

변이율을 활용한 접지저항 측정 기술

(Ground Resistance Measurement Technology Utilizing the Variation Rate)

이상무*

(Sang-Mu Lee)

요 약

접지의 성능을 결정하는 기본 요소인 접지저항을 측정하는 것은 성능평가를 위한 중요한 기술이 된다. 접지저항의 정확한 측정을 위하여는 측정 환경상 고려하여야 할 주요한 변수들이 있는데 실제의 측정 현장에서 이러한 변수들을 알고 측정하기는 곤란한 것이 현실이다. 본 논문에서는 3점전위강하법상의 전류전극에 이르기까지 나타나는 전위차 특성 곡선에 대하여 측정 환경 변수의 특성을 내포하고 있는 변이율이라는 개념을 도입하여 미지의 측정 환경 변수중에서도 가능한 접지저항의 참값에 근접한 측정을 지향하는 방법을 제의한 것이다. 이 이론은 이미 기검증된 논문들의 결과 내용을 분석함으로써 귀납적인 결론을 유도한 것이다.

Abstract

Ground resistance measurement is an elementary technique for the evaluation of grounding system. There are main environmental factors to consider for correct measurement, but the problem is that it is practically most cases to measure ground resistance, unable to know the factors. This paper presents a methodology toward true value of resistance in the unknown circumstances, utilizing the defined term, 'variation rate' of potential difference curve appearing in the distance to a current probe as in the three point fall-of-potential method which comprises the characteristics of environmental factors. This methodology is a induced result from the previous demonstrated studies.

Key Words : ground resistance measurement, variation rate, true resistance, potential position

1. 서 론

3점전위강하법을 사용하여 접지저항을 측정할 때에 측정시설 조건에 영향을 미치는 주요한 변수들이

있는데 이러한 변수들은 실측 현장에서 특별히 조사하여 사전 정보를 준비하지 않는 한 쉽게 알 수 있는 내용들이 아니기 때문에 대부분의 실측에 있어서 이러한 환경 변수들을 감안하지 못하고 측정한다는데 접지저항 측정의 맹점이 있으며, 기술적으로 해결하기 매우 어려운 현실로 여겨지고 있다. 본 논문에서는 이렇게 현장상에 감추어진 측정 조건 변수를 알 수 없는 상황이라도 이미 기술적으로 알 수 있는 원

* 주저자 : 한국전자통신연구원 표준연구센터 기술기준연구팀, 선임연구원
Tel : 042-860-4925, Fax : 042-861-5404

E-mail : sangmu@etri.re.kr

접수일자 : 2005년 1월 13일

1차심사 : 2005년 1월 17일, 2차심사 : 2005년 3월 2일

심사완료 : 2005년 3월 10일

변이율을 활용한 접지저항 측정 기술

리직 근거를 바탕으로 가능한 정확한 측정의 근사를 위하여 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

이를 위하여 먼저 측정방법과 관련하여 접지저항의 측정에 영향을 미치는 변수 요소를 정리한다. 이러한 영향 변수에 대하여 시뮬레이션하거나 실측하여 이미 기 입증된 사실 정량 관계상의 논문 자료를 바탕으로 그 내용을 응용할 수 있도록 심도있게 분석하여 도출된 기술 요소를 설명하고 이것을 활용하여 현장에서 적용할 만한 방법론을 제시한다.

2. 측정 시설조건에 영향을 미치는 주요 환경 변수

3점 전위강하법을 사용하는데 있어서 주요한 포인트는 두 개의 보조전극, 즉 전류전극과 전위전극의 위치 설정에 있다. 접지전극으로부터 전류전극 이격거리에 대한 전위전극 이격거리의 백분율을 전위점이라고 정의할 때, 균일토양의 경우 접지저항의 참값을 나타내는 전위점이 61.8[%]라는 것이 입증되어 있다[1]. 토양의 구성이 달라지면 61.8[%] 전위점에서 접지저항의 참값(이하 R_t 라 한다)을 갖지 않게 된다[2]. 이와 같이 접지저항의 참값을 나타내는 전위점(이하 P_t 로 표기한다)의 변화에 영향을 미치는 최대의 변수는 토양의 구성 특성이 된다. 여러 토양 구성 유형에 따른 P_t 를 상기 인용 논문 [2]에서 다루고 있다. 이 논문 자료의 내용을 잘 분석하여 보면 P_t 의 이동과 관련된 주요한 기술적 특징을 정량적으로 도출해낼 수 있다. 본 논문에서는 이를 근간으로 토양의 구성 정보를 알 수 없는 실제의 현장에서 가능한 P_t 에 근접된 전위점을 찾도록 활용할 수 있는 측정 방법론을 제시한다.

3. 전위점 특성 분석

3.1 여러 토양 유형에서의 P_t

인용 논문 [2]에서 다루는 토양의 구성 특성 유형에 의하면 각 토양 유형별 프로파일들에 대한 접지저항 참값의 전위점은 표 1과 같이 된다. 여기서 'profile n'은 90[°] 간격으로 전개된 전류전극의 측정

방향을 뜻한다. 그리고 p_1 은 접지체가 시설된 영역의 대지고유저항이고 p_2 는 이종토양구성 영역의 대지고유저항이다.

3.2 변이율 개념의 도입

실제 토양 정보를 알 수 없는 현장에서는 어디가 P_t 인지는 알 수 없다. 그러나 이는 각 그래프상에서 나타나는 정량적 특성으로부터 도출해 낼 수 있는 P_t 와 해당 프로파일 곡선의 slope이 가지고 있는 특성 관계로부터 유추할 수 있는 방법을 취할 수 있다. 이를 위하여는 먼저 변이율을 정의하여야 한다.

변이율(ϵ)이라 함은 전위점 30[%] 지점의 측정값에 대한 90[%] 전위점 측정값의 변화율로서 아래의 식 (1)로서 정의한다.

표 1. 토양 유형별 프로파일의 P_t
Table 1. P_t of profiles by soil structure types

이종토양 유형	프로파일	R_t [Ω]	거리 [m]	P_t	
수직계층	$p_1 < p_2$	0.0597	1	726	72.6
			2	623	62.3
			3	311	31.1
	$p_1 > p_2$	0.3574	1	404	40.4
			2	590	59.0
			3	740	74.0
원통형	3.0481	1	552	55.2	
		2	759	75.9	
		3	552	55.2	
구형	0.9985	1	576	57.6	
		2	606	60.6	
		3	744	74.4	
입의체적 함유	0.9583	1	498	49.8	
		2	798	79.8	
		3	978	97.8	

$$\epsilon = \left(\frac{p_{90}}{p_{30}} - 1 \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

p_{30} : 30[%] 전위점에서의 표시값

p_{90} : 90[%] 전위점에서의 표시값

변이율 측정을 위한 전위점 구간을 30~90[%]로 한 것은 프로파일들의 변이율간 구분 오차를 최대화 하기 위한 것이다. 즉 30/90 이내 범위에서의 프로파일 변이율들간에는 10[%] 내외 범위의 차이로서 현장 측정에 있어서 특성 구분이 되지 않을 수 있다. 30~90[%] 범위에 의하여 특성을 구분할 수 있는 프로파일간 변이율 차이는 20[%] 내외 범위로 확장된다. 30[%]보다 낮은 전위점을 책정할 수 없는 것은 프로파일 곡선들의 교점 분기의 최대 전위점이 약 30[%] 지점에서 발생되기 때문이다. 또한 90[%] 이상의 범위에서는 전반적으로 전위차가 급격히 증가하기 때문에 이를 그 최대 범위로 선정한다.

3.3 변이율과 전위점 이동 관계 분석

3.1절에서 제시한 인용논문[2]의 각 그래프로부터 모든 토양 유형에 대한 모든 프로파일들의 변이율과 전위점 데이터를 정량적으로 파악하기 위하여 도표화하면 표 2와 같이 된다.

표 2. 변이율과 전위점 이동 관계
Table 2. The Relationship between variation rate and potential position movement

토양 유형	프로파일	접지저항 표시값		변이율 [%]	P _t	
		30[%]	90[%]			
수직 2계층	p1	1	0.052	0.069	32.7	72.6
	<	2	0.052	0.076	46.1	62.3
	p2	3	0.059	0.168	184.7	31.1
	p1	3	0.340	0.370	8.8	74.0
	>	2	0.340	0.420	23.5	59.0
	p2	1	0.340	0.500	47.1	40.4
원통	2	2.790	3.600	29.0	75.9	
	1	2.820	4.000	41.8	55.2	
	3	2.830	4.000	41.3	55.2	
구형	3	0.885	1.280	44.6	74.4	
	2	0.910	1.320	45.0	60.6	
	1	0.900	1.320	46.6	57.6	
체적	3	0.900	0.950	5.5	97.8	
	2	0.900	1.100	22.2	79.8	
	1	0.900	1.300	44.4	49.8	

표 3. 전위점과 변이율간 변화량 분석
Table 3. Variation quantity analysis between potential position and variation rate

토양 구조	방향 쌍	변이율차	전위점차	비율	변이율 10	대표비
수직 2계층 1	1/2	13.4	10.3	1:1	10:10	
	2/3	138.6	31.2	4:1	10:2.5	
	1/3	152	41.5	4:1	10:2.5	
수직 2계층 2	3/2	14.7	15	1:1	10:10	10:10
	2/1	23.6	18.6	1:1	10:10	
	3/1	38.3	33.6	1:1	10:10	
원통	2/1	12.8	20.7	1:1.6	10:16	10:(20)
	1/3	0.5	0	-	-	
	2/3	12.3	20.7	1:1.7	10:17	
구형	3/2	0.4	13.8	1:34.5	10:345	예외성
	2/1	1.6	3	1:2	10:20	
	3/1	2	16.8	1:8.4	10:84	
임의 체적 물질	3/2	16.7	18	1:1	10:10	10:10
	2/1	22.2	30	1:1.35	10:13.5	
	3/1	38.9	48	1:1.2	10:12	

상기 표 2 데이터로부터 알 수 있듯이 전반적으로 변이율이 낮으면 P_t는 높아지고 변이율이 높아지면 P_t는 낮아진다. 구형체의 경우만 다소 예외적으로 미세한 변이율상에서 변화하고 있으나 이는 구형이라는 형상 자체의 특성에 기인한 것임을 감안한다.

여기서 앞으로의 사용을 위하여 변이율 얼마만큼의 변화에 전위점 얼마만큼의 유동이 있는 지를 가늠하기 위하여 다시 상기 표 2에서 토양유형별 각 프로파일간 변이율 차에 대한 전위점 차를 계산하여 분석하면 표 3과 같이 된다.

표 3에 대하여 통상적으로 적용할 수 있는 변이율 변화량에 대한 전위점 이동량을 추출하기 위하여 관계상 빈도표를 다시 나타내면 표 4와 같이 된다.

표 4. 변이율:전위점차의 대표적 정량 관계
Table 4. Representative quantitative relationship of variation rate : potential position difference

변이율(10) : 전위점차	빈도수
10 : 10	8
10 : 20	3
10 : 2.5	2
10 : 84	1
10 : 345	1

변이율을 활용한 점지저항 측정 기술

표에 나타난 바와 같이 일반적으로 변이율 10의 변화에 대하여 전위점도 대략 10이 변하는 것으로 감안할 수 있다.

4. 현장에서의 응용 기술 수립

4.1 측정 토양구성 탐지 기법

각 토양구성 마다의 3개 전류전극 방향에 대한 변이율 특성을 잘 활용하면 토양의 구성을 모르는 현장에서 변이율을 산출함으로써 역으로 유추할 수 있을 것이다. 상기 표 2로부터 각 토양별로 변이율만 따로 비교할 수 있도록 추출하여 정리하면 아래의 표 5와 같다.

표 5. 토양구성별 변이율 비교
Table 5. Comparison of variation rate by soil structures

프로파일		1	2	3
토양				
수	I	32.7[%]	46.1[%]	184.7[%]
	II	47.1[%]	23.5[%]	8.8[%]
직	원통형	41.8[%]	29.0[%]	41.3[%]
	구형체	46.6[%]	45.0[%]	44.6[%]
유한체적		44.4[%]	22.2[%]	5.5[%]

표 5의 내용으로부터 토양별 각 방향 변이율을 비교하여 알 수 있듯이 3개 방향 모두에 대해서 변이율이 30[%] 이상으로서 높고 그 중 특별히 상호 180° 방향 관계에 있는 두 개의 전류전극 방향중 어느 한 방향의 변이율이 100[%]가까이 넘는 수준으로서 유달리 높은 변이율을 나타내는 현상이 있다면 이는 측정 지대의 토양 인근에 수직2계층 토양 구조가 분포되어 있는 것으로서 점지체가 시설된 영역의 대지 고유저항이 낮은 현장인 것으로 판별할 수 있다. 또, 상호 반대 방향 전류전극에 대한 변이율이 거의 유사한 수준으로 나타나는 형태라면 이는 원통형 토양 구조 형태 인근임을 유추할 수 있다. 또한 모든 방향에 있어서 변이율이 유사하다면 이는 구형체 이질토양 구조의 배치 관계로 해석할 수 있다. 다만 수직2계층토양 II와 유한체적 함유토양의 변이율 특성은 매우 유사하여 구분할 수 없다. 그리고 사실 구형체

토양의 변이율 특성은 마치 균일토양인 것과 마찬가지로의 의미여서 이 두 가지 또한 정확한 구분을 하기가 곤란할 수 있다.

4.2 매설물 영향 감지 이용

점지저항 측정 영역에 특히 도전성의 지하구조물 등이 배치되어 있는 경우 대지고유저항을 낮게 하는 효과를 갖게 되어 P_1 에 변이를 일으키게 되고 실측상의 오차를 유발할 수 있게 된다.

이에 대하여 인용논문[2]의 그래프 특성에서 암시하는 것은 P_1 는 대지고유저항이 낮은 쪽으로 변이를 일으키고 이는 다시 변이율에 영향을 미쳐 변이율을 증가시키거나 낮게 하는 효과가 있으므로 이 관계를 잘 활용하면 현장 지하구조물의 영향 방향을 감지할 수 있을 것이다.

4.3 단일 전류전극 방향상에서의 활용 기술

4.3.1 변이율 활용 계산 기술

통상적인 현장에서의 단순 측정에 있어서 전위점에 영향을 미치는 환경조건을 알지 못하는 상황 가운데에서 하나의 전류전극 방향만으로서 가능한 전위점 변이 영향을 감지, P_1 를 지향하는 전위점을 정하고자 한다면 상기의 원리적 방법을 도입하여 다음과 같은 계산 방법을 감안할 수 있다.

우선 아래 식 (2)로써 해당 전류전극 이격거리에 대한 61.8[%]법칙을 적용할 수 있을 때의 기준 변이율을 구한다.

$$\epsilon_v = \frac{120}{m+4} + 10 [\%] \quad (2)(a)$$

$$\epsilon_h = \frac{172.8}{m-1.2} + 14 [\%] \quad (2)(b)$$

v : 수직깊이형점지시설에 대한 기준 변이율
h : 수평점면형점지시설에 대한 기준 변이율
m : 측정 전류전극 이격거리의 점지체시설 규격에 대한 배수

* 여기서 사용하는 접지체시설 규격이라 함은 수직깊이형접지시설의 경우는 접지 깊이를 말하며, 수평접면형접지시설의 경우는 면적환산직경을 말한다. 접지체시설규격을 d_g , 전류전극 이격거리를 d_c 라 하면, $m=d_c/d_g$ 가 된다.

상기 식 (2)에 의하여 계산된 기준변이율을 ϵ_N 이라 하고 실제 현장에서 측정, 산출한 변이율을 ϵ_c 라 할 때 먼저 이들 변이율간 차이를 구하고(식 3), 다음과 같이 적용한다.

$$\epsilon_d = \epsilon_N - \epsilon_c \quad (3)$$

본 절에서 제시하고자 하는 목표가 되는 단일 전류전극 방향에 대한 변이율을 이용한 접지저항의 참값을 지향하는 전위점을 P_ϵ 이라 할 때, ' $P_\epsilon = 60 + m_p$ '로 한다. 여기서 ' m_p '는 전위점 이동량으로서 아래 식 (4)와 같이 구한다.

$$m_p = 10c_m(c_m : \text{전위점 이동계수}) \quad (4)$$

$$c_m = \epsilon_d / c_\epsilon \quad (c_\epsilon : \text{변이율 비교계수})$$

$$\epsilon_c < \epsilon_N \text{ 이고 } |\epsilon_d| \geq 10 : c_\epsilon = 10$$

$$\epsilon_c > \epsilon_N \text{ 이고 } |\epsilon_d| \geq 20 : c_\epsilon = 20$$

상기 이외 범위 : $c_\epsilon = \infty$

4.3.2 기준변이율 도출과 계수 설정

기준변이율은 아래에 설명되겠지만 변이율이 전류전극의 이격거리 기반에 의하여 영향을 받고-이격거리가 길면 변이율은 낮아지고 짧으면 높아진다 - 또 다시 전류전극의 이격거리는 접지체의 시설 유형 및 그 규격에 의하여 영향을 받는다. 접지체의 시설 유형은 수직깊이형시설¹⁾과 수평접면형시설²⁾로 크게 대별할 수 있고 이들의 특성은 상반됨으로 공통적인 기준변이율을 설정할 수 없고 각각 독립적인 특성에 따라 기준변이율을 구할 수 있는 산식을 결정한다.

- 1) 일반적인 봉상 접지체나 십타식, 보링 접지시설등과 같이 주로 땅속 깊이 방향으로 매설하여 접지 효과를 내는 유형의 접지체를 통칭한 것이다.
- 2) 그리드 메쉬형 접지체나 판상형등 수평으로 펼쳐지는 접면에 의하여 접지 효과를 내는 시설 유형을 말한다.

수평접면형에 대한 이격거리별 변이율 특성을 파악하기 위하여 균일토양에서의 이격거리에 따른 대응 수치들을 대입하여 변이율을 직접 계산하여 보면 다음의 표 6과 같이 된다[3].

표 6. 수평접면형 이격거리별 변이율 분석
Table 6. Variation rate analysis of horizontal plane type ground electrodes

이격거리	전위점 표시치		변이율 [%]	규격배수
	30[%]	90[%]		
50	0.65	7	977	1.5
75	1.24	4	222	2.2
100	1.4	3	114	3
200	1.65	2.5	50	6
300	1.7	2.25	32	9

이격거리에 대한 변이율은 기본적으로 이격거리가 0에 가까워지면 무한대, 무한대로 접근하면 어떤 특정 값으로 수렴하는 형태가 되는 분수함수식이 된다(식 5).

$$y = \frac{b}{x-a} + c \quad (5)$$

변이율은 전류전극 이격거리에 의한 영향을 받지만 이는 다시 접지체 시설 규격 변수에 의한 영향을 받기 때문에 전류전극 이격거리를 독립변수로 사용할 수 없고 접지체 시설 규격에 대한 전류전극 이격거리의 배수를 상기 분수식의 독립변수 x 로 사용한다. 이렇게 할 때 접지체 시설규격 배수 x 는 이미 접지체 시설규격에 의한 전류전극 이격거리에 대한 영향을 내포하고 있는 것으로서 별도의 접지체 시설규격에 의한 영향 변수를 고려하지 않아도 된다. 여기서의 규격배수는 수평접면형 접지시설의 경우 면적환산직경에 대한 전류전극 이격거리의 배수가 되며, 수직깊이형의 경우 접지봉 길이에 대한 이격거리의 배수이다.

수평접면형 접지시설에 대하여 적합한 변이율 분수식을 구하기 위하여 상기 표의 규격배수중 대표적인 값들인 2와 3 및 6에 대한 변이율을 상기 분수식에 대입한 3원 연립방정식을 풀어 각 계수를 구하고 식을 결정하면 식 (2)의 (b)와 같이 된다.

수직깊이형에 대한 적용 규격은 그림 11의 이격거

변이율을 활용한 접지저항 측정 기술

리에 대한 측정 관계를 이용한다[4].

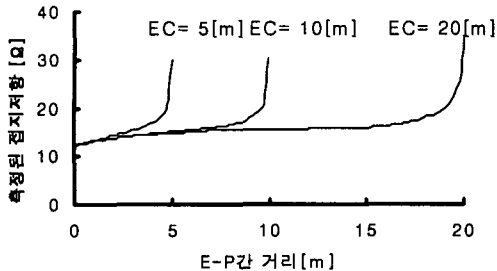


그림 1. 수직깊이형 이격거리에 대한 변이율 모형
Fig. 1. Experimental showcase of driven-rod type

표 7. 수직깊이형 변이율 배수규격 분석표
Table 7. Analysis table of driven-rod type variation rate on the multiplication basis of current probe distance

이격거리	전위점 표시치		변이율 [%]	규격 배수
	30[%]	90[%]		
5	14	18	28.6	2.1
10	14.5	18	24.1	4.2
20	15	18	20.0	8.3

표 8. 수직깊이형 변이율 배수규격 조정
Table 8. Multiplication dimension adjustment for the driven-rod type

이격거리	배수규격(x)	변이율
5	2	30
10	4	25
20	8	20

이는 접지봉 길이 2.4[m]에 대한 것이다. 이에 대한 배수규격 분석은 아래 표 7과 같다. 이는 다시 아래 표 8과 같이 약간의 오차를 무시, 조정 가름하고, 3개 행값에 대한 상기 기본 분수식에 대입한 3원 연립방정식을 풀면 식 (2)의 (a)와 같이 된다. 단 수평형에 있어서나 수직형에 있어서나 m (또는 x) ≥ 2 이다.

5. 결 론

본 논문의 목적은 변수 조건을 알 수 없는 측정 현장에서 기연구된 기술 근거를 바탕으로 P_1 를 지향한 응용 측정 방법을 제시한 것이다.

이렇게 할 수 있는 핵심 기술 원리는 P_1 가 대지고 유저항이 낮은 쪽으로 편향된다는 특성과, 이는 다시 앞서 제시한 특성과 같이 변이율과 상관 관계가 있다는 것이다. 결과적으로 미지의 현장에서는 이 변이율을 산출, 활용하여 역으로 환경 조건 변수를 추정한다.

이 기본 원리를 이용하여 실제로 적용할 수 있는 기법을 수립하기 위하여 기술 요소에 대한 정량적 데이터 분석을 하여 결정하였다.

다만 본 논문의 한계는 현실적으로 복잡한 모든 현장 조건을 감안한 실측 과정을 거치기에는 실험 여건이 허락지 못한다는 점이다. 이에 대하여는 차 후 연구를 통하여 실증의 과정을 거쳐나갈 계획이다.

그러나 상기한 기술 원리에 의한 측정 개념은 분명한 가치를 지니고 있는 것으로서 더욱 정확한 정형화가 이루어진다면 실용적 현장 측정에서 매우 유용하게 쓰일 수 있는 기술로 여겨진다.

References

- [1] E.B. Curdts, "Some of the fundamental aspects of ground resistance measurements", AIEE Transactions Pt.I, Vol.77, Nov.1958, pp.767-770.
- [2] J. Ma, F.P.Dawalibi, W.Ruan, "Ground Impedance Measurement and Interpretation in Various Soil Structures", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.3, 23-27 Jan. 2000, pp.2029-2034.
- [3] F.P. Dawalibi, D. Mukhedkar, "Resistance Measurement of Large Grounding Systems", IEEE Transactions, Vol. PAS-98, No.6, 1979, p.2350.
- [4] 이복희, 엄주홍, "전위강하법에 의한 접지저항 측정에 미치는 전류보조전극의 영향", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.14, No.6, 2000. pp. 69-77.

◇ 저자소개 ◇

이상무 (李相武)

1963년 9월 21일생. 1989년 단국대학교 전자공학과 졸업. 1998~2000년 한국정보통신대학교 정보공학 석사. 1991년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 2004년~현재 한국정보통신기술협회 접지프로젝트그룹 의장.