53}$$

[dB μ/m] (7)

단 d : 도체의 외경 (cm)

여기서 345KV 송전선의 Gmax값을 대입하여 계산하여 보던

$N(\text{"RAIL"}) = 49.60 \pm 3dB\mu/m$ 된다.

반면 154KV 송전선의 경우에는

도체 ACSR 240mm²(r=1.12)에서 $N = 36.3 \pm 3dB\mu/m$

ACSR 330mm²(r=1.265)에서 $N = 33.53 \pm 3dB\mu/m$ 로 된다.

다. 비오는 날 Corona noise level

下相導體 直下 10M 지점에 있어서 주파수 1MHz의 강우시 Corona noise level Np는

$$N_p = \frac{N_M - N_0}{\alpha/p + 1} + N_0 \quad [dB\mu/m] \quad (8)$$

로 표시된다.

단 $N_M = - \left(\frac{G_{max}}{2} \cdot K \right)^2 + 10.5G_{max} \cdot K - 31 + Kd$:

(강우시 최대 잡음전계강도)

단 $G_{max} \cdot K < 17KV/cm$

$N_0 = -0.16(G_{max} \cdot K)^2 + 9.5\mu_{max} \cdot K - 50.5 + Kd$
: (0mm/h때의 잡음전계강도)

$K = G_p / G_{max} = 0.933$

$\alpha = -0.16 G_{max} / K + 3.72$

$Kd = 40 \log_{10} \frac{2.96}{2.53}$

p : 강우량 (mm/h)

단, 단도체의 경우에는 K=1로 한다.

이 식으로 부터 10mm/h*강우량일때의 345KV 송전선에 의한 Corona noise level을 구한다.

조건 $\alpha = 0.9813$

$N_M = 72.22$

$N_0 = 58.27$

$\therefore N_p = \frac{72.22 - 58.27}{0.098 + 1} + 58.27 = 70.57 [dB \mu/m]$

$N_p(\text{"RAIL"}) = 71 dB\mu/m$

반면 154KV 송전선 (330mm² ACSR)의 경우는 58dB μ/m로 예측된다.

라. 기타 눈, 안개시의 Corona noise level

눈 또는 안개시의 Corona noise level은 적설량 또는 안개의 방결에 의하여 전계가 집중되고 또 그로 인하여 Corona가 생기게 되므로 비오는날의 Corona noise level과 같은 양상으로 된다.

그림 3은 이론적인 도체의 크기에 따른 Corona noise level을 표시한다.

이상 각 경우를 보아 신설 345KV 송전선 적하 10M 지점에 있어서 1MHz의 Corona noise level은 대략 50

*Corona noise level은 강우량 3mm/h이상이면 포함되어 일정함

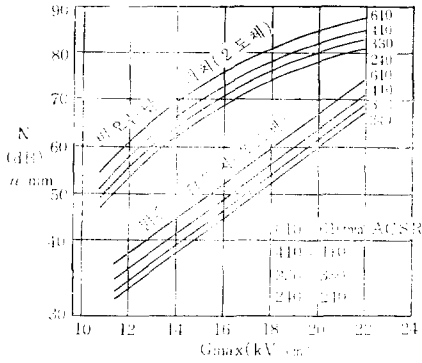


그림 3. 下相도체직하 10m에 있어서 주파수 1MHz의 Corona 잡음전계강도 N(dB)

dB μ /m로부터 71dB μ /m 범위내에 있는 것으로 예측된다.

3.4 Corona 잡음의 주파수 특성

송전선의 도체에 의한 Corona 잡음 주파수 Spectrum의 측정에는 다음과 같다.

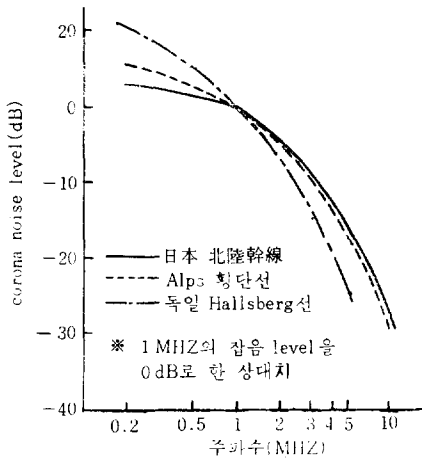


그림 4. 각종송전선 Corona잡음주파수 비교

즉 VHF帶 이하 낮은 주파수에서는 $f^{\frac{1}{2}}$ 에 비례하여 감소하고 더 높은 주파수에서는 f 에 비례하여, 더욱더 높은 VHF帶에서는 f^2 에 비례하여 감소한다.

1MHz의 잡음 Level에 대한 다른 주파수의 보정량 계산식은 다음과 같이 된다⁴⁾.

$$Kf = -12(\log_{10}f)^2 - 17\log_{10}f \quad (9)$$

단 Kf : 주파수 보정량
 f : 주파수 (MHz)

따라서 VHF帶에 있어서의 noise Level은 1MHz의

그것에 비하여 40dB 이하로 감소 하기 때문에 TV에 대한 영향은 적어진다.

345KV 송전선의 경우에 FCC A Grade*지역에서는 도체에 의한 시청장애는 없다고 보아도 될것이다.

3.5 선로에 대한 직각방향 Corona 잡음 감쇄특성

복사파의 거리에 대한 감쇄는 $x^{\frac{1}{2}}$ 비에비한다. 따라서 선로와 직각방향의 Corona level은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$N_1 = N_0 + 20\log_{10} \frac{h^2}{x^2 + h^2} \quad (10)$$

단 N_1 : 도체의 직하에서 선로에 직각방향으로 수평 거리 x (m)지점의 Corona잡음전계강도

N_0 : 도체직하점의 Corona 잡음전계강도

h : 도체의 지상고 (m)

x : 선로에 대한 직각 방향 수평 이격 거리(m)

三相수직배치형의 송전선 직각방향 잡음 감쇄특성은 도체에 흐르는 잡음전류를 각전류 mode로 분해하여 각 곳의 잡음전계강도를 구하여야 하나 이와 같이 계산한다는 것은 매우 번잡하고 까다로울 뿐만 아니라 도체가 각각 단독으로 존재하는 것으로 보고 윗식을 적용하여 이들 각상 도체가 주는 Corona 잡음전계중 최대로 되는 값을 취하여도 오차가 크지 않다³⁾

따라서 우리의 345KV 송전선의 경우 도체는 수직 배치이며 각상에서의 Corona 발생이 동일하다고 가정하면 지상에서는 下相導體에 의한 Corona 잡음이 지배적일 것으로 본다.

따라서 (10)식에 의하여 Corona noise의 lateral profile를 그려 보면 다음 그림5와 같이 된다.

154KV의 경우는 약 10dB정도 낮을 뿐 같은 profile이다.

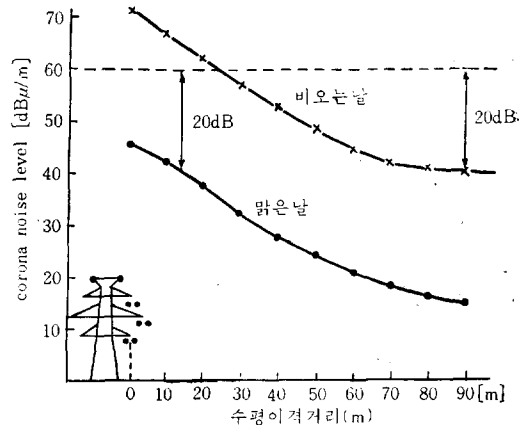


그림 5. 345KV 송전선에 의한 Corona noise의 lateral profile

* Signal Strength 68dB μ /m 이상지역

4. 礮子장치의 Corona 잡음특성

礮子장치는 송전선에 있어서 도체를 철탑으로 부터 절연하여 지지하는 것으로써 애자와, Clamp등의 금구 및 이들을 접속하는 금구류로 구성되어 있다. 여기에는 통상 Arc horn이 장비된다. 또 애자는 송전전압에 따라서 규정의 개수를 연결하여 사용하기 때문에 개개의 애자가 분담하는 전압은 다르며 선로측의 애자가 높게 된다. 따라서 도체측 전압이 인가되는 부근의 애자나 금구류 또는 공간에 돌출한 Arc horn으로부터 Corona 방전이 일어나고 잡음의 원인이 된다.

4.1 애자장치의 Corona 전압

국내에는 아직 애자장치의 Corona전압*(RIV) 및 방해와 전계강도 측정시설이 없으므로 외국에서 실험한 Data를 참고로 하여 345KV 송전선의 경우를 예측키로 한다.

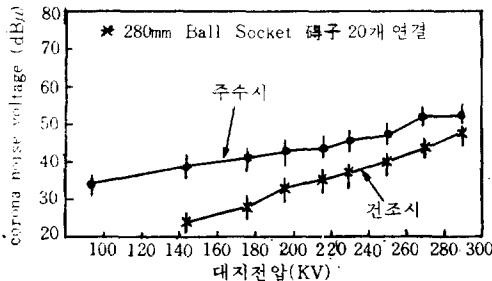


그림 6. 礮子連의 Corona 잡음전압특성

도표를 참고로 하여 보면 280mm 현수애자 20連의 Corona 전압은 건조시 35dBμ, 주수시 43dBμ (대지전압 210KV때) 정도이다.

4.2 잡음전계로 환산

반경 r(cm)의 도체가 지상고 h(cm)로 대지에 평행히 가설되어 있는 경우, 도체적하의 잡음전계 강도 N_c와 도체상의 잡음전압 N_v와의 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다⁴⁾.

$$N_c \geq N_v \frac{h}{2} \ln \frac{2h}{r}$$

$$\text{단 } f < 10\text{MHz} \quad \frac{\sigma}{\omega \epsilon} < 1$$

$$\rho : \text{대지의 고유저항 } (\Omega\text{-m})$$

$$\omega : 2\pi f$$

$$\epsilon : 8,854 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$$

대지고유저항 ρ를 ∞로 보면

$$N_c = N_v \cdot h \ln \frac{2h}{r} \text{로 되어 결국}$$

$$\frac{h}{2} \ln \frac{2h}{r} \leq \frac{N_c}{N_v} < h \ln \frac{2h}{r} \quad (11) \text{로 된다.}$$

본도체일 경우, r대선에 등가반경 R_e를 사용하면 똑같이 성립된다.

따라서 신설 345KV 송전선의 경우는 h=10m로 가정하면

$$27.5 \leq \frac{N_o}{N_c} < 54.9$$

따라서 비가 오는날 345KV 송전선 직하 10M지점에 서의 애자장치에 의한 정상적인 Corone noise level은 최대 15.5dBμ/m로 예측된다.

이 값은 도체에 의한 Corona noise level 최대치 71dBμ/m에 비해서 무시할 수 있는 값이다. 그러므로 정상상태로 공사가 잘 완료된 345KV 송전선에서는 송전선 금구등 모두가 Corona free type이므로 도체를 제외한 Corona noise는 모두 무시하여도 무방하다는 결론을 얻을 수 있다.

5. Radio 수신 품질에 미치는 Corona 잡음영향

5.1 허용 Signal to Noise ratio

라디오 수신 품질저하에 대한 허용 Corona 잡음크기는 방송수신점에 있어서 잡음측정기로 측정된 방송전파와 Corona 잡음전파강도의 비, 즉 Signal to Noise Ratio로 결정된다.

아래 표2는 교류송전선 직하에서 실시한 실험관계 자료이다⁵⁾.

표 2. 불쾌감을 갖지 않을 S/N비

누적 빈도	성우남독(남자)	음 악
50%	18.5dB 이상	19.8dB 이상
60	20.4	20.8
70	22.4	22.0
80	24.6	23.4
90	27.8	25.4

표 2에서 대다수 사람이(80%) Corona 잡음에 대하여 불쾌감을 갖지 않을 S/N 비는 23~25dB이며 또 약 50% 사람이 불쾌감을 갖지 않을 S/N 비는 20dB로 볼 수 있다.

5.2 방송구역 전계강도

국내의 방송구역(Service Area)의 필요전계강도는 다음과 같다.

345KV초고압 송전선은 주로 산간벽지를 경과하게 되므로, 방송과 전계강도가 60dBμ/m 이하되는 수신지역은 비오는날에 있어서 송전선 좌우 90M 범위까지가 장애지역으로 된다고 말할 수 있겠다.