

論文93-30A-9-1

## 무선중계소 접지계의 과도특성 해석

## (An Analysis of Transient Characteristics on Grounding Systems in the Radio Relay Station)

金 王\*

(Wang Kim)

## 要約

안전한 접지설계를 위해 접지계의 썬어지 임피던스는 정확히 산출되어야 한다. 특히, 산정에 위치한 무선중계소의 경우는 과도현상해석에 의한 특별한 접지설계법이 요구된다. 이러한 제 설계목적에 접근하기 위하여, 본고에서는 라플라스변환 기법을 이용한 복수 접지계의 썬어지임피던스 산출 알고리즘을 제시하였으며, 접지계의 과도특성을 해석하였다. 또한, 시뮬레이션 결과를 측정치와 비교하므로써 제안한 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

## Abstract

The surge impedance of grounding systems must be accurately computed for a safe grounding design. Specifically, the case of radio relay station in a mountaintop region is required special design method using transient analyses. To approach these design objectives, this paper presents an algorithm to compute the surge impedance of two or more grounding systems using the Laplace Transform technique and deals with the analysis of the transient characteristics on grounding systems. Also, simulation results are compared with the measured data to prove the validity of the algorithm.

## 1. 서론

통신시스템에는 여러 종류의 접지가 인체의 안전용, 기기방호용 그리고 통신제어신호용등의 목적으로 이용되고 있다.

최근에는 통신기기의 소형화, 고밀도화에 의한 과전압내력, 잡음내력등이 점점 저하되어가고 있음에 수반하여 통신기기 및 시스템에 대한 접지의 중요성이 높아져 가고 있다.<sup>[1,2]</sup> 특히, 통신시스템중 산정에

위치한 무선중계소는 뇌에 의한 피해율이 가장 높아 내뢰특성의 향상이 요구되고 있음에도 접지설계가 가장 중요하다고 할 수 있는 과도특성의 해석방법이 아직 체계적으로 정리되지 않은 탓으로 비경제적이고 비합리적인 설계가 되고 있는 실정이다.

따라서, 본고에서는 통신시스템중 접지설계 측면에서 가장 악조건이라 할 수 있는 산정무선중계소에 대한 접지계의 합성 썬어지임피던스를 도출하는 알고리즘을 제안하여 그 타당성을 입증하고 접지계의 과도특성을 해석하고자 한다.

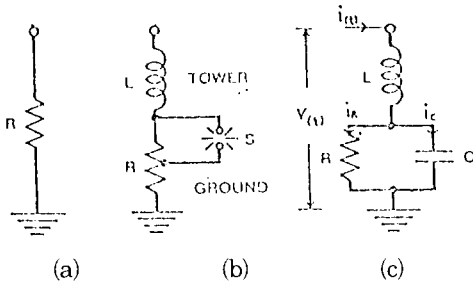
\* 正會員, 東新大學校 情報通信工學科

(Dept. of Information and communication Eng., Dongshin Univ.)

接受日字: 1992年 11月 23日

## II. 접지계의 등가회로와 임펄스 응답

## 1. 수평 접지전극



(a) LOW VOLTAGE, LOW FREQUENCY  
 (b) HIGH VOLTAGE, HIGH FREQUENCY  
 (c) ULTRAHIGH FREQUENCY

그림1. 각전압및 주파수대의 접지그리드 등가회로  
 Fig. 1. Equivalent circuits of grounding grid over widerange of voltage and frequency.

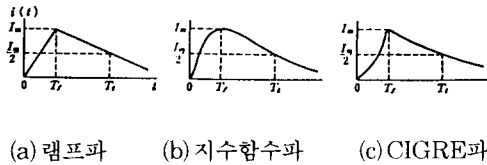


그림 2. 뇌임펄스 파형  
 Fig. 2. Lightning wave shape.

그림1은 각 전압 및 주파수대에 대한 접지전극의 등가회로를 보인 것인데 뇌격전류는 UHF대이므로 (c)의 등가회로를 택하여 그림2의 뇌임펄스 파형중 이상적인 뇌격파형으로서 (a)의 램프입력

$$i(t) = I_0 \cdot t \tag{1}$$

를 가정하면, 접지도체의 썩어지임피던스 Z(t)는 다음과 같이 구할 수 있다. [3-5] 그림1(c)로 부터 다음 식이 성립한다.

$$i(t) = i_R(t) + i_C(t) \tag{2}$$

$$\frac{1}{C} \int i_C(t) dt = i_R(t)R, \quad i_C(t)RC \frac{di_R(t)}{dt} \tag{3}$$

식(2)를 변형한 후 식(3)을 대입하여 라플라스변환하면 식(4)가 된다.

$$I_R(s) = \frac{I(s)}{sRC + 1} = \frac{I(s)}{RC(s + 1/RC)} \tag{4}$$

역시, 그림1(c)로 부터 다음 식이 성립한다.

$$v(t) = Ri_R(t) + L \frac{di(t)}{dt} \tag{5}$$

식(5)를 라플라스변환하면 식(6)이 된다.

$$V(s) = Ri_R(s) + Lsi(s) = I(s) \left[ \frac{1}{C(s + 1/RC)} + Ls \right] = I_0 \left[ \frac{1}{s^2 C(s + 1/RC)} + \frac{L}{s} \right] \tag{6}$$

식(6)을 라플라스역변환하여 식(7)을 얻는다.

$$v(t) = I_0 \left[ \frac{1}{C \cdot L (R^2 C^2)} \left( e^{-t/RC} + \frac{t}{RC} - 1 \right) + L \right] \tag{7}$$

$$\therefore Z(t) = \frac{v(t)}{I_0 \cdot t} = \frac{R^2 C}{t} (e^{-t/RC} - 1) + R + \frac{L}{t} \tag{8}$$

그런데, 임펄스전류의 Off-Flow에 따른 누설분 (L/3)을 고려하면 식(8)은 식(9)로 수정되고, 이 식을 이용하여 수평 접지도체의 썩어지임피던스를 구할 수 있다.

$$Z(t) = R \left[ \frac{RC}{t} (e^{-t/RC} - 1) + 1 + \frac{L}{3R} \right] \tag{9}$$

### 2. 수직 접지전극

무선중계소와 같이 부지가 협소하거나 암반지등의 경우에는 접지전극을 심타하면 효과적이다. 이 경우의 심타전극의 썩어지임피던스는 다음의 근사식을 이용하여 구할 수 있다. [6]

$$Z_v = \sqrt{\mu_0} \cdot \ln(4l/d) \mu_r \cdot \ln(b/r) (u_g/4) / (2\pi \epsilon_0 \epsilon_r) \tag{10}$$

여기서,  $\mu_0$ 와  $\epsilon_0$ 는 각각 진공중의 투자율 및 유전율,  $\mu_r$ 과  $\epsilon_r$ 는 각각 토양의 비투자율 및 비유전율,  $\mu_r$ 는 심타전극의 비투자율, l은 전극의 길이 [m], d는 매설깊이 [m], r은 전극의 반경 [m] 그리고 b는 다음식으로 표현되는 전류귀로의 등가반경이다.

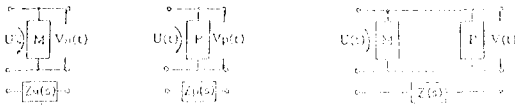
$$b = C / \sqrt{\epsilon_r} \cdot \mu_r \tag{11}$$

단, C는 광속이고 t는 심타수직전극 말단까지의 전파시간 [μs] 이다.

### III. 합성 접지썩어지임피던스 알고리즘

그림3에 보인바와 같이 M과 P의 접지계에 입력전류 U(t)를 인가한 경우의 응답이 각각,  $V_M(t), V_P(t)$ 인 접지계의 합성 썩어지임피던스는 수치 라플라스 순변환과 그 역변환을 이용하여 다음과 같이 수치적

으로 해석할 수 있다.



(a) 접지계M (b) 접지계P (c) 접지계M+접지계P

그림 3. 접지계의 응답

Fig. 3. Response of grounding systems.

(A:  $Z_m$ 의 관측시간이 짧은 경우, B: 전극장이 긴 경우)

A, B-1) 대지고유저항, 각 접지전극의 규격 및 매설깊이 결정.

A, B-2) 각 전극의 상용주파 접지저항  $R_n(R_M, R_P)$ 을 구한다.

A, B 3) 각 전극의 초기 썬어지임피던스  $Z_m(t)\{Z_{RM}, Z_{PM}\}$ 를 구한다.

$$A-4) Z_m(s) = L\{Z_m(t)\} \quad (12)$$

$$A-5) Z_s(s) = \{Z_M(s)^{-1} + Z_n(s)^{-1}\}^{-1} \quad (13)$$

$$A-6) Z_s(t) = L^{-1}\{Z_s(s)\} \quad (14)$$

B-4) 썬어지임피던스 감쇄시정수  $\tau_R(\tau_M, \tau_P)$ 를 구한다.

B-5) 각 전극의 썬어지임피던스  $Z_m(t)\{Z_{RM}(t), Z_{PM}(t)\}$ 의 근사화<sup>[6]</sup>

$$Z_{RM}(t) = R_n + \{Z_m(t) - R_n\}e^{-t/\tau_R} \quad (15)$$

$$B-6) Z_s(s) = \{Z_{RM}(s)^{-1} + Z_{PM}(s)^{-1}\}^{-1} \quad (16)$$

$$B-7) Z_s(t) = L^{-1}\{Z_s(s)\} \quad (17)$$

단, R: 상용주파접지저항

$Z_m(t)$ : 초기 썬어지임피던스

$Z_m(t)$ : 접지계의 합성 썬어지임피던스

#### IV. 시뮬레이션 및 결과고찰

그림4와 같은 일반적인 지상철탑형 무선중계소 접지계의 접지전극을 수평전극(국사 및 각 연결 접지선)과 수직전극(심타전극과 탐각접지)으로 구분하여 그림5와 같이 가정하고, 대지고유저항 100 [ $\Omega$ -m] 인 대지중에 수평도체는 나면동연선 100 [mm] 를

지표면하 60 [cm] 의 깊이에 매설한 것으로 하였고 심타전극은 아연도금강관 ( $\phi$ 48.6 [mm])으로 모의화하였다.

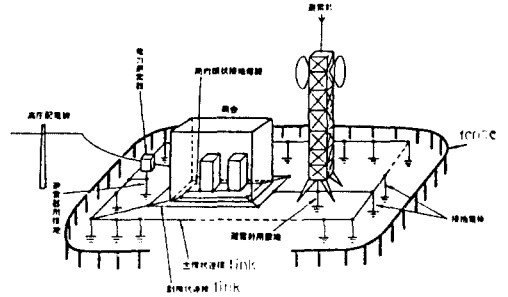
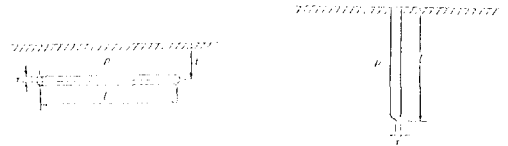


그림 4. 무선중계소의 접지계

Fig. 4. Grounding system of a radio relay station.



(a) 수평전극

(b) 수직전극

그림 5. 접지전극

Fig. 5. Grounding electrodes.

표 1. 합성썬어지임피던스의 측정치와 계산치와의 비교

Table. 1. Comparison of measured and calculated values on total surge impedance.

구분	t [ $\mu$ s]	실측치 [ $\Omega$ ]	계산치 [ $\Omega$ ]	비교(종래방법)
썬어지 임피던스	0.05~0.1	28.5	31.4	·
	0.2	6.5	7.3	·
	0.3	7.4	6.7	·
	0.5	5.6	6.3	·
	0.8	2.7	2.9	·
	1.0	0.81	0.84	·
상용주파접지저항	$\infty$	0.25	0.26	0.26

표1은 문헌 [7] 의 실측치와 본고에서 제안한 썬어지임피던스 합성알고리즘에 의해 산출한 결과 및 종

래의 방법을 비교한 것이다. 비교표로부터 알 수 있듯이 써어지임피던스에 대한 실측치와 제안식의 계산치는 잘 일치하고 있다. 다만,  $t$ 가 0.3 [ $\mu$ s] 시의 경우에는 예외적으로 -9.5 [%]의 부오차를 보이고 있는데 이는 측정치가 비정상적으로 높아졌음에 기인한 것으로 측정시 잡음등에 의한 진동으로 측정치가 높아졌을 것으로 추측된다.

종래의 접지설계는 주로 정상접지저항치를 안전범위로 유도하고 써어지임피던스에 대해서는 검토가 생략되었거나 접지전극 단독에 대해서만 부분적으로 행해져 왔으나 본고에서 제안한 알고리즘을 이용하면 합성 써어지임피던스에 대한 근사계산이 가능할 것이다.

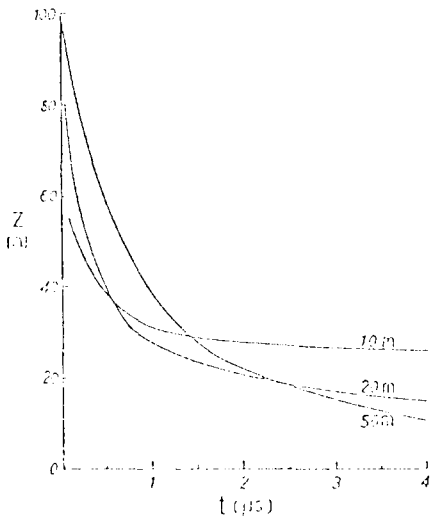


그림 6. 수평접지 도체의 써어지임피던스  
Fig. 6. Surge impedance of grounding conductors.

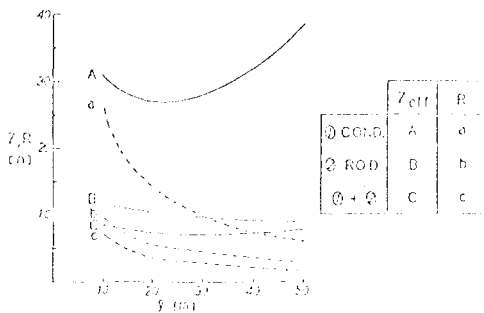


그림 7. 접지도체장에 따른 각접지전극의 써어지임피던스  
Fig. 7. Surge impedance for different lengths of ground electrodes.

그림6은 수평 접지도체의 시간경과에 따른 써어지 임피던스의 변화를 보인 것이고, 그림7은 각 접지계의 접지전극 길이에 대한 써어지임피던스를  $Z_{eff}(t) = V_r(T; t) / I$  [ $\mu$ s] /)의 실효임피던스로 계산한 것이다.

그림에서 초기 써어지임피던스는 정상접지저항치에 비해서 수배가수십배로 높게 나타났는데, 이것은 접지점으로부터 써어지전류가 진행파로서 유입하고 접지체의 말단에 도달하여 반사된 성분이 원래의 접지점에 돌아올때까지의 시간지연에 기인한 것으로 사료된다. 또한 심타하는 만큼 과도임피던스가 정상치로 감소되기까지의 시간이 지연되므로 50 [m]의 심타를 행할 경우 접지계의 여건에 따라 10 [m]의 전극을 수분 병렬로 타입하는 방안도 함께 검토되어야 할 것이다.

표 2. Z/R값으로 규격화한 수평접지도체의 계산치

Table 2. Computation values of grounding conductors normalized by Z/R.

$t$ [ $\mu$ s] $l$ [m]	0.2	0.5	1.0	1.2	2.0	3.0
10	2.0	1.4	1.2	1.2	1.1	1.07
20	5.1	2.7	1.8	1.7	1.4	1.28
50	27.2	11.5	6.3	5.3	3.6	2.75

표 3. 저감 효과

Table 3. Reduction effect.

$l$ [m]	$Z(t)$		$Z(t)$	
	$t$ [ $\mu$ s]	합성치/수평전극	$t$ [ $\mu$ s]	합성치/수직전극
10	0.2	0.49	$\infty$	0.27
20	0.2	0.42	$\infty$	0.27
50	0.2	0.25	0.2	0.32
			$\infty$	0.73
			$\infty$	0.72
			$\infty$	0.68

표2는 통상의 접지저항 측정법으로 측정한 값으로 규격화한 값의 경과시간에 대한 수평접지도체 써어지 임피던스의 변화를 나타낸 것이고, 표3은 단독전극에 대한 합성치의 써어지저감효과를 보인 것이다.

표로부터, 써어지전류의 방류를 그 주된 목적으로 하는 접지의 경우에는 접지저항치 뿐만아니라 접지도체의 길이에 대해서도 유의할 필요가 있음을 알 수 있고, 전극의 길이가 10~50 [m]의 경우 합성써어지 임피던스는 각 접지전극 단독의 써어지임피던스에 비해 최소 25 [%], 최대 75 [%]의 현저한 저감효과가 있었다.

V. 결 론

현실점에서 접지계의 과도특성을 정확히 예측하기란 결코 쉽지않은 난제이지만, 통신시스템중 무선중계소와 같이 주로 산정에 위치하여 뇌해율이 가장 많고 고저항을지대이며 부지가 협소한 악조건일 경우, 안전하고 경제적인 접지설계를 도모하기 위해서는 전체 접지계의 과도특성해석이 무엇보다도 중요하므로 본고에서 제시한 합성써어지임피던스 알고리즘을 이용하면 복수접지계 과도특성의 해석이 가능할 것이다.

본고의 주요연구성과와 해석결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

i) 접지설계시 실용화할 수 있도록, 초기 써어지임피던스의 관측시간이 짧은 경우와 전극장이 긴 경우에 대한 접지계의 합성써어지임피던스 도출 알고리즘을 제안하고 그 타당성을 입증하였다.

ii) 접지전극 단독에 대한 합성써어지임피던스의 저감효과는 전극장이 10~50 [m] 의 경우, 초기치는 1/2~1/4, 정상치는 1/1.4~1/3.7로 현저히 저감되었다. 따라서 각종 접지계(철탑접지계, 국사접지계, 방류용접지계등)의 연접에 의해 써어지전류를 효과적으로 방류시키고 무선국 부지내의 전위의 균등화와 전위상승을 크게 억제시킬 수 있다.

iii) 써어지임피던스는 접지전극의 길이에 크게 의존하므로 접지계의 여건(부지의 넓이, 대지고유저항치

등)을 감안하여 전극의 규격, 길이, 심타의 여부 및 타설깊이 등을 결정하여야 한다.

參 考 文 獻

- [ 1 ] 高島征二, 元滿民生, “通信用 接地 現狀 最新 技術動向”, OHM, pp.44~49, 1988年 4月.
- [ 2 ] 佐藤政治, 大槻文男, 井手口健, “通信設備 雷問題 對策”, 電氣 情報關聯學會連合大會, pp. 1-1~1-4, 1989.
- [ 3 ] IEEE Substation Comittee, *IEEE Guide for Safety in AC substation Grounding*, ANSI/IEEE Std 80, pp.241~284, 1986.
- [ 4 ] 雨谷昭弘, 分布定數回路論, コロナ社, pp.168~185, 1990.
- [ 5 ] R.Verma and D.Mukhedkar, “Fundamental considerations and impulse impedance of grounding grids”, *IEEE Trans.*, vol. PAS-100, no.3, pp.1023~1030, Mar. 1981.
- [ 6 ] 岡重信, 中原堅司, 桶口武光, “各種避雷設備適用法”, OHM, pp.22~29, 1984年 6月.
- [ 7 ] 電力通信耐雷設計專門委員會, “電力通信耐雷設計”, 電氣協同研究, 45券 3호, pp.52~57, 1990年 3月.

著 者 紹 介



金 王(正會員)

1952年 12月 1日生. 1980年 2月 건국대학교 전기공학과 졸업(학사). 1982年 8月 동 대학 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1990年 8月 동 대학원 공학박사 학위취득. 1992年 3月 ~1993年 2月 일본 동지사대학 공학부 Post Doc. 현재 동신대학교 정보통신공학과 교수. 주관심 분야는 환경전자공학 등임.