

접지재료의 선정

접지란 대지에 전기적 터미널을 설치하는 것으로, 설비 기기에서 대지까지의 전기적 회로를 구성하기 위한 접지선과 터미널 역할을 하는 접지전극이 필요하다.

여기서, 접지선의 전류용량, 접지선과 접지전극의 접속 신뢰성 등 전기회로적인 문제, 접지극의 부식이 문제가 된다. 따라서, 접지의 신뢰도를 높이는 적절한 접지 재료를 선정할 필요가 있다.

보안용 접지계통은 정상상태에서는 지락전류가 흐르지 않으나, 사고가 발생하면 지락전류를 용이하게 대지에 흘려 전위상승을 억제할 필요가 있다. 따라서 설계단계에서 지락사고를 상정하고 이에 대처하기 위한 접지 계통을 갖추어야 한다.

접지재료로 필요한 조건은 전류용량, 내부식성, 시공성 등인데, 재료가 지사에 시공되는냐, 대지에 시공되는냐에 따라 조건이 다르다. 예를 들어, 지락전류와 뇌전류에 의한 접지선 자체 혹은 접속부의 용단에 대해 지상공간이면 줄(Joule)열은 공기중이므로 방산된다. 그러나, 대지에서는 방열이 잘 안되며, 이것은 접지선의 굵기에 관계가 있다. 또, 대지이면 접지전극 자체나 접속부에 부식이 발생하며, 이는 재질, 치수에 관계가 된다. 따라서, 접지선, 전극은 신뢰도가 높은 적절한 재료를 선정하기 위한 조건을 고려해야 한다.⁽²⁾

1. 전류 용량

도체에 전류가 흐르면 줄열이 발생하므로 이 전류값은 통전시간에 관계 있다. 도체에 전류가 흐르면 줄열이 발생하므로 이 전류값은 통전시간에 관계 있다. 도체로서 접지계를 구성하는 접지선, 뇌의 경우 피뢰도선, 선상, 봉상은 접지전극으로 표현된다.

(1) 접지선

접지선에 전류가 흐르면 줄열이 발생하고 절연피복이 타거나 주위의 가연물에 위험을 미치거나, 최악의 경우 접지선 자체가 용단될 수도 있다. 전로로서의 기능을 만족하기 위해서는 충분한 전류용량, 즉 어느 정도의 도체 단면적이 필요하다. 도체 단면적은 전류, 통전시간, 온도, 재료의 특성값 등을 이용하여 다음과 같은 IEEE 표준식을 이용하여 구한다.

$$A = I \sqrt{\frac{\frac{t_c a_r \rho_r \times 10^4}{TCAP}}{\log\left\{1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a}\right)\right\}}}$$

- 단, I : 접지선에 흐르는 전류[kA]
 A : 접지선의 단면적[mm²]
 T_m : 최대 허용온도 [°C]
 T_a : 주위온도[°C]
 T_r : 물리정수 기준온도[°C]
 a₀ : 0[°C]일 때 도체의 열저항률
 a_r : T_r일 때 도체의 열저항률
 ρ_r : T_r일 때 도체의 저항률[μΩ/cm²]
 K₀ : 1/a₀
 t_c : 통전시간[s]
 TACP : 열용량 계수[J/cm²·C]

재료의 물리정수는 표 2.6과 같다. 또, Onderdonk식은 위 식의 기초가 되는 것으로 다음과 같이 나타낸다.

$$I = A \sqrt{\frac{1}{33s} \log\left(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T_a}\right)}$$

- 단, I : 전류[A]
 A : 동접지선 단면적[cmils]
 s : 통전시간[s]

위 식을 근거로, 각종 재료의 물리정수를 대입하여 통전시간과 접지선 치수의 관계를 그림 2.38에 표시하였다.

우리나라에서는 접지선(동선)의 굵기를 결정하는데, 일반적으로 다음 식을 이용하고 있다.

표 2.12 재료의 물리정수

전 선 재 료	그림 2.25의 대응번호	도전률 [%]	α_r (at 20°C)	K_0 ($1/\alpha_0$) (at 0°C)	용융온도 (°C)	ρ_r [$\mu\Omega/\text{cm}^2$] (at 20°C)	TCAP [$\text{J}/\text{cm}^2\cdot\text{C}$]
연 등 선	1	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
경 등 선	2	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
동 복 강 선	3	40.0	0.00378	245	1084/1300	4.397	3.846
동 복 강 선	4	30.0	0.00378	245	1084/1300	5.862	3.846
알루미늄선	5	61.0	0.00403	228	657	2.862	2.556
내식알루미늄 #5005	6	53.5	0.00353	263	660	3.2226	2.598
내식알루미늄 #6201	7	52.5	0.00347	268	660	3.2840	2.598
알루미늄 복강선	8	20.3	0.00360	258	660/1300	8.4805	2.670
아연도금강선	9	8.5	0.00320	293	419/1300	20.1	3.931
스테인리스강 #304	10	2.4	0.00130	749	1400	72.0	4.032

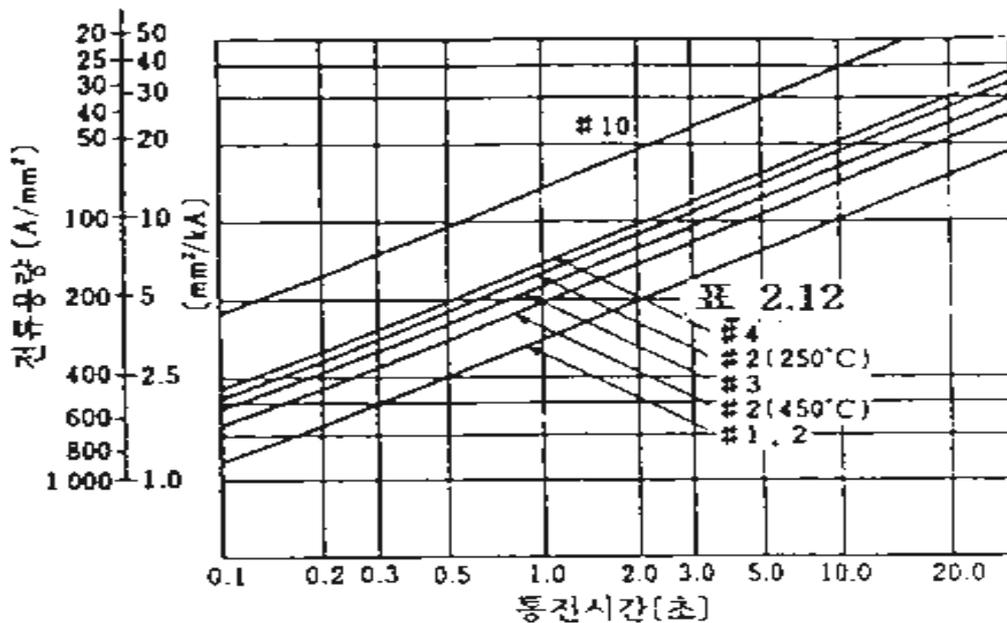


그림 2.38 접지선의 전류용량

$$A = I \sqrt{\frac{t_c \times 8 \times 10^{-3}}{T_m - T_a}}$$

- 단, A : 접지선 단면적 [mm²]
 I : 접지선에 흐르는 전류 [A]
 T_m : 최대허용 온도 [°C]
 T_a : 주위온도 [°C]
 T_c : 통전시간 [s]

위 식을 이용하여 계산할 경우는 전원측 과전류차단기의 동작특성과 관계되고, 다음과 같은 고건이 필요하다.

- (1) 접지선에 흐르는 고장전류는 전원측 과전류차단기의 정력전류의 20배로 한다.
 - (2) 과전류차단기는 정력전류의 20배 전류에서도 0.1초 이하에서 동작한다.
 - (3) 고장전류가 흐를 때 접지선 주위온도는 30[°C]로 한다.
 - (4) 고장전류가 흐를 때 접지선 최대 허용온도 T_m은 150[°C]로 한다.
- 따라서, 최대허용온도 T_m=150[°C], 주위온도 T_a=30[°C]를 위 식에 대입하고, 통전시간을 파라미터로 하여 전류와 단면적 관계를 보면 그림 2.39과 같다.

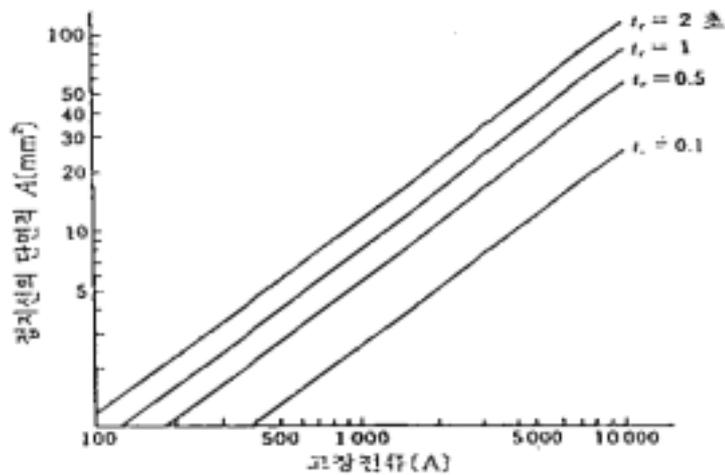


그림 2.39 고장전류와 접지선 굵기의 관계

설비기기에서 접지극까지의 접지선은 일반적으로 600[V] 비닐 절연전선 (IV)이 쓰인다. IV선을 접지선으로 사용할 때는 녹색이어야 하며 최고 허용온도는 60[°C]이다. 기타 접지선으로는 600[V]비닐절연 캡타이어케이블(VCT), 이중 비닐 절연전선 등이 이용되고 있다.

(2) 피뢰도선

피뢰도선은 뇌전류를 흘리기 위한 전로이므로 도체의 굵기에 특히 유의할 필요가 있다. 도체에 흐르는 시간을 정상전류에 대해서는 통전시간으로 표시하였는데, 뇌전류에 대해서는 그림 2.40과 같이 파미장(波尾長)으로 나타내는 것이 일반적이다. 이 파미장은 [μs]단위 정도로 도체에 흐르는 시간은 매우 짧다.

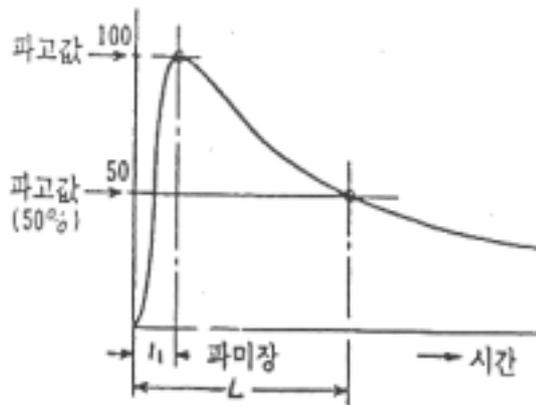


그림2.40 뇌전류의 파미장

피뢰도선의 굵기를 결정하기 위한 Masrhall식은 다음과 같다.

$$A = \frac{I \cdot T}{K}$$

- 단, A : 피뢰도선의 단면적 [cmils]
- I : 피뢰도선에 흐르는 전류 [KA]
- K : 재료의 특성값(표 2.13)
- T : 전류 파미장 [μs]

표 2.13 재료의 K값

금속재료	K
동	320000
알루미늄	200000
황동	200000
동	220000

뇌전류가 피뢰도선을 통과하는 시간은 그림 2.40에서 파미장을 9,18,40 [μs]의 3종류로 하고, 전류와 피뢰도선(동선으로 한다)의 단면적 관계를 보면 그림 2.28과 같이 된다.

Marshalltr은 도체의 온도에 대해서는 언급이 없으며, 뇌전류값은 크나 단 시간이고, 피뢰도선은 나산이므로 온도상승을 고려한 허용 최대온도를 설정해도 현실적이지 못하다.

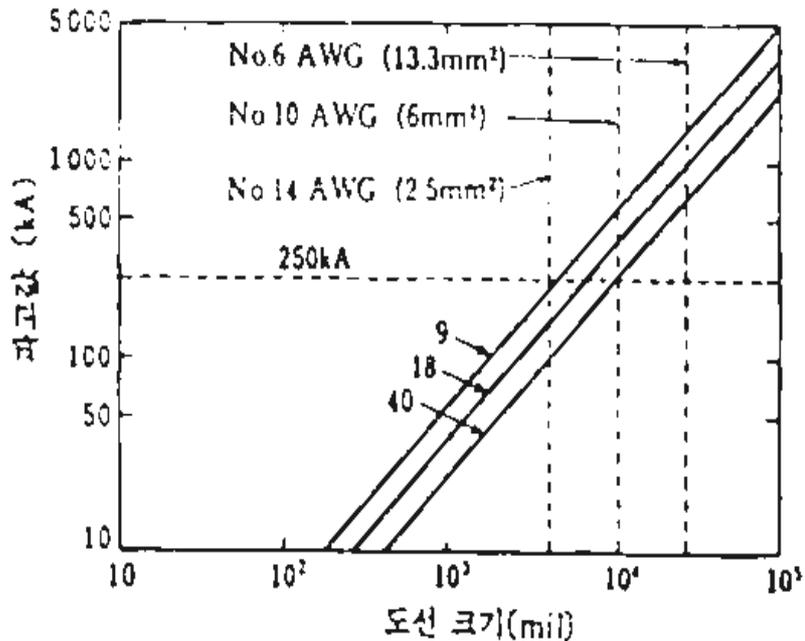


그림 2.41 뇌전류와 피뢰도선 단면적의 관계

(3) 접지전극

접지전극은 땅속에 묻혀 있으므로 지상에 있는 접지선과는 조건이 전혀 다르다. 접지전극의 전류용량이 토양의 전기저항률(대지저항률)과 토양과 접촉하는 전극의 접촉면적에 관계가 있다는 것이 캐나다의 CP문헌에 있는데, 그 식은 다음과 같다.

$$I_0 = \sqrt{\frac{49}{\rho \cdot t}}$$

단, I_0 : 접지전극 표면의 전류밀도[A/cm²]

ρ : 대지저항률[$\Omega \cdot \text{cm}$]

t : 통전시간[s]

앞 식의 I_0 는 단위면적당의 전류이므로, 전극전체의 전류용량은 전극표면적을 곱하여 구할 수 있다.

앞 식을 근거로 봉상전극(반지름 0.7[cm], 길이 150[cm])과 판상전극(90×90[cm])의 경우 통전시간과 전류용량의 관계를 보면, 그림 2.42와 그림 2.43과 같다.

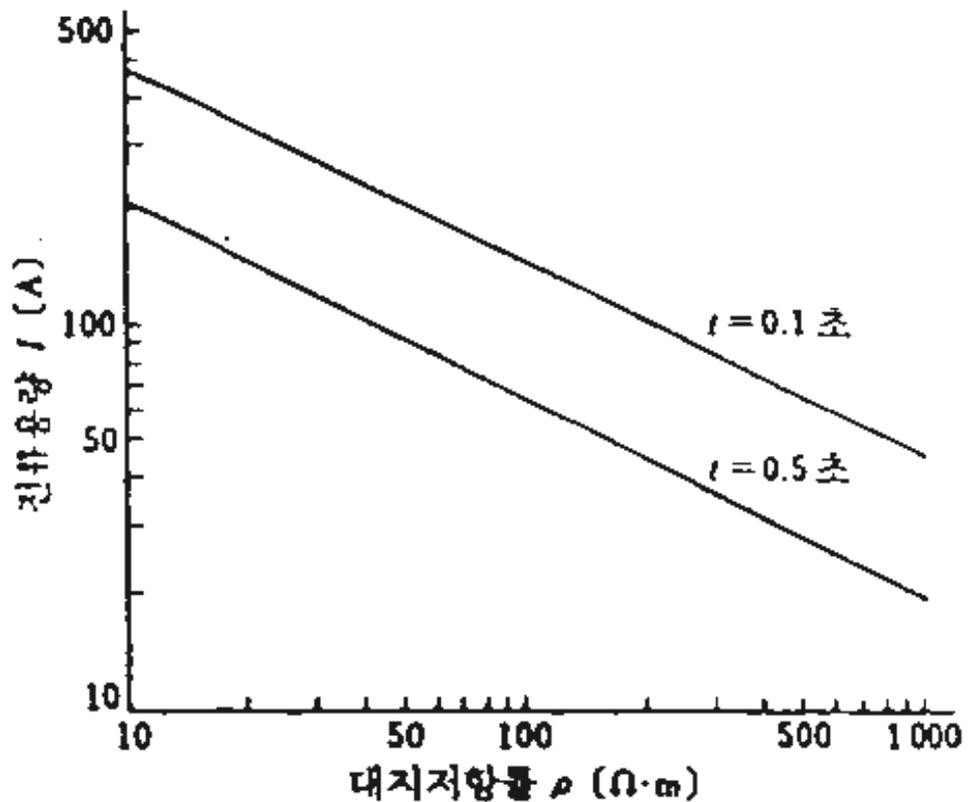


그림 2.42 통전시간과 전류용량이 관계(봉상전극의 경우)

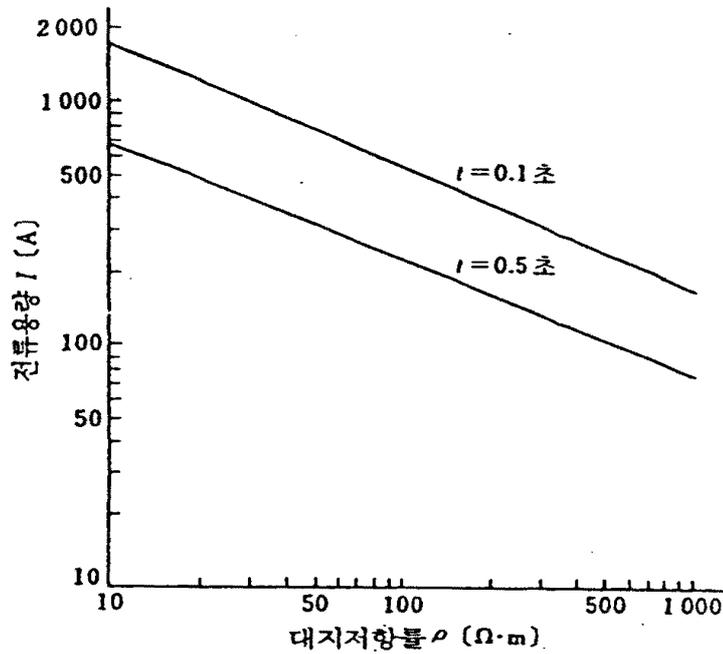


그림 2.43 통전시간과 전류용량의 관계(판상전극의 경우)

앞의 식은 선상, 대상전극에도 적용되나 도체의 온도에 대한 조건이 없다. IEEE에서는 선상전극을 결정하는 데 앞의 식을 사용하여, 어떤식을 사용하든 계산에는 큰 차이가 생기지 않는다.

2. 내부식성

접지는 전극과 대지라는 서로 성질이 전혀 다른 것과의 접촉이며 전극은 대지의 단자 역할을 하고 일반적으로 금속재료가 이용되고 있으나 부식이 문제이다.

따라서, 부식문제는 접지관리 중에서 가장 중요한 것으로 재료 선정시에는 시공장소의 대지저항률, pH 등 물리 화학적 파악, 주위환경, 이를테면 철도의 선로등의 유무를 파악할 필요가 있다.

여기서는 부식에 관한 기초지식과 자연부식, 전식의 실태조사를 소개한다.

(1) 부식의 형태

부식을 분류하면 그림 2.44과 같이 습식과 건식으로 분류되고, 습식은 수분을 포함하는 부식으로, 전기화학적 반응으로 진행하기 때문에 전식(電蝕)과

자연부식(自然腐食)으로 분류한다.

건식은 수분이 없는 부식으로 습도가 높은 공기와 반응선 가스에 의한 것으로 화학적 반응으로 진행되는 것이다.

접지전극의 부식은 습식에 속하는 것으로 부식형태는 다음과 같이 5종류가 있다.

① 국부전지 부식(마이크로 셀 부식)

금속표면은 불순물, 산화물, 기타 피막, 결정구조 등에 의해 매우 불균일하다.

즉, 전극전위는 동일 금속이라도 부분적으로는 전위차가 존재한다. 이 전위차에 의해 국부전지가 형성되고 부식이 진행된다.

② 농담전지(濃淡電池) 부식(마이크로 셀 부식)

동일금 속이 다른 부분에서 액종의 염류농도나 용존 가스(O₂ 등) 량이 다른 경우 금속표면에 양극부분을 형성하고 양극부분의 부식이 촉진된다.

가장 중요한 것은 공기가 통하는 차이에 기인하여 형성되는 산소 농담전지이다. 항상 동이부분이 양극으로 되어 부식하므로 공식(孔蝕)을 발생하기 쉽다.

③ 세균 부식

매설 금속체의 부식은 토양 중에 있는 세균 때문에 현저히 촉진된다.

그 중 대표적인 것은 유산염 환원 박테리아이고 산소농도 pH 6~8의 점토질 토양 중에 가장 번식하기 쉬운 혐기성(嫌氣性) 세균이다.

④ 이종금속(異種金屬) 접촉 부식(갈바닉 부식)

이종금속이 결합하여 부식되는 것으로 고전위 금속과 저전위 금속이 접촉할 경우 후자가 부식을 받는다. 토양 중에서 이 부식이 많이 일어나는 사례로는 황동밸브와 직결된 철관, 동제 접지체와 연결된 철 구조물 등이 있다.

⑤ 전식

설매 금속체에 어떤 원인으로 외부에서 전류가 흘러 부식되는 것으로 도시의 지하와 같이 여러 종류의 매설물이 혼합되어 있을 때 전류가 저항이 작은 경로로 흐를 때 유출점에 전식 피해가 발생하는 경향이 있다.

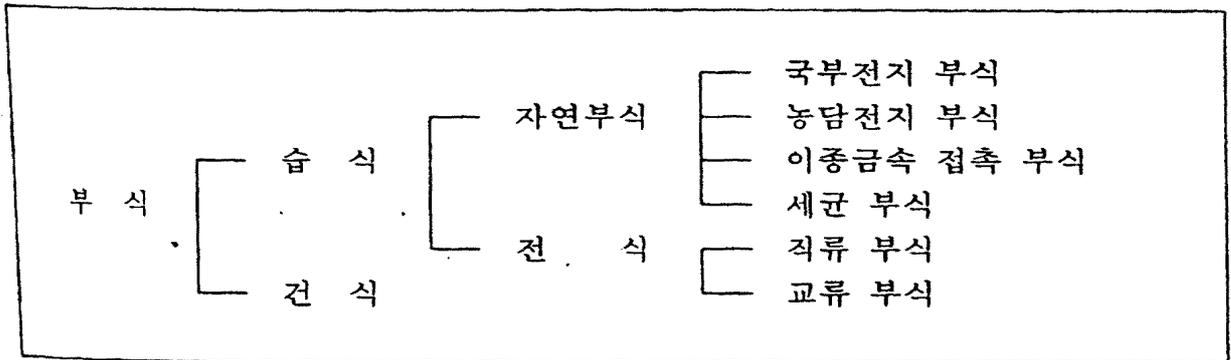


그림 2.44 부식의 형태

(2) 금속의 자연전위열

수중 또는 토양 주의 금속부식은 전기 화학적 메카니즘으로 일어나는 금속 이온화 반응이다. 금속이 이온이 되어 용해하려는 경향은 금속과 매질의 계면에 존재하는 전위차, 즉 전극전위로 나타낼 수 있으나, 전극전위의 절대값을 이론적으로 구하거나

직접 측정은 불가능하다. 따라서, 미지전극의 전위는 어떤 표준전극과 조합한 전지의 기전력을 측정하여 구할 수 있는 데, 이 표준전극을 조합전극이라고 하고 전위가 안정된 전극이 이용된다. 이에선 포화 Calomel 전극과 포화 황산구리 전극 등이 있다.

포화 카로멜 조합전극으로 바닷물 중의 전위를 측정한 데이터가 표 2.14에 나타나 있다. 이 표는 금속 및 합금이 주어진 환경에서 실제 나타난 전위, 즉 자연저극 전위를 높은 것에서 낮은 순으로 나열된 전위열이다.

이 표를 보면, 부식하기 쉬운 금속을 알 수 있는데, 즉 자연 전위열에서 떨어진 위치의 2종류의 금속을 조합시키면, 낮은 금속이 양극이 되고 높은 금속이 음극이 된 전지를 형성하여 양극이 된 금속이 부식한다.

예를 들면, 강제 탱크 근처의 동봉이나 동선의 접지전극이 있을 때 표와 같이 동이 강철보다 전위가 높으므로 강제(鋼製) 탱크가 부식된다.

표 2.14 자연 전위열

높음  	백금	+ 0.33V
	금	+ 0.18
	스테인리스강(18Cr-8ni-3Mo)	-0.04
	은	-0.06
	스테인리스강)18Cr-8Ni)	-0.08
	청동(Sn 6~10[%])	-0.10
	황동(85Cu-15Zn)	-0.13
	동	-0.14
	황동	-0.15
	(표준수소전극)H ₂ /H	-0.17
	니켈	-0.20
	황동(60Cu-40Zn)	-0.24
	주석	-0.24
	납	-0.27
	강·주철	-0.28
	주철	-0.46
카드뮴	-0.50	
알루미늄	-0.45~-0.65	
아연	-0.61	
마그네슘	-0.78	
	-0.78	
	-1.07	
	01.60	

(3) 자연부식

부식에 영향을 주는 인자는 토양 조성, 함수량, pH, 토양의 저항률 등이 있다. 함수량에 대해서는 일반적으로 이것이 증가하면 부식이 진행되지만, 토양이 수분으로 포화되면 산소의 확산이 제한되므로 부식발생은 어렵다.

부식발생이 가장 잘 일어나는 경우는 토양이 건조와 지하수의 변동으로 상태가 변할 때 이며 완전건조 상태에서는 부식은 발생하지 않는다.

pH는 pH4 이하의 산성이 강한 토양에서 부식이 강하나 특수한 토양인 경우이고 일반적으로는 pH6~8의 범위에 있으므로 pH 만으로는 부식성을 말

할 수 없다.

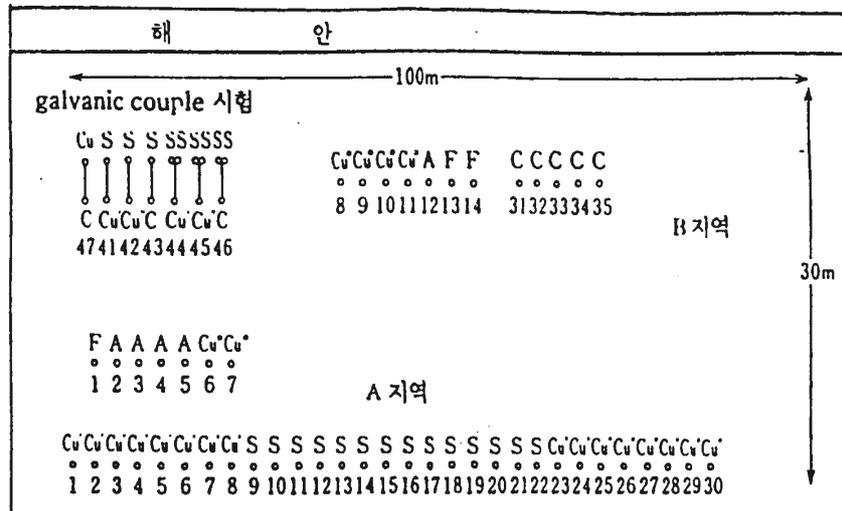
토양저항률은 부식의 주인자가 아니고, 전지부식과 이종금속접촉 부식의 2차적 인자이다. 다시 말하면,부식상대의 회로를 흐르는 전류는 토양 저항률에 좌우되므로 저항률이 작으면 전류가 크게 되어 부식이 진행된다.

저항률은 토양의 함수량과 염류 농도에 영향을 받으며, 토양의 부식성과 대지저항률을 관계를 나타낸NBS(Narional Breau of Standards)데이터가 표 2.15와 같은데, 시료는 철강이다.

여러 가지 전극재료를 사용하여 현장실험을 하였는데, 실험장소는 부식환경으로 가장 적합한 해안지역으로 실태조사 데이터를 소개해 본다. 그림 2.32와 같이 7종류의전극재료를 사용하여 자연부식, 이종금속 접촉(galvanic couple) 부식시험을 하였다.

표 2.15 토양의 저항률과 부식성의 관계

토지 저항률[Ω·m]	부식정도
<7	심한 부식성
7~20	약간 심한 부식성
20~50	중간정도의 부식성
>50	가벼운 부식성



- S : 스테인리스 피복 알루미늄봉 A : 알루미늄봉
- Cu* : 동피복강봉 F : 페라이트봉
- Cu : 동도금강봉 Cu* : 동도금강관
- C : 탄소피복강봉

그림 2.45 접지전극재료의 현장 실험

표2.16 실험전극재료의 조성(組成)

접지전극재료	치수[mm]	공시수량	조성
스테인리스피복 알루미늄봉	Φ14×1500	23본	스테인리스:C<0.08,SI<1.00,Mn<2.00, P<0.040,S<0.030, Ni=8.00~11.00, Cr=18.00~20.00 알루미늄:52S내실알루미늄(파이프) 내심(內心):폴리에틸렌수지
동피복강봉	Φ14×1500	8본	Cu 29.8%, Fe 70.2[%]
동도금강봉	Φ14×1500 Φ14×750	10본 1본	C 0.15~0.20, Mn 0.30~0.60 P 0.045이하, S 0.045이하, 나머지강 도금 Zn 0.5, Cu1/2이하 15~20[μm]
탄소피복강봉	Φ16×500	8본	탄소분말을 수지로 뭉친 것
알루미늄봉	Φ16×120	5본	(카본, 플라스틱 혼합물)
페라이트봉	Φ14×120	3본	Mn 20[%], Fe2O3 80[%]
동도금강봉	90×95×1.2	6매	도금 Cu 99.9[%],10~15[μm]

전극재료의 치수, 개수, 조성은 표 2.16과 같고, 실험장소(그림2.45)는 해안쪽과 육지쪽의 2개 지역에서 하였는데 그 환경은 다음과 같다.

A지역 : 대부분이 모래이고, 대지저항률 $\rho=12\sim87[\Omega\cdot M]$, pH 값=9.2~9.5, 바닷가에 군데군데 식물이 있고, 태풍 등에 바닷물이 침수하는 지역이다.

B지역 : 해안에서 30[m] 정도 육지쪽의 모래땅으로, 해안에서의 바람이 강할 때는 바닷물이 침수하는 지역이다. $\rho=4\sim21[\Omega\cdot M]$, pH=8.0~8.8(거의 바닷물과 같다.)

약 1년간의 실태조사 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 페라이트봉, 스테인리스 피복 알루미늄봉, 동피복강봉은 비교적 좋은 내식성이

있는 반면, 동도금강봉, 알루미늄봉은 심하게 부식되었다.

(2) 스테인리스는 대부분의 경우 작은 구멍모양으로 부식되고 있었는데 이는 스테인

리스 표면이 부동태화(不動態化)하고 있음을 나타낸다.

(3) 알루미늄봉도 (2)와 같은 형태의 부식이었다.

(4) 동피복강봉은 비교적 안정된 산화막으로 보호되어 부식이 거의 없었다.

(5) 탄소피복강봉은 시료 중 가장 부식이 심했는데, 이는 철보다 전위적으로 높은 동을 도금함으로써 동이 철의 부식을 촉진하였기 때문이다. 따라서, 동보다 오히려 아연 등을 도금하는 편이 나을 것이다.

(6) 동도금강봉은 탄소는 전혀 부식이 없었고, 강은 심하게 부식되었다.

동을 도금함으로써 동이 철의 부식을 촉진하였기 때문이다. 따라서, 동보다 오히려 아연 등을 도금하는 편이 나을 것이다.

(7) 동도금 강판, 알루미늄봉은 부식성 환경이 다른 장소에서 pH(수소이온 농도)보다 대지저항률의 영향이 강했다.

(8) 자연전위의 값은 스테인리스 피복 알루미늄봉이 가장 높고, 동피복강봉, 동도금강봉의 순이었다.

(9) 스테인리스 피복 알루미늄봉에 대한 galvanic couple 부식시험에서는 동 피복강봉, 동도금강봉, 탄소피복강봉은 모두 양극으로 되어 부식하고, 스테인리스에 의한음극 지배형의 부식이었다.

(10) 탄소 및 페라이트는 부식에 대해서는 강하나 기계적 강도면에서 난점이 있다.

(11) 동도금 강봉과 탄소피복강봉의 조합에 의한 galvanic 부식에서는 동, 철, 탄소가 공존한 상태이고 철이 가장 부식이 심하였다.

(12) 스테인리스 피복 알루미늄봉과 동피복강봉의 galvanic couple 시험에서는 스테인리스 공식이 알루미늄까지 진행되면 전위는 점차 감소하고 동피복강봉의 전위에서 극성은 역전하다.

(13) 동도금 강봉에서는 도금부분은 작은 구멍(pinhole)이 존재하므로 여기에 전해질을 포함한 수분이 포함되어 동과 철의 galvanic 부식을 일으키고 도금 내부의 철이 점점 부식되었다.

(4) 전 식

토양에서의 전지작용에 의한 자연부식은 어떤 정해진 전기회로를 형성하여 부식한다. 이에 대해 의도한 회로 이외의 곳을 흐르는 전류를 누설전류라 하며 전식이란 이 누설전류에 의해 부식하는 것을 말하며 직류부식과 교류부식이 있다. 교류부식은 상용주파수인 경우 직류부식의 1[%]정도이므로 전식이라면 직류부식이라 생각해도 된다.

자연부식은 금속표면이 전부 부식하는데, 전식에서는 국부적으로 부식하는

특징이 있다. 현재, 전기철도는 직류방식이 있고 가공단선(架空單線)이므로 레일이 전류의 귀로로 사용되고 있는데, 레일과 대지사이는 절연이 불충분하여 대지에 누설된다. 따라서, 전철 레일에 접근하여 금속관이 매설되어 있는 경우 관에 구멍이 뚫리며, 접지전극에 대해서도 같은 전식이 우려된다.

직류부식은 부식량과 전기량 사이에 패러데이 법칙이 성립되고 다음의 2가지지가 있다.

제 1 법칙 : 전류의 통과에 의해 발생하는 반응물질의 양은 통과한 전기량에 비례한다.

제 2 법칙 : 동일 전기량으로 전해되는 물질의 양은 화학당량에 비례한다.

이 법칙은 전해질의 조성, 농도, 온도에 무관하여 성립하고, 전극에 일정 전류 I가 t초간 흐르는 경우 전해량 W[g]은 다음 식으로 나타낸다.

$$W=K \cdot I \cdot t$$

여기서, K는 $I t=1$ 이다. 즉, 1쿨롬(Coulomb)의 전기량에서 전해되는 물질의 양으로, 전기화학당량이라 하고, 단위는 [g/A·s]이다. 전기 화학당량은 전해될 때의 금속이온가에 따라 변하는데 표 2.17은 그 값이다. 이 표에는 1[mA]에 1년간 전기량에 의한 전해량도 나타내고 있다.

표 2.17 금속의 전기화학당량

금속	원자가	화학당량	전기화학당량		1[mA], 1년간의 전기량에서 전해된 양[g]
			[mg/C]	[g/A · h]	
동	1	63.54	0.6585	2.371	20.8
동	2	31.77	0.3293	1.185	10.4
납	2	103.6	1.0737	3.865	33.9
안티몬	3	40.58	0.4206	1.514	13.3
주석	2	59.35	0.6151	2.142	18.7
주석	4	29.67	0.3075	1.107	9.7
니켈	2	29.36	0.3043	1.095	9.6
니켈	3	19.57	0.2028	0.730	6.4
카드뮴	2	56.20	0.5825	2.097	18.4
철	2	27.92	0.2894	1.042	9.1
철	3	18.62	0.1929	0.695	6.1
크롬	3	17.33	0.1796	0.647	5.7
아연	2	32.69	0.3388	1.220	10.7
알루미늄	3	8.99	0.0932	0.336	2.9
마그네슘	2	12.16	0.1260	0.454	4.0

전식의 실내 시뮬레이션 실험방법과 결과를 소개한다.

통전전의 처리로서 실험재료를 가성소다 용액에 24시간 담구어 탈지한 후

10분정도 건조시켜 중량을 측정한다. 재료의 중앙 6[cm]를 남기고 다른 부분은 모두 절연 테이프로 감는다. 2[l]용 비커(지름 13[cm], 높이 23[cm])에 약 2[%]농도의 황산구리 용액을 채우고 양극을 시험전극, 음극을 보조전극으로 하였다.

황산구리 용액은 순수한 물에 황산구리를 넣는다. 용액의 저항률은 2[%] 농도에서 $2.4 \times 10^2 [\Omega \cdot \text{cm}]$ 의 값에 거의 일정하게 되었고 시험전극으로 표 2.18의 3종류의 실험재료를 사용하고 보조전극에는 알루미늄($8 \times 3 \times 0.3 [\text{cm}]$)을 사용하였다.

표 2.18 실험재료

기호	재료	치수[mm]		노출부분의표면적[cm ²]	실험개수	
		지름	길이		직류용	교류용
A	동피복강봉	10	110	19.16	5	3
B	동도금강봉	10	110	19.16	5	3
C	스테인리스피복강봉	10	100	19.16	5	3
D	탄소피복강봉	10	110	30.66	5	3

전원은 안정화 전원을 사용하였으나 통전전류가 불안정하므로 1시간마다 전류를 측정하여 통전 전기량을 구했는데 시험회로는 그림 2.46과 같다.

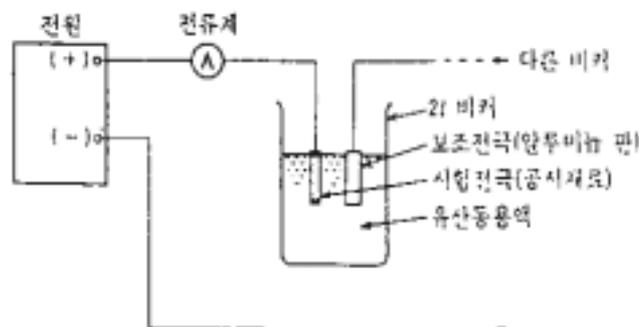


그림 2.46 직류부식 실험회로

통전후 처리에서는 일정시간 경과 후 공시재료를 들어내어 화학처리를 하고 산화물을 제거하였으며 10분간 전조시켜 중량을 측정하였다.

실험결과 직류시험에서는 스테인리스 피복강봉의 부식량이 매우 적었으며 그 다음이 동피복강봉, 동도금강봉의 순이었다.

교류시험에서는 스테인리스 피복강봉이외는 부식되지 않았으며 스테인리스의 경우 부식중량은 직류시험의 약 12[%]정도였다.

통전전기량을 전극의 노출부분, 즉 통전부분의 표면적으로 나누어 단위 표면적당 통전전기량을 구하고, 이 값에서 실측감량을 나누어[A·h/cm²]당 부식에 의한 감량을 구하여 그림 2.45에 표시하였다.

직류에 의한 부식은 하였다.

표 2.19 실내 실험결과

전 원	실험 재료	단 위 표 면 적 당 통 전 전 기 량 [A · h/cm ²]	단 위 표 면 적 당 부 식 전 기 량 [g/(A · h/cm ²)]
직 류	동피복강봉	0.610	21.9722
	동도금강봉	0.631	23.5735
	스테인리스피복강봉	1.415	1.8629
	탄소피복강봉	0.756	-
교 류	스테인리스피복강봉	1.494	0.2325

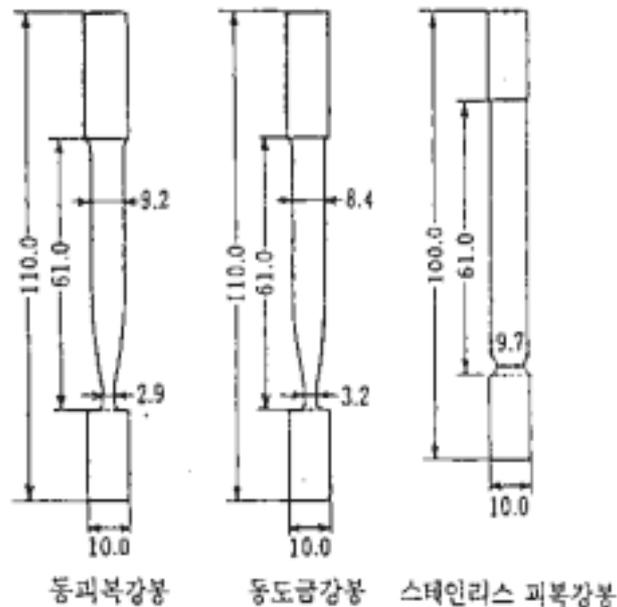


그림 2.47 직류부식 실험결과(치수[mm])(전극부식의 양상)

(1) 동피복강봉

부식중량은 표 2.20과 같고, 통전저기량은 11.7[A·h]이다. 실측감량의 평균값은 13.40[g]이다. 이에 대한 이론적 검증을 하며, 전극의 노출부분 체적, 동피복의 두께 0.5[mm], 동의 밀도8.92[g/cm³]을 고려하면, 통전부분의 동의 중량은 8.117[g]이다. 이것이 모두 부식되었을 때 필요한 전기량은 동의 부식당량을 1.185[g/A·h]로 하면 6.844[A·h]가 된다. 전체 통전 전기량이 11.7[A·h]이므로 나머지 4.856[A·h]로 내부의 강이 부식되었다면 강의 감량은 철의 부식당량을 1.042[g/A·h]로 계산할 때 5.059[g]이 되고, 전체감량은 8.117+5.059=13.176[g]이 되며, 이 값이 이론 감량이다.

실측감량의 평균값과 비교하여 보면 잘 일치되고 있다.

표 2.20 동피복강봉의 실험결과

시료번호	통전전중량 [g]	통전후중량 [g]	실측감량 [g]
1	68.1097	54.7756	13.3341
2	67.8162	54.2988	13.5174
3	68.4800	54.9981	13.4819
4	67.9670	54.5582	13.4088
5	68.2774	55.0041	13.2733

평균값 : 13.4031[g]

표 2.21 동도금강봉의 실험결과

시료번호	통전전중량 [g]	통전후중량 [g]	실측감량 [g]
1	66.4831	51.6990	14.7841
2	67.1190	52.3436	14.7754
3	66.7594	51.7687	14.9907
4	66.5987	51.6569	14.9418
5	66.6187	51.7359	14.8828

평균값 : 14.8749[g]

(2) 동도금강봉

부식중량은 표 2.21과 같으며, 통전전기량은 12.085[A·h]이다. 실측감량의 평균값은 14.8479[g]이다. 동피복강봉과 같이 이론적 검증을 해보자. 도금의 두께는 동이 0.01[mm], 아연 0.01[mm]이고 밀도는 8.29, 7.14[g/cm²]이다.

통전부분의 동의 중량은 0.17[g], 아연[0.136]으로, 필요한 전기량을 구하면 0.256[A/h]이다. 이에 의해 내부의 강이 부식되었을 때 강의 감량은 철의 부식 당량을 1.042[g/A·h]로 계산하면 동, 아연, 강의 감량 합계는 12.633[g]이 되며 실측감량의 평균값보다 적은 값이다. 시판되고 있는 접지봉은 2가지 이상의 금속재료로 만들어지므로, 이 2가지 실험에서 접지전극의 부식당량을 산정해보자.

	동피복강봉	동도금강봉
통전전기량[A·h]	11.700	12.085
실측감량[g]	13.4031	14.8749
(내역) 동 :	8.117	0.307
동 :	5.286	14.598

단, 동도금강봉에는 아연 도금(0.136[g]과 동두금 (0.171[g])이 있는데 여기서는 모두 동으로 계산한다. 이상의 데이터에서 부식당량을 구하여 보자.

동, 강의 부식당량을 각각 x, y 로 하면, 앞의 관계에서 다음 식이 구해진다.

$$\frac{0.307}{x} + \frac{14.598}{y} = 12.085 \dots \dots \text{동도금강봉}$$

$$\frac{8.117}{x} + \frac{5.286}{y} = 11.07 \dots \dots \text{동피복강봉}$$

이 연립방정식을 풀면, x=1.0931, y=1.2366

 동의 부식당량 : 1.031[g/A·h]

 강의 부식당량 : 1.2366[g/A·h]가 된다.

여기서, 이들 부식당량을 이용하여 통전전기량에 대한 부식중량의 관계를 나타내면 그림 2.48와 같다.

동피복강봉(바깥지름 14[mm],피복두께 0.5[mm], 길이 1500[mm]의 전식에 의한 바깥지름의 변화를 시뮬레이션하여 보자.

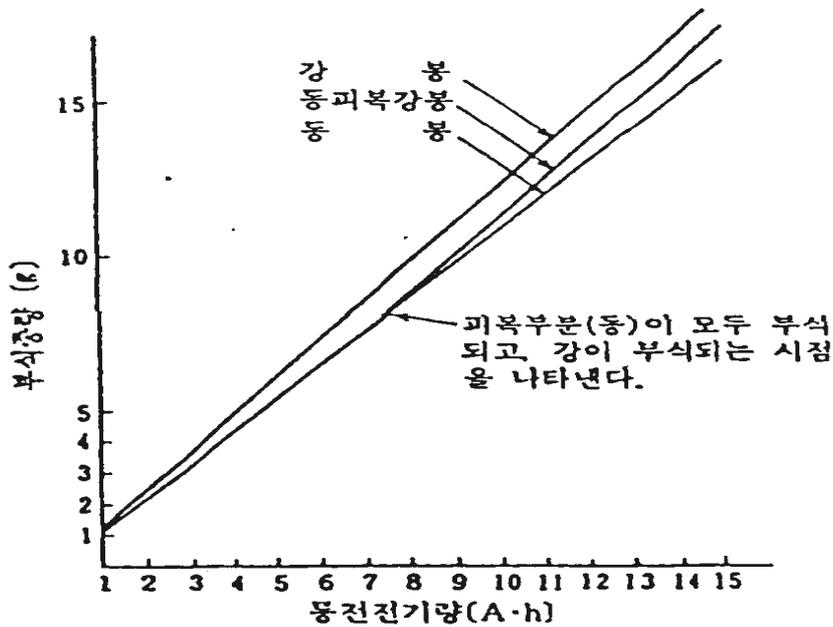


그림 2.48 통전전기량과 부식중량의 관계(직류의 경우)

동의 부식당량을 $1.0931[\text{g}/\text{A}\cdot\text{h}]$, 강의 부식당량을 $1.2366[\text{g}/\text{A}\cdot\text{h}]$ 로 계산하면, 동피복부(두께 $0.5[\text{mm}]$)가 없어지는 데 필요한 통전전기량은 $259[\text{A}\cdot\text{h}]$ 이다. 이하 통부분의 바깥지름이 $12, 11, 10, \dots[\text{mm}]$ 가 되기까지 통전전기량을 계산하면 그림 2.49과 같다.

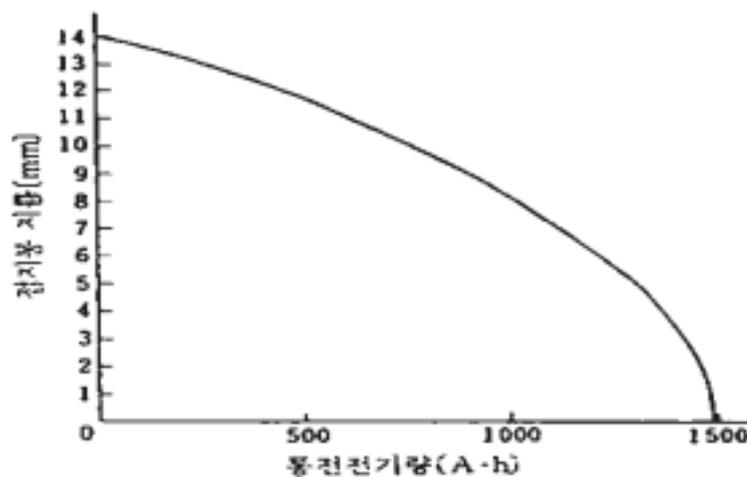


그림 2.49 직류전식에 의한 접지봉 바깥지름의 변화