

낙뢰와 방송용 송신탑의 접지시설

(Lightning and Ground System for
Broadcasting Tower Antenna)

김 경 용※

1. 서 론

낙뢰가 있을 때 AM Tower Antenna 주변의 위험지역은 대지표면에서의 전위경도(potential gradient)와 대지위에 사람이 서 있을 때 몸을 통하여 흐르는 전류의 치사량에 의해서 설정된다.

전기충격(electric shock)의 효과는

- a. 몸의 어느 부분이 전압원과 접촉하였는가,
- b. 충격을 받는 순간의 심장고동의 위상(phase),
- c. 몸이 건조한가 젖어 있는가,
- d. 전압이 인가된 기간(duration),
- e. 전류의 주파수와 크기

등에 달려 있다.

낙뢰는 평균 20칸 암페어(Ampere)에 달하는 순간적으로 흐르는 커다란 충격전류인데 비해서 일반적으로 0.2(A)를 초과하는 전류가 사람의 몸을 통하여 흐르면 죽음을 초래하게 된다는 것이 알려져 있다.

방송용 송신탑에 이러한 전류가 흐르게 되면 송신탑 주변 공간에는 강력한 전기(electric field)가 발생되며 이 강전계에 의해서 지표의 흙 따위가 이온화(ionization)된다. 그리고 이 강전계를 띤 지표면 위에 사람이 서 있을 때 서

있는 조건에 따라서 충격전류가 사람의 몸을 흐르게 된다. 낙뢰시에 발생하는 이러한 위험으로부터 인명과 방송기기를 보호하기 위하여 Ground System(접지계통)이 요구된다. 잘 설계되어 설치된 Ground System은 대부분의 충격전류를 대지 속으로 유도하기 때문에 송신탑 주변의 위험지역이 상당히 축소된다.

2. 위험지역과 위험전류

송신탑에 베팅이 컸을 때 충격전류의 통로는 송신탑 자신과 이에 직연로된 대지 혹은 Ground System이다.

송신탑의 특정 임피던스(impedance)는 낙뢰가 있을 때 그의 높이에 의하여 결정하게 될 전압의 크기를 결정하게 된다. 송신탑에 낙뢰전류가 흐르면 송신탑의 단위 길이에 유기되는 전압 즉 전위경도는 다음과 같이 된다.

$$e_A = \frac{IZ}{L} \text{ (V/m)}$$

여기서

e_A =전위경도

Z =Antenna의 복사임피던스(Ω)

L =Antenna의 높이(m)

I =낙뢰전류(A)

그러나 낙뢰가 있을 때 사람이 송신탑위에 없는 이상 이런 위험은 문제가 되지 않는다.

낙뢰의 다른 통로인 대지나 Ground System의 저항이 작을수록 전류를 잘 통과시킨다. 따라서 송신탑은 가능한한 대지의 전도도가 큰 곳

※ 기록교방송 기술국 부국장

※※ 통신기술사(전기통신)

에 세우는 것이 좋다. 좋은 옥토나 진흙밭의 비저항(resistivity)은 10(m·Ω)정도다. 좋은 땅일 수록 Antenna에서 복사되는 에너지를 잘 흡수하지 않기 때문에 비저항이 적은 땅에 Antenna를 세우는 것이 중요하다. 사암(sandstone)으로 된 언덕같은데서는 비저항이 1000(m·Ω)가 된다. 여러가지 지질에 대한 비저항을 표-1에 나타내어 놓았다. 대지의 비저항의 영향을 감소시키기 위하여 Ground System이 필요하며 Ground System은 가능한한 저항이 적어야 한다.

측정에 의하면 낙뢰에 의한 충격전류의 최대치는 100만 Ampere(100KA)정도다. 이 이상의 전류를 주는 것도 있으나 그런 것은 극히 드물기 때문에 100만 Ampere의 낙뢰를 최대의 것으로 보아도 무방하다. 이 이하의 충격전류를 갖는 낙뢰는 점점 많아지며 낙뢰전류의 평균치는 20만 Ampere 정도다. 이 평균치는 최대치의 약 200배 정도의 빈도를 갖고 나타난다. 반면에 200 KA의 낙뢰가 떨어질 빈도는 평균치의 약 1/800에 불과하다.

표-1 대지의 비저항

Meter-Ohm	지질
10	옥토 혹은 진흙밭
100	혈암
300	석회암
1,000	사암
3,000	거친모래 혹은 화강암의 자갈
10,000	편마암

송신탑에 Ground System이 없다고 가정했을 때 낙뢰에 의하여 송신탑기저(tower base)에 나타나는 전위는 다음과 같다.

$$v = \frac{\phi I}{2\pi B} \text{ (V)} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

- v = Tower Base의 전위(Volt)
- φ = 대지의 비저항(meter-Ohm)
- I = 낙뢰의 충격전류(Ampere)
- B = Tower Base의 반경(meter)

송신탑에 I(A)의 전류가 흐를 때 송신탑 주변에는 전계가 형성되며 Tower Base에서의 전계강도는 다음과 같다.

$$E = \frac{\phi I}{2\pi B^2} \text{ (V/m)} \dots\dots\dots(2)$$

지표의 흠에 강전계가 작용되면 흠은 ion화되어 절연파괴가 일어난다. 10⁵~5×10⁵(V/m)의 전계에 의해서는 대지표면이 이온화되고, 10⁶~2×10⁶(V/m)의 전계에 의해서는 대지의 내부까지 이온화된다. 그러므로 대지의 절연파괴가 일어나기 시작하는 전압은 10⁵(V/m)정도다. 송신탑 주변의 지표가 절연파괴되어서 전기를 통하게 된 지역의 범위는 지표의 전계가 절연파괴 전압 이하로 떨어지는 곳까지이며 그 반경 r₀는 다음과 같다.

$$r_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\phi I}{E_0}} \text{ (m)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서

E₀ = 10⁶(V/m) : 대지의 절연파괴 전위경도

그러면 Tower Base에서 r₁(m) 및 r₂(m) 떨어진 두 점 사이의 전위차(potential difference) V는 다음 식으로 표시된다.

$$V = \frac{\phi I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \text{ (V)} \dots\dots\dots(4)$$

단, r₂ > r₁이다.

따라서 지표에서의 전위경도 e는

$$e = \frac{V}{r_1 - r_2} \text{ (V/m)} \dots\dots\dots(5)$$

가 된다.

이런 전위경도를 갖는 대지위에 사람이 서 있을 때 사람의 몸을 통과하는 전류의 크기는 다음과 같다.

$$i = \frac{\pi b e s}{\phi} \text{ (A)} \dots\dots\dots(6)$$

여기서

- b = 사람의 발의 등가반경 ≈ 7(cm)
- e = 지표의 전계강도(5) 식 (V/m)
- s = 발과 발 사이의 평균거리 ≈ 0.5(m)
- φ = 지표의 비저항(m·Ω)

(4)식에 의하면 지표의 비저항이 적을수록 전위경도는 작아지지만, 반면에 (6)식으로 부터 φ가 작을수록 사람의 몸을 통과할 전류의 크기는 커진다는 것을 알 수 있다.

3. Ground System과 안전조치

대지의 등가적인 비저항을 감소시키는 여러가

지 방법이 있다. 방송용 송신탑의 Ground System으로서는 Radial Ground System이 채택되고 있다. Radial Ground System의 저항 R_n 은 다음 식으로 주어진다.

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\log \sqrt{\frac{2l}{2ad}} - 1 + (n-1) \log (2 \times 1,707) - \log n \right) \dots \dots \dots (7)$$

여기서

- n =Radial의 갯수
- l =Radial의 길이(m)
- a =Radial wire의 반경(m)
- d =Radial이 묻혀진 깊이(m)

그리고 logarithm은 e 를 밑으로 한대수

Ground System이 있는 송신탑에 $I(A)$ 의 낙뢰가 떨어지면 Tower Base에는 다음과 같은 전압 v 가 유겨된다.

$$v = R_n I \text{ (V)} \dots \dots \dots (8)$$

그러면 Ground System에 의하여 지표의 등가비저항은 다음과 같이 달라진다. 즉 (8)식을 (1)식에 대입하여 ϕ 에 대해서 풀면 지표의 등가비저항 ϕ' 가 얻어지는데 그것은 다음과 같다.

$$\phi' = \frac{2\pi Bv}{I} \text{ (m} \cdot \Omega) \dots \dots \dots (9)$$

이 조건에서 Tower Base 주변의 전계강도를 (2)식에 의하여 구할 수 있다.

이온화된 지역의 반경은 (3)식에 의하여 구할 수 있다.

우리가 고려하는 두 점간의 전위차를 (4)식에 의하여 구한 다음 (5)식으로 대지의 전위경도를 구할 수 있다.

지표의 전위경도가 구하여지면 이 지역에서 있는 사람의 몸을 통하여 흐르게 될 전류의 크기를 (6)식으로 구할 수 있다.

이 전류 i 의 크기가 치사량을 초과할 경우에는 송신탑 주변의 대지위에 자갈을 깔거나 목재를 덮어서 보도를 만들어야 한다. 자갈이나 목재가 대지의 전위경도를 변경시킬 수는 없지만 전류가 사람의 몸으로 흐르는 것을 막는 데는 아주 유효하다. 자갈의 비저항은 $3,000(m \cdot \Omega)$ 정도

도이며 목재의 비저항은 $10^8 \sim 10^9 (m \cdot \Omega)$ 정도다. 자갈이 깔려있는 지표에 대한 안전전위경도는 $6,000(V/m)$ 미만이어야 한다.

한편 (8)식과 (1)식을 같다고 놓음으로서, 알려진 ϕ 와 R_n 에 대하여

$$B = \frac{\phi}{2\pi R_n} \text{ (m)} \dots \dots \dots (9)$$

가 성립한다. 그러면 Tower Base 반경에 대한 전위경도 e_B 는

$$e_B = \frac{v}{B} \text{ (V/m)} \dots \dots \dots (10)$$

가 된다.

방송용 송신탑의 Ground System은 일반적으로 0.4λ 길이의 제10번 동선(copper wire) 120매를 3°간격의 방사상으로, 전기전도도가 좋은 땅에 1~5(m)이상의 길이로 매설한 것이다. 이런 Ground System의 저항 R_n 은 $1(\Omega)$ 미만인 것이 보통이다. 그러나 위험지역의 계산을 할 때는 안전을 위해서 R_n 을 보통 $1(\Omega)$ 으로 간주한다. 송신탑을 세울 땅은 비저항이 보통 $10 \sim 300(m \cdot \Omega)$ 정도의 곳이어야 한다.

대지표면의 전위경도는 Tower Base를 중심으로 하여 Tower Base에서 멀리 갈수록 거리에 반비례하여 적어진다. 그러나 낙뢰가 있을 때는 Tower를 향하여 발을 벌려 딛고 있는 것보다, Tower를 중심으로 한 원주(circumference)의 방향으로 발을 딛는 것이 등전위선상에 있기 때문에 덜 위험하다.

4. 결 론

이상에서 낙뢰가 방송용 송신탑에 떨어질 때, 송신탑 주변에 발생하는 위험지역의 범위와 이 지역내에서 있는 사람의 몸을 통과하는 전류의 크기를 계산하는 공식을 제시하였다.

낙뢰는 최대 100만 암페어, 평균 20만 암페어의 충격전류를 순간적으로 흘리는데, 이러한 위험전류로부터 인명과 방송기기를 보호할 Ground System 및 안전조치에 대하여 설명하였다.