

수조모형을 이용한 메쉬접지극의 접지저항에 관한 연구

(Study for the Grounding Resistance of the Mesh Grounding Electrode
by Water Tank Model)

김주찬* · 김성삼 · 최종규 · 이충식 · 고희석

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

요 약

최근들어 빌딩내에 있는 많은 전기·전자·통신설비들은 기기 보호 및 안전을 위하여 반드시 접지를 필요로 하며, 고장 전류가 같은 빌딩내에 있는 어떤 접지 시스템으로 흐를 때, 이 전류에 의한 전위상승에 영향을 받아 다른 접지시스템의 전위 상승을 유도할 수 있다. 이러한 전위간섭은 접지극의 표면전위에 의해 영향을 받으며, 전극의 형상과 깊이는 관련이 있다. 본 논문에서의 기본적 공식은 전위간섭을 받는 접지극과 전위간섭의 원천이 되는 두 접지극의 표면 전위에 기초하여 추론되었으며, 다중 접지극에 있어서의 전위간섭의 정도는 미리 간단한 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이는 대지위에 설치되는 건조물의 접지저항을 추정하기 위한 것이며, 실제의 현장에서 측정한 접지 저항값과 추정값과의 일치성을 입증하기 위하여 반구형 수조에서 모의 접지시스템의 축적 모델로 실험을 행한 결과, 확실한 메쉬접지극의 접지저항을 얻을 수 있었다. 따라서 수조 모델 실험을 통하여 메쉬접지극의 접지저항을 추정할 수 있음을 보여주고 있다.

Abstract

Recently, a number of equipments related with electricity, electronics, and communication in the same building are needed to the grounding system for safety from unexpected accidents. When the faulted electric current flows into a certain grounding system, the potential rise in that system takes place and it might induce the potential rise to other grounding system. This potential interference was strongly affected by the surface potential, which was deeply related with the electrode shape. In this paper, the fundamental formula was deduced on the basis of surface potential of two grounding electrodes. Which corresponds to source of the potential interference and other grounding electrode, respectively. Therefore, the degree of potential interference in this mesh grounding electrode system was verified by the simple model simulation.

In addition, in order to identify the difference between the grounding resistance in the realistic construction site and the expected value from the corresponding simulation, the experiment was performed with model on a reduced scale about the realistic grounding system. It consists of stainless steel hemisphere electrodes in a water tank. From this work, the grounding resistance in the mesh grounding electrode showed the good coincidence results between those. Consequently, it is confirmed that the grounding resistance in the mesh electrode is possible to be estimated by performing the experiment using the water tank model.

Key Words : Potential Rise, Potential Interference, Water Tank Model

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 박사과정

Tel : 055-262-1077, Fax : 055-262-8188, E-mail : jckorea@mk21.org

접수일자 : 2005년 11월 1일, 1차심사 : 2005년 11월 15일, 심사완료 : 2005년 11월 28일

1. 서 론

메쉬접지는 망상접지라 불리기도 하며 그 구조 특성상 아주 넓은 면적에 포설한다. 이 방식은 그물 모양으로 포설하는 접지로서 대지 저항률이 높은 지역이나 건물의 밑바닥 같이 넓은 면적에 주로 시공한다. 메쉬 접지극의 효과는 매우 우수하며 낮은 접지 저항을 얻을 수 있고, 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 얻기 쉽다[1-3]. 그러나 매우 넓은 면적이 필요하고 시공이 어려울 뿐만 아니라 시공비가 비교적 비싼 편이다. 또한 유지 보수가 거의 불가능하므로 최초 시공시에 각별한 주의를 필요로 하며, 확실히 시공함이 요구된다. 일반적으로 메쉬접지극은 발전소나 변전소 등에서 필수적으로 시공되며, 공장과 같은 활용 면적이 큰 장소에서도 많이 시공된다. 이와 같은 상황에 있어서 어느 접지계에 접지 전류가 유입된 경우 다른 접지계로의 전위의 상승, 즉 접지극 간의 전위간섭이 문제가 된다. 종래의 전위간섭의 연구는 접지극 지표면의 전위분포 계산식을 이용하여 전극간의 거리 관계만으로 검토되어 왔지만, 전극형상에 의한 전극 표면 전위를 고려해서 엄밀하게 검토할 필요가 있다[4-9].

따라서 본 논문에서는 모의 축소 접지계를 구성하여 이를 확인하는 실험적 접근으로서 스테인레스제 반구형 수조를 이용하여 접지극의 접지저항을 측정하였다. 특히 일반건축물에서 널리 보편화되어 시공되고 있는 메쉬접지극을 수조 모의실험에 의해 해석하였다[10-15].

2. 본 론

2.1 일반이론

2.1.1 등가 반경의 유도

메쉬접지극의 상세구조는 무시하고 접지 극이 차지하는 최대 면적에 주목한다. 메쉬 접지극이 외주 도체에 의해서 둘러싸인 면적을 $A[m^2]$ 라 하고, 이것과 동일한 면적의 원의 반경을 $r[m]$ 로 하면,

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

위 식에 의해 계산된 r 을 메쉬접지극의 등가반경이라 가정한다. 이 경우 메쉬접지극이 반드시 원형이라고는 할 수 없지만, 형상에 의한 접지저항의 변화는 무시한다.

2.1.2 매설 깊이의 분류

지표면에서 메쉬접지극까지의 깊이를 등가반경($r[m]$)과 매설깊이($d[m]$)에 따라 아래와 같이 분류한다. 어느 것이나 메쉬접지극은 지표면과 평행하게 매설되었다고 가정한다.

① Case I ($d \ll r$)의 경우 : 메쉬접지극의 매설 위치가 지표면에 아주 가까운 경우이다. 이 경우는 메쉬접지극의 아랫면에 대한 접지 효과만이 이용된다. 따라서 원판의 반공간 접지저항 공식을 이용하여 메쉬접지극의 접지저항을 구해보면 다음과 같다.

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

② Case II 및 그 이외의 경우 : $r \approx d$ 의 경우와 $r \ll d$ 의 경우에는 메쉬(봉상)접지극의 크기에 비해 충분히 깊게 매설하는 경우이다. 이 경우에는 메쉬접지극의 상하 양면의 접지 효과가 충분히 이용된다.

· $r \approx d$ 경우

$$R = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{8 \cdot 2d} = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{2d}\right) \quad (3)$$

· $r \ll d$ 경우

$$R = \frac{\rho}{8r} = \frac{\rho}{8} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (4)$$

실제의 메쉬(봉상)의 경우는 대지를 대상으로 접지극으로 시설된다. 즉 전 대지를 대상으로 한 접지이므로 ① $d \ll r$ 의 경우가 적용되며, ② Case II 및 그 이외의 경우는 적용하지 않기로 한다.

2.1.3 메쉬수와 메쉬계수

메쉬접지극의 상세 구조에 있어서 그 최대 면적이 동일할지라도 형상의 변화에 의해 접지저항의 변화가 일어나므로, 이러한 변화를 특징짓기 위해서는 동일 면적에서의 메쉬수와 메쉬계수(M)를 정의해야만 한다. 따라서 메쉬계수 M 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수조모델을 이용한 메쉬접지극의 접지저항에 관한 연구

$$M = \frac{\text{메쉬수가유한할때의접지저항}}{\text{메쉬수가무한할때의접지저항}} \quad (5)$$

2.2 메쉬 접지저항값 측정변화

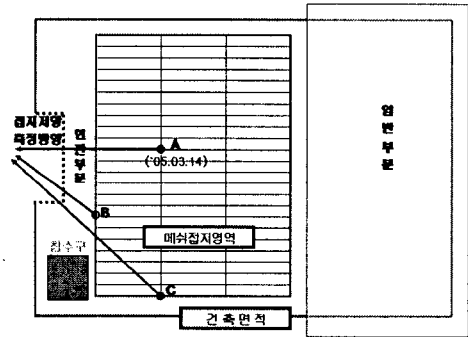
실제의 메쉬접지극을 시설하는 장소에서 접지저항값을 측정하고, 메쉬접지극의 시공시작 단계에서부터 시간 경과에 따른 접지저항값의 변화를 표 1에 나타내었다. 또한 이때 사용된 측정계기 및 수조모델 실험에 사용된 계측기를 표 2에 나타내었다. 계측기를 아날로그식과 디지털식을 동시에 사용한 것은 측정상의 계통오차를 줄이기 위한 방법의 일환이다. 시공 진행상황에 맞춰 접지저항값 측정을 하면서 접지극이 매설된 동일지층에서 측정을 하는 것이 보다 바람직하다는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 다른 지층에 매설된 접지저항값을 측정하는 것은 전체 대지에서 접지극을 볼 경우, 접지극과 그의 계측기가 하나의 점으로 인식되지만, 실제의 측정에서는 시공 진행상황에 따른 접지저항값의 변화를 표 1과 실제 측정방법의 방향이 그림 1에서와 같이 상이함을 나타내었다. 즉 측정방법을 현관 방향 및 암반 방향으로 측정할 때의 보조접지극(probe)과 접지극이 적용되는 대지가 서로 다른 지층에 위치함에 의하여 접지저항값이 암반위에 보조극을 시설하는 경우가 더 높은 값으로 측정되었다. 이는 대지저항률의 차이에 기인하는 것으로 추측된다.

표 1. 메쉬 접지저항값 변화
Table 1. The change of mesh grounding electrode

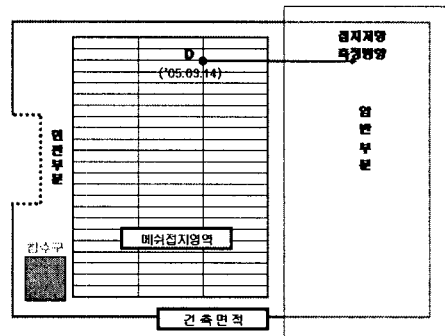
날 짜	접 지[Ω]	비 고
'05.03.07	18.53	메쉬접지극 시설시
'05.03.08	16.66	접지저감제 살포
'05.03.09	18.06	흙덮기 작업후
'05.03.14	18.03~18.05	메쉬접지 시설 완료 측정 : 현관방향
	22.14	메쉬 접지시설 완료 측정 : 암반방향
'05.03.19	9.35	콘크리트 덮기 작업 후-2겹 덮기
'05.03.22	10.25	지하1층 철근 작업시작
'05.03.29	8.98	지하1층 철근 작업도중
'05.06.26	8.51	지하1층 기초 작업 완료
'05.08.28	7.11	지하1층 시멘트 작업 완료

표 2. 측정에 사용된 계측기의 제원
Table 2. The specification of used equipment

기기 종류	제조원	제 원
ρ 미터 (전도율계)	(주)東亞電波工業 (Japan)	CM-21P
교류전류계	HWA SHIN	TYPE : HS 7015 CLASS : 0.5
디지털전압계	EZ	Digital Multimeter (DM-441B)
AVR	삼풍전원시스템	정격용량 : 2[kVA]
슬라이더스	삼신전업사	정격용량 : 2[kVA] (0~120[V])
절연변압기	삼풍전원시스템	정격용량 : 1[kVA]
접지저항계	HWA-SHIN (아날로그)	0 - 10/100/1000 (3 range)
	GEO-X(디지털)	0.02[Ω] - 300[kΩ]
건물의 크기	산학협력관	38×28×37[m]
메쉬의 크기	가로	23[mesh]×1.56[m]
	세로	3[mesh]×1.56[m]



(a) 현관 방향
(a) A door direction



(b) 암반 방향
(b) A rock direction

그림 1. 메쉬 접지극의 측정 방향
Fig. 1. A measurement direction of mesh electrodes

3. 모델전극에 의한 수조 모의실험

3.1 각 판상접지극의 수조 시뮬레이션

수조 모의실험에 대한 이론적인 내용을 살펴보면 다음과 같다. 접지극을 설계할 경우, 모양이 복잡한 전극인 경우에는 계산공식을 유도하는 것이 곤란하다. 이러한 경우에 있어서 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로서 모형 실험법이 있다. 접지의 모형 실험법은 그림 2와 사진 1, 2, 3과 같이 수조 속에 접지극의 축적 모형을 배치하여 실시하였다.

접지의 모형실험을 하기 위해서는 균질 대지와 유사한 환경을 만들어야 한다. 수조 모의실험에서는 아래 사진 2와 같이 물을 가득 채운 수조를 사용하여 균질 대지에 가깝게 하였다.

각 데이터의 정확성과 결과를 비교하기 위하여 전극 A(간섭원)와 전극 B(간섭을 받는 전극)의 두개의 전극을 구성하여, 전극 A는 수조의 유한 크기(수조반경:75[cm])에 대해서 약1/8 크기(가로×세로(10×10[cm]))로 하였다.

그리고 전극 B의 크기는 표 3과 같이 전위간섭의 영향을 측정하기 위하여 6가지의 크기를 선정하여 실험을 진행하였다.

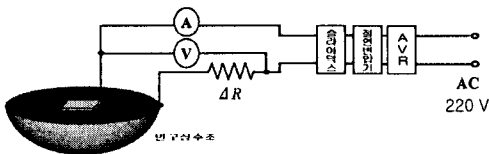


그림 2. 수조 실험 장치도
Fig. 2. A water tank experiment device drawing

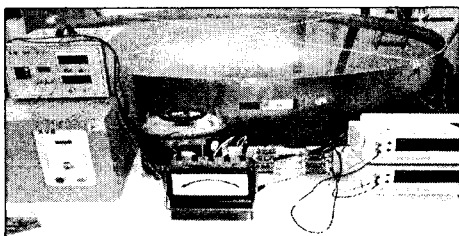


사진 1. 수조 실험 장치
Photo 1. A water tank experiment device

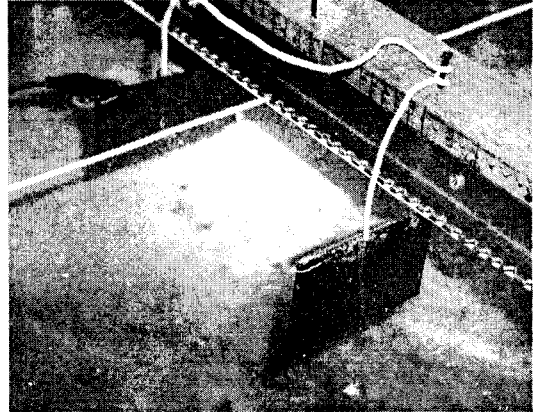


사진 2. 수조 실험에 있어서 A전극 배치
Photo 2. A electrode disposition in a water tank experiment

표 3. 본 연구에 사용된 전극의 크기
Table 3. The size of grounding electrode used in this water

전극 재료	전극 A의 크기	전극 B의 크기	비고
동 (Cu)	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

그림 3과 그림 4와 같이 전극 B의 크기가 작을수록, 전극 B의 배치가 수직보다 수평일 때가 더욱 간섭의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

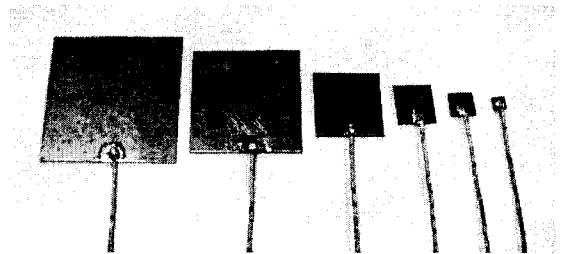
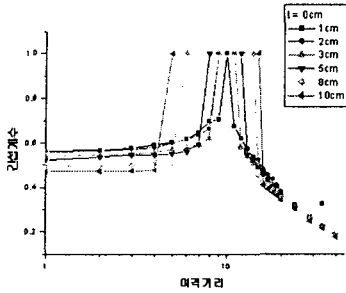
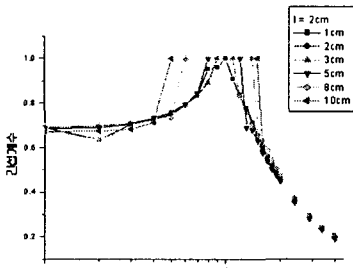


사진 3. 모델 접지극 B의 종류
Photo 3. The kind of a model electrodes B

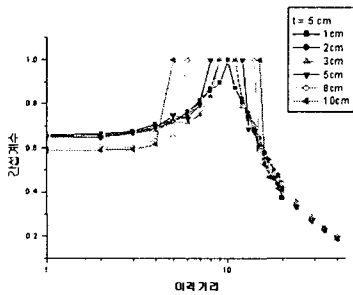
수조모형을 이용한 매쉬점지극의 점지저항에 관한 연구



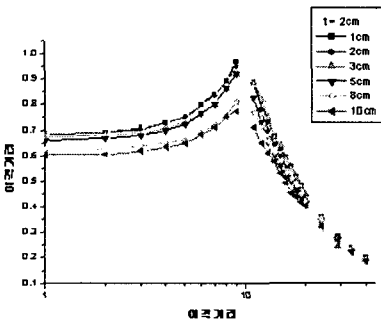
(a) 매설깊이 t = 0 경우
(a) t = 0, The buried depth



(b) 매설깊이 t = 2 경우
(b) t = 2, The buried depth



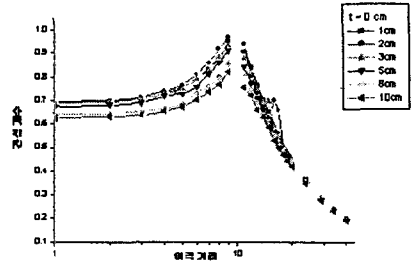
(c) 매설깊이 t = 5 경우
(c) t = 5, The buried depth



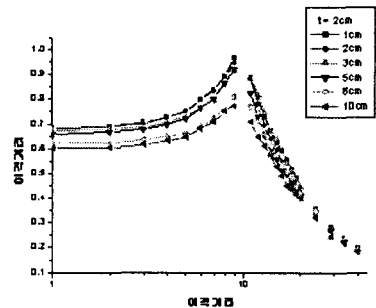
(d) 매설깊이 t = 10 경우
(d) t = 10, The buried depth

그림 3. 수직 배치의 경우

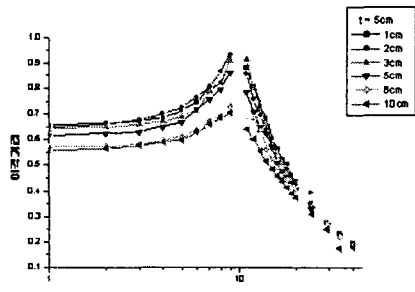
Fig. 3. The case of a vertical disposition



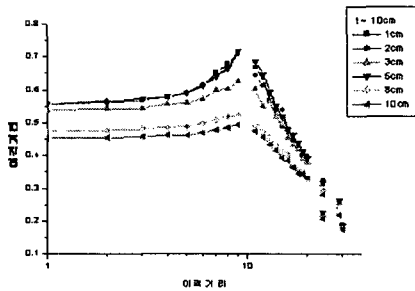
(a) 매설깊이 t = 0 경우
(a) t = 0, The buried depth



(b) 매설깊이 t = 2 경우
(b) t = 2, The buried depth



(c) 매설깊이 t = 5 경우
(c) t = 5, The buried depth



(d) 매설깊이 t = 10 경우
(d) t = 10, The buried depth

그림 4. 수평 배치의 경우

Fig. 4. The case of horizontal disposition

3.2 메쉬접지극의 수조 시뮬레이션

메쉬접지극의 수조 시뮬레이션은 그림 2와 사진 2와 같이 수조 속에 접지극의 모델을 배치하여 실시하였다.

그리고 메쉬접지극에 있어서 특징적이고 실용상 중요한 것은 메쉬수와 메쉬계수의 파악이다. 표 4와 그림 5에 의해서 메쉬수와 메쉬계수의 개념을 간략하게 설명하면, 메쉬접지극이 차지하는 면적을 정방형으로 하여, 이 정방형의 외주를 따라서만 도체를 매설하여 접지극으로 했을 경우를 메쉬수 1, 즉 그물코의 수를 1로 한다. 이렇게 해서 계속하여 각 메쉬 속에 선상전극을 등분하면 최종적으로 전극은 정방판이 된다. 메쉬접지극의 접지저항 R과 메쉬계수 M의 관계는 식 4와 같이 표현할 수 있다.

그림 5에는 메쉬계수(M)과 메쉬수(N)의 관계를 보여주고 있다. 메쉬수(N)가 무한대일 때는 판상전극의 접지저항이 가장 낮기 때문에 항상 $M > 1$ 이며, 도체의 굵기는 일정하다고 가정한다.

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

표 4. 모델 전극의 굵기에 따른 메쉬계수
Table 4. The mesh factor according to thickness of a model electrode

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

전극 A의 경우는 우선 그림 7과 같이 수조의 수면 중심에 설치한 후, 다시 접지계 A 영역의 중심에 접지계 B를 설치했다. 접지계 B를 x 방향과 전극③ 방향으로 7[cm]씩 이동시킴에 따라서 각 지점에서 접지계 A 및 접지계 B의 전위를 측정해 전위 간섭계수를 산출했다.

접지계 A의 전극 ①~④는 길이 50[mm], 반경 2.5[mm]의 봉상전극을 사용하였으며, 접지계 B의 전극 ⑤는 길이 100[mm], 반경 0.25[mm]의 봉상전극을 사용하였다. 매설 깊이는 접지계 A가 0[mm], 접지

계 B가 25[mm], 50[mm], 100[mm]의 세 가지 양상을 매설하여 측정하였다.

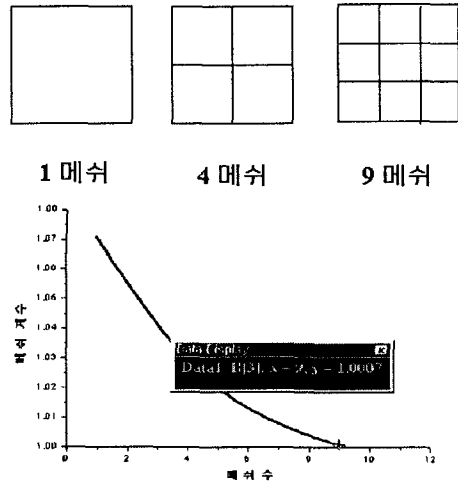


그림 5. 메쉬수와 메쉬계수
Fig. 5. A mesh number and a mesh factor

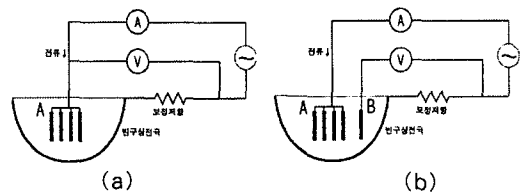


그림 6. 실험회로
Fig. 6. The experiment circuit

전원으로는 상용전원 (60[Hz], 220[V])을 슬라이더에 의해서 전압을 조정해 전류를 일정하게 유지했다. 수돗물의 저항률은 측정 직전에 아르킬 수조에 측정하였으며, 그때의 물의 온도는 1.5[℃]였다.

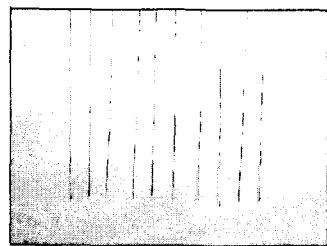


사진 4. 모델전극
Photo 4. The model electrode

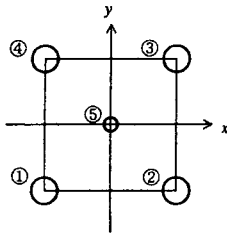


그림 7. 전극의 배치
Fig. 7. The disposition of the electrode

3.3 측정 결과

앞서 서술한 측정에 의해 얻어진 결과는 그림 8~11에 나타내고 있다. 그림 8의 경우는 이상적인 경우의 간섭되는 접지극(전극계B)의 양상을 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, 그림 10 및 그림 11은 실험에 의해 얻어진 매설깊이의 변화에 의해 변화하는 전위간섭계수를 나타낸다. 특히 이것은 접지계 A에 대한 각 접지계 B가 봉상전극인 경우만을 나타내고 있다. 또한 전극의 매설깊이 변화 및 이격거리를 변화 시킴에 따라서 간섭계수가 비슷한 경향을 보였다.

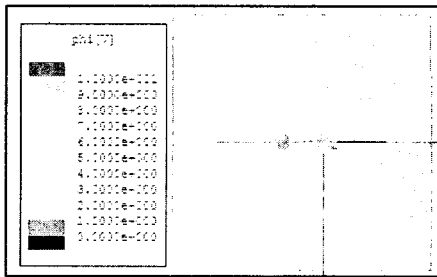


그림 8. 모델전극의 전위분포
Fig. 8. A potential distribution of a model electrode

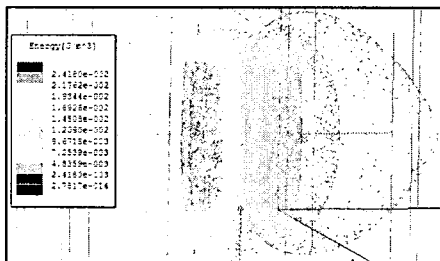


그림 9. 모델전극의 에너지 분포
Fig. 9. An energy distribution of a model electrode

그림 8~11의 그래프 분포 양상을 비교·분석해보면, 일반적인 수돗물의 경우에 있어서 전극계에 대한 모델 실험을 하면, 이상적인 경우와 비교하여 실제적 실험의 분포 양상은 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

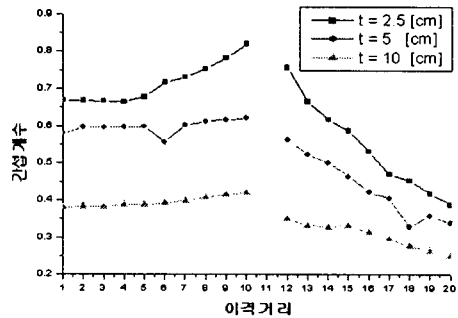


그림 10. 극(③)방향의 이격거리에 따른 간섭계수
Fig. 10. The interfere factor according to distance in ③ direction

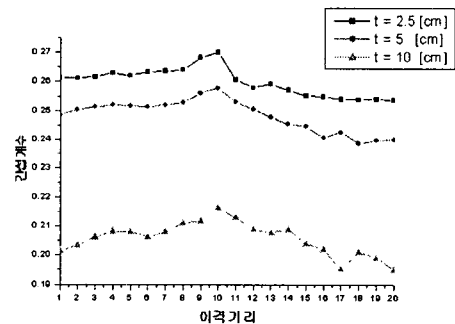


그림 11. 축(x)방향의 이격거리에 따른 간섭계수
Fig. 11. The interfere factor according to distance in x direction

3. 결론

일반적으로 메쉬접지극의 저항값은 낮은 것으로 알려져 있다. 건축 구조체의 지하부분이 대지와 접촉하고 있는 접촉면을 메쉬접지극의 접촉면으로 상정하고, 그때의 형상을 메쉬접지극 모델로 제작하여 실험을 진행하였다. 접지극을 설계할 때 전극형상의 계산식은 아직 없으므로 접지저항을 추정하는 편리한 방법으로 접지 시뮬레이션을 일반적으로 이용한다. 그 방법 중의 하나가 수조 모델에 의한 접지극의 매쉬계수와 전위간섭에 의한 추정법이다. 본 실험의

결과에서 전극의 매쉬계수를 도입하는 것에 의해 전극의 접지저항이 식 2와 식 4에 의해 정밀도 높게 추정할 수 있고, 이것은 표 3, 표 4의 내용과 같이 실제의 접지극으로 사용된 매쉬접지극과 동일한 재료를 사용하여 매쉬계수를 추정하였으며, 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, 접지극 설계에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 2005년도 경남대학교 학술논문게재 연구비로 이루어졌음.

References

- (1) 高橋 「接地技術の動向」 電學誌 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 : 「並列接地の集合係數)について 電氣學誌會電力應用研資 EPA-78-5 (昭53).
- (4) 大失, 他 : 「電極並列接地による接地抵抗の低減化」 電學論 B, 106, 911 (昭61-10).
- (5) 高橋 : 「多層大地における深打接地と淺打並列接地の接地抵抗」 電氣設備學會 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) 고희석, 최종규외 “수조모델 실험에 의한 접지저항추정” 조명전기설비학회논문지 제17권(2호)pp41-48.
- (8) 고희석외 “수조시물레이션에 의한 각판상 모델전극의 해석” 한국조명전기설비학회 2003년도 춘계 학술발표회 논문집 pp69-72.
- (9) 고희석외 “망상접지극의 축척모델의 최적매쉬수에 관한 연구” 한국조명전기설비학회 2002년도 춘계 학술발표회 논문집pp37-41.
- (10) 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).
- (11) G.F.Tagg : “Earth Resistances”, George Newnes Ltd.
- (12) H.B.Dwight : Effects of resistance to Ground Electrical Engineering, No.12.1936.
- (13) 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.
- (14) 이복희 이승철 공저 “접지의 핵심 기초기술”pp65-190 2000년8월 초판3쇄발행.
- (15) 이충선 역 “접지 기술과 접지시스템” pp24-46 1998년2월 초판 발행.

◇ 저자소개 ◇

김주찬 (金周贊)

1973년 9월 14일생. 2000년 2월 경남대학교 전기공학과 졸업. 2002년2월 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경남대학교 대학원 전기공학과 박사학위과정.

김성삼 (金聖三)

1973년 5월 3일생. 2001년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2003년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경남대학교 대학원 전기공학과 박사학위과정.

최종규 (崔鍾圭)

1964년 3월 1일생. 1987년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1994년 8월 경남대학교 공대 전기공학과 졸업(석사). 2003년 8월 경남대학교 공대 전기공학과 졸업(박사). 현재 마산대학 컴퓨터전기공학부 부교수.

이충식 (李忠植)

1966년 3월 21일생. 1991년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 3월~현재 대원과학대학 전기전자과 부교수.

고희석 (高羲石)

1942년 8월 21일생. 1966년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1985년 중앙대학교 대학원 전기공학과(박사). 1999년 대한전기학회 부회장 역임. 2005년 한국조명·전기설비학회 부회장. 현재 경남대학교 전기공학과 교수.