

메쉬접지극의 접지저항에 관한 실증연구

(An experimental research about the grounding resistance of the mesh electrode in the model of water tank)

김주찬* · 최종규** · 이충식*** · 고희석*

(Ju-Chan Kim* · Jong-Gyu Choi** · Chung-Sik Lee*** · Hee-Seog Koh*)

경남대학교* · 마산대학** · 대원과학대학***

Kyungnam Univ* · Masan college** · Daewon Science College***

Abstract

Recently, there are many equipment of electricity, electronics, and communication which need to grounding in the building. When the electric current flows into a certain grounding system in the same building, the potential rise of other grounding system is possible to be affected by its potential rise

This potential interference was affected by the surface potential, it is deeply related with the electrode shape. In this paper, basic formula is deduced on the basis of both electrodes surface potential of grounding electrode in a source of the potential interference and grounding electrode which receive the potential interference. Therefore the degree of potential interference as multiple grounding electrode can be verified the simulated results by means of the simple model in advance.

This is for investigating the grounding resistance of grounding electrodes, the experiment was performed with model-scale of the grounding system and the scaled model grounding system was to this experiment using a water tank of a stainless steel-hemisphere shape. since mesh electrodes have been widely in the general building, we're tried to analyze that this water tank model and it's simulation as well.

1. 서론

메쉬 접지는 망상 접지라 불리기도 하며 그 구조 특성상 아주 넓은 면적에 포설 한다. 이 방식은 그 물 모양으로 포설하는 접지로서 대지 저항률이 높은 지역이나, 건물의 밑바닥 같이 넓은 면적에 주로 시공한다. 메쉬 접지의 효과는 매우 우수하며 낮은 접지저항을 얻을 수 있고, 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 얻기가 쉽다.^[1-3] 하지만 매우 넓은 면적이 필요하고 시공이 어려우며, 시공비가 비교적 비싼 편이다. 또한 유지 보수가 불가능하므로 처음 시공시에 확실하게 시공을 하여야 한다. 일반적으로 메쉬 접지는 발전소나 변전소 등에서는 필수적으로 시공되며, 플랜트나 공장과 같은 활용 면적이 큰 장소에서도 많이 시공한다. 이와같은 상황에 있어서 어느 접지계에 접지전류가 유입된 경우 다른 접지계에 전위의 상승, 즉 접지극간의 전위간섭이 문제가 된다. 종래의 전위간섭의 연구는 접지극의 지표면의 전위분포계산식을 이용해서 간단히 전극간의 거리관계만으로 검토되어 왔지만 엄밀하게 전극형상에 의한 전극표면전위를 고려해서 넣어 검토할 필요가 있다.^[4,6]

그래서 본 논문에서는 모의축소접지계를 구성하여 이를 확인하는 실험적인 방법으로 스텐레스제

반구상수조를 이용하여 접지극의 접지저항을 추정하고자 한다. 특히, 일반건축물에서 보편화되어 널리 시공되고 있는 메쉬접지극을 수조모의실험에 의해 해석하고자 한다.^[7-10]

2. 본론

2.1 일반이론

[1] 등가 반경의 유도

먼저 메시상 접지 전극의 상세한 구조는 무시하고 접지 전극이 차지하는 최대 면적에 주목한다. 메시 전극이 외주 도체에 의해서 둘러싸인 면적을 $A[m^2]$ 로 한다. 이것과 면적이 동일한 원의 반경을 $r[m]$ 로 하면

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

이것을 메시상 접지 전극의 등가반경으로 한다. 이 경우 메시전극이 원형이라고는 할 수 없지만 형상에 의한 접지 저항의 변화는 여기에서는 무시한다.

[2] 매설 깊이의 분류

지표면에서 메시 전극까지의 깊이를 등가반경(r)

r[m]과 매설깊이(d[m])에 따라 아래와 같이 분류한다. 어느 것이나 메시 전극은 수평으로, 즉 지표면과 평행하게 매설되었다고 한다.

① $r \ll d$ 의 경우 : 메시 전극의 크기에 비해 충분히 깊게 매설하는 경우이다. 이 경우에는 메시 전극의 상하 양면의 접지 효과가 충분히 이용된다. 따라서 원판의 전공간 접지 저항 공식을 이용하여 메시상 접지 전극의 접지 저항을 구해보면,

$$R = \frac{\rho}{8r} = \frac{\rho}{8} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (2-1)$$

② $r \approx d$ 의 경우 : 메시 전극의 매설 위치가 지표면에 가까워지면 메시 전극의 윗면은 접지 효과를 충분히 발휘할 수 없게 된다. 그 결과 접지 저항은 전공간 접지 저항보다 높아진다. 그 증가분은 영상을 도입해 추정할 수 있다. 메시상 접지 전극의 접지 저항은

$$R = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{8 \cdot 2d} = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{2d}\right) \quad (2-2)$$

여기서, r는 전극의 등가 반경이다. 두 번째 항은 영상에 의한 증가분이다.

③ $d \ll r$ 의 경우 : 메시 전극의 매설 위치가 지표면에 아주 가까워진 경우이다. 이 경우는 메시 전극의 아랫면에 대한 접지 효과만이 이용된다. 따라서 원판의 반공간 접지 저항 공식을 이용하여 메시상 접지 전극의 접지 저항을 구해보면,

$$R = \frac{\rho}{4r} = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (2-3)$$

여기서, r는 전극의 등가 반경이다.

[3] 메시수와 메시 계수

지금까지는 메시상 접지 전극에 대한 상세한 구조를 무시하고 구조가 차지하는 최대면적에만 주목해 왔다. 메시상 접지 전극에 관해서는 그 최대면적이 동일하더라도 형상등이 달라지는 경우에 접지 저항이 어느 정도 변하는가 등의 검토해야 하며, 이들 문제점 가운데 메시접지극에 있어 특징적이고 실용상 중요한 것이 메시수와 메시 계수의 파악이다. 그래서 메시 계수 M은 다음과 같이 표현된다.

$$M = \frac{\text{메시수가유한할때의접지저항}}{\text{메시수가무한할때의접지저항}} \quad (2-4)$$

2.2 메쉬접지저항값 측정변화

실제의 메쉬접지극을 시설하는 곳에서 접지저항값을 측정하였고, 메쉬접지극을 시공시작부터 시간이 경과하면서 접지저항값의 변화를 표2-1에

나타낸다. 이때 사용한 측정계기와 수조모델실험에 사용된 계측기를 표 2-2에 나타낸다. 계측기를 아날로그식과 디지털식을 동시에 사용한 것은 계통오차를 줄이기 위한 방법이었다.

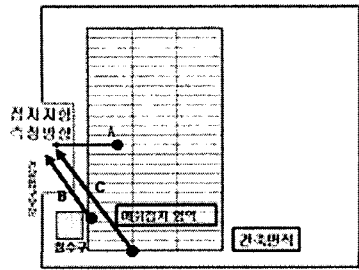
시공진행상황에 맞춰 접지저항값을 측정을 하면서 접지저항값의 측정은 접지극이 매설된 동일 지층에서 측정을 하는 것이 더 타당하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 타의 지층에서 매설된 접지 저항값을 측정하는 것은 전대지에서 접지극을 볼 때는 접지극과 그의 계측기가 하나의 점으로 인식이 되지만, 실제의 측정에서는 표2-1과 그림2.1에서 측정방법을 현관방향으로 측정할때와 암반방향으로 측정을 할때의 보조접지극(probe)와 접지극이 적용되는 대지가 서로 다른 지층에 위치한다는 것은 대지저항률이 서로 상이하므로 접지저항값이 암반위에서 보조극을 시설할 때가 더 높은 값으로 측정되었다.

표 2-1 시공진행상황에 따른 메쉬저항값변화

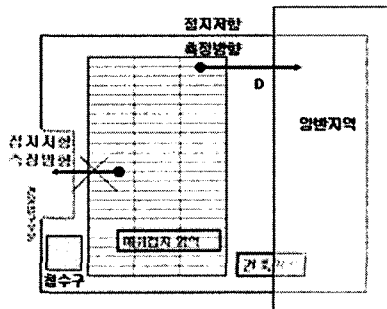
측정날짜	접지저항값 [Ω]	비고
2005.03.07	18.53	메쉬접지극 시설시
2005.03.08	16.66	접지저감제 살포
2005.03.09	18.06	흙덮기작업후
2005.03.14	18.03 - 18.05	메쉬접지시설 완료 측정 : 현관방향
	22.14	메쉬접지시설 완료 측정 : 암반방향
2005.03.19	9.35	콘크리트덮기작업후 -2접덮기
2005.03.22	10.25	지하 1층 철근 작업시작
2005.03.29	8.98	지하 1층 철근 작업 중

표 2-2 측정에 사용된 계측기

기기명칭	제조사	제원
ρ 매터 (전도율계)	(주)東亞電波工業(Japan)	CM-21P
교류 전류계	HWA SHIN	TYPE : HS 7015 CLASS : 0.5
디지털 전압계	EZ	Digital Multimeter (DM-441B)
AVR	삼풍전원 시스템	정격용량 : 2kva
슬라이더스	삼신전업사	정격용량 : 2kva (0~120[V])
절연 변압기	삼풍전원 시스템	정격용량 : 1kva
접지 저항계	HWA SHIN (아날로그)	0 - 10/100/1000 (3 range)
	GEO-X (디지털)	0.02[Ω] - 300[kΩ]



(a)



(b)

그림 2.1 매쉬접지극의 측정방향에 대한 고려



사진 2.1 매쉬접지극의 매설현장

표 2-3 접지저항의 깊이에 따른 변화 (매쉬접지극)

접지저항	이론 계산값	측정 저항값	측정날짜
R (매설깊이 $\alpha=0.1$)	19.318	18.53	2005.03.07
R (매설깊이 $\alpha=0.2$)	9.880	9.35	2005.03.19
R (매설깊이 $\alpha=0.3$)	6.734	8.98	2005.03.29

3 모델전극에 의한 수조모의 실험방법 3.1 각관상접지극의 수조시물레이션

수조모의실험에 대한 이론적인 내용을 살펴보면 다음과 같다. 접지전극을 설계할 때 모양이 복잡한 전극인 경우에는 계산공식을 유도하는 것이 곤란하다. 이러한 경우 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로서 모형실험법이 있다. 접지의 모형 실험법은 그림 3.1과 사진3.1~3.2과 같이 수조 속에 접지전극의 축적모형(스케일모델)을 배치하여 측정하는 방법이다. 접지의 모형실험을 하는 데에는 먼저 균질 대지와 유사한 환경을 만들어야 한다. 수조모의실험에서는 아래 그림과 같이 물을 가득 채운 수조를 균질 대지에 가깝게 만든다.

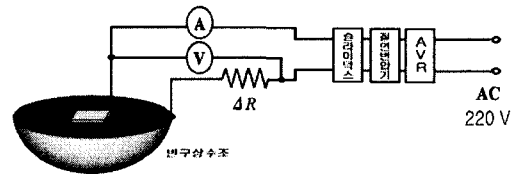


그림 3.1 수조실험 장치도

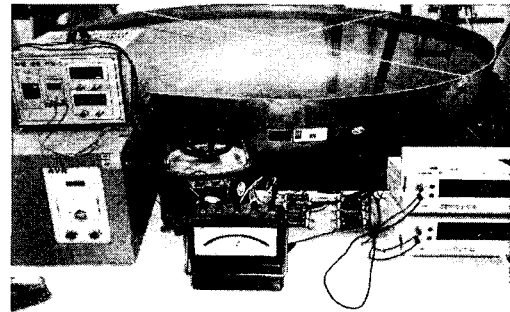


사진 3.1 수조실험장치

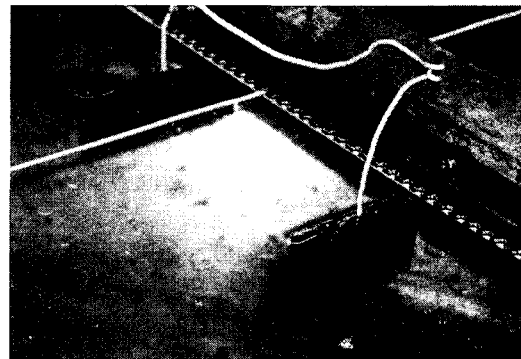


사진 3.2 수조실험 A전극 배치

그래프로 실험에 의한 데이터를 대신하고, 각각의 데이터의 정확성과 비교를 위해서 전극A(간섭원)과 전극B(간섭을 받는전극)의 크기를 되도록 이면 수조의 유한 크기에 대해서 전극A의 경우는 수조의 크기의 1/8의 크기정도의 가로×세로(10×10 [Cm])으로 했다. 그리고 전극B의 크기는 표 3-1와 같이 간섭의 정도에 영향을 받기 쉬운 크기를 선정해서 실험을 행했다.

표3-1 전극의 재료의 선정

전극종류	전극A의크기	전극B의크기	비고
전극크기	10×10 Cm	1×1 Cm	깊이변화
	10×10 Cm	2×2 Cm	깊이변화
	10×10 Cm	3×3 Cm	깊이변화
	10×10 Cm	5×5 Cm	깊이변화
	10×10 Cm	8×8 Cm	깊이변화
	10×10 Cm	10×10 Cm	깊이변화

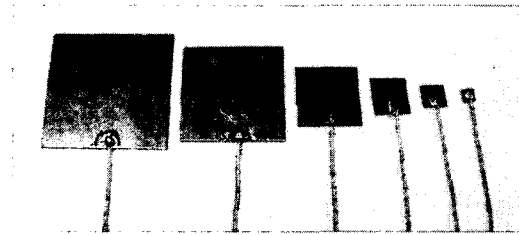
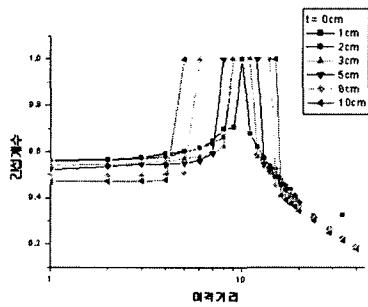
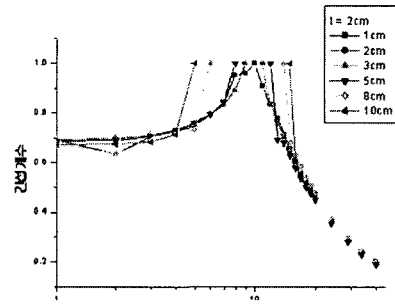


사진 3.3 모델접지극(B)

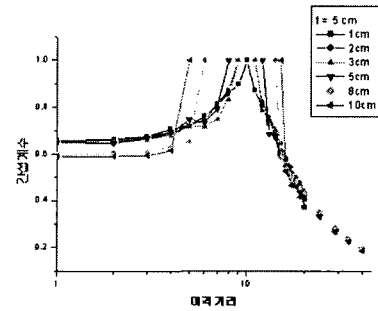
그림3.2와 그림3.3 같이 전극B의 크기가 적을수록 그리고, 전극B의 배치방법이 수직일 때 보다 수평일 때가 더욱 간섭의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.



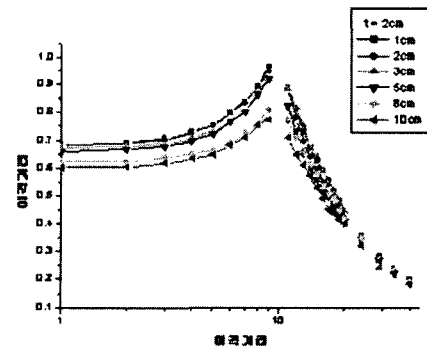
(a) t = 0 경우



(b) t = 2 경우

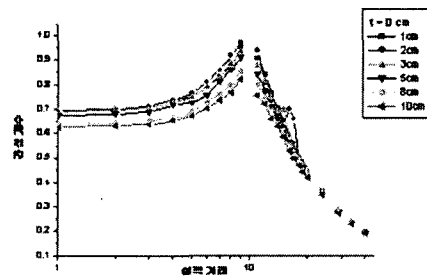


(c) t = 5 경우

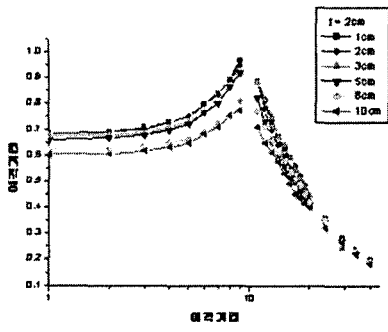


(d) t = 10 경우

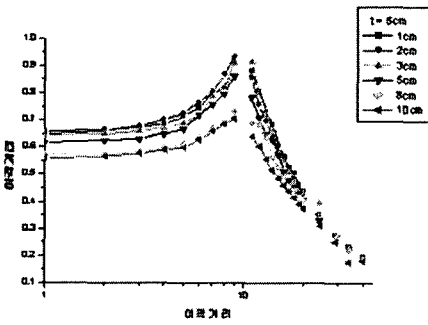
그림 3.2 수직 배채의 경우



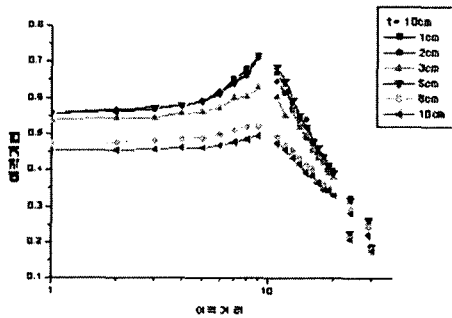
(a) t = 0 경우



(b) t =2 경우



(c) t =5 경우



(d) t =10 경우

그림 3.3 수평 배체의 경우

3.2 메쉬접지극의 수조시물레이션

접지시물레이션의 모형 실험법은 그림 3.1과 사진 3.1과 같이 수조 속에 접지 전극의 스케일모형을 배치하여 측정하였다.

그리고 메쉬접지전극에 있어서 특징적이고 실용상 중요한 것은 메쉬수와 메쉬계수의 파악이다.

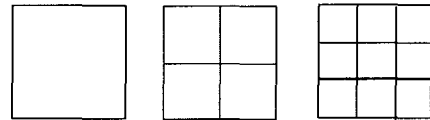
표 3-2과 그림 3.4에 의해서 메쉬수와 메쉬계수의 개념을 설명한다. 메쉬전극이 차지하는 면적을 정방형으로 한다. 이 정방형의 외주에 따라서만 도체를 매설하여 접지전극으로 했을 경우를 메쉬수1,

즉 그물코의 수를 1로 한다. 이렇게 해서 차례로 각 메쉬 속에 선상전극을 등분해가면 최종적으로 전극은 정방판이 된다. 메쉬전극의 접지저항R은 메쉬계수M을 이용하여 식2-4와 같이 표현할 수 있다. 그림3.4에는 메쉬계수(M)와 메쉬수(N)의 관계를 보여주고 있다. 단, 도체의 굵기는 일정하다. 메쉬수(N)가 무한대일 때는 판상 전극의 접지저항이 가장 낮기 때문에 항상 $M>1$ 이다.

따라서 N이 커지면 재료비 및 시공비가 급격히 증가하게 되므로 N을 극단적으로 크게 할 수 없다.

표 3-2 모델 전극의 굵기에 따른 메쉬계수

전선 \ 메쉬계수	1	4	9
0.8mm	1.1438	1.1642	1.0448
2mm	1.1098	1.0816	1.0245
3mm	1.0708	1.0296	1.0007



1 메쉬

4 메쉬

9 메쉬

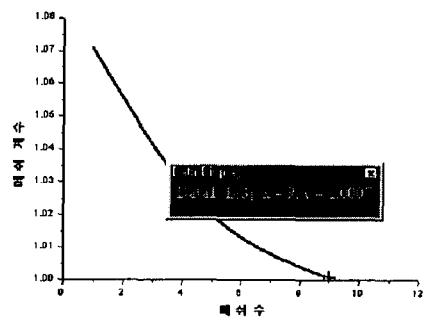


그림 3.4 메쉬수와 메쉬계수

전극A의 경우는 우선 그림3.6 와 같이 접지계A를 수조의 수면중심에 설치해 접지계 A영역의 중심에 접지계B를 설치했다. 접지계 B를 x방향과 전극③ 방향으로 7cm 간격으로 이동시켜 각 지점에서의 접지계 A 및 접지계 B의 전위를 측정해 전위간섭계수를 산출했다.

접지계 A의 전극①~④에는 길이 50[mm], 반경 2.5[mm]의 봉상전극을 접지계B의 전극⑤는 길이 100[mm], 반경 0.25[mm]의 봉상전극을 사용해 매설 깊이는 접지계 A가 0[mm], 접지계B가 25[mm], 50[mm], 100[mm] 의 3양상으로 했다.

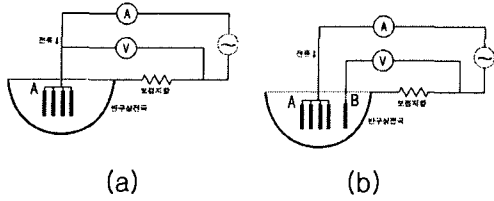


그림 3.5 실험회로

전원을 상용전원 (60Hz, 220V)은 슬라이더스에 의해서 전압을 조정해 전류를 일정하게 유지했다. 수돗물의 저항률은 측정의 직전에 아크릴 수조를 사용해 측정하게 했다.

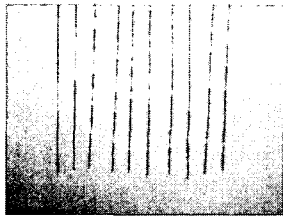


사진 3.5 모델전극

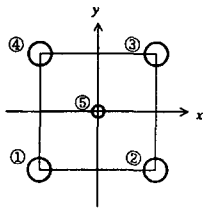


그림 3.6 전극의 배치

3.3 측정결과

앞서 서술한 측정에 의해 얻어진 결과는 그림 3.7~그림 3.8에 나타나고 있다. 실험에 의해 얻어진 매설깊이의 변화에 의해 변화하는 전위간섭계수를 나타낸다. 그림 3.7~그림 3.8의 전극 A에 대한 각각 전극 B가 봉상전극경우만을 나타내고 있다. 또한 전극의 매설깊이를 변화시켜도 양호한 일치를 나타내었다.

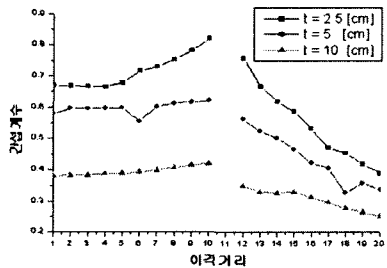


그림 3.7 극(3)방향 데이터

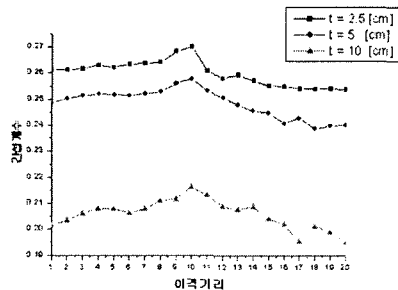


그림 3.8 축(x)방향 데이터

4. 결론

일반적으로 메쉬접지극의 저항값은 낮은 것으로 알려져 있다. 건축 구조체의 지하부분이 대지와 접촉하고 있는 접촉면을 메쉬접지극의 접촉면으로 상정하고, 그때의 형상을 메쉬접지극형상을 모델로 하여 스케일로 제작을 했다. 접지전극을 설계할 때 전극형상의 계산식은 아직 없으므로 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로 접지시물레이션을 이용하게 된다. 그 방법중의 하나가 수조모델에 의한 접지전극의 매쉬계수와 전위간섭에 의한 추정법이다. 본 실험의 결과에서 전극의 매쉬계수를 도입하는 것에 의해 전극의 접지저항이 식(2-2)와 식(2-4)에 의해 정밀도 높게 추정할 수 있고, 이것은 사진 2.1, 표 2-3, 표 3-2의 내용과 같이 실제의 접지극으로 사용된 메쉬극과 동일한 재료를 이용하여 매쉬계수를 추정하고, 아무리 이론적으로 타당한 접지극의 설계라 할지라도 실제에 적용하기 위해서는 동일한 재료를 사용하는 것이 더 타당할 것이다.

따라서 매쉬계수를 얻기 위한 가장 간단한 방법인 수조모델 실험으로 접지저항을 충분히 추정할 수 있고, 접지전극 설계에 기여할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 高橋 「接地技術の動向」 電学誌 106, 357 (昭61-4)
- [2] E.D.Sunde : Earth Conduction Effects in Transmission Systems (1968) Dover Publication Inc
- [3] 高橋・美多・川瀬 : 「並列接地の集合係数について」 電氣学誌會電力應用研資 EPA-78-5 (昭53)
- [4] 大矢, 他 : 「電極並列接地による接地抵抗の低減化」 電学論 B, 106, 911 (昭61-10)
- [5] 高橋 : 「多層大地における深打接地と浅打並列接地の接地抵抗」 電氣設備学会 Vol.16.No.10. 平成8年10月
- [6] 高橋, 他 : 棒狀電極の接地インピーダンスの數値計算」 電誌論 B 103, 183 (昭58-3)
- [7] 馬淵, 高木: 棒狀接地極の接地抵抗値の算定について」 電力技術研究所所報, 6, 40(昭-1)
- [8] G.F.Tagg : "Earth Resistances", George Newnes Ltd.
- [9] H.B.Dwight : Effects of resistance to Ground Electrical Engineering, No.12.1936
- [10] 高橋 : 「棒狀接地極の電位分布計算式の表現」 電氣設備學會誌 Vol.18.No.11, 平成10年11月