Part I 1

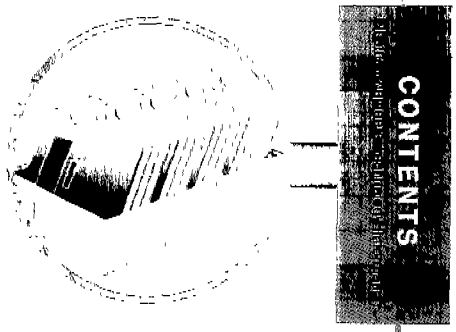
접지 시스템 계획

Power Seven컨설팅 대표/ 기술사/ 이성우
오성종합기술주식회사 대표 이사/ 김진곤

접지 시스템의 계획은 "접지전극 형상의 설계"와 "계통접지 방식"에 따른 접지 시스템으로 구성하여야 하고, 접지 또는 금속체간에 전위차가 발생하지 않도록 Bonding 기술을 충분히 고려하여야 한다. 그러나 국내의 기술기준 및 내선규정은 이에 대한 규정이 없으며, 단지 접지종별 접지저항 값만을 규정하고 있어 실무에서 많은 이견이 발생하고 있고, 전력기술인 협회지 2~4월호에서 살펴보았듯이 자동화 되는 생산 Line에서는 피해가 커지고 있다.

최근 접지기술의 동향은 인체의 안전과 전기설비의 정상적인 동작을 방해하지 않도록 하는 측면으로 변화되고 있으므로 이에 대한 규정의 제 · 개정이 요구되고 있다. 또한 외국의 기업들이 국내에 설비를 투자하는 경우에는 IEC, NEC 등의 규정을 요구하고 있으므로 전기설비의 설계 · 시공 · 감리를 수행하는 경우에 관련 규정의 충분한 학습이 필요하다.

본론에서는 "도심의 건축물"과 "공장 설비"에 대한 "접지전극 형상의 설계"로 적합한 "4각 루프형 배열"과 Mesh 접지설계" 기술을 해설하기로 한다.



○ 1.접지 동향
○ 2.IEC 접지시스템 규정
○ 3.건축물 접지전극의 형상 예
○ 4.대지 고유저항의 분석
○ 5.접지저항의 계산
5.1 봉형과 매설 지선형 접지전극을 조합하여 시설한 경우
5.2 망상(Mesh) 접지전극

☞ 참고문헌 : (주)도서출판 기다리/접지시스템 계획[1]/기술사/이 성우

1. 접지 동향

① 접지 동향

전기안전을 위한 접지	→	전기안전 & Power Quality 를 고려한 접지방식

② 접지시스템

접지봉 매설, 접지선 연결 등 단순공사	→	System 차원의 복잡한 공사

③ 접지관련 기준

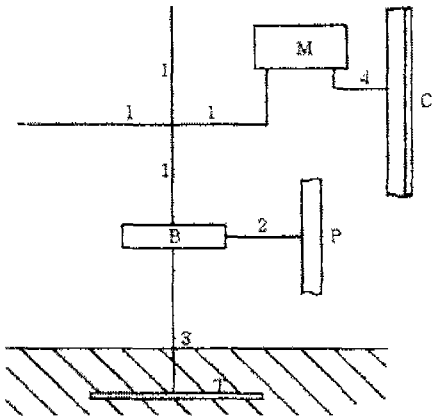
전기설비 기술기준, 내선규정 등	→	IEC, NEC, IEEE 등 해외 규정 도입

2. IEC 접지 시스템 규정

IEC(International Electrotechnical Commission)의 목적은 전기 · 전자 기술분야의 표준화에 관한 문제 및 관련사항에 관한 국제협력을 촉구함으로써 국제적인 의사소통의 도모에 있다. IEC에서는 접지시스템과 밀접한 관계가 있는 등전위 본딩을 강조하고 있으며, 나아가 EMC(전자파 적합성)와 관련된 접지시스템으로 그 범위를 확대하고 있다. 또한 뇌보호 전문위원회에서는 내부 뇌보호 기술과 관련해 올바른 접지 시스템에 대해 검토하고 있다.

1) IEC 60364-5-54

접지극의 종류, 접지선의 단면적, 본딩용 보호도체의 단면적 등에 대해 보호목적과 기능목적으로 설명하고 있으며 등전위 본딩용 도체의 일반 요구사항에 대해서도 규정하고 있다. 접지극의 종류로는 봉, 판, 선상전극 외에 기초 부분에 매립한 전극, 콘크리트에 매립한 전극, 지하 구조물 등을 인정하고 있다. 또한 주 접지단자, 바(Bar)는 접지선, 보호도체, 등전위 본딩용 도체, 기능용 접지선을 한곳에 설치하도록 하고 있다. [그림1]은 접지설비에서의 보호도체 및 본딩(Bonding) 개념도를 나타낸다.

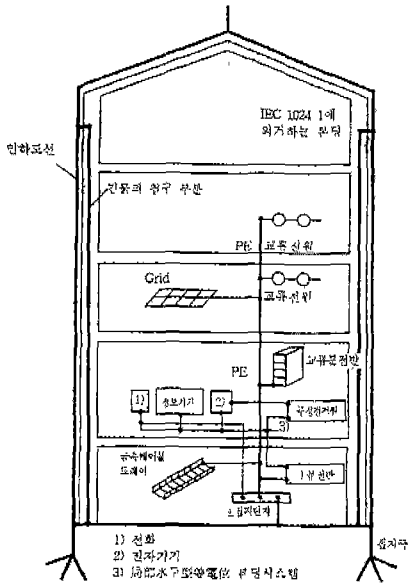


1. 보호도체(PE)
2 보등전위 본딩용 도체
3. 접지선
4. 보조 등전위 본딩용 도체
B 주접지단자
M 노출 도전성 부분
C 계통외 도전성 부분
P 금속제 수도관
T 접지극

[그림 1] 접지설비에서의 보호도체 및 본딩(Bonding) 개념도

2) IEC 에 의한 빌딩 접지시스템

IEC 364-5-54, IEC 1000-2-5, 및 IEC 1024 등의 규정에 의거한 빌딩 접지시스템을 종합하면 [그림2]와 같다.

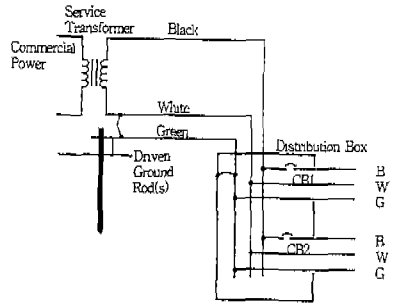


[그림 2] IEC 규정에 의한 빌딩 접지시스템의 개요도

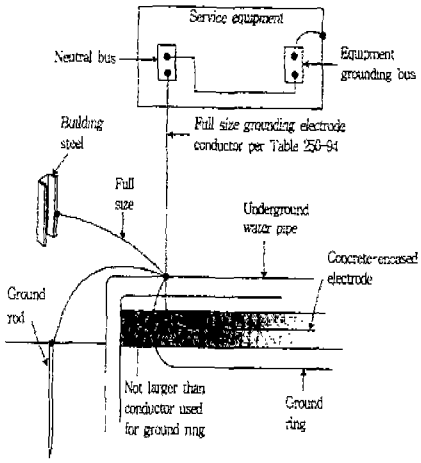
3. 건축물 접지전극의 형상 예

3.1 일반 건축물

일반 건축물은 시스템이 복잡하지 않고 단순한 것이 일반적이므로 [그림3]과 같이 접지체계를 구성할 수 있다. 즉 [그림4]와 같이 건축물 내에서 접지선 또는 철골구조를 공통 접지극에 접속하는 것이며, 이 방식은 [그림1,2]의 IEC 규정과 같은 개념으로 구성한 것이다.



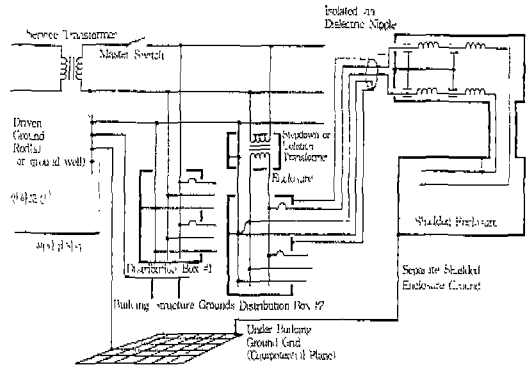
[그림 3] 일반 건축물의 접지체계



[그림 4] NEC 공통접지 구성 예

3.2 중 · 대형 건축물

중 · 대형 건축물에서 접지극의 형상은 [그림5] 처럼 매설 지선과 봉형 또는 망형으로 설계 및 시공하고 전위차가 발생하지 않도록 건축물 기초부분도 접지극에 Bonding한다.

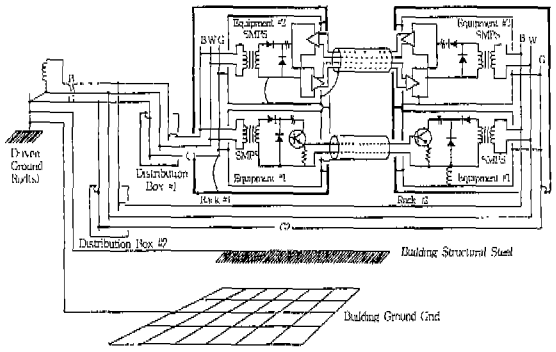


[그림 5] 중 · 대형 건축물의 접지체계

3.3 통신망의 건축물

통신망의 건축물은 일반 건축물과는 달리 고려해야할 요소가 매우 많다. 예를 들어 통신회로를 보호하기 위해 쉴드를 하고, 편단 접지를 해야 하

는데 만일, 양단 접지를 하면 접지루프가 형성되어 주변에서 나타나는 저주파 대역의 영향으로 신호선에 유도되어 오동작을 일으키게 되는 것이다. [그림6]은 통신망 건축물의 접지체계를 나타낸다.



[그림 6] 통신망 건축물의 접지체계

4. 대지 고유저항의 분석

4.1 대지 파라미터

1) 대지 저항률

접지저항 및 접지효과에 영향을 미치는 요인이 대지 저항률이므로 접지의 설계와 시공에 있어서 대지 저항률을 정확히 파악하는 것은 대단히 중요하다. 대지 저항률이란 대지-토양의 일정 체적의 전기저항을 말하는 것으로 단위는 [Ω · m] 또는 [Ω · cm]이다.

2) 대지 저항률에 영향을 미치는 요인

① 토양의 종류

일반적으로 토양을 구성하는 성분, 입자의 크기, 분포, 균질성, 조밀도 등에 따라 대지의 전기적 성질도 다르다. [표1]은 여러 가지 토양의 저항률을 나타내었다.

[표 1] 토양의 종류와 저항률

토양의 종류	저항률[Ω · m]
점토질의 논 또는 늪지	10~150
점토질의 밭	10~200
점토질의 산지	200~2,000
암반지대의 산지	2,000~5,000
자갈 · 옥석이 깔린 해안지대	1,000~5,000
해안 지대의 모래땅	50~100
양토(Loam)	20~100
부식토(Humic soil)	10~150
사점토(Sandy clay)	50~500
소성점토	50
무수규산점토	200~3,000
편암	50~300
운모편암	800

또한 [표2] 처럼 일반적으로 흙의 종류를 진흙, 점토, 모래, 사암의 4가지로 크게 나누어 나타내는 데이터도 있으며, [표3]은 지역적 대지 저항률을 보여준다.

[표 2] 흙의 종류와 저항률

흙의 종류	저항률[Ω · m]
늪지 및 진흙	80~200
점토질 · 모래질	150~300
모래질	250~500
사암 및 암반지대	1000~100,000

[표 3] 지역에 따른 대지 저항률

저항률 / 지역별	저항률[Ω · m]	지질 특성
낮은 저항률 지역	100 이하	강, 하천, 바다에 인접한 저지대로 물이 풍부한 지역
중간 저항률 지역	100~1,000	지하수가 풍부한 지역으로 준 평원지역
높은 저항률 지역	1000 이상	배수가 잘되는 지역, 구릉 지대, 고원

② 수분의 함유량에 따른 영향

토양에서의 전기전도는 근본적으로 전해질 중에 함유되어 있는 이온의 이동에 의한 전기전도에 의해서 이루어지므로 토양 중에 수분이 함유되면 저항률이 저하하고, 수분의 함유량이 증가하면 대지 저항률은 급격히 감소한다. [표4]는 수분 함유량에 따른 대지 저항률을 나타낸다.

[표 4] 수분 함유량에 따른 대지 저항률

저항률 / 함유율[%]	대지 저항률[Ω · m]	
	표면토양	모래가 섞인 퇴적토양 (Sandy loam)
0	1000×10^6	1000×10^6
2.5	2500.0	1500.0
5	1650.0	430.0
10	530.0	185.0
15	190.0	105.0
20	120.0	63.0
30	64.0	42.0

토양의 종류에 따라 다르기는 하지만 [표4]에서 보는 바와 같이 수분의 함유량이 15~20[%] 정도 함유되면 대지 고유저항이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있고, 20[%] 이상이 되면 대지 저항률의 감소는 완만해진다. 또한 대지 저항률은 함유된 물의 종류에 따라 다르게 되며 여러 가지 물의 저항률은 [표5]와 같다.

[표 5] 물의 종류별 저항률

물의 종류	저항률[Ω · m]
순수	200,000
증류수	50,000
빗물	200
수돗물	70
우물물	20~70
하천물	2
바닷물	0.15~0.3

③ 전해질 성분(염분)에 따른 영향

토양의 저항률은 수분의 함유량뿐만 아니라 토양 중에 녹아 있는 염분, 산, 알칼리 등 화학물질 및 조성에 따라 매우 크게 변화한다. [표6]은 염분의 농도에 대한 대지 저항률의 예를 보여주고 있으며, 염분의 농도가 증가하면 대지 저항률은 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

[표 6] 전해질 성분(염분)에 따른 대지 저항률

저항률 / 함유율[%]	대지 저항률[Ω · m]
0	110
0.1	20
1	10
5	7
10	4
20	3

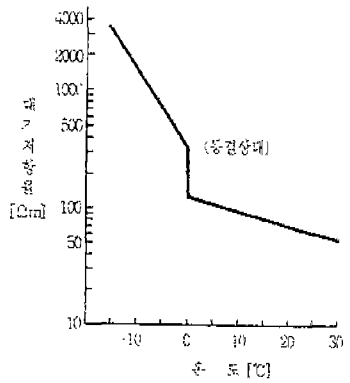
④ 온도에 따른 대지 저항률

일반적으로 온도가 높아지면 금속의 저항률은 증가하는데 비해서 반도체나 전해질의 저항률은 감소한다. 토양에 포함된 수분도 전해질이므로 대지 저항률은 온도상승과 더불어 감소한다. 토양이나 암반에 함유되어 있는 수분이 증발되거나 동결될 정도로 높은 온도 또는 낮은 온도로 변화되면 대지 저항률은 수 배정도 변화하는 경우도 있다. 그러나 수분이 증발되지 않는 범위에서 온도가 상승하면 수분에 포함되어 있는 이온의 이동도가 증가하여 대지 저항률은 약간 감소하게 된다. [표7]은 온도에 따른 대지 저항률을 나타내며, 대지 저항률의 변화를 그래프로 살펴보면 [그림7]과 같다.

지혜를 얻고자 애쓰고 힘쓰는 사람이야말로 진정으로 현명한 사람이다. 자신이 그것을 이미 찾았다고 생각하는 사람은 어리석은 사람이다.
-페르시아 속담

[표 7] 온도에 따른 대지저항률

저항률 / 함유율[%]	대지 저항률[Ω · m]
20	72.0
10	99.0
0(water)	138.0
0(ice)	300.0
-5	790.0
-15	3300.0



[그림 7] 온도 변화에 따른 대지 저항률의 변화

⑤ 계절적 영향

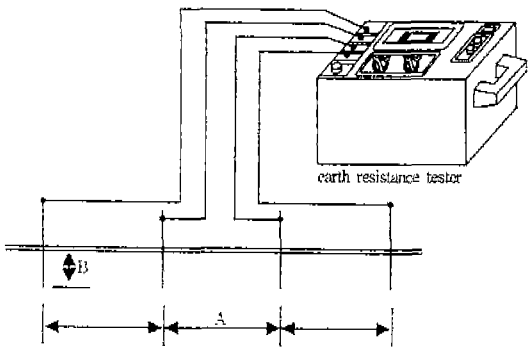
대지 저항률은 토양에 함유되어 있는 수분과 온도 등과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 기후나 계절에 따라서도 크게 변화한다. 계절이 변화하면 온도뿐만 아니라 토양에 함유되어 있는 수분의 양도 함께 변하게 되므로 대지 저항률은 대체적으로 기온이 낮으며 건조한 겨울철에 높고, 기온이 높고 습기가 많은 여름철에 낮게 된다. 대지 저항률의 계절적 변동량은 동일한 토질이라고 하더라도 장소와 시간, 접지전극의 형태와 매설깊이 등에 관련된다. 토양은 그 깊이에 따라 온도가 다르거나 토질이 다른 이른바 다층구조를 이루기 때문에 실제로 대지표면의 어느 한 점에서 그 아래 지층의 토양상태를 평가하기란 쉽지 않으므로 특정한 토질에 대해서 대지 저항률을 명시하기란 곤란하다. 일반적으로 대지 저항률의 연간 변동량은 지역에 따라 다르지만 대략 2~5배 정도인 것으로 알려져 있으며, 접지공사를 시설할 때는 연간 접지저항의 변동을 고려하여 설계 · 시공할 필요가 있다.

4.2 대지 저항률의 측정법

대지 저항률은 접지시스템에서 가장 중요한 요소이며, 대지 저항률의 측정치는 토양구조, 토양성분, 측정 장소에 따라 큰 차이를 나타내므로 현장에서는 신뢰성 있는 대지 저항률을 측정하는 것이 매우 중요하다. 여기서는 4-점 웨너법(Wenner 4-Point Method)을 소개한다. 대지 저항률 ρ는 다음 식으로 계산한다.

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+4d^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+d^2}}}$$

여기서, d는 금속 탐침의 길이이며, R은 측정장비로부터 얻은 저항 값이다. 만일, a)>20d라면, 대지 저항률은 $\rho=2\pi a$ R이며, 단위는 [Ω · m]로 정리된다. [그림8]은 대지 저항률의 측정 구성도를 나타내는 예이다.



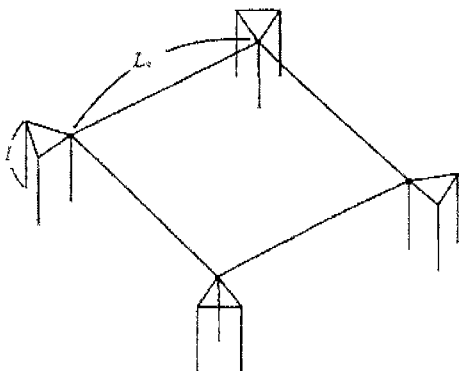
[그림 8] 대지 저항률의 측정 구성도

5. 접지저항의 계산

5.1 봉형과 매설 지선형 접지전극을 조합하여 시설한 경우

이 방식은 망상 접지전극에 봉형 접지전극을 조합한 경우와는 다소 다르며, 간단한 구조이다. 즉 봉형 접지전극과 하나의 메쉬를 조합한 것으로 볼 수 있으며, 망상 접지 시스템에 비해서 소규모이다. 이렇게 구성하면, 봉형 접지전극은 접지 저항을 낮추게 되며, 매설지선형 접지전극으로 구성된 메쉬는 과도접지 임피던스를 저감시키는 역할을 하게 되므로 고주파 영역에서도 적용할 수 있다. 특히 접지 면적이 좁은 대도시의 고층빌딩 등의 접지 시스템 구축에 적합한 접지방식이며 [그림 2]의 IEC 규정에 의한 빌딩 접지시스템의 개요도와 같이 구성하기가 용이하다.

즉 [그림9]와 같이 3개의 봉형 접지전극으로 3각 기둥을 만들고 , 매설 지선으로 4각 루프를 구성한 모서리 부분에 접속한다. 반경 a인 직선형 접지도선으로 한 변의 길이가 LS인 정 4각 루프형으로 구성하여, 대지 표면으로부터 h만큼의 깊이에 매설하면,



[그림 9] 4각 루프형 배열

① 매설 지선의 접지저항 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_L = \frac{\rho}{4\pi L_s} \ln \frac{3.6L_s}{\sqrt{ah}}$$

② 또한 봉형 접지전극으로 구성된 3각 기둥의 접지 저항을 R_P라고하면, 매설 지선형 접지전극의 길이가 봉형 접지전극의 길이보다 짧은 경우($l_s < \tau$)의 수식으로부터 3각 기둥의 접지저항 R_P를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_P = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot M$$

$$M = \ln\left[\frac{2l}{\alpha_{e3}}\left(1+\sqrt{1+\left(\frac{\alpha_{e3}}{2l}\right)^2}\right)\right] + \frac{\alpha_{e3}}{2l} - \sqrt{1+\left(\frac{\alpha_{e3}}{2l}\right)^2}$$

③ 그리고, 루프형 접지체 사이와 3각 기둥의 접지체 사이의 상호 접지저항은 다음의 식으로 표현된다.

$$R_m = \frac{\rho}{4\pi L_s}\left(\ln\frac{16L_s}{\pi l} + 1\right)$$

④ 따라서, 4각형 루프배열 방식의 합성 접지저항은 다음의 수식으로 산출할 수 있다.

$$R = \frac{R_L R_P - R_m^2}{R_L + R_P - 2R_m}$$

물론, 이 경우뿐만 아니라 4개의 봉형 접지전극으로 4각 기둥을 만들고, 매설 지선으로 4각 루프를 구성한 접지체의 합성 접지저항도 동일한 방법으로 산출할 수 있다.

5.2 망상(Mesh) 접지전극

망상 접지는 메쉬 접지라 불리기도 하며 그 구조 특성상 아주 넓은 면적에 포설 한다. 이 방식은 그 물 모양으로 포설하는 접지로써 대지 저항률이 높

은 지역이나, 건물의 밑바닥 같이 넓은 면적에 주로 시공한다. 망상접지의 효과는 매우 우수하며 낮은 접지저항을 얻을 수 있고, 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 얻기가 쉽다. 하지만 매우 넓은 면적이 필요하고 시공이 어려우며, 시공비가 비교적 비싼 편이다. 또한 유지 보수가 불가능하므로 처음 시공 시에 확실하게 시공을 하여야 한다. 일반적으로 망상 접지는 발전소나 변전소 등에서는 필수적으로 시공되며, 플랜트나 공장과 같은 활용면적이 큰 장소에서도 많이 시공한다.

5.2.1 대지 고유저항 검토

접지계 설계에 있어 변전소 부지의 토질특성은 중요한 요소 중에 하나이고 그 토질특성에 따라 대지 고유저항 값은 매우 광범위하게 변하며, 그 변화요인이 복잡하여 일률적인 식으로 정의하는 것은 불가능하다. 현재 고유저항의 측정은 Wenner의 4전극 법에 의하여 각 지층별 대지 고유 저항 값과 그 깊이를 구한 후, 154kV이하 변전소에서는 등가 깊이 15(m)까지의 등가 대지 고유저항 값을 접지계 설계 시 적용하고 있다. 그러나, 각 지층별 대지고유저항 분포가 서로 큰 차이가 없을 때는 별 문제가 없지만 서로 차이가 많을 경우에 등가 대지 고유 저항 값을 적용하기 위한 검토가 필요하다. 변전소에서 대지 고유저항은 접지망의 저항 값이나 대지 전위경도에 직접적인 영향을 준다. 따라서 이상적인 설계를 위하여서는 각 지점 지층에 대해 정확한 대지 고유 저항 값 측정을 하여야 한다.

5.2..2 표토층의 효과 검토

표토층의 대지고유저항(ρ_s)값은 지표면의 처리 상태에 따라 일반적으로 아래 [표8]과 같이 적용되고 있다.

[표 8] 표토층 대지고유저항의 적용

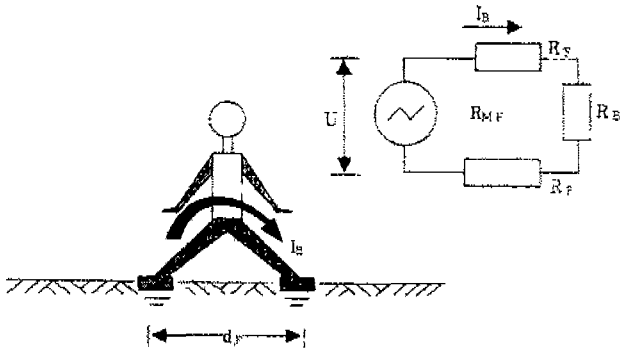
토 양	대지고유저항(Ω-m)	비고
자 갈	3,000	
콘크리트	1,000~1,500	
아스팔트	5,000이상	

5.2.3 최대 허용 전위차

[그림10]은 발과 발 사이의 접촉에 의한 사고 등가회로이며, 최대 전위차 U1은 아래 식과 같다.

$$U1 = I_B \cdot \{R_B + 2(R_F - R_{MF})\} = I_B \cdot (R_B + R_{2FS})$$

단, I_B : 사고회로(인체)에 흐르는 전류(A)
R_B : 두 발 사이의 인체 저항(Ω)
R_F : 한쪽 발과 대지 사이의 저항(Ω)
R_{MF} : 두 발 사이의 상호(Mutual)저항(Ω)
R_{2FS} : 두 발 사이의 직접 저항(Ω)



[그림 10] 보폭 전압 등가회로

또한, 손과 다른 두 발간의 접촉을 나타내고 있는 등가회로는 [그림11]과 같으며 최대 전위차 U2는 아래 식과 같다.

ELECTRIC 다음호에 계속 ⇨