

접지계의 경년변화 특성

김재이 고태석
 동신대학교 전기전자정보통신공학부, 신소재공학부

Secular Change Properties of Grounding Systems

Kim, Jae-Yee Ko, Tae-Suk
 Dept. of Electrical & Electronics, Information Communication Engineering, Dongshin Univ.

Abstract - 본 논문에서는 철거변전소의 각종 접지설비시편을 채취하여 접지계의 경년변화특성을 조사 분석하였다.

매설후 30년이상 경과한 시편에 대한 육안검사의 경우, 대체로 양호하였으나 지하에 매설된 전선의 외부는 부식층이 형성되었고 전선내부는 산화물을 형성하고 있었으나 전기전도성에는 크게 영향을 미치지 않았다.

1. 서론

전력용 변전소의 접지설비는 인축의 안전 및 기기보호 나아가서는 계통의 신뢰도를 위해 대단히 중요한 역할을 담당하고 있다.

그 중에서도 지중에 장기간 매설되어 있는 접지 도체는 기계적인 침식 가능성이 있고, 썩어지나 중성선 전류 유입개소의 접지 도체는 전기 화학적 변화의 가능성이 있다. 또한 선로 사고시 발생하는 대전류가 중성선을 귀로로 하여 접지로 흐를 수 있다.

접지선으로 사용되고 있는 연동선은 그 지역의 습도 및 토양 조건에 따라 부식정도가 다르게 나타나고 경년 변화로 인해 전기전도성에 영향을 주기 때문에 접지선의 유지보수에 유의해야 한다.

따라서, 철거 변전소의 각종 접지 설비의 시편을 채취하여 경년변화특성을 분석해서 그에 따른 안전대책을 강구할 필요가 있다.

2. 본론

2.1 실험 방법

실험에 사용한 시료는 Y변전소(1938년 준공), C변전소(1946년 준공), N변전소(1983년 12월 준공), K변전소(1985년 6월 준공) 등의 66[kV] 철거변전소로부터 채취하였다.

시료 채취지점은 변압기 중성선과 M.Tr 등 각 개소와 접지망의 연결된 부분이며, 지표면 아래 약 1[m] 지점에서 굴착기를 이용하여 채취하였다.

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

XRD(X-선 회절분석, Rigaku)결과는 채취된 시료의 부식 표면을 연마하여 얻은 부식질을 사용하였으며, SEM(전자현미경 분석, Jeol)결과는 부식된 전선을 5[mm]로 절단하여 표면을 관찰하였다.

시료의 채취과정과 대표적 샘플은 그림 2.1~그림 2.3과 같다.

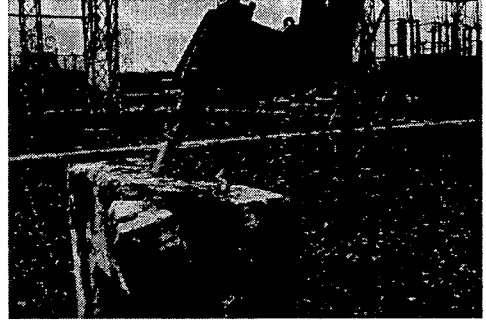


그림 2.1 시료 채취 1 (N변전소)



그림 2.2 시료채취 2 (C변전소)

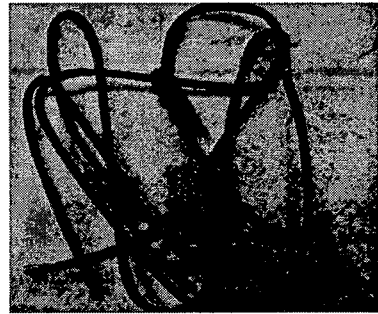


그림 2.3 시료 (Y변전소 : M.Tr 측 매설접지선)

2.2 결과 및 고찰

가. 부식층의 물리적 고찰

접지선으로 사용된 구리전선과 매설된 전선의 부식 상태를 알아보기 위하여 지상에 노출된 부분의 전선, 지하에 매설된 부분의 전선과 접지판을 2 mol 황산과 2 mol 질산의 혼합용액을 사용하여 부식된 부분과 부식되지 않은 부분을 분리하여 부식상태를 조사하였다.

지상에 노출된 전선, 지하에 매설된 전선과 접지판의 부식층의 두께는 평균하여 1.4[μ m], 7.2[μ m], 6.8[μ m]로 매설된 부분의 부식정도는 훨씬 심하였다.

전선을 산처리 하면 산성분인 SiO₂를 제외한 금속산화물, 금속탄화물, 금속수산화물 등은 모두 용해된다.

그림 2.4은 부식층을 황산과 질산으로 처리하여 생성된 잔유물의 X선회절 분석결과다. 지상에 노출된 전선의 부식층은 매설된 부분의 부식층에 비하여 SiO₂의 양이 높음을 보인다. 지상에서 가까운 부분의 전선은 토양속의 규소 성분이 확산하여 결정성이 좋은 SiO₂를 생성하고 부식층의 두께가 얇은 것으로 보아 거의 SiO₂ 형태만의 부식층을 형성하는 반면 매설된 부분은 수분 및 여러 가지 금속물질을 포함하는 토양으로부터 SiO₂ 외에 다른 부식층을 형성하는 것으로 판단된다.

따라서, 부식층의 두께에 근거하여 매설된 부분의 전기저도성은 매설시간이 경과함에 따라 급속히 저하될 것이다.

표 2.1은 채취한 시료의 표면을 10[cm]로 절단한 뒤 5 [cm]의 은박을 부식층 표면에 코팅한 후 전선과 은박 사이의 저항을 측정된 결과이다. C변전소나 Y변전소의 증성선 피복선의 전기저항은 매우 낮았다. C을 비롯하여 Y변전소와 N변전소의 매설접지선의 표면은 심하게 부식되었으며 부식전선의 측정 위치에 따라 저항은 큰 차이를 보였다. 대체로 염해지역인 Y변전소의 접지선의 전기저항이 상대적으로 높았으며 M.Tr 측 접지선의 전기저항은 다른 지점의 전기저항보다 높음을 알 수 있다.

표 2.2는 변전소에서 채취한 시편의 XPS의 Cu 2p와 Cu 2p₃의 분석결과이다.

결합에너지가 낮은 Cu 2p₃가 Cu⁺ 즉 Cu₂O, 높은 쪽 Cu 2p₁이 CuO에 해당한다. 또한 이들 시편들의 FWHM(피크중간지점에서의 폭)의 값은 2 eV보다 커서 하나 이상의 원자가 상태가 존재함을 시사하고 있다. 이들 피크를 2개 이상의 정규분포 곡선으로 분해하여 금속구리와 이온상태의 구리를 구별할 수도 있으나 금속 Cu와 Cu 2p₁의 에너지가 거의 같아 정확히 Cu₂O인지 금속 구리인지 알 수 없다. 그러나 분석에 사용한 시편들은 상당히 많은 양의 부식층을 형성하고 있고 부식층 속에 금속 구리가 존재할 가능성이 낮기 때문에 Cu₂O일 가능성이 높다. 이것을 근거로 하여 부식층 일부분의 구리산화물은 적은 분율의 CuO와 많은 분율의 Cu₂O로 구성되어 있다고 생각된다.

표 2.1 접지 전선의 채취 부위에 따른 전선표면의 전기저항 측정결과

구 분	C변전소			Y변전소				N변전소	
	변압기중성선피복선	66[kV] 측 매설접지선	접지선	변압기중성선피복선	변압기중성선	M.Tr 측 매설접지선	22.9[kV] 측 매설접지선	콘드리트 기초	M.Tr 측 매설접지선
부식층 저항 [Ω]	0	0 ~ 7×10 ⁵	0 ~ 6×10 ⁵	0	0 ~ 2×10 ⁷	0 ~ 7×10 ⁷	0 ~ 2×10 ⁷	0 ~ 2×10 ⁷	0 ~ 7×10 ⁷

표 2.2 접지 전선의 채취 부위에 따른 전선표면의 XPS 분석결과

구 분		Cu 2p ₁ [eV]	피크 강도	FWHM [eV]	Cu 2p ₃ [eV]	피크 강도	FWHM [eV]
C변전소	변압기중성선피복선	952	10097	3.67	932	20233	3.58
	66[kV] 측 매설접지선	952	4398	4.47	932	10457	4.12
	접지선리드선	950	721	3.66	930	1203	2.24
Y변전소	변압기중성선피복선	952	57646	6054	932	130136	11478
	변압기중성선접지선	949	311	4.75	930	685	4.31
	M.Tr 측 매설접지선	952	2105	3.75	932	4000	3.32
	22.9[kV] 측 매설접지선	951	3603	3.27	931	8708	2.87
N변전소	콘드리트 기초	949	246	2.42	930	405	3.41
	M.Tr 측 매설접지선	950	3976	3.53	930	9319	3.18

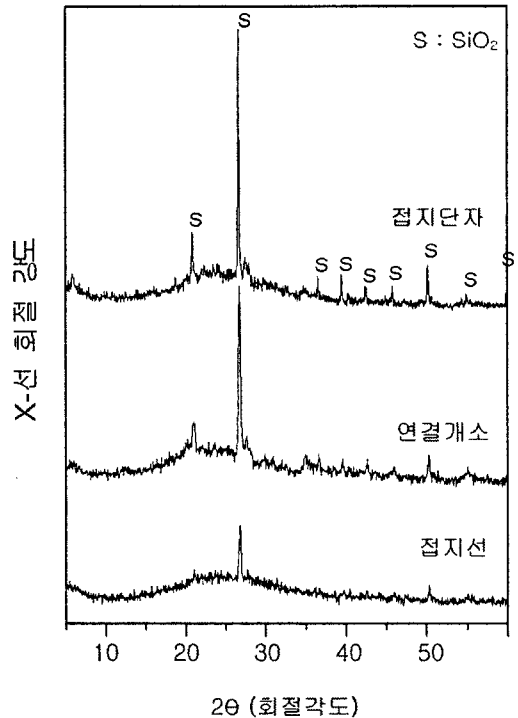


그림 2.4 Y변전소로부터 채취한 접지단자의 산용해 잔유물의 X-선회절 결과

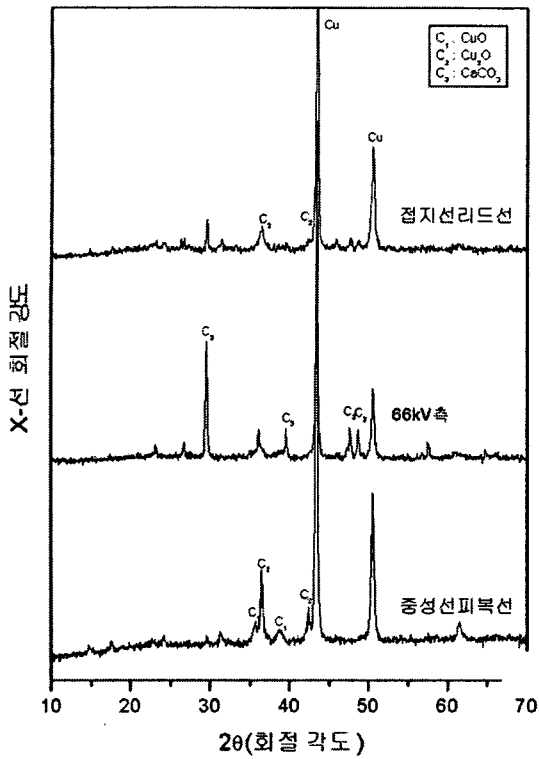


그림 2.5 C변전소에서 채취한 매설접지선 부식층의 X-선 회절그림

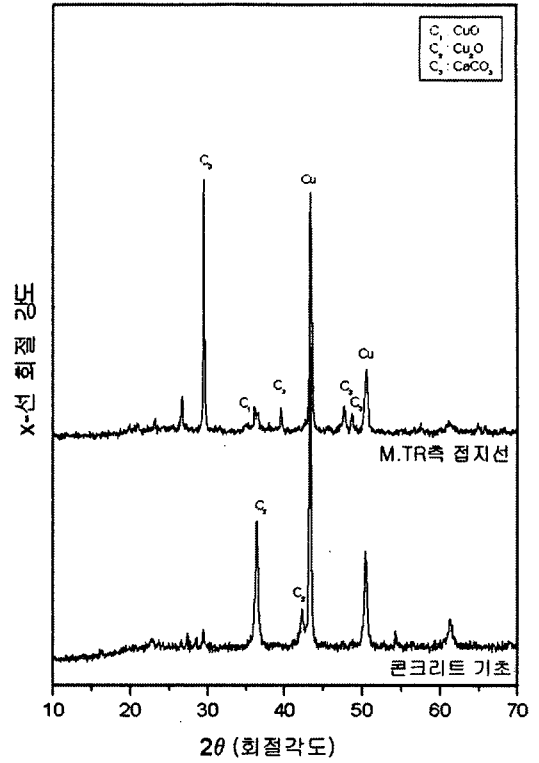


그림 2.7 N변전소에서 채취한 매설접지선 부식층의 X-선 회절그림

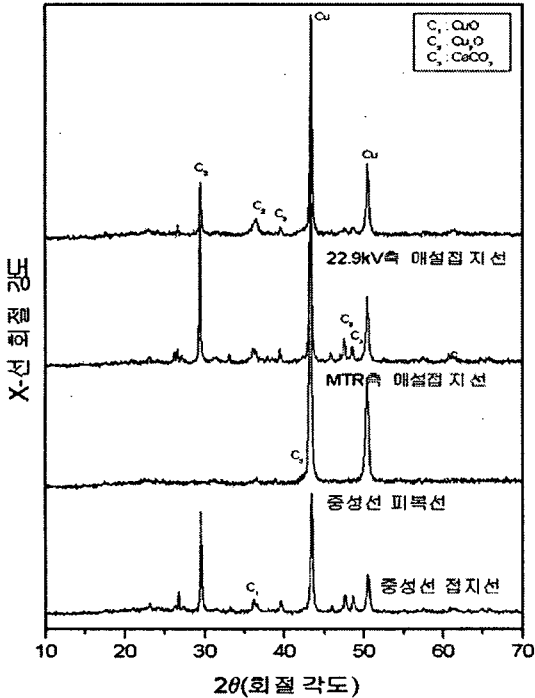


그림 2.6 Y변전소에서 채취한 매설접지선 부식층의 X-선 회절그림

나. EDX와 XRD 분석결과

표 2.3은 Y변전소에서 채취한 중성선 피복선의 부식 생성물의 EDX결과이다. 생성된 부식 물질들은 모양과 접촉하지 않고 피복된 상태이기 때문에 산화된 구리 외의 다른 생성물들은 관찰되지 않았다.

XRD 결과로부터(그림 2.4~2.7) 피복된 전선의 부식 생성물로 Cu_2O 의 산화구리가 주로 관찰되었으며 미량의 CuO 가 관찰되었다. 중성선 피복선의 부식 생성물은 주로 구리와 공기중에서 확산된 산소에 의한 것으로 생각된다.

표 2.3 Y변전소에서 채취한 중성선 피복선의 부식생성물의 EDX결과

구분 (결정모양)	사각 기둥	사각 판상	작은구 형물러 스터	구리조직 부근의 판상형	판상형 클러스 터	판상형 구형물 러스터	구리 조직	조직내 구형결 정
구리 atom[%]	74.8 2	96.3 2	75.21	98.11	56.65	72.89	95.7 0	81.93
산소 atom[%]	25.1 8	3.68	24.79	1.89	43.35	27.11	4.30	18.07

표 2.4는 Y변전소의 중성선 접지선의 부식 생성물의 표면 원소 분석결과로서 중성선 접지선은 토양속에 오랫동안 부식을 받아왔기 때문에 부식층의 생성물의 조성은 구리와 산소외에 알루미늄, 규소, 칼륨, 칼슘, 철 등외에 XPS결과로부터 미량의 로듐, 주석, 아연, 질소가 함유된 것으로 나타났다. 특히 규소와 칼슘의 양이 부식층에 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 물질들은 해변가의 토양은 굴껍질 등 다량의 칼슘을 포함하기 때문에 당연한 것으로 생각된다.

X선 회절 결과로부터 2θ 가 20° 부근에 넓은 무정형의 산화규소의 피크외에 CaCO_3 의 날카로운 피크가 관찰되며 구리산화물로서는 Cu_2O 가 미량 관찰되었으며 CuO 는 거의 관찰되지 않았다. C변전소의 결과도 Y변전소의 결과와 비교하여 칼슘의 양은 다소 적었으나 부식층의 원소 분포는 유사하였다. 준공된지 17년 된 K변전소의 경우 생성물 분포는 다른 변전소와 유사하였으나 금속의 산화물, 탄화물 등 부식생성물은 다른 변전소에서처럼 잘 발달되지 않았다.

표 2.4 Y변전소의 중성선 접지선의 부식 생성물의 표면 원소 분석결과(%)

결정모양, 조성	관상형	구형 또는 사각판상	사각기둥	사각기둥	육각판상형	큰 사각기둥	관상형
구리	3.39	0.48	2.15	70.23	43.91	85.02	63.31
산소	52.42	41.22	19.51	22.76	16.40	4.51	19.55
알루미늄	7.88	12.12		2.40	15.18	2.64	4.73
규소	20.23	39.08		3.51	21.28	5.26	6.08
칼륨	2.29	5.26	1.05				0.45
칼슘	13.66	1.36	76.39	0.78	2.17	1.77	0.91
철	0.14	0.49	0.90	0.31	1.07	0.79	0.58
마그네슘							3.77
티타늄							0.63

시료를 채취한 모든 변전소에서 매설된 접지선의 부식 생성물은 CaCO_3 가 주 생성물이었으며 Cu_2O 외에 미량의 CuO 가 관찰되었다. 특히 Y변전소의 부식생성물은 C변전소에 비교하여 Cu_2O 의 생성이 적었으며, CaCO_3 의 생성은 상대적으로 많았고 많은 금속 산화물로 이루어진 부식생성물을 포함하고 있음을 보인다.

특히 M.Tr측 접지선에서 높은 저항을 나타내고 이곳에 다량의 CaCO_3 결정성장되어 있는 것으로부터 이곳에 계속적으로 미량의 전기가 흘렀을 가능성이 크고, 계속적인 전기화학적 반응에 의해서 CaCO_3 의 생성이 많았다고 생각되며 접지선의 전기 전도도를 낮추는 주원인으로 생각된다.

3. 결 론

철거변전소의 접지설비 경년변화특성을 분석한 주요결과를 요약하면 육안 검사의 결과는 대체적으로 양호하였으나 지하에 매설된 전선의 외부는 토양속의 금속 산화물, 탄화물, 수산화물 등의 부식층을 형성하였고 전선 내부는 구리산화물인 CuO , Cu_2O , 녹청 등의 산화물을 형성하고 있었다. 이와 같은 부식층은 전선 전체에 불연속적으로 퍼져있어 부식층을 형성하는 부분에서는 전기전도성이 저하되지만 불연속 층에서는 전기 전도성에는 영향을 주지 않았다.

접지 시편의 X-선 회절 분석 및 부식층의 표면분석결과 지상에 노출된 전선, 지하에 매설된 전선과 접지판의 부식층의 두께는 평균하여 $1.4[\mu\text{m}]$, $7.2[\mu\text{m}]$, $6.8[\mu\text{m}]$ 로 접

지단자와 연결된 부분의 부식정도가 훨씬 심한 것으로 나타났다.

또한 염해지역인 Y변전소의 M.Tr 측 접지 도체의 경년변화가 가장 현저하게 나타났으며 접지망 설치기간이 증가 함에 따라 부식층이 주로 CaCO_3 로 형성되어 접지전극의 면적이 감소하게 되고 접지도체의 전기전도성이 저하되었다.

이상의 결과로부터 변전소 수명을 50년 정도로 감안한다면 변전소 운전기간동안 접지선의 경년변화로 인한 중대한 문제는 발생되지 않을 것으로 판단되나 시공 후 접지선, 접지단자 및 접지동봉 등의 부식 및 물리적 손상 변화에 유의하여 안전한 접지 상태를 유지할 수 있도록 점검 및 보수가 필요하다고 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Shyam P. Murarka 외 2명, Copper-Fundamental Mechanisms for Microelectronic Applications, Wiley Inter-Science, 2000.
- [2] L. Tommesani, G. Brunoro, A. Frignani, C. Monticelli & M. Dalcolle, "On The Protective Action Of 1,2,3-Benzotriazole Derivative Films Against Copper Corrosion, Process", Corrosion Science, Vol. 40, No.11, pp.1915~1926, 1998.
- [3] H. Kim, J. Jang, "Corrosion protection and adhesion promotion for polyimide/copper system using silane-modified polymeric materials", Polymer 41, pp. 6553-6561, 2000.
- [4] Rahela Gasparac, Charles R. Martin, EMA Stulnisek-Lisac, and Zoran Mandic, "In Situ and Ex Situ Studies of Imidazole and Its Derivatives as Copper Corrosion Inhibitors II. AC Impedance, XPS, and SIMS Studies", Journal of The Electrochemical Society, 147 (3) pp. 991-998, 2000.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] R. Tremont, H. De Jesus-Cardona, J. Garcia-Orozco, R.J. Castro and C.R. Cabrera, "3-Mercaptopropyltrimethoxysilane as a Cu corrosion inhibitor in KCl solution", Journal of applied Electrochemistry 30, pp.737-743, 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.