

배전전주용 스테인리스강판 접지전극의 접지 특성분석

(Grounding Characteristics Analysis of the Stainless-steel Plate Grounding Electrode for Distribution Poles)

김경철* · 이규진 · 김민성 · 정지원**

(Kyung-Chul Kim · Kyu-Jin Lee · Min-Sung Kim · Ji-Won Jung)

요 약

접지시스템은 전기설비의 기준 전위점을 확보할뿐만 아니라 낮은 대지저항으로 고장전류나 과도 전류를 흐르게 한다. 접지임피던스는 주파수에 대한 함수로 고장이나 과도전류가 넓은 범위의 주파수 성분을 포함하기 때문에 접지성능을 평가하는데 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 스테인리스강판 접지전극의 접지특성을 파악하기 위하여 3점 전위강하법으로 접지저항, 접지임피던스와 과도접지임피던스를 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 접지임피던스와 과도접지임피던스의 등가 전달함수 모델은 ARMA 기법으로 모델링 되었고, 규약접지임피던스로 비교하여 평가하였다.

Abstract

Grounding system insures a reference potential point for electric devices and also provides a low impedance path for fault currents or transient currents in the earth. The ground impedance as function of frequency is necessary for determining its performance since fault currents could contain a wide range of frequencies. In this paper, the grounding resistance, grounding impedance and transient grounding impedance are measured by using 3-point fall-of-potential method in order to analyse grounding characteristics of the stainless-steel plate grounding electrode. An equivalent transfer function model of the grounding impedance and transient grounding impedance are identified from the measured values by using ARMA method and evaluated by comparing conventional grounding impedances.

Key Words : Stainless-Steel Plate Grounding Electrode, Grounding Characteristics, Grounding Impedance

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수
** 교신저자 : 홍익대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr
접수일자 : 2010년 4월 20일
1차심사 : 2010년 4월 27일
심사완료 : 2010년 5월 20일

1. 서 론

안전한 접지설계는 사고 시에 대지로 고장전류를 흘려보내는 수단과 인체가 사고기에 접촉 시에 위험에 노출되지 않도록 하는데 있다. 주파수 성분의 접지 임피던스는 고장전류, 낙뢰, 개폐 임펄스 등에 대한 보호를 목적으로 하는 접지시스템에 있어서 매우 중요한 역할을 한다[1-3].

본 논문에서는 배전계통에 적용 가능한 스테인리스 강관 접지전극의 접지저항, 접지임피던스, 과도접지임피던스의 실측을 통하여 구하였다.

시험장소의 대지저항률은 Wenner 4전극법[4]으로 측정하였고, 접지구성은 스테인리스 금속관을 요철형태로 제작한 접지판으로 하였다.

측정된 접지임피던스와 과도접지임피던스는 ARMA 모델링 기법[5]을 이용하여 접지전극의 접지임피던스 및 과도접지임피던스 전달함수를 구하고자 한다. 전달함수 모델은 규약접지임피던스[6]를 구하여 평가한다.

2. 접지임피던스 측정

2.1 시험장소의 대지저항률 측정

그림 1은 현장에서 가장 많이 쓰이고 있는 Wenner 4전극법으로 대지 고유저항률을 측정하는 회로이다. 전위극(P1, P2), 전류전극(C1, C2)을 배치하고 각 전극 간의 거리(a)가 등간격이 되도록 한다. 전극 간격을 0.5~20[m]까지 변화시키면서 측정한 결과는 표 1과 그림 2에 간추려 놓았다. 측정 장비는 AVO사의 모델 MEGGER DET2/2[7]이다.

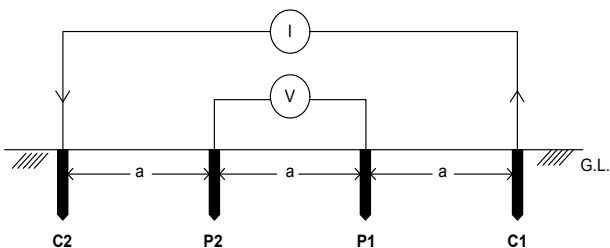


그림 1. Wenner 4 전극법
Fig. 1. 4-point Wenner method

표 1. 측정된 대지 고유저항률
Table 1. Measured soil resistivity

전극간격[m]	겉보기저항[Ω]	겉보기저항률[Ωm]
0.5	16.69	52.4
1	13.39	84.1
2	8.26	103.8
3	6.77	127.6
4	5.17	129.9
5	4.39	137.9
6	3.66	138.0
7	3.29	144.7
8	3.06	153.8
9	2.84	160.6
10	2.58	162.1
15	1.834	172.9
20	1.582	198.8

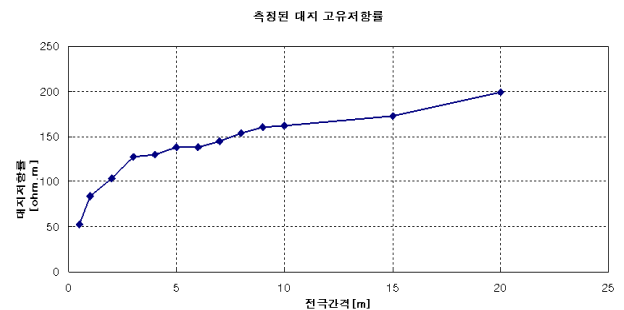


그림 2. 측정된 대지고유저항률
Fig. 2. Measured soil resistivity

측정한 대지 고유 저항률을 토대로 접지해석 프로그램인 CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic fields, Grounding and Soil Structure Analysis)[8]를 사용하여 Curve fitting하면 표 2와 같은 등가인 수평 3층 구조의 토양모델을 구할 수 있다.

표 2. 수평 3층 구조 접지 토양모델 파라미터
Table 2. Three-layer soil model parameter

	저항률[Ω·m]	층 두께[m]
표토층(ρ_1)	190.16	5.27
중간층(ρ_2)	94.55	6.41
심 층(ρ_3)	351.34	Infinite

2.2 접지시스템 구성

시험에 사용된 접지전극은 배전계통에 적용가능한 스테인리스 금속관을 요철형태로 제작한 접지판 (L1,000×H200×T20[mm])을 매설하여 구성한 것이다. 그림 3은 구성된 접지시스템이고, 그림 4는 접지전극의 외관을 나타낸다. 매설지선에 사용된 전선은 GV케이블 22[mm]이다.

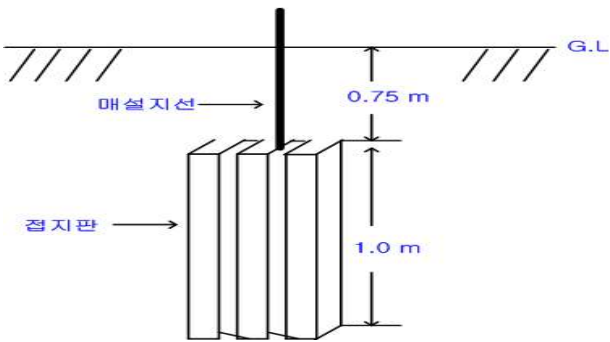


그림 3. 접지판의 구성
Fig. 3. Grounding plate layout



그림 4. 접지전극의 사진
Fig. 4. Used grounding plate

2.3 접지저항 측정

그림 5는 3점 전위강하법으로 접지임피던스를 측정하기 위한 회로도이다.

3점 전위강하법에서 측정하고자 하는 접지극과 전류보조극의 위치를 d [m]라고 할 때, 토양모델이 단일 층일 때는 전위 보조극의 위치는 $0.618d$ 이다. 토양모델이 수평 2층 이상일 때는 보정계수에 따라 전류보조

극의 위치가 변하게 된다[9].

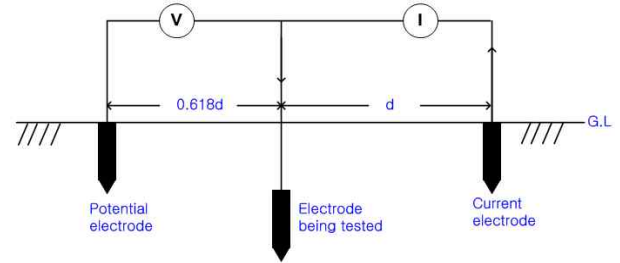


그림 5. 3점 전위강하법
Fig. 5. 3-point fall-of-potential method

접지전극 전류보조극 사이는 100[m], 접지전극과 전위보조극의 간격은 60[m]로 하여 접지저항을 측정하였다.

그림 6은 3점 전위강하법으로 접지저항을 측정하기 위한 측정시스템의 외관사진이다. 측정시스템의 구성 요소는 접지저항 측정장비(SAS 1000[10], 오실로스코프, 노트북, PT(Potential Transformer), CT(Current Transformer)로 되어 있다.



그림 6. 접지저항 측정시스템의 외관사진
Fig. 6. Outside view of the grounding resistance measuring system

접지저항은 SAS 1000 장비로 3점 전위강하법 원리로 측정하였다. 측정장비 SAS 1000은 $400[V_{PP}]$ 에서 $0.2\sim 1000[mA]$ 범위의 전류를 공급할 수 있고, 전압은 $1[\mu V]$ 에서 $400[V]$ 까지 측정 가능하다.

그림 7은 접지판의 측정된 전압과 전류 파형이고, 1 주기는 5[sec]이다.

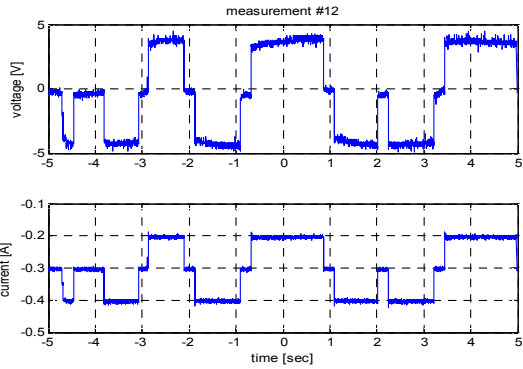


그림 7. 측정된 전압 및 전류파형
Fig. 7. Measured voltage and current waveforms

한 주기 동안의 전압과 전류의 실효치를 구하여 계산된 접지저항은 다음과 같다.

$$R_g = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = 39.6[\Omega]$$

2.4 접지임피던스 측정

그림 8은 3점 전위강하법으로 접지임피던스를 측정하기 위한 측정시스템의 외관 사진이다. 측정시스템의 구성요소는 신호발생기(0-1[MHz] 정현파), 신호증폭기, 고대역필터, 오실로스코프, 노트북 등으로 되어 있다.



그림 8. 접지임피던스 측정시스템의 외관 사진
Fig. 8. Outside view of the grounding impedance measuring system

접지임피던스 측정은 임의로 선택한 주파수 전류를 접지극으로 주입시키면서 접지전위와 전류를 측정하

고, 측정된 파형은 주파수 영역으로 변환하여 접지임피던스를 계산하였다. 표 3에 측정된 접지임피던스를 간추려 놓았다.

표 3. 측정된 접지임피던스
Table 3. Measured grounding impedance

주파수 f [Hz]	접지관 Z [Ω]
100	26.75-j0.59
500	26.19-j0.54
1k	25.95-j0.50
10k	25.03-j0.30
50k	23.94+j1.43
100k	19.19+j3.33
300k	12.91+j8.70
500k	26.52+j35.74
700k	36.01+j48.64
1M	59.41+j83.97

2.5 과도접지임피던스 측정

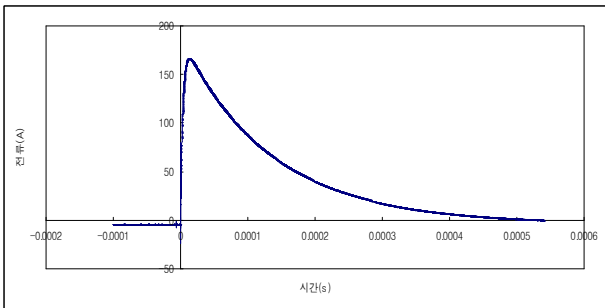
접지전극에 뇌격서지와 같이 급격하게 변화하는 서지가 유입되면 상용주파수의 전류가 흐를 때와는 다르게 짧은 시간영역에서 높은 과도접지임피던스를 나타내게 된다.

과도 접지임피던스의 평가는 규약접지임피던스(Conventional grounding impedance)로 평가할 필요가 있다. 접지전극에 임펄스 전류 $i(t)$ 가 유입되면, 접지전극과 무한원점 사이에는 전압 $v(t)$ 가 나타난다. 이때 전압과 전류의 피크 값의 비 V_p/I_p 를 규약접지임피던스라 하며, 접지시스템이 임펄스 전류에 대한 과도적인 특성을 간이적으로 나타낸 것이다. 규약접지임피던스가 낮은 것이 뇌격전류가 흐를 때, 전위상승이 낮으므로 성능이 양호한 접지시스템이라고 볼 수 있다.

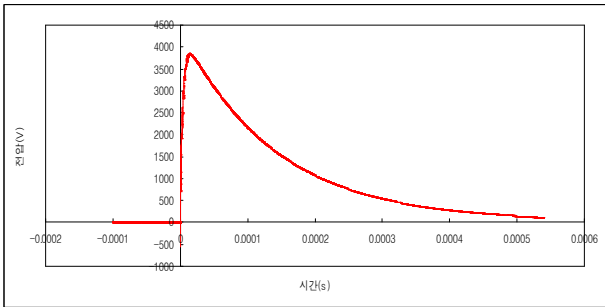
그림 9는 3점 전위강하법으로 과도접지임피던스를 측정하기 위한 측정시스템의 외관 사진이다. 시험에 사용한 임펄스 발생기는 독일의 High Volt 사의 장비로 기초 전력연구원이 보유하고 있다.



그림 9. 과도접지임피던스 측정시스템 외관 사진
Fig. 9. Outside view of the transient grounding impedance measuring system



(a) 입력전류



(b) 출력전압

그림 10. 측정된 입력 전류와 출력 전압파형
Fig. 10. Measured input current and output voltage waveforms

임펄스 발생기를 이용하여 $4 \times 10 [\mu s]$ 의 전류파형을 접지전극에 인가하여 주입된 전류와 접지전극과 전위 보조극 사이에 걸리는 전압을 측정하였다. 측정된 신호는 $100 [\mu s/s]$ 의 A/D 변환기를 사용하여 디지털 신호를 변환시키고 대역통과필터를 거쳐 컴퓨터에 저장

하였다. Sampling time은 $2 \times 10^{-8} [sec]$ 이다.

그림 10은 측정된 입력 임펄스 전류파형과 출력임펄스 전압파형을 나타낸다.

측정된 규약접지임피던스는 다음과 같다.

$$Z_p = \frac{V_p}{I_p} = 23.07 [\Omega]$$

3. 접지임피던스 모델링

전달함수 $H(z)$ 를 z -domain에서 n 차로 표현하면,

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} \quad (1)$$

으로 된다.

전달함수 계수인 a_i 's와 b_i 's는 MATLAB의 System Identification Toolbox[11]을 이용하여 구하기로 한다. ARMA(Auto Regressive Moving Average)법은 N 개의 데이터가 있을 때, $N-n$ 개의 방정식을 세우고 전달함수의 계수를 실측한 값과 계산된 값과의 오차가 최소화 될 때까지 반복해서 구하는 방법이다.

측정된 접지임피던스(표 3)는 크기(Amplitude), 위상(Phase), 주파수(Frequency)를 입력데이터로 하고, 결과는 Z -domain의 전달함수 $H(z)$ 로 계산된다. 일반적으로 사용되는 s -domain의 전달함수 $H(s)$ 는 Bilinear transformation 기법[5]을 사용하였다.

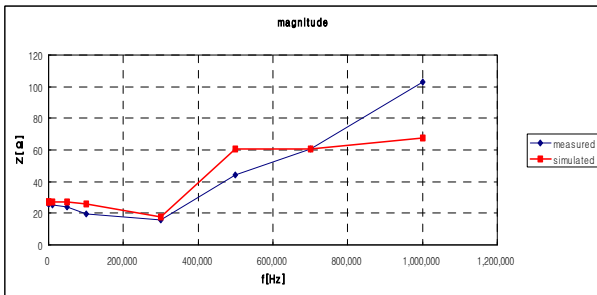
ARMA 기법으로 구한 접지임피던스 전달함수는 다음과 같다.

$$Z_f(s) = \frac{4.952e^{-20}s^3 + 2.688e^{-13}s^2 + 3.313e^{-7}s + 1}{6.686e^{-15}s^2 + 7.352e^{-9}s + 0.0366}$$

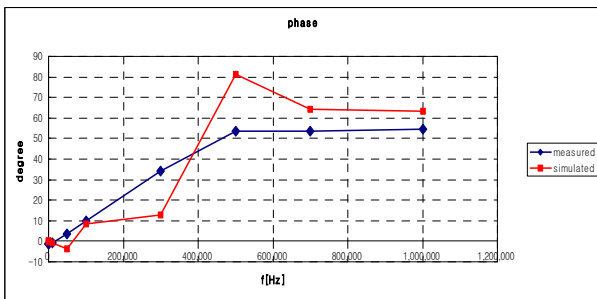
또한 접지임피던스 전달함수에 임펄스 전압 $2 \times 10 [\mu s]$ $10 [kV]$ 을 입력으로 하여 구한 전류로 규약접지임피던스를 구하면 다음과 같다.

$$Z_{f-p} = \frac{V_p}{I_p} = 23.60 [\Omega]$$

그림 11은 접지임피던스 측정치와 전달함수로 시뮬레이션한 접지임피던스 값을 비교한 것이다.



(a) 크기



(b) 위상

그림 11. 접지임피던스 비교
Fig. 11. Grounding impedance comparison

과도접지임피던스 모델링은 입력데이터(그림 10)로 시간영역의 입력 전류치, 출력 전압치, Sampling time (2×10^{-8} [sec])가 쓰인다. 데이터 수는 50,000개를 사용했다.

ARMA 기법으로 구한 과도접지임피던스 전달함수는 다음과 같다.

$$Z_i(s) = \frac{-1.805s^4 + 8.962e^7s^3 - 5.867e^{15}s^2}{s^4 + 3.454e^8s^3 + 2.54e^{16}s^2} + \frac{1.477e^{24}s + 1.814e^{30}}{1.359e^{23}s + 5.515e^{28}}$$

그림 12는 과도접지임피던스 측정치와 전달함수로 시뮬레이션 한 과도접지임피던스 값을 비교한 것이다.

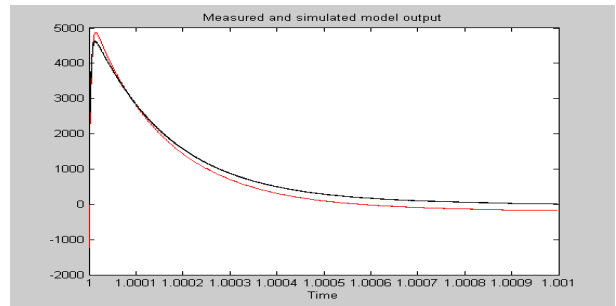


그림 12. 과도접지임피던스 비교
Fig. 12. Transient grounding impedance comparison

4. 결 론

배전계통에서 동봉과 콘크리트봉은 많이 쓰이고 있다. 본 논문에서는 배전계통에 적용할 수 있는 스테인리스강관 접지전극의 접지특성을 분석하였다.

시험장소의 대지저항을 측정은 Wenner 4전극법으로 하여, 토양모델을 수평 3층 구조 접지토양모델로 등가화시켰다.

3점 전위강하법으로 접지저항 39.6[Ω]이 측정되었고, 주파수를 변화시키면서 주파수영역 시험으로 접지임피던스를 측정하였다. 접지전극에 임펄스 전류를 주입시켜 시간영역 특성시험으로 과도접지임피던스를 측정하였고, 규약 접지임피던스는 23.07[Ω]을 계산되었다. 규약접지임피던스가 23.07[Ω]이고, 접지저항이 39.6[Ω]이므로 낙뢰와 같은 과도전류 유입시 전위상승이 낮게 나타나므로 양호한 접지성능을 나타낸다고 판단된다.

측정된 접지임피던스와 과도접지임피던스는 ARMA 모델링 기법으로 전달함수 모델로 등가화시켰다. 전달함수 모델을 평가하기 위하여 규약접지임피던스를 구한 결과 접지임피던스 모델은 23.60[Ω]이었고, 과도접지임피던스 모델은 실측한 23.07[Ω]으로 유사한 값이 되어 전달함수 모델이 접지전극의 접지임피던스 특성을 잘 나타낸다고 사료된다.

References

- [1] IEEE Std 142-2007, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [2] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in Ac Substation Grounding.
- [3] NESC(National Electrical Safety Code), 2006 Edition.
- [4] F.A. Wenner, "A Method of Measuring Resistivity", National Bureau of Standards, 1916.
- [5] L. Ljung, "System Identification", Prentice Hall, 1999.
- [6] KSC IEC 62305, "피뢰시스템", 2007.
- [7] "Digital Earth Tester Model MEGGER DET 2/2", AVO International Ltd., 2000.
- [8] "CDEGS User's Guide", SES Technologies Ltd., 2007.
- [9] IEEE std 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth surface Potential of a Ground system", IEEE Inc., 1983.
- [10] "Instruction Manual for ABEM Transmeter ASA4000", ABEM Instrument Inc., Sweden 1999.
- [11] MATLAB User's Guide, "System Identification Toolbox", Math Work, 2007.



이규진(李圭珍)

1984년 6월 22일생. 2009년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2009년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



김민성(金珉成)

1967년 2월 28일생. 1993년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2008년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정. 2006년~현재 케이에스지티(주) 대표 이사.



정지원(鄭地元)

1984년 3월 18일생. 2010년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2010년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

◆ 저자소개 ◆



김경철(金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소 연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 졸업(석사). 1984~1988년 UTA 전기공학과 졸업(박사). 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원.

1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.