

## A Study on the Secular Change Characteristics of Grounding Systems

金在珥<sup>†</sup>  
(Kim, Jae-Yee)

**Abstract** - In this paper, the secular changes of buried grounding electrodes was investigated; the electrodes are such facilities as grounding grid, grounding connector, grounding terminal and grounding rod etc.. The corrosiveness of removed substation grounding electrodes after commercial operation more than 50 years was measured and its conductivity deterioration trend was analyzed. The measuring results using three experimental methods were compared, finally the consideration for safe and economic grounding design were shown. As the result, it shows the maintenance necessity of grounding systems.

**Key Words** : Secular Change, Buried Grounding Electrodes, Corrosiveness, Removed Substation, Grounding Design

### 1. 서 론

전력용 변전소의 지중에 장기간 매설되어 있는 접지도체는 기계적 또는 전기 화학적 변화의 가능성이 있다. 접지선으로 사용되고 있는 연동선은 그 지역의 습도 및 토양 조건에 따라 부식정도가 다르게 나타나고 경년변화로 인해 전기전도성에 영향을 주기 때문에 접지선의 유지보수에 유의해야 한다.<sup>[1]-[4]</sup>

경년변화 연구용 시료확보의 어려움으로 인해 이 분야 국내 연구자료가 전무하고 국외에서도 접지저감제 효과의 검토를 위한 경년변화 연구에 관한 일부 자료가 있을 뿐이다.

따라서, 철거 변전소의 각종 접지도체 시편 확보를 위한 한전의 배려에 힘입어 각종 경년변화특성을 조사 분석하여 안전하고 합리적인 접지설비의 유지보수를 위한 몇 가지 결론을 도출하고자 한다.

### 2. 시료채취 및 실험방법

실험에 사용한 시료는 Y변전소(1938년 준공), C변전소(1946년 준공), N변전소(1983년 준공) 등의 66[kV] 철거변전소로부터 채취하였다. 시료 채취지점은 변압기 중성선 연결 개소를 포함한 접지계의 경년변화가 예상되는 취약개소를 주로 선정하였으며, 굴착기를 이용하여 채취하였다.

채취한 시료는 표면에 부착된 토양을 제거한 후 물로 세척하였고, 전선 표면을 아세톤으로 처리하여 유기물을 제거하였으며 약하게 결합된 불순물을 제거하기 위하여 초음파 세척

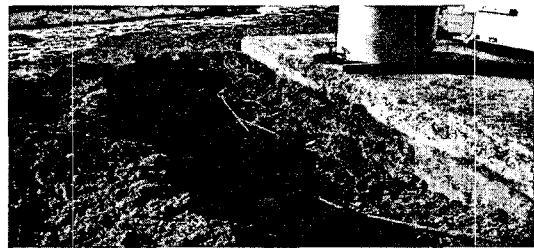


그림 2.1 시료채취(변압기측)  
Fig. 2.1 Sample picking(M.Tr side)



그림 2.2 시료채취(기초측)  
Fig. 2.2 Sample picking(concrete frame side)

기를 이용하여 세척하였다. XRD(X-ray Diffraction)결과를 채취된 시료의 부식 표면을 연마하여 얻은 부식질을 사용하고 부식된 전선을 diamond saw를 사용하여 5[mm]로 절단하여 표면을 관찰하였으며, XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) 및 EDX(Energy Dispersive X-ray Analyzer) 분석을 추가하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 동신대학교 정보통신공학과 교수

E-mail : j@dsu.ac.kr

接受日字 : 2005年 1月 31日

最終完了 : 2005年 2月 28日

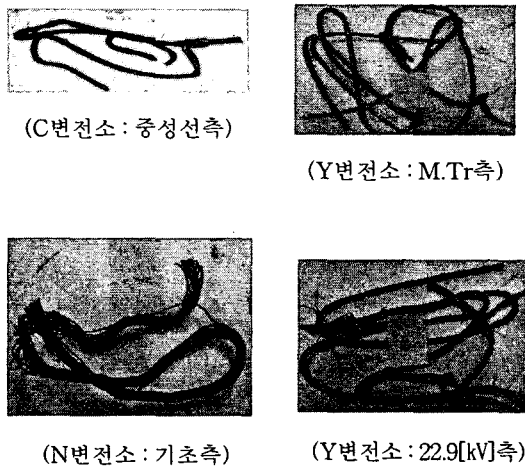


그림 2.3 접지도체 시료  
Fig. 2.3 Grounding conductors sample

그림 2.1은 가장 경년변화의 폭이 크리라고 예상되는 개소 중의 하나인 주변압기 주변의 접지선 채취장면이고, 그림 2.2는 토양속에 매설되어 있는 일반 접지선과 그 조건이 다른 콘크리트기초 속의 접지선 채취장면이다. 채취한 접지선의 대표적 샘플은 그림 2.3과 같다

3. 실험 및 결과고찰<sup>[5]-[8]</sup>

3.1 부식층의 물리적 고찰

접지도체의 부식 상태를 알아보기 위하여 지상에 노출된 부분의 전선, 지하에 매설된 부분의 전선과 접지단자를 2mol 황산과 2mol 질산의 혼합용액을 사용하여 부식된 부분과 부식되지 않은 부분을 분리하여 조사하였으며, 부식층의 두께는 평균하여 각각 1.4[ $\mu$ m], 7.2[ $\mu$ m], 6.8[ $\mu$ m]로 매설된 부분의 부식

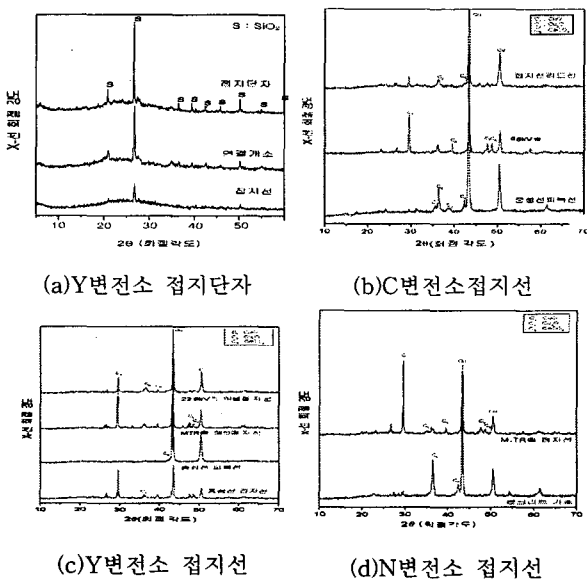


그림 3.1 X선 회절 결과  
Fig. 3.1 X-ray diffraction result

정도가 훨씬 심하였다.

그림 3.1은 부식층 잔유물의 X선회절 분석결과이다. 지상 노출 접지선의 부식층은 매설된 부분에 비해 SiO<sub>2</sub>의 양이 높고, 부식층의 두께에 따라 매설된 부분의 전기 전도성은 시간이 경과함에 따라 더욱 더 저하될 것이다.

표 3.1은 채취한 시료의 표면을 10[cm]로 절단한 뒤 5[cm]의 은박을 부식층 표면에 코팅한 후 시료와 은박 사이의 저항을 측정한 결과이다. 각 변전소 매설접지선의 표면은 심하게 부식되었으며 부식전선의 측정 위치에 따라 저항은 큰 차이를 보였다. 대체로 염해지역인 Y변전소 접지선의 전기 저항이 상대적으로 높았으며 M.Tr측 접지선의 전기저항은 다른 지점의 전기 저항보다 높음을 알 수 있다.

표 3.2는 XPS의 Cu 2p1과 Cu 2p3의 분석결과이며, 부식층 속에 금속 구리가 존재할 가능성이 낮기 때문에 Cu<sub>2</sub>O일 가능성이 높으므로 부식층 일부분의 구리산화물은 적은 분율의 CuO와 많은 분율의 Cu<sub>2</sub>O로 구성되어 있다고 판단된다.

표 3.1 접지도체 표면의 전기저항 측정값

Table 3.1 Electric resistance measuring values of conductors surface

구 분	C변전소			Y변전소			N변전소		
	피복중성선	66[kV]측	접지선리드선	피복중성선	중성선접지선	M.Tr측	22.9[kV]측	기초측	M.Tr측
부식층 저항 [Ω]	0	0~7×10 <sup>5</sup>	0~6×10 <sup>5</sup>	0	0~2×10 <sup>7</sup>	0~7×10 <sup>7</sup>	0~2×10 <sup>7</sup>	0~2×10 <sup>7</sup>	0~7×10 <sup>7</sup>

표 3.2 접지도체 표면의 XPS 분석결과

Table 3.2 XPS analysis results of conductors surface

구분	C변전소			Y변전소				N변전소	
	피복중성선	66[kV]측	접지선리드선	피복중성선	중성선접지선	M.Tr측	22.9[kV]측	기초	M.Tr측
Cu 2p1 [eV]	952	952	950	952	949	952	951	949	950
피크강도	10097	4398	721	57646	311	2105	3603	246	3976
FWHM [eV]	3.67	4.47	3.66	6054	4.75	3.75	3.27	2.42	3.53
Cu 2p3 [eV]	932	932	930	932	930	932	931	930	930
피크강도	20233	10457	1203	130136	685	4000	8708	405	9319
FWHM [eV]	3.58	4.12	2.24	11478	4.31	3.32	2.87	3.41	3.18

3.2 EDX와 XRD 분석결과

표 3.3은 Y변전소에서 채취한 중성선 피복선의 부식생성물의 EDX결과이다. 생성된 부식 물질들은 토양과 접촉하지 않은 피복된 상태이기 때문에 산화된 구리 외에 다른 생성물들은 관찰되지 않았다.

표 3.3 Y변전소 중성선의 EDX결과

4. 결 론

Table 3.3 EDX results of Y-substation neutral wire

구분	사각 기둥	사각 판상	구리 조직 부근의 판상형	클러스터			구리 조직	구형 결정
				판상형	구형	판상 형구형		
구리 atom [%]	74.82	96.32	98.11	56.65	75.21	72.89	95.70	81.93
산소 atom [%]	25.18	3.68	1.89	43.35	24.79	27.11	4.30	18.07

X선 회절 결과로부터  $2\theta$ 가  $20^\circ$  부근에 넓은 무정형의 산화규소의 피크 외에  $\text{CaCO}_3$ 의 날카로운 피크가 관찰되며 구리 산화물로서는  $\text{Cu}_2\text{O}$ 가 미량 관찰되었으며  $\text{CuO}$ 는 거의 관찰되지 않았다. C변전소의 결과도 Y변전소의 결과와 비교하여 칼슘의 양은 다소 적었으나 부식층의 원소 분포는 유사하였다.

시료를 채취한 모든 변전소에서 매설된 접지선의 부식생성물은  $\text{CaCO}_3$ 가 주 생성물이었으며  $\text{Cu}_2\text{O}$  외에 미량의  $\text{CuO}$ 가 관찰되었다. 특히 M.Tr측 접지선에서 높은 저항을 나타내고 이곳에 다량의  $\text{CaCO}_3$  결정성장되어 있는 것으로부터 이곳에 계속적으로 미량의 전류가 흘렀을 가능성이 크고, 계속적인 전기화학적 반응에 의해서  $\text{CaCO}_3$ 의 생성이 많았다고 생각되며 접지선의 전기 전도도를 낮추는 주원인으로 생각된다.

3.3 정상시와 과도시의 경년변화 특성분석

표3.4로부터 알 수 있는바와 같이 접지도체의 부식상태는 콘크리트 기초 내부의 접지선과 주변압기 중성선에 사용된 매설지선에 대하여 평균 0.1363[g]의 시료당 Ca가 41.9~80.1 [ppm]으로 나타났다. 접지도체의 임피던스는 상용주파수 대역에서 신품과 거의 동등하게 측정되었으며, 지락사고시 등의 썩어지가 인가되는 과도시를 감안한 경우 썩어지 주파수 대역(100MHz)에서 측정된 결과는 22.513~58.155[Ω/km]로 신품보다 최대 3.3배 높게 나타났다.

표 3.4 접지도체 경년변화 실측결과

Table 3.4 Measuring results of conductors secular change

구분	신품	Y 변전소		N 변전소	
		M.Tr 중성선	22.9kV 측	기초측	M.Tr 측
Ca[ppm]/ 0.1363g	0			41.9	80.1
임피던스 (Ω/km, 100MHz)	17.664 (정상상태 : 0.0893)	58.155	24.624	22.513	54.689

접지도체의 경년변화특성은 육안 검사의 결과는 대체적으로 양호하였으나 부식층이 전선 전체에 불연속적으로 퍼져있어 부식층을 형성하는 부분에서는 전기전도성이 저하되지만 불연속층에서는 전기 전도성에는 영향을 주지 않았다.

접지 시편의 X-선 회절분석 및 부식층의 표면분석 결과 지상에 노출된 도체, 지하에 매설된 도체와 접지판의 부식층의 두께는 평균하여 1.4[μm], 7.2[μm], 6.8[μm]로 접지단자와 연결된 부분의 부식정도가 훨씬 심한 것으로 나타났다.

또한 염해지역인 Y변전소의 M.Tr측 접지도체의 경년변화가 가장 현저하게 나타났으며 접지망 설치 기간이 증가함에 따라 부식층이 주로  $\text{CaCO}_3$ 로 형성되어 접지전극의 면적이 감소하게 되고 접지도체의 전기전도성이 저하되었다.

지락사고시 등의 썩어지가 인가되는 과도시를 감안한 경우 썩어지 주파수 대역(100MHz)에서 측정된 결과는 22.513~58.155[Ω/km]로 신품보다 최대 3.3배 높게 나타났다.

이상의 결과로부터 변전소 수명을 50년 정도로 감안한다면 변전소 운전기간동안 접지선의 경년변화로 인한 중대한 문제는 발생되지 않을 것으로 판단되나, 지락사고 등의 썩어지 유입이 빈번한 피뢰기 접지선이나 M.Tr 중성선 등 취약개소의 접지설비는 전기적, 기계적 접지전극 진단기법에 의한 정기적인 점검 및 보수가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 국내 최초로 66[kV]급 철거변전소에 대한 접지선의 경년변화 특성을 다뤘지만, 추후에는 지락사고의 횟수나 고장용량의 측면에서 보다 약조건이라고 추정되는 154[kV] 및 345[kV]급 변전소에 대해서도 연구가 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] 高橋健顔, 接地技術入門, オーム社, pp.69~100, 1993.
- [2] 高橋健顔, 接地設計入門, オーム社, pp.157~180, 1993.
- [3] IEEE Std-80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE, pp.113~118, 2000.
- [4] 電氣設備工事技術研究會 編, 接地工事 設計 地工 マニュアル(第2版), オーム社, pp.317~326. 昭和54年.
- [5] Rahela Gasparac, Charles R. Martin, EMA Stulnisek-Lisac, and Zoran Mandic, "In Situ and Ex Situ Studies of Imidazole and Its Derivatiaes as Copper Corrosion inhibitors II. AC Impedance, XPS, and SIMS Studies", Journal of The Electrochemical Society, 147 (3), pp. 99 1~998, 2000.
- [6] G.M. Treacy, G.D. Wilcox, "Surface analytical study of the corrosion behaviour of chromAte passivated Al 2014 A T-6 during salt for exposure", Applied Surface Science 157, pp.7~13, 2000.
- [7] C.W. Yan, H.C. Lin, C.N. Cao, "Investigation of inhibition of 2-mercaptobenzoxazole for copper corrosion", Electrochimica Acta 45, pp. 2815~2821, 2000.
- [8] H. Baba, T. Kodama, "Corrosion inhibition and characteristics of the triazinedithiol surface film on copper under potentiostatic anodization", Corrosion Science 41, pp.1987~2000, 1999.