

접지저항 측정의 61.8%법칙 적용의 맹점과 현실적 접근 방법

Myth of 61.8% rule and the practical application notices

이상무* · 조평동

Sangmu Lee · Pyung-Dong Cho

ETRI*

요 약

3점전위강하법을 이용한 접지저항을 측정하는데 있어서 판건이 되는 것은 전류전극에까지 이르는 직선 거리상에서 어느 지점에 접지저항의 참값이 존재하는 지를 찾는 데 있다. 그러한 전위점 변화에 영향을 미치는 최대의 변수는 토양의 구성 조건이다. 61.8%법칙은 토양이 균일한 경우의 접지저항 참값을 나타내는 전위점(이하 R_t)을 말하는 것이다. 이종 토양 구성인 경우 R_t 는 61.8%에 있지 않으며 이에 대하여는 Dawalibi의 논문에 여러 토양 구성의 기본 모델에 대한 실험적 R_t 를 제시하고 있다. 이러한 것은 토양의 구성 조건을 안다는 전제하에 적용할 수 있는 것이며 실제의 측정 환경에 있어서 특별히 분석을 하지 않는 한, 토양의 구성이 어떠한 특성으로 이루어져 있는 지를 알고 측정한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. Dawalibi의 논문을 분석하여 보면 R_t 에 변이를 일으키는 것은 이종 토양 구성에 의한 대지저항률의 차이에 의한 것임을 알 수 있다. 결론적으로 R_t 는 대지저항률이 낮은 토양 쪽으로 이동하게 되는데 이것이 전위차 특성 그래프의 기울기상에 변화를 준다. 즉 R_t 는 전위차 곡선의 기울기에 따라 변화하고 전위차 곡선의 기울기는 인근 토양 구성에 의한 영향을 받으므로 이들의 정량적 상관 관계를 분석하여 원리적 변화 규칙을 정형화하면 굳이 토양의 구성 상태를 알지 않고도 R_t 를 산출할 수 있는 방법을 도출할 수 있으며 역으로 토양의 구성 특성을 감지할 수 있는 측정 방법을 수립할 수도 있다. 본 논문에서는 이러한 취지의 정량 관계 해석을 통한 현실적 측정 방법을 제공한다.

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 때 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 측정하는데 접지저항 측정의 맹점이 있으며, 기술적으로 해결하기 매우 어려운 현실로 여겨지고 있다. 본 논문에서는 이렇게 현장상에 갖추어진 측정 조건 변수를 알 수 없는 상황이라도 이미 기술적으로 알 수 있는 원리적 근거를 바탕으로 가능한 정확한 측정의 근사를 위하여 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

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]에

서 다루고 있다. 이 논문 자료의 내용을 잘 분석하여 보면 P_i 의 이동과 관련된 주요한 기술적 특징을 정량적으로 도출해낼 수 있다. 본 논문에서는 이를 근간으로 토양의 구성 정보를 알 수 없는 실제의 현장에서 가능한 P_i 에 근접된 전위점을 찾도록 활용할 수 있는 측정 방법론을 제시한다.

3. 전위점 특성 분석

3.1 여러 토양 유형에서의 P_i

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 ρ_s 는 접지체가 시설된 영역의 대지고유저항이고 ρ_c 는 이종토양구성 영역의 대지고유저항이다.

3.2 변이율 개념의 도입

실제 토양 정보를 알 수 없는 현장에서는 어디가 P_i 인지는 알 수 없다. 그러나 이는 각 그래프상에서 나타나는 정량적 특성으로부터 도출해 낼 수 있는 P_i 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.

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

p_{30} : 30% 전위점에서의 표시값
 p_{90} : 90% 전위점에서의 표시값

3.3 변이율과 전위점 이동 관계 분석

모든 토양 유형에 대한 모든 프로파일들의 변이율과 전위점 데이터를 정량적으로 파악하기 위하여 도표화하면 표 1과 같이 된다.

표 1. 변이율과 전위점 이동 관계

토양 유형	프로파일	접지저항 표시값		변이율 [%]	P_i	
		30%	90%			
수직	$\rho_1 < \rho_2$	1	0.052	0.069	32.7	72.6
		2	0.052	0.076	46.1	62.3
		3	0.059	0.168	184.7	31.1
2계층	$\rho_1 > \rho_2$	3	0.340	0.370	8.8	74.0
		2	0.340	0.420	23.5	59.0
		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	

상기 표 1 데이터로부터 알 수 있듯이 전반적으로 변이율이 낮으면 P_i 는 높아지고 변이율이 높아지면 P_i 는 낮아진다. 구형체의 경우만 다소 예외적으로 미세한 변이율상에서 변화하고 있으나 이는 구형이라는 형상 자체의 특성에 기인한 것임을 감안한다. 통상적으로 적용할 수 있는 변이율 변화량에 대한 전위점 이동량을 추출하기 위하여 관계상 빈도표를 다시 나타내면 표 2와 같이 된다.

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

표 2. 변이율:전위점차의 대표적 정량 관계

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

4. 단일 전류전극 방향상에서의 활용 기술

4.1 변이율 활용 계산 기술

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 : 수직깊이형접지시설에 대한 기준 변이율
 h : 수평접면형접지시설에 대한 기준 변이율
 m : 측정 전류전극 이격거리의 접지체시설 규격에 대한 배수

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(식3), 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_e 이라 할 때, 「 $P_e = 60 + m_p$ 」로 한다. 여기서 ' m_p '는 전위점 이동량으로서 아래 식(4)와 같이 구한다.

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

$$C_m = \epsilon_d / c_c \quad (c_c : \text{변이율 비교계수})$$

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

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

$$\text{상기 이외 범위} : c_c = \infty$$

4.2 기준변이율 도출과 계수 설정

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

표 3. 수평접면형 이격거리별 변이율 분석

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

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 1의 이격거리에 대한 측정 관계를 이용한다[4].

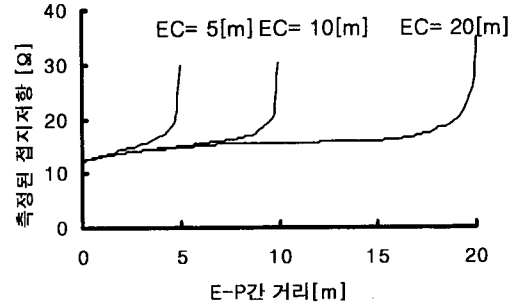


그림 1. 수직깊이형 이격거리에 대한 변이율 모형

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 [%]	규격배수
	30%	90%		
5	14	18	28.6	2.1
10	14.5	18	24.1	4.2
20	15	18	20.0	8.3

이는 접지봉 길이 2.4m에 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. 결론

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

이렇게 할 수 있는 핵심 기술 원리는 P_e 가 대지고유 저항이 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 차후 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·전기설비학회논문지, Vol.14, No.6, 2000. pp. 69-77

◇ 저자소개 ◇-----

이상무 (李相武)

1963년 9월21일생. 1989년 단국대학교 전자공학과 졸업. 1998~2000 한국정보통신대학교 정보공학 석사. 1991~현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 2004~현재 한국정보통신기술협회 접지프로젝트그룹 의장

조평동 (趙平東)

1955년 1월25일생. 1980년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1993~1995 충남대학교 전산과학 석사. 2000~2003 충남대학교 전산과학 박사. 1979~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, 기술기준연구팀 팀장.