

대지저항률과 접지극의 경년변화에 관한 연구

한기봉, 최충석, 김삼수, 정세중, 이상의
한국전기안전공사 전기안전시험연구원

A Study on the Soil Resistivity and the Variation with Lapse of Time for Ground Rods

Ki-Boong Han · Chung-Seog Choi · Sham-Su Kim · Se-Joong Jung · Sang-Ick Lee
Korea Electrical Safety Co., Electrical Safety Laboratory Research Institute

Abstract - This paper deals with the seasonal variation of soil resistivity and the special characteristic for ground rods by lapse of time. The ground resistance was changed by humidity, temperature of earth and earth resistance. In this experiment, we studied the resistivity during the period from June 1995 to May 1996 by the soil and the corrosion of the ground rods. As a result, the soil resistivity during the period are appeared minimum in summer and maximum in winter. The loss in weight of Fe rod appeared higher than Cu, Al, Cu-Zn, and St. In the lapse of time, Fe rod was reduced 1.2 % later two years and 1.95 % later three years in weight. Cu rod was detected oxygens of 14.7 % later two years and 30.3 % later three years by EDX.

적절하다. 탐사법으로는 등가4전극법중 하나인 Wenner법이 널리 사용되고 있다. 그림 1은 Wenner법의 측정 원리를 나타낸 것으로 전극계는 지표면에 직선상으로 연결하여 중심점에 대해서 대칭적인 4개의 점전극 C₁, C₂, P₁, P₂를 등간격 a로 나누어 양단의 전극 C₁, C₂에 전류를 흘리고, 중간전극 P₁, P₂의 전위차 V를 측정하는 방법이다. Wenner법의 전극배열에 의해 측정된 대지저항률(ρ)는 $\rho = 2\pi a \cdot V/I$ 로 구해진다[2-4].

또한, 토양은 모래(직경 0.05~2.0mm), 미사(직경 0.002~0.05mm), 점토(직경 0.002mm이하)의 함량비에 따라 분류하고 있다.

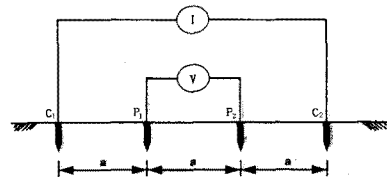


그림 1 Wenner의 4전극법
Fig. 1 4 Electrode method of Wenner

1. 서 론

최근 정보화의 진전에 따라 빌딩은 물론 전력, 전자, 통신, 의료용 등 모든 용도의 설비와 기기가 인텔리전트화, 일렉트로닉스화 되어 전력계통의 운용설비와 건축물의 관리 등이 자동화, 무인화 되고 있는 추세이다. 이러한 설비들이 다양하게 변화되면서 접지설비의 중요성은 점차 높아만 가고 있으며 전력설비뿐만 아니라 전자기기, 통신기기 등 폭넓은 분야에 접지기술이 요구되고 있다[1]. 인체의 감전사고 예방과 전기설비의 안전한 운용을 위한 접지설비는 접지저항의 변화, 접지극의 부식에 관한 사항을 고려해야 한다. 일반적으로 금속재료의 열화와 관련된 연구는 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 접지봉에 착안해서 접지봉의 토양부식에 관한 연구는 국외의 경우 일부 진행되었으나 국내에서는 이와 관련된 연구가 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 접지저항과 밀접한 관계에 있는 대지저항률과 접지봉의 경년변화에 관해 경기북부지역의 토양을 대상으로 분석하여 접지설계시 기본자료로 사용하고자 한다.

2. 이 론

접지설비에 사용되는 접지극은 저항이 충분히 낮아야 하며 기계적 강도를 가져야 한다. 또한 수분과 화학적 성분이 함유된 토양에 매설되므로 부식에 큰 변화가 없어야 하며 경제성이 있어야 한다.

접지설계시 필요한 대지저항률을 측정하기 위해서는 지표면 임의의 깊이까지 측정하는 수직전기탐사가 가장

3. 실험방법

본 실험은 대지저항률의 연간변화상태와 접지봉의 경년변화를 분석하기 위해 '95년에 경기도 북부지역 5개 장소를 선정하여 매월 접지저항과 대지저항률을 측정하였다(95. 6~96. 5). 각 장소별 토양은 표 1과 같이 사양토1, 사양토2, 양토, 양질사토, 미사질양토 등 5개로 구분하였다.

표 1 토양의 분류
Table 1 Classification of soil

토양명	토양 구성비, %			pH
	모래	미사	점토	
사양토1(a)	72.5	17.3	10.2	4.9
양질사토(b)	79.8	11.4	8.8	4.7
사양토2(c)	69.9	20.5	9.6	7.7
양 토(d)	46.4	37.8	15.8	6.7
미사질양토(e)	36.6	50.7	12.7	4.6

또한 매설 접지봉(φ14×1,000mm)은 5개 재질(Cu, Fe, Cu-Zn, Al, St)로 구분하여 전기설비기준과 동일한 지하 75cm 깊이에 1.2m간격으로 이격하여 매설한 후 경년에 따른 부식률을 분석하기 위해 접지봉의 중량 감소를 측정하였다. 재질별 접지봉은 그림 2와 같이 가로 2.5m×세로 5.0m 범위내에 매설하였다. 접지봉의

표면변화는 금속현미경(Metallurgical microscope, Nikon, Japan)과 주사전자현미경(SEM: JEOL JSM-6400, Japan)을 이용하여 관찰하였다. 표면의 구조 및 조성변화는 에너지분산분석기(EDX: Energy dispersive x-ray spectroscopy, Oxford, England)를 이용하여 해석하였다.

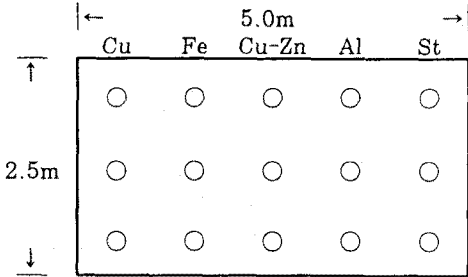


그림 2 접지봉 매설도
Fig. 2 Buried map of ground rods

4. 결과 및 고찰

4.1 대지저항률 분석

그림 3은 토양에 따른 평균 대지저항률을 월별로 나타낸 것이다. 접지봉을 매설한 5개 토양의 연간 대지저항률 양토: 33~112Ω·m, 사양토2: 30~98Ω·m 등은 저저항률 토양으로 나타났고, 미사질양토: 1850~6753Ω·m, 사양토1: 925~3320Ω·m, 양질사토: 874~3450Ω·m 등은 고저항률 토양으로 나타났다. 또한 저저항률 토양의 pH가 고저항률 토양의 pH보다 높은 것을 알 수 있다. 5개 토양의 연간 대지저항률 변화상태는 3월부터 감소하기 시작하여 7, 8월에 가장 낮게 나타났으며 9월 이후부터 점차 증가하여 2월에 가장 높은 값으로 나타났다. 그러므로 접지설계시 대지저항률이 높은 동절기를 기준으로 하여 적용해야만 연중 적합한 접지저항값을 유지할 수 있을 것이다. 그러나 대지저항률을 매월 측정하기 어려운 관계로 대지저항률 보정계수를 적용하여 설계시 반영하면 가능할 것으로 판단된다.

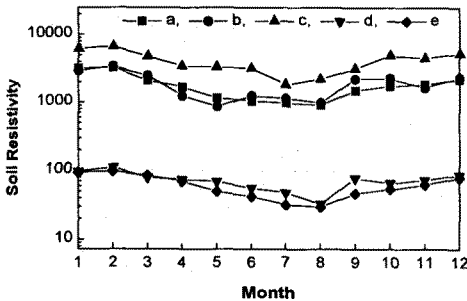


그림 3 대지저항률의 변화 곡선
Fig. 3 Variation curves of soil resistivity

5개 토양의 월별 대지저항률 보정계수는 대지저항률이 가장 높게 측정된 달을 기준으로 하여 표 2와 같이 산출하였다. 이 계수는 경기북부지역 일부의 자료이기는 하나, 국내의 현장에 적용하여 설계 및 시공 등의 참고 자료로서 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

표 2 대지저항률 보정계수

Table 2 Correction factor of soil resistivity

토양 월	a	b	c	d	e
1월	1.04	1.17	1.04	1.16	1.09
2월	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3월	1.57	1.38	1.15	1.40	1.40
4월	1.97	2.76	1.40	1.51	1.96
5월	2.85	3.95	1.96	1.60	2.01
6월	3.16	2.75	2.33	2.00	2.11
7월	3.38	3.00	3.06	2.33	3.65
8월	3.59	3.45	3.27	3.39	3.04
9월	2.21	1.54	2.09	1.44	2.11
10월	1.88	1.51	1.82	1.70	1.35
11월	1.79	2.06	1.56	1.51	1.48
12월	1.51	1.49	1.24	1.29	1.27

4.2 부식을 분석

경년에 따라 매설된 접지봉을 회수하여 매설전의 중량과 비교한 결과 표 3과 같이 Fe가 평균적으로 2년경과 후 1.2%, 3년경과 후 1.95% 감소하였으며 5개 재질의 접지봉 중에서 가장 컸다.

표 3 %중량감소

Table 3 Percent loss in weight

재질	토양					
	a	b	c	d	e	
Cu	2년	0.03	0.05	0.18	0.14	0.10
	3년	0.18	0.06	0.27	0.16	0.15
Al	2년	0.01	0.35	0.83	0.51	0.05
	3년	0.12	0.38	0.97	0.52	0.15
Fe	2년	1.08	0.57	2.43	-	0.73
	3년	1.21	0.74	4.87	1.76	1.16
St	2년	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04
	3년	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04
Cu-Zn	2년	0.13	0.06	0.33	-	0.01
	3년	0.17	0.09	0.36	0.28	0.11

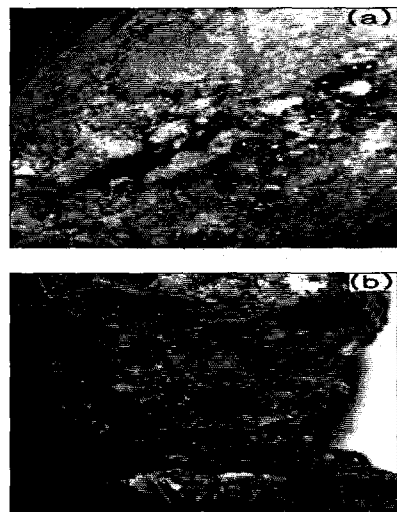


그림 4 Al봉과 커넥터 볼트의 금속현미경 사진
Fig. 4 Metallographs of Al rod and connector bolt

또한 각각의 접지봉 표면을 금속현미경으로 관찰한 결과 Cu와 Cu-Zn접지봉의 표면은 푸르게 산화되어 있었으며 그중 Al접지봉의 표면은 그림 4(a)와 같이 표면의 산화로 구멍이 발생하였으며 접지봉과 접지선 연결에 사용한 커넥터 부분은 토양을 매개체로한 이중금속간의 국부적인 부식으로 그림 4(b)와 같이 가장 심하게 부식되어 경년에 따른 접촉불량 등이 발생할 가능성이 많은 부분이다. 그러므로 동종의 금속으로 적절한 압착 또는 용접을 이용하여 지속성과 안전성을 확보할 필요가 있다.

지중에서 접지봉과 토양의 접촉에 의한 부식을 알아보기 위하여 접지봉으로 가장 범용성 있게 사용되는 Cu접지봉 표면을 표 4와 같은 연도별 정량분석을 하였다. Cu접지봉의 매설전과 3년경과후 Cu원소를 비교한 결과 최대값 95.04%에서 88.07%로 약 7.3%의 감소율을 나타냈다. 또한 산화반응의 특징임을 알 수 있는 산소가 2년경과후 평균 14.7%, 3년경과후 30.3% 등으로 나타났다. 3년경과한 Cu접지봉 표면의 EDX분석 결과를 그림 5에 나타냈다.

표 4 Cu봉의 정량분석

Table 4 Quantitative analysis of Cu rod by EDX

원소 연도	Cu	Al	Si	Ca	Fe	O
매설전	93.87	-	-	-	-	-
	94.11	-	-	-	-	-
	95.04	-	-	-	-	-
	94.53	-	-	-	-	-
2년 경과	98.75	-	-	0.17	0.20	1.20
	100	0.33	0.12	0.07	0.13	-
	36.48	4.00	5.35	18.77	1.98	33.42
	56.25	1.08	1.09	17.13	0.15	24.29
3년 경과	79.75	-	-	-	-	20.27
	88.07	-	-	0.20	-	11.73
	52.98	-	-	10.59	-	36.43
	45.68	-	-	1.54	-	52.78

Cu접지봉 표면의 주된 원소는 Cu의 K와 L lines이다. 매설전 접지봉에서는 CuL, CuK, CuKb 스펙트라가 크게 보이고 있다. 매설후 2년경과된 Cu접지봉 표면의 스펙트라에서는 Cu의 K, L 외에 CaK, OK가 새롭게 나타난 것으로 보아 Cu접지봉 표면의 부식이 진행되고 있음을 알 수 있다. 매설후 3년이 경과한 Cu접지봉 표면의 스펙트라에서 3년이 경과하면서부터 Cu접지봉 표면의 변화가 커지고 있음을 알 수 있다.

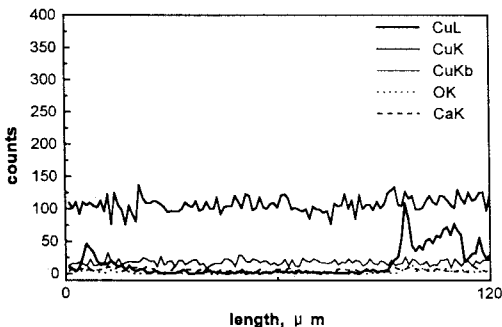


그림 5 EDX에 의한 Cu봉의 스펙트라
Fig. 5 Spectra of Cu rod by EDX

그림 6은 Cu접지봉 표면의 3년경과후 SEM사진이다. 접지봉 표면에 검거나 흰부분이 나타났는데 이 부분은 표 4에서 Cu원소가 적게 나타나고 다른 원소의 점유율이 높게 나타나는 부분으로 Cu접지봉 표면에 흡착된 불순물로 볼 수 있다.

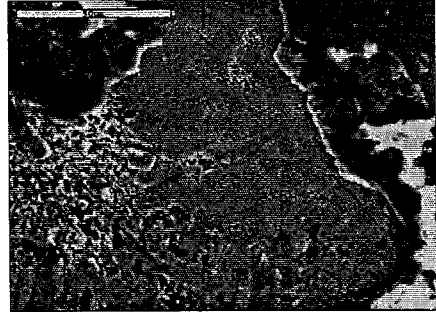


그림 6 Cu봉의 SEM 사진(3년경과)
Fig.6 SEM photograph of Cu rod(later three years)

5. 결 론

연간 대지저항률의 변화와 접지봉 5개 재질에 대한 경년별 중량감소를 살펴보았으며 이중 가장 범용성 있게 사용되는 Cu접지봉을 금속현미경, SEM, EDX로 분석한 결과 다음과 같은 사실을 알았다.

- (1) 연간 대지저항률 변화는 동절기(12, 1, 2월)에 높게 나타났으며 하절기(6, 7, 8월)에는 낮게 나타났다. 대지저항률의 변화폭은 평균 3.6배로 접지설계 및 시공시 대지저항률 월별 변동계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.
- (2) 접지봉과 접지선 연결에 사용한 커넥터 부분은 이중금속간의 부식으로 가장 심하게 부식되어 이 부분의 접속은 내식성을 고려하여 동종의 금속으로 압착 또는 용접 등의 접속이 요구된다.
- (3) 중량감소에 의한 접지봉 재질별 부식은 Fe가 2년경과후 1.2%, 3년경과후 1.95%로 5개강소중 가장 높게 나타났으며 Al, Cu-Zn, Cu, St 순으로 부식률이 나타났다.
- (4) Cu접지봉 표면의 조성분석결과 산화반응의 특징임을 알 수 있는 산소가 평균 2년경과후 14.7%, 3년경과후 30.3% 검출되었다. Cu원소는 3년경과후 7.3%의 감소율을 나타냈다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEEE Std. 80, "IEEE guide for Safety in AC Substation Grounding", 1986
- [2] 高鳴武, 王漢東, 作田忠裕, 佐藤壽穂, "Wenner 四電極法で得られた ρ -a 曲線解析のための解析範圍と補助曲線", 電學論 B, 115 卷, 7 号, pp 811~817, 平成 7 年
- [3] C. J. Blattner, "Study of driven ground rods and four point soil resistivity tests", IEEE, PAS Vol 101, No. 8, pp 2837~2850, Aug. 1982
- [4] F. Dawslibi, C. J. Blattner, "Earth Resistivity Measurement Interpretation Technique", IEEE, PAS Vol 103, No. 2, pp 374~382, Feb. 1984