

전력사용 시설물의 Pattern Search 법을 이용한 최적 접지 설계에 관한 연구

(A Study on the Optimal Grounding Design using Pattern Search
Method for Electric Power Facilities)

김경철 · 최병숙*

(Kyung-Chul Kim · Byung-Sook Choi)

요 약

전력사용 시설물은 사고시 대지에 전류를 흘려 보내고, 시설물의 손상, 화재와 인체의 감전 충격을 방지하기 위해서 반드시 효과적인 접지를 하여야 한다. 본 논문에서는 Pattern Search법을 이용하여 접지시스템의 최적의 각종 파라미터를 구하고자 한다. Pattern Search법을 이용하여 구한 파라미터를 입력으로 하여 시뮬레이션한 결과 최적의 접지 시스템을 확인하였다.

Abstract

Electric power facilities must have effective grounding to provide means to carry electric current into the earth under fault conditions and to prevent damage of equipment, ignition, and electrocution of personnel. This paper present an algorithm called the Pattern Search method for the optimal parameters selection of the grounding system. Simulation results using these parameters obtained from the PS method verify that the grounding systems are adequately designed.

Key Words : Electric Power Facility, Pattern Search Method, Grounding System

1. 서 론

오늘날의 정보통신 및 전력전자 기술의 눈부신 발전으로 모든 설비의 소형화, 집적화를 가능하게 하였고 초고속 종합 정보통신망을 이용하여 각종의 데이

터, 음성, 화상에 이르는 모든 정보를 서비스 할 수 있게 되었으며, 또한 컴퓨터를 통해 모든 정보를 공유할 수 있는 고도의 정보화 시대를 맞이하고 있다 [1][2]. 이러한 소자 및 설비기술의 비약적인 발전은 전자회로의 고 기능화와 고 밀집화를 이룩하였으며 이로 인한 노이즈 및 전자파의 간섭과 장애에 민감한 전자장비와 디지털 장비들의 사용이 급증하면서 상용주파 고장전류로 인한 유도장해 및 노이즈에 대한 관심이 증가하게 되었다. 이러한 건축물의 각종 전기, 전자, 통신설비를 대지와 전기적으로 접속하여 접지를 구성하기 위한 전극이 접지전극이다[3][4]. 이

* 주저자 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 041-860-2610, Fax : 041-863-7605
E-mail : cbssook@hanmail.net
접수일자 : 2001년 10월 22일
1차심사 : 2001년 10월 30일
2차심사 : 2001년 11월 29일
심사완료 : 2001년 12월 19일

전극과 대지 사이에 발생하는 접촉저항, 즉 전기적 저항이 접지 저항이다. 그러므로 접지시스템의 안전하고 효율적인 구성을 위해서는 현장에 맞는 접지전극의 설계 및 시공이 필수적이며,[5] 이를 위한 대지 저항률의 파악 및 분석 그리고 접지저항의 계산, 대지전위 상승에 대한 특성 해석이 매우 중요한 요소이다[6][7]. 접지계로 침입하는 상용주파 고장전류로 인한 유도장해 및 노이즈에 대한 전자기기의 보호를 위해서는 접지전극의 형상과 규모에 따른 대지전위 크기와 대지구조에 의한 접지 저항값의 특성 파악이 반드시 이루어져야 한다[8].

본 논문에서는 공용접지 시스템에서 비교 분석의 정확성을 위해 산업현장에서 많이 적용하고 있는 일반봉접지, 동판접지, MESH접지, 전해질접지 등에 대해서 접지저항 및 대지표면전위 분포해석, 경제성을 비교하였다. 즉 간격, 천공깊이, 매설깊이, 봉간격, 봉길이에 따른 접지저항, 대지표면 전위분포, 경제성 등을 고려하여 Pattern Search법에 의한 최적의 접지시스템을 구성 하였다[9][10][11].

2. 접지 설계

현재 국내 대부분 엔지니어링 회사에서 전력사용설비의 접지설계 용역을 시행할 경우 동판의 두께, 나동선의 굵기, 고장전류등을 고려하지 않은 상태에서 단순히 요구 접지 저항값만 설계도서에 그림1과 같이 표현하여 설계도서를 발주처에 제출하고 있는 실정에 있다.

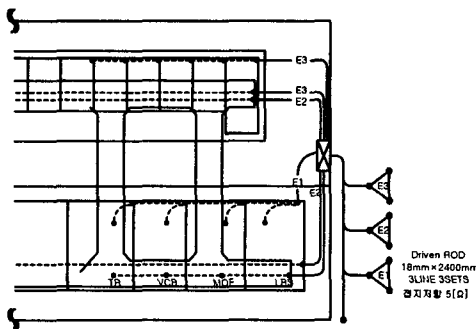


그림 1. 접지평면도
Fig. 1. Grounding Plan

현재 널리 사용되고 있는 4가지 접지방식에 대해서 설명하고 각각의 계산 방법과 설계구조를 제시 하였다.

2.1 Mesh 접지

대지저항률이 높은 지역에서 낮은 접지저항을 얻을 수 있고 안전이 우선 되는 장소에 시공하는 접지시스템이며 100 [mm]나동선을 사용하였다.

2.1.1 설계구조

간격 및 매설깊이에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 2와 같다.

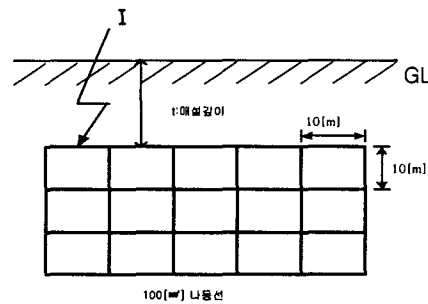


그림 2. Mesh 접지 설계구조
Fig. 2. Structure of Mesh Grounding

2.1.2 접지저항 계산

수평 매쉬접지의 접지저항계산식은 IEEE-Std 80-1986[4][5][6]에 의한 Laurent와 Niemann의 계산식이 일반적으로 사용되고 있다.

$$R_1 = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \quad [\Omega] \quad (1)$$

여기서, ρ : 대지고유저항률 [$\Omega \cdot m$]

A : 접지망 포설면적 [m^2]

L : 접지도체(접지망+접지봉)의 길이 [m]

2.2 일반봉 접지(Driven Rod)

다양한 크기와 재료의 모델이 있으며, 재료비의 가격도 비교적 저렴한 편이다. 대지저항률이 낮은 지역에서 매우 좋은 성능을 발휘하며, 접지봉의 추가 시공이 용이하고 타 접지 시스템과의 연계성이 좋고 접지봉은 18 [mm] × 2400 [mm]를 사용하였다.

2.2.1 설계 구조

봉간격 및 100[mm]나동선의 매설깊이에 따라 병렬

설계하여 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 3과 같다.

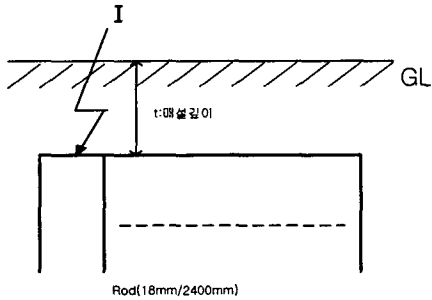


그림 3. 일반 접지봉 설계구조
Fig. 3. Structure of Driven Rod

2.2.2 접지저항 계산

일반봉 접지전극의 접지저항 IEEE - Std 80 -1986[4][5][6]에 의한 Tagg의 계산식이 일반적으로 많이 사용되고 있다.

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r} \quad [\Omega] \quad (2)$$

위 식은 하나의 단일봉에 대한 접지저항 계산식이다. 일반적으로 원하는 접지 저항을 얻기 위해서는 다수의 봉이 병렬형태로 접지전극을 구성하게 되므로 병렬접지 효과를 나타내는 봉간의 집합계수가 고려되어야 정확한 접지 저항값을 얻을 수 있다. 병렬 접지는 여러 개의 동일 접지봉을 병렬 형태로 집합시켜 구성하며, 합성접지저항 R_0 계산은 다음과 같다.

$$R_0 = K \cdot \frac{R}{N} \quad [\Omega] \quad (3)$$

단, K : 봉간의 집합계수
 N : 접지봉 개수[개]
 R : 단일봉의 접지저항값[Ω]

따라서 단일봉에 의한 접지저항값을 계산하고 병렬집합 계수만 얻을 수 있다면 병렬접지의 합성 저항값은 쉽게 얻을 수 있다.

2.3 동판접지(Copper Plate Grounding)

일정한 크기의 동판(Copper Plate)을 수평 혹은 수직으로 대지에 매설하여 접지를 구성한다. 장점은 넓은 면적에 걸쳐 매설 시공하며 대지 저항률이 높은 지역에서도 접지 효과가 매우 좋으나 시공비가 매우 비싸며 동판은 500[mm] × 500[mm] × 2t를 사용하였다.

2.3.1 동판 접지 설계 구조

동판간격 및 100[mm]나동선의 매설깊이에 따라 병렬설계하여 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 4와 같다.

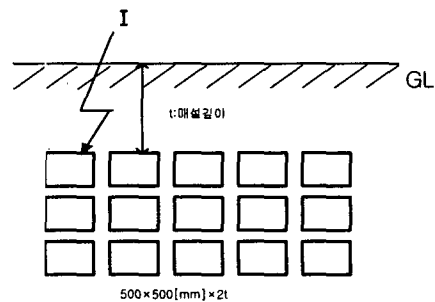


그림 4. 동판접지 설계 구조
Fig. 4. Structure of Copper Plate Grounding

2.3.2 접지저항 계산

동판모양 전극의 형상은 가로 a , 세로 b 의 비로 정사각형이나 직사각형이 되어, 간략계산법으로는 가로, 세로 비나 매설깊이를 고려한 식으로서는 다음의 것이 있으나, 여기서 판두께는 고려하고 있지 않으며, 물리적으로 만족하는 것이면 된다.

일반적으로 접지 저항 계산식은 IEEE - Std 80 -1986에 의한 McCrocklin의 접지저항 계산식이 많이 사용되고 있다.

$$R_3 = \frac{0.1 \cdot \rho \cdot K_1}{b} \quad [\Omega] \quad (4)$$

여기서 ρ : 균일 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]
 b : 전극의 치수[m]
 K_1 : a, b, t 에 의한 상수

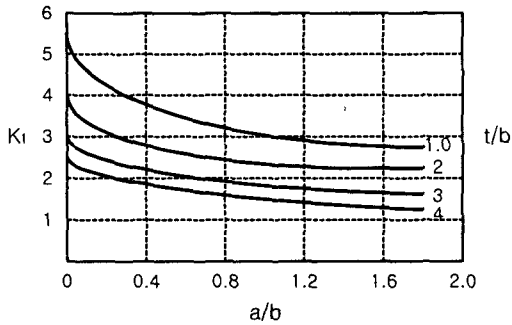


그림 5. McCrocklin의 계수
Fig. 5. McCrocklin Constant

이 식을 이용하여 단일 동판의 접지 저항값의 근사치를 계산하게 된다. 일반적으로 많은 수의 동판을 시공하게 되는 경우에는 매설되는 동판간의 병렬 효과를 계산하여야 한다. 병렬 효과는 동판간의 거리, 동판의 크기, 동판의 매설 깊이에 따라 크게 변화하므로 판상형태의 병렬효과 특성을 수식으로 유도하기가 매우 어렵기 때문에 일반적으로 컴퓨터 프로그램에 의한 접지 저항을 계산한다.

2.4 전해질 접지

전해질 접지시스템 (Electrolyte Grounding System)은 토양의 종류, 지질구조, 토양의 성분, 수분의 함유 상태 및 계절적인 온도의 변화에 상관없이 가장 효율적이며 가장 안정적으로 낮은 접지 저항을 유지 시켜주는 접지 시스템이다. 또한 전위상승으로 인한 장비 파손과 인축에 대한 장애를 방지할 뿐만 아니라 접지봉의 자체 활성으로 암반과 같은 높은 대지저항률을 가진 지역에서도 쉽게 요구하는 접지 저항을 얻을 수 있다. 그리고 기준 접지 저항을 일정하게 유지시켜 민감한 설비에 영향을 미치는 노이즈를 신속하고 정확하게 제거할 수 있는 우수한 접지시스템이며 6[m]직선봉, 2sets를 사용하였다.

2.4.1 전해질접지 설계 구조

천공깊이, 봉간격, 봉길이 및 100[mm]나동선의 매설 깊이에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 6과 같다.

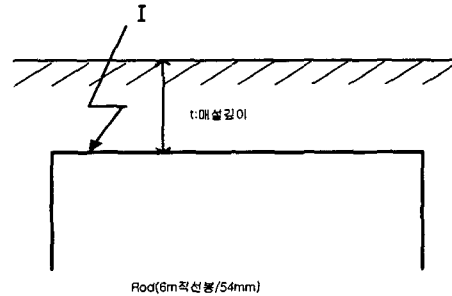


그림 6. 전해질접지 설계 구조
Fig. 6. Structure of Electrolyte Grounding

2.4.2 전해질 접지봉의 접지저항 계산

일반적으로 전해질 접지봉의 계산식은 IEEE - Std 80 -1986에 의한 Dwight의 식이 많이 사용되고 있다 [4][5][6].

$$R_4 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \quad [\Omega] \quad (5)$$

여기서 ρ : 균일 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]

L : 하층대지의 깊이[m] (Rod의 길이포함)

r : 봉의 반경 [m]

3. Pattern Search법을 이용한 최적 접지 설계

Pattern Search(PS)법[9][10][11]은 최적화 기법의 하나로 목적함수를 최적값으로 하는 미지의 변수값을 구하는데 널리 사용되고 있다. 접지설계에 있어서 목적함수(F_i)로는 요구 접지저항(R_g), 대지전위(GPR), 시공금액(COST)등이 될 수 있다. 접지설계에 고려해야 할 변수(X_j)는 접지방식, 접지규격, 접지면적, 지층구조, 대지저항률, 고장전류값 등이 포함된다. 본 논문에서는 K 개의 접지방식에 따른 최적 접지 설계를 하고자 한다.

중합목적 함수 J_K 는 m 개의 목적함수의 합으로 이루어진다. 즉,

$$J_K = \sum_{i=1}^m W_i X F_i(X_j) \quad (6)$$

for $j = 1, 2, 3, \dots, n$

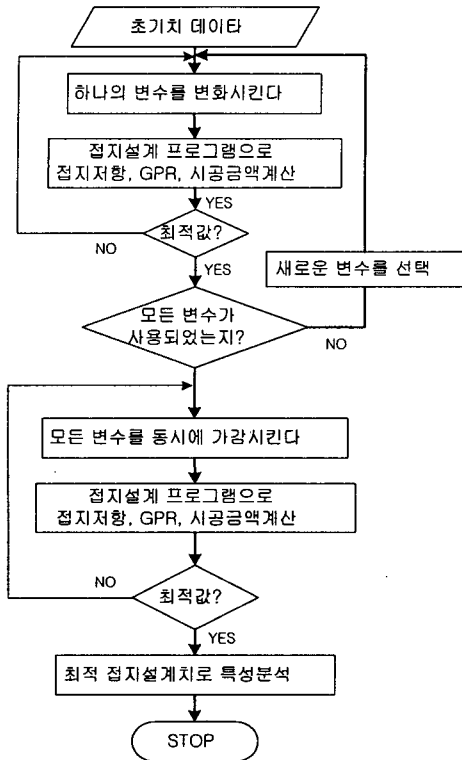


그림 7. Pattern Search법을 이용한 최적 접지설계 순서도
Fig. 7. Flow Chart of Optimal Grounding Design using Pattern Search Method

으로 표현한다. 여기서 W_i 는 가중치를 나타내는 계수이다. 각각의 목적함수 F_i 는 n 개의 변수 (X_g)를 가지고 있다. 그림 7은 PS법에 의한 최적 접지설계 과정을 설명하고 있다. 구하고자 하는 설계치는 먼저 변수의 초기값을 정하고, 각각의 변수를 가감시켜 최적치를 구한다. 초기치에서 각 변수는 값을 증가시키거나 감소시켜 최적목적값이 될 때까지 반복하여 구한다. 각각의 변수치가 정해지면, 모든 변수를 Pattern에 따라 동시에 가감시켜 결국에는 최적목적함수가 되는 변수값을 구할 수 있게 된다. 최적 접지설계치를 데이터 입력으로 하여 접지설계 프로그램의 출력으로 특성분석을 하여 효과를 검증한다.

4. 사례연구

접지망 포설 면적 $40 \times 40[m]$, 대지 고유저항률

$400[\Omega \cdot m]$, 상용주파수 고장전류 및 노이즈 전류 $1000[A]$ 가 접지전극에 유입될 경우 간격 및 매설깊이에 따라 시뮬레이션 하였다.

4.1 간격 및 천공깊이에 따른 접지저항

본 논문에서 제안한 최적 접지설계를 수행하기 위한 간격 및 천공깊이에 따른 최적의 파라미터를 도출하기 위한 목적함수는 다음과 같다.

$$J_1 = W_1(R_{spec} - R_g(X_1))^2 + (W_2 \times GPR) + (W_3 \times COST) \quad (7)$$

여기서 W_1 : 100 (가중치)

R_{spec} : 5 [Ω]

R_g : 설계접지저항 값

X_1 : 간격 [m], 천공깊이 [m]

W_2 : 10^{-3} (가중치)

GPR : 대지표면 전위상승

W_3 : 10^{-6} (가중치)

COST : 시공금액 (천원)

각 접지 전극 방식에 따라 간격 및 천공깊이 변화에 따른 시뮬레이션 결과는 표 1과 같다.

표 1과 그림 8~그림 11에서와 같이 Mesh접지는 Mesh간격 10[m], 일반봉 접지는 봉간격 4[m], 동판 접지는 동판간격 5[m], 전해질접지는 천공깊이 60[m]에서 목적함수를 최소화할 수 있다.

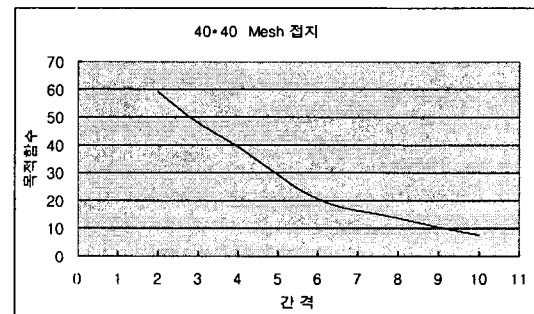


그림 8. Mesh 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선

Fig. 8. The curve of Mesh grounding used Pattern Search

표 1. Grid 간격에 따른 접지저항 값
Table 1. Earth resistance value conform with Grid gap

| 전극 모델 | 간격 | 실계접지 저항 | GPR | 시공금액 (단위:천원) | J ₁ |
|----------------------------|-------|---------|------|--------------|----------------|
| 40*40m Mesh 접지 | 2 | 4.26 | 4260 | 21000 | 59.23 |
| | 3 | 4.34 | 4340 | 16600 | 48.066 |
| | 4 | 4.41 | 4410 | 12200 | 39.342 |
| | 6 | 4.6 | 4600 | 9700 | 20.697 |
| | 8 | 4.7 | 4700 | 6800 | 13.768 |
| | 10 | 4.83 | 4830 | 3500 | 7.755 |
| 40*40m 일반봉 접지 | 2 | 4.09 | 4090 | 15000 | 87.05 |
| | 3 | 4.46 | 4460 | 9800 | 33.718 |
| | 4 | 4.87 | 4870 | 6300 | 6.623 |
| | 6 | 6.4 | 6400 | 4200 | 202.442 |
| | 8 | 7.37 | 7370 | 3800 | 569.098 |
| | 10 | 8.98 | 8980 | 2300 | 1583.043 |
| 40*40m 동판 접지 | 2 | 4.09 | 4090 | 2600 | 86.926 |
| | 3 | 4.3 | 4300 | 21500 | 53.515 |
| | 4 | 4.57 | 4570 | 16000 | 23.22 |
| | 5 | 4.85 | 4850 | 11000 | 7.21 |
| | 6 | 5.47 | 5470 | 8200 | 27.642 |
| | 8 | 5.98 | 5980 | 6800 | 102.088 |
| 전해질 직선봉 6m, 2sets 봉간격: 30m | 천공 깊이 | 설계접지 저항 | GPR | 시공금액 (단위:천원) | J ₁ |
| | 40 | 6.61 | 6610 | 9100 | 265.911 |
| | 50 | 5.53 | 5530 | 110000 | 34.72 |
| | 60 | 4.77 | 4770 | 13738 | 10.19738 |
| | 70 | 4.21 | 4210 | 14500 | 66.765 |
| | 80 | 3.78 | 3780 | 16682 | 152.7868 |

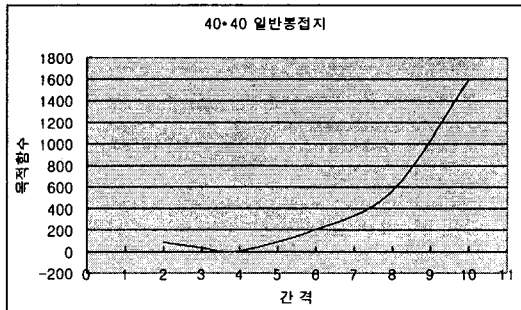


그림 9. 일반봉 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 9. The curve of Driven rod grounding used Pattern Search

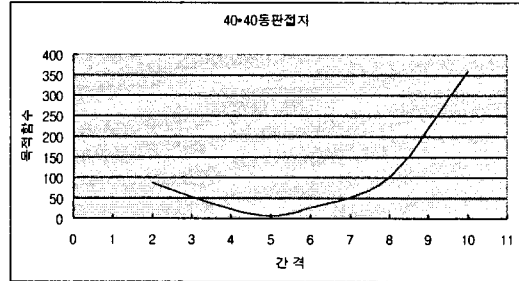


그림 10. 동판접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 10. The curve of Copper plate rounding used Pattern Search

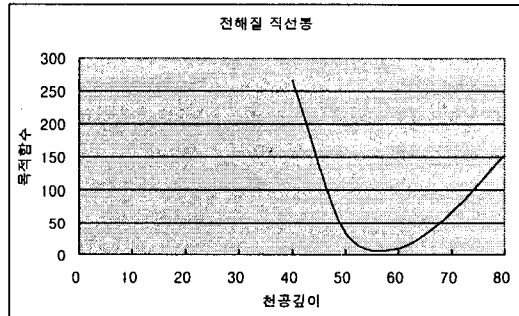


그림 11. 전해질접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 11. The curve of Electrolyte grounding used Pattern Search

4.2 매설깊이, 봉간격, 봉길이에 따른 접지저항

본 논문에서 제안한 최적 접지설계를 수행하기 위한 매설깊이에 따른 최적의 파라미터를 도출하기 위한 목적함수는 다음과 같다.

$$J_2 = W_1 \{R_{spec} - R_e(X_2)\}^2 + (W_2 \times GPR) \times (W_3 + COST) \quad (8)$$

여기서 X_2 : 매설깊이 [m], 봉길이[m], 봉간격 [m]

각 전극 모델에 따라 나동선의 매설깊이 변화에 따른 시뮬레이션 결과는 표 2와 같다.

표 2와 그림 12~그림 16에서는 Mesh 접지와 동판접지, 일반봉접지는 매설깊이 0.75[m], 전해질 접지는 봉길이 6[m], 봉간격 30[m]로 설정했을 때 목적함수를 최소화 할 수 있다.

표 2. 매설깊이에 따른 접지저항 값
Table 2. Earth resistance value conform withburied depth

| 전극 모델 | 매설 깊이 | 접지 저항 | GPR | 시공금액 (단위:천원) | J ₂ |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------------|----------------|
| 40*40m Mesh 접지 (10m간격) | 0.75 | 4.83 | 4383.5 | 3500 | 7.3085 |
| | 0.9 | 4.78 | 4785.6 | 3720 | 9.6628 |
| | 1.2 | 4.71 | 4719.7 | 3930 | 13.169 |
| | 1.5 | 4.66 | 4600 | 4150 | 16.2015 |
| 40*40m 일반봉 접지 (4m간격) | 0.75 | 4.87 | 4871.6 | 6300 | 6.6246 |
| | 0.9 | 4.84 | 4843.1 | 6430 | 7.4674 |
| | 1.2 | 4.8 | 4802.7 | 6620 | 8.8689 |
| | 1.5 | 4.76 | 4764.6 | 6810 | 10.5927 |
| 40*40m 동판 접지 (5m간격) | 0.75 | 4.85 | 4858.5 | 11000 | 7.2185 |
| | 0.9 | 4.8 | 4807.8 | 11280 | 8.9206 |
| | 1.2 | 4.74 | 4748.1 | 11380 | 11.6219 |
| | 1.5 | 4.69 | 4698.6 | 12100 | 14.4296 |
| 전해질 직선봉 6m,2sets 봉간격: 30m | 봉 간격 | 접지 저항 | GPR | 시공금액 (단위:천원) | J ₂ |
| | 10 | 5.26 | 5266.3 | 13540 | 12.1617 |
| | 30 | 4.77 | 4776.5 | 13738 | 10.2039 |
| 전해질 직선봉 6m,2sets 봉간격: 30m | 봉 길이 | 접지 저항 | GPR | 시공금액 (단위:천원) | J ₂ |
| | 3 | 5.67 | 5673 | 13235 | 50.6954 |
| | 6 | 4.77 | 4771.8 | 13738 | 10.1992 |
| | 9 | 4.1 | 4108.1 | 13950 | 85.2476 |
| | 12 | 3.56 | 3560.3 | 14140 | 211.062 |

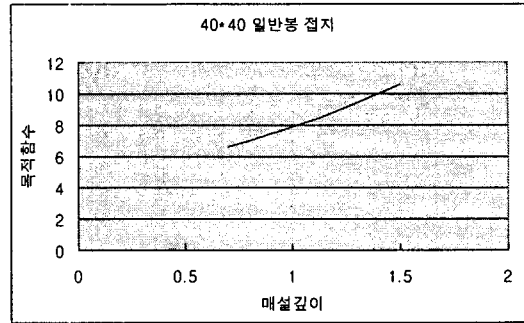


그림 13. 일반봉 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 13. The curve of Driven rod grounding used Pattern Search

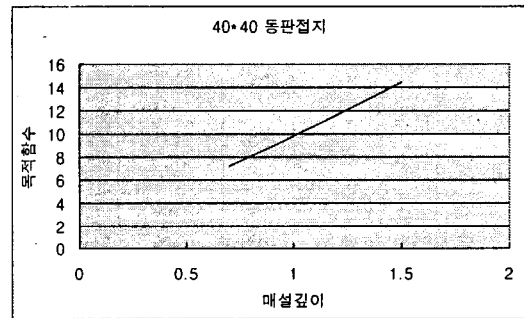


그림 14. 동판접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 14. The curve of Copper plate grounding used Pattern Search

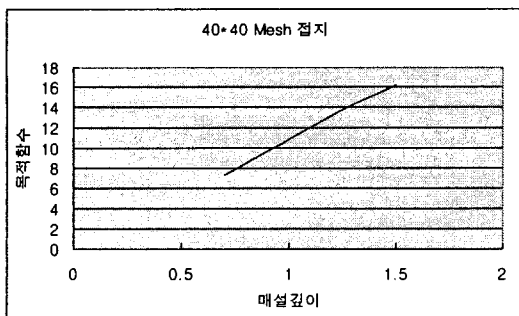


그림 12. Mesh 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 12. The curve of Mesh grounding used Pattern search

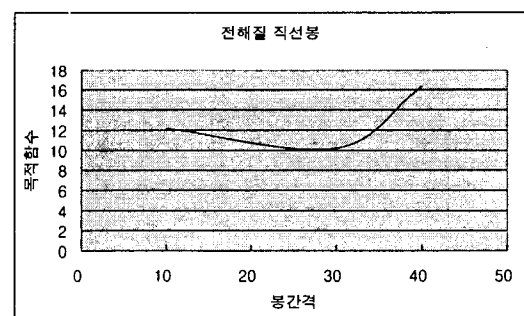


그림 15. 전해질접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig. 15. The curve of Electrolyte grounding used Pattern Search

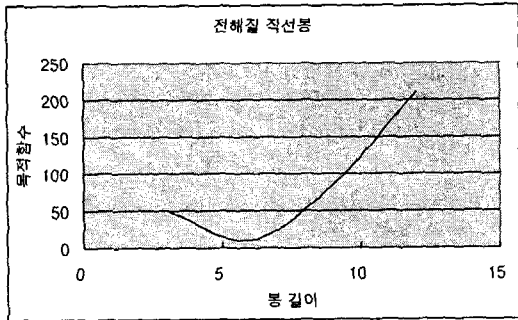


그림 16. 전해질접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
 Fig. 16. The curve of Electrolyte grounding used Pattern Search

표 3. 전극모델에 따른 최적의 접지 설계
 Table 3. Optimal grounding design conform with Electrode model

| 전극모델 | Grid 간격 | 매설 깊이 | 설계접지 저항[Ω] | GPR | 시공금액 (천원) | J |
|--------|----------|-------|------------|------|-----------|-------------|
| Mesh접지 | 10 m | 0.75m | 4.83 | 4830 | 3,500 | 7.75 7.3 |
| 일반봉 접지 | 4 m | 0.75m | 4.87 | 4870 | 6,300 | 6.62 6.6 |
| 동판접지 | 5 m | 0.75m | 4.85 | 4850 | 11,000 | 7.21 7.2 |
| 전해질 접지 | 봉간격 30m | 0.75m | 4.77 | 4770 | 13,738 | 10.2 |
| | 봉길이 6m | | | | | 10.2 |
| | 천공길이 60m | | | | | 10.1 |

여러 가지 변수에 따라 Pattern Search법을 이용하여 접지전극별 최적의 접지 시스템을 표3과 같이 나타낼 수 있다.

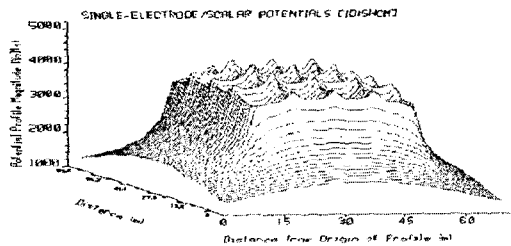


그림 17. Mesh접지의 전위분포
 Fig. 17. Potential distribution of Mesh grounding

4.3 대지전위 분포

표 3과 같이 최적의 접지설계 전극 모델에 따른 최적화 접지 시스템의 전위분포는 그림 17~그림 20과 같다.

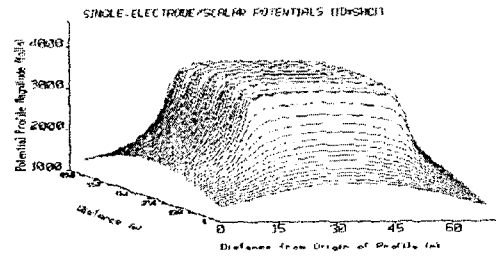


그림 18. 일반봉접지의 전위분포
 Fig. 18. Potential distribution of Driven rod grounding

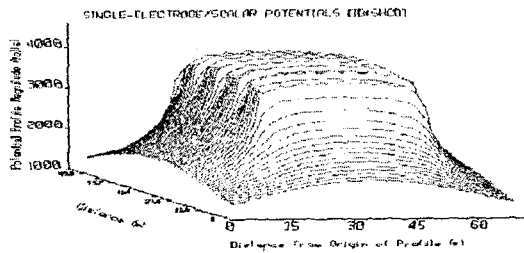


그림 19. 동판접지의 전위분포
 Fig. 19. Potential distribution of Copper plate grounding

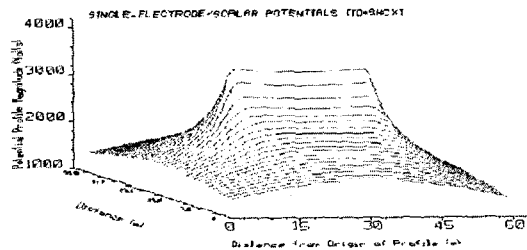


그림 20. 전해질접지의 전위분포
 Fig. 20. Potential distribution of Electrolyte grounding

대지표면 전위분포를 시뮬레이션한 결과 그림 17~그림 20에서와 같이 전위분포가 접지 전극에 고

르게 분포되고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 4가지 접지시스템의 올바른 이해와 각 접지 시스템의 접지저항 및 대지표면 전위분포 변화를 분석하였으며 Pattern Search법에 의한 최적 접지 설계를 결정할 수 있다.

- ① 공통접지 구성 방식에서 각 접지 전극별 Pattern Search법에 의한 시뮬레이션을 통해 Mesh접지는 Mesh간격 10[m], 일반봉접지는 봉간격 4[m], 동판접지는 동판간격 5[m], 전해질접지는 천공깊이 60[m] 또한 Mesh 접지, 일반봉접지, 동판접지는 매설깊이 0.75[m], 전해질접지는 봉간격 30[m], 봉깊이 6[m]에서 최적의 접지시스템을 구성한다.
- ② Pattern Search법을 이용하여 시뮬레이션한 결과 최적화 접지시스템의 대지표면 전위분포는 고르게 분포되고 있다.
- ③ 전해질 접지는 대지 저항률이 높고 접지망 포설 면적이 작고 낮은 접지 저항값을 요구할 경우 우수한 접지 시스템이다.
- ④ 균일한 대지 저항률에서 나동선의 매설깊이가 깊을수록 접지저항값은 감소하고 있다.
향후 연구과제로는 공용 접지에 의한 수평, 수직 지층에 대해서 비교 검토되어야 할 것이다.

References

- [1] 高橋建彦 외, "接地設計入門", 東逸出版社, 1993.
- [2] 최세하, "알기 쉬운 접지실무기술", 진한도서, 1999.
- [3] 이계성, "통신접지시설" 진한도서, 1998.
- [4] ANSI, "IEEE std. 80 - IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE PRESS, 1986.
- [5] ANSI, "IEEE Std. 81-Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", 1983.

- [6] Warren R. Jone. "Bentonite Rods Assure Ground Rod Installation In Problem Soils", IEEE Transactions on power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No.4 July/Aug 1980.
- [7] 이종선, "현장의 접지기술과 접지 시스템", 성안당, 1998.
- [8] 최홍규 외, "전력사용시설물 설비 및 설계", 성안당, 2000.
- [9] S.S Rao, "Optimization Theory and Application", John Wiley & Sons, 1984.
- [10] R. Phelpset al, "Anaconda : Simulation-Based Synthesis of Analog Circuits Via Stochastic Patterns Search", IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 19, June 2000.
- [11] Kyung Chul Kim, "Microcomputer Based Turbine - Governor Simulation for a Generating Unit", Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Arlington, August, 1998.
- [12] Lyrcole, "XIT접지시스템 기술집" 2000.
- [13] Daul, "DAD 접지시스템 기술집" 2001.

◇ 저자소개 ◇

김 경 철 (金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982 국방과학연구소 연구원. 1982~1984 NMSU 전기공학과 석사. 1984~1988 UTA 전기공학과 박사. 1988~1991 한국전기연구소 선임연구원. 1991~현재 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수.

최 병 속 (崔秉淑)

1960년 11월 25일생. 1982년 경일대학교 전기공학과 졸업. 1986년 경일대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 홍익대대학원 전기공학과 박사과정 수료. 서한건설턴트(주) 대표이사.