

**배전전주의 봉상 접지전극 형태별 임피던스 특성의 모델링**

심 건보\*, 김 경철\*, 이 형수\*\*, 박 재덕\*\*\*, 최 중기\*\*\*, 박 상만\*\*\*  
 \* 홍익대학교, \*\* 산업안전공단, \*\*\* 한국 전력연구원

**Modeling of Impedance Characteristics of Grounding Electrode for Distribution Line Pole**

Keon-Bo Shim, Kyung-Chul Kim, Hyung-Soo Lee, Jae-Duck Park, Jong-Kee Choi, Sang-Man Park  
 Hong-Ik University, KOSHA, KEPRI

**Abstract** - Although DC ground resistance is a good index of grounding performance for grounding electrodes, it does not reflect the grounding performance during transient state. Besides, impulse ground impedance, which is defined by a ratio of the peak value of transient ground potential rise to the peak value of impulse current, cannot be an absolute index due to its dependence on impulse current shape. In this paper, ground impedance characteristics of ground electrodes has been measured in frequency domain ranging from 1 Hz to hundreds of kHz. Equivalent circuit models and transfer function models of the ground rod have been identified from the measured values of ground impedance in frequency domain.

**1. 서 론**

전력설비에서 고장은 필연적이며, 특히 지락고장이 발생하면 고장전류가 대지로 흘러가게 되어 전기설비의 구내 및 주변에 전위차가 나타나게 되어 인체의 안전이나 설비의 절연에 위험을 초래하게 된다. 더욱 최근에 전력 사용의 수요가 급속하게 성장함에 따라 전력설비도 증대되어 전력설비의 고장용량도 증가하고 있으므로 상대적으로 고장전류에 의한 대지전위의 상승이 커져서 인체의 안전이나 설비의 절연 등에 미치는 위험도 증대되고 있는 실정이다. 이러한 위험에 대비하기 위한 것이 전기설비의 접지시스템인데, 일반적으로 상용 주파수 영역에서는 낮은 접지저항의 크기만으로도 충분히 감전 보호용 접지의 기능을 달성한 것으로 평가할 수 있다. 그러나 낙뢰나 서지 전류와 같은 고주파 영역에서는 접지전극의 저항만이 아니라 접지도체의 인덕턴스와 대지정전용량 등에 의한 영향까지 고려하여야 한다. 낙뢰나 서지 등에 의한 고주파 영역에서 접지전극의 응답 특성은 상용 주파수를 포함하는 저주파 영역에서의 응답 특성이 매우 다르다는 것은 이미 잘 알려져 있는 사실이다[1],[2]. 따라서 접지시스템에 대한 접지성능의 정확한 평가와 설계를 위해서는 상용주파수 영역에서의 접지성능은 물론, 고주파 영역에서의 접지성능에 대해서도 유입되는 전류에 의한 전위의 상승을 억제하고, 고장전류의 크기를 제어하는 등의 적절한 대책을 세워야 한다.

본 연구에서는 배전선로 전주의 접지전극으로 많이 사용되고 있는 봉상전극인 동봉복 접지동봉에 대하여 접지 임피던스를 1[Hz] 수백[kHz]의 주파수 영역에서 측정하였으며, 측정된 접지임피던스 값으로부터 최적화법(pattern search method) [3]으로 봉상 접지전극의 등가 회로 모델과 ARMA 모델링 기법[4]을 이용하여 봉상 접지전극의 전달함수모델을 산출하여 봉상 접지전극에 대한 주파수 영역에서의 임피던스 특성 모델을 수립하였다.

**2. 접지임피던스의 측정**

**2.1 접지전극의 설치**

본 연구에서는 주파수 영역에서 배전선로용 전주의 봉상 접지전극인 동봉의 접지임피던스 특성을 측정하기 위하여 각 접지전극을 그림 1과 같은 배열로 지표면으로부터 75[m]의 깊이에 매설하였다. 그림 1에서 1s1p는 봉상 접지전극이 1직1병으로, 2s1p는 2직1병, 1s2p는 1직2병의 배열로 매설되었다는 것을 의미한다.

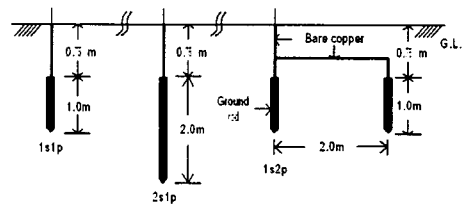


그림 1. 봉상 접지전극의 배열  
 Fig. 1. Arrangement of Rods

**2.2 접지임피던스 측정회로**

그림 2는 접지전극의 임피던스를 측정하기 위한 측정시스템의 구성을 보인 것이고, 그림 3은 접지 임피던스를 측정하기 위한 전류와 전위전극의 배열 위치를 보인 것이다. 이 회로에서 임의의 주파수 전류를 접지전극에 주입시키면서 접지전극의 전위와 전류 파형을 측정하고, 푸리에 변환(Fourier Transform)기법을 이용하여 접지 임피던스를 계산하면 된다.

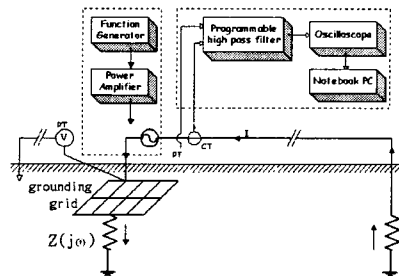


그림 2. 접지임피던스 측정시스템  
 Fig. 2. Measurement System of Impedance

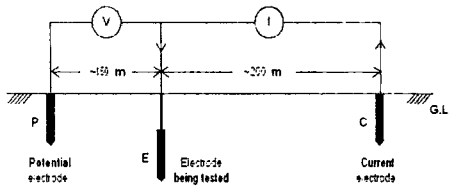


그림 3. 전류 및 전위 전극의 배열  
Fig. 3. Probe Position for Measurement

### 2.3. 측정결과

측정된 전류와 전압 파형(그림 4)으로부터 식 (1)의 계산식으로 각각의 주파수에서의 접지 임피던스를 구한다.

$$Z_{mea}(f) = \frac{V_{mea}(f)}{I_{mea}(f)} = |Z_{mea}(f)| \angle \theta_{mea}(f) \quad (1)$$

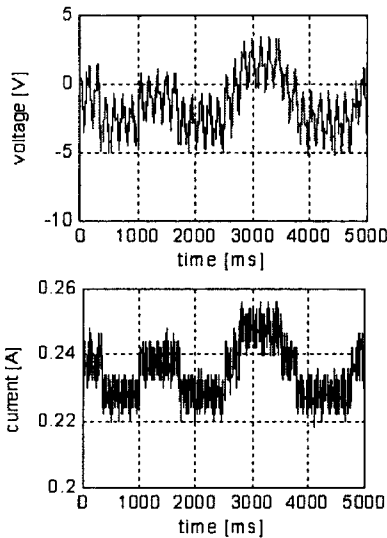


그림 4. 측정된 전압 및 전류 파형(2s1p)

Fig. 4. Measured voltage and current wave

그림 5와 주파수 영역에서 측정된 접지동봉(2s1p)에 대한 접지임피던스의 결과를 예로 보인 것이다.

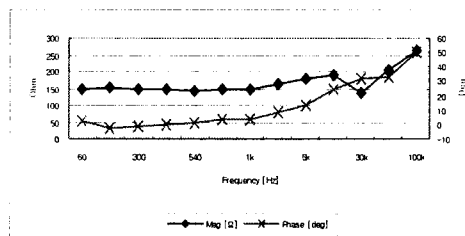


그림 5. 접지임피던스 측정결과(2s1p)  
Fig. 5. Ground Impedance(2s1p)

### 3. 접지임피던스의 모델링

접지전극은 매설된 장소의 토양의 특성, 대지저항률, 온도, 습도 및 전지전극의 형상이나 접속 상태 등의 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하므로 접지 임피던스 모델

링을 수립하는 것은 쉬운 문제가 아니다.

본 연구에서는 주파수 영역에서 접지전극의 모델링을 위하여 저항 R, 인덕턴스 L 및 커패시턴스 C로 구성되는 그림 6과 같은 회로 모델[2]과 접지임피던스의 전달함수 모델을 제안하였다.

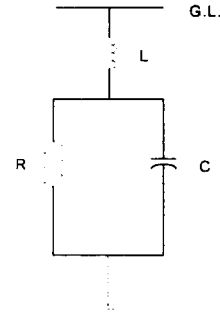


그림 6. 접지 임피던스 모델  
Fig. 6. Impedance Model

### 3.1 회로모델

측정된 값으로부터 식 (2)로 나타내는 접지 임피던스 식의 파라미터인 R, L 및 C를 최적화 기법인 pattern search 법 (PSM)을 이용하여 구하였다.

$$Z_{sin} = j\omega L + \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (2)$$

측정된 전류와 전압 파형으로부터 계산된 접지 임피던스  $Z_{mea}$  값과 계산된 접지임피던스  $Z_{sin}$  값의 차이가 최소화 될 때까지 파라미터인 R, L 및 C의 값을 변화시키면서 반복하여 구하면 된다. 그림7은 회로모델의 결과를 보인 것이다(2s1p).

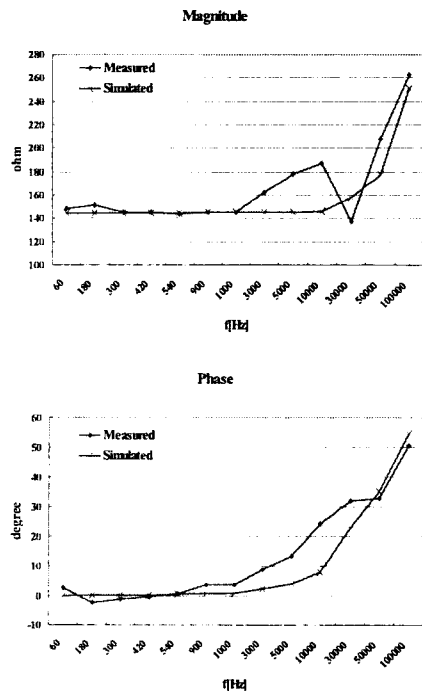


그림 7. 접지 임피던스의 비교(2s1p)

Fig. 7. Comparison of Ground Impedance

표 1에는 회로모델에 대하여 PS법으로 구한 각각의 봉상 접지극별 파라미터를 보였다.

표 1. 계산된 파라미터  
Table 1. Calculated Parameter

접지전극	R[Ω]	L[mH]	C[nF]
1slp	195.00	0.40	0.00
2slp	145.00	0.33	0.20
1s2p	60.00	0.15	0.00

표 1에서 보는 바와 같이 접지전극의 매설깊이가 깊어질수록 커패시턴스 C의 값이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 전달함수 모델

본 연구에서는 봉상 접지전극의 임피던스 모델링을 위하여 전달함수 모델을 수립하고, 파라미터 식별 방법을 적용하였다. 본 연구에서 제안한 봉상 접지전극의 접지 임피던스 전달함수 모델의 파라미터를 ARMA 모델링 기법으로 구한 결과를 그림 8에 보여주고 있다.

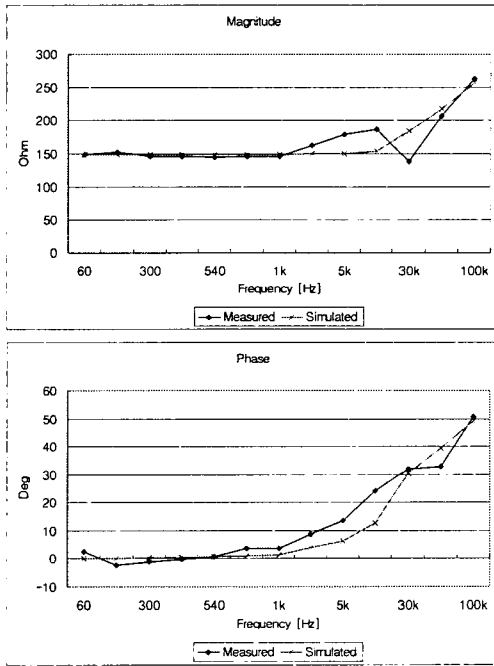


그림 8. 접지 임피던스의 비교(2slp)  
Fig. 8. Comparison of Ground Impedance

### 3.3 각 임피던스 모델의 결과

본 연구에서 제안한 봉상 접지전극의 임피던스 특성을 위한 회로모델과 전달함수 모델로부터 구한 접지동봉 접지전극의 형상별 접지임피던스 파라미터를 표 2에 보여 주고 있다(2slp). 표에서 보는 바와 같이 회로모델은 주파수 3k~50k[Hz] 영역에서 측정값과 상당한 오차를 나타내고 있으며, 전달함수 모델의 결과는 주파수 3k~30k[Hz] 영역에서 오차를 보이고 있다. 따라서 접지 동봉의 접지임피던스 값은 전달함수모델이 회로모델의 결과보다 우수한 특성을 나타내고 있다.

표 2 접지 임피던스 모델별 결과  
Table 2 Result of Ground impedance

Frequency [Hz]	Impedance					
	Z [Ω]			Phase [deg]		
	측정값	회로모델	전달함수	측정값	회로모델	전달함수
60	148.24	145.00	148.00	2.6	0.049	0.08
180	151.58	145.00	148.00	-2.2	0.146	0.23
300	145.34	145.00	148.00	-1.2	0.243	0.39
420	145.32	145.00	148.00	0.2	0.340	0.54
540	143.85	145.00	148.00	0.7	0.437	0.70
900	145.07	145.01	148.00	3.6	0.728	1.16
1k	145.07	145.01	148.00	3.6	0.809	1.29
3k	161.94	145.13	149.00	8.9	2.425	3.87
5k	178.41	145.36	150.00	13.4	4.038	6.41
10k	186.85	146.44	153.00	24.3	8.036	12.50
30k	137.60	157.46	183.00	31.9	22.950	30.50
50k	207.20	177.47	217.00	32.8	35.220	39.50
100k	262.57	250.83	256.00	50.7	54.700	49.30

## 4. 결 론

본 연구에서는 배전선로의 전주에 시공되는 접지전극으로 많이 사용되고 있는 봉상 접지전극인 동피복 접지동봉에 대하여 여러 종류의 접지전극 배열 방식별로 전극을 매설하여 주파수를 변화시키면서 접지 임피던스를 측정하였다. 측정된 결과로부터 접지전극의 주파수 변화에 따라 접지 임피던스가 영향을 받는다는 점을 확인하였다. 또한, 접지동봉의 접지전극 형상별 접지 임피던스에 대하여 회로 모델과 전달함수 모델을 제안하였다. 각각의 모델로부터 얻어진 값과 측정값을 비교하여 본 결과, 전달함수 모델의 결과가 더욱 양호한 특성을 보였으며, 접지 임피던스의 회로모델 결과로부터는 접지전극의 길이가 길어질수록 커패시턴스의 영향이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

확인된 결과에 따르면 접지동봉의 배열별 접지전극에 대하여 과도 응답 특성을 자세하게 분석할 수 있는 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Abdul M. Mousa, "The Soil ionization gradient associated with discharge of high currents into concentrated electrodes", IEEE Trans. on PD, Vol. 9, no. 3, 1994.
- [2] I. F. Gonos, F. V. Topalis, I. Stathopoulos, "Transient impedance of grounding rods", ISH, Vol. 2, pp. 272~275, 1999.
- [3] J. A.Cadeow & H. R. Martens, Discrete-time and Computer Control System, Prentice-Hall Inc., 1970.
- [4] L. Ljung, T. Soderstrom, Theory and Practice of Recursive Identification, Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1983.
- [5] IEEE std 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potential of a Ground system", IEEE Inc., 1993.