

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)

최홍규 · 김경철 · 최병숙*

(Hong-Kyoo Choi · Kyung-Chul Kim · Byung-Sook Choi)

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. Computer simulation results used the CDEGS grounding analysis program verifying the effects of the grounding system design parameters obtained from this method show that the grounding systems are adequately designed.

1. 서 론

오늘날의 정보통신 및 전력전자 기술의 눈부신 발전으로 모든 설비의 소형화, 직접화를 가능하게 하였고 초고속 종합 정보통신망을 이용하여 각종의 데이터, 음성, 화상에 이르는 모든 정보를 서비스 할 수 있게 되었으며, 또한 컴퓨터를 통해 모든 정보를 공유할 수 있는 고도의 정보화 시대를 맞이하고 있다. 이러한 소자 및 설비기술의 비약적인 발전은 전자회로의 고기능화와 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. 이 전극과 대지 사이에 발생하는 접촉저항, 즉 전기적 저항이 접지 저항이다. 그러므로 접지시스템의 안전하고 효율적인 구성을 위해서는 현장에 맞는 접지 전극의 설계 및 시공이 필수적이며, 이를 위한 대지 저항률의 파악 및 분석 그리고 접지저항의 계산, 대지전위 상승에 대한 특성 해석이 매우 중요한 요소이다. 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.

본 논문에서는 공용접지, 단일 지층을 고려하였으며, 공용접지 시스템에서는 비교 분석의 정확성을 위해 산

업현장에서 많이 적용하고 있는 일반봉접지, 동판접지, MESH접지, 전해질접지 등에 대해서 접지저항 및 대지전위 분포해석, 경제성, 효율적인 접지 시스템, 접지망 포설 면적, 각 접지 시스템의 한계성등에 대해서 비교하였다. 접지저항 및 전위분포를 분석, 검토하여 효율적인 접지 설계, 즉 접지망 포설면적의 크기, Grid 간격, 대지의 구조에 따른 접지저항, 전위분포, 경제성 등을 고려하여 Pattern Search법에 의한 최적의 접지 설계를 하였다.

2. 접지 설계 기법

현재 국내 대부분 엔지니어링 회사에서 전력사용설비의 접지설계 용역을 시행할 경우 대지저항률을 분석하지 않고 접지저항도 산정하지 않은 상태에서 단순히 요구 접지 저항값만 설계도서에 그림 1 과 같이 표현하여 설계도서를 발주처에 제출하고 있는 실정에 있다.

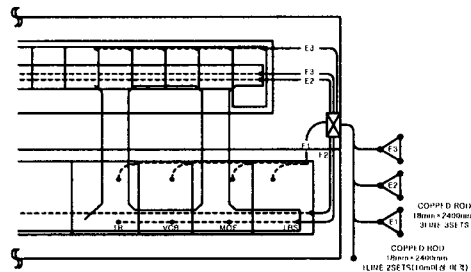


그림 1. 접지평면도
Fig 1. Plane figure of Grounding

따라서 접지설계에서 가장 경제적이고 신뢰성 있는 접

지 설계를 수행하기 위해서는 대지구조 및 대지저항률 분석이 중요하므로 현행 접지 설계에 있어서는 IEEE 등에서 가장 많이 사용하고 있는 AEMC 4500 대지저항률 측정기기로 대지저항률을 측정하여 컴퓨터시뮬레이션에 의한 접지 저항과 대지전위 등을 산정하고, Pattern Search법을 이용한 최적 접지 설계방안을 제시하고자 한다. 4점 웨너법(4-pole Wenner method)에 의해 AEMC 4500 대지저항률 측정기기로 시공현장에서 대지저항률을 측정하여 SES사에서 개발한 접지 설계 전용 프로그램인 CDEGS의 RESAP 모듈을 이용하여 대지저항률을 분석하고 MALT 모듈을 이용하여 대지저항률 $400[\Omega \cdot m]$ 의 단일지층에서 상용주파수 고장전류 $1000[A]$ 가 접지망에 유입되고, 접지망 포설면적 $40 \times 40[m]$, 요구접지저항 $5[\Omega]$ 이하인 경우 각 접지전극별 설계구조는 아래와 같고 현재 널리 사용되고 있는 4가지 접지 방식에 대해서 비교 검토하였다.

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

접지망 포설 면적에 Grid 간격 $10[m]$ 로 매설깊이 $(0.75[m], 0.9[m], 1.2[m], 1.5[m])$ 에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 2와 같다.

2.1.2. 접지저항 계산

수평 메쉬접지의 접지저항계산식은 IEEE-Std 80-1986에 의한 Laurent와 Niemann의 계산식이 일반적으로 사용되고 있다.

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

여기서, ρ : 대지구조저항률 $[\Omega \cdot m]$

A : 접지망 포설면적 $[m^2]$

L : 접지도체(접지망+접지봉)의 길이 $[m]$

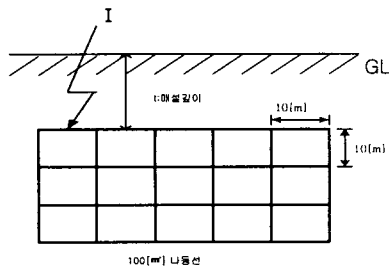


그림 2. Mesh 접지 설계구조
Fig 2. Structure of Mesh Grounding

2.2. 일반 접지봉(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 좋다.

2.2.1. 일반 접지봉 설계 구조

일반봉 $(18[mm] \times 2400[mm]) \times 121$ 개, 봉간격은 $4[m]$ 로 병렬 설계하고, $100[mm]$ 나동선의 매설깊이 $(0.75[m], 0.9[m], 1.2[m], 1.5[m])$ 에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림3과 같다.

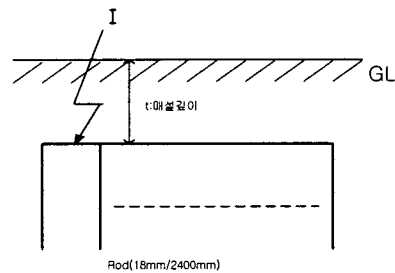


그림 3. 일반 접지봉 설계구조
Fig 3. Structure of Driven Rod

2.2.2. 일반 접지봉 저항계산

일반봉 접지전극의 접지저항 IEEE - Std 80 -1986에 의한 Tagg의 계산식이 일반적으로 많이 사용되고 있다.

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

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.

$$R_0 = K \cdot \frac{R}{N} [\Omega]$$

단, K : 봉간의 집합계수

N : 접지봉 개수[개]

R : 단일봉의 접지저항값 $[\Omega]$

따라서 단일봉에 의한 접지저항값을 계산하고 병렬 집합 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 비싸다.

2.3.1. 동판 접지 설계 구조

동판 (500[mm] × 500[mm]) × 2t × 81개, 동판간격은 5[m]로 병렬 설계하고, 100[mm]나 동선의 매설깊이 (0.75[m], 0.9[m], 1.2[m], 1.5[m])에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 4와 같다.

2.3.2. 동판 접지 저항 계산

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

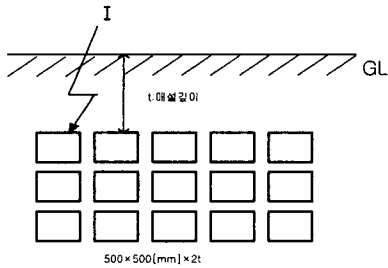


그림 4. 동판접지 설계 구조
Fig 4. Structure of Copper Plate Grounding

여기서 ρ 는 대지저항률, a, b는 전극치수, t는 매설 깊이, K_1 는 그림 5에 나타난 바와 같이 a, b, t에 의해 결정되는 상수이며 일반적으로 접지 저항 계산식은 IEEE - Std 80 -1986에 의한 McCrocklin의 접지저항 계산식이 많이 사용되고 있다.

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

이 식을 이용하여 단일 동판의 접지 저항치의 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 판상 형태의 병렬효과 특성을 수식으로 유도하기가 매우 어렵기 때문에 일반적으로 컴퓨터 프로그램에 의한 접지 저항을 계산한다.

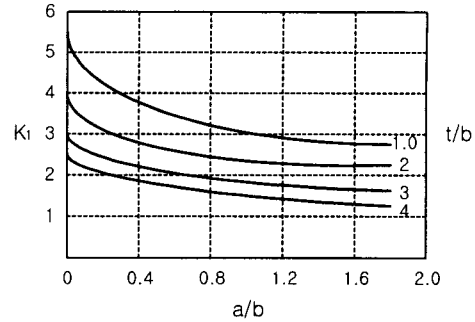


그림 5. McCrocklin의 계수
Fig 5. McCrocklin Constant

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 시켜 주는 접지 시스템이다. 또한 전위상승으로 인한 장비 파손과 인축에 대한 장해를 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 접지시스템이다.

2.4.1. 전해질접지 설계 구조

6[m]직선봉 (60[m]천공) 2sets 와 100[mm]나 동선을 매설하였으며 나동선의 매설깊이 (0.75[m], 0.9[m], 1.2[m], 1.5[m])에 따라 시뮬레이션 하였으며 설계구조는 그림 6과 같다.

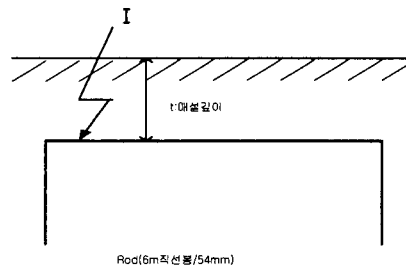


그림 6. 전해질접지 설계 구조
Fig 6. Structure of Electrolyte Grounding

2.4.2. 전해질 접지봉의 접지저항 계산

일반적으로 전해질 접지봉의 계산식은 IEEE - Std 80 -1986에 의한 Dwight의 식이 많이 사용되고 있다.

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

- 단, 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)법은 최적화 기법의 하나로 목적 함수를 최적 값으로 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 최적접지 설계를 하고자 한다.

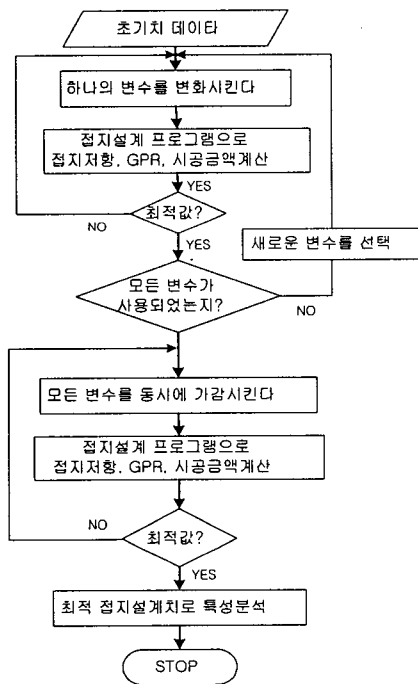


그림 7. Pattern Search법을 이용한 최적 접지 설계 순서도
Fig 7. Flow Chart of Optimal Grounding Design using Pattern Search Method

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

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

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

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 반복하여구한다.

각각의 변수치가 정해지면, 모든 변수를 Pattern에 따라 동시에 가감시켜 결국에는 최적목적함수가 되는 변수값을 구할 수 있게 된다. 최적 접지 설계치를 데이터 입력으로 하여 접지설계 프로그램의 출력으로 특성분석을 하여 효과를 검증한다.

4. 사례 연구

접지망 포설 면적 40×40 [m], 대지 고유저항률 400 [$\Omega \cdot m$], 상용주파수 고장전류 및 노이즈 전류 1000 [A]가 접지전극에 유입될 경우 Grid 간격 및 매설깊이에 따라 접지 설계 전문 컨설팅회사인 캐나다 SES사의 CDEGS MALT모듈을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

4.1. Grid 간격에 따른 접지저항

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

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

여기서 W_1 : 100 (가중치)

X_1 : Grid 간격 [m]

R_{spec} : 5 [Ω]

$R_g(X)$: 설계접지저항 값

W_2 : 10^{-3} (가중치)

COST : 시공금액 (천원)

W_3 : 10^{-6} (가중치)

각 접지 전극 모델에 따라 Grid 간격 변화에 따른 시뮬레이션 결과는 표 1과 같다.

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

전극 모델	Grid 간격	설계 접지 저항	GPR	시공금액 (단위:천원)	Jk
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	1593.043
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 적선봉 6m, 2sets 봉간격: 30m	10	6.88	6880	5100	360.371
	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

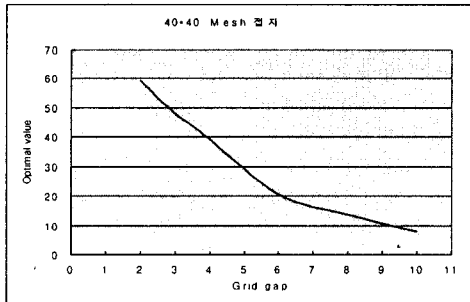


그림 8. Mesh 접지
Fig 8. Mesh grounding

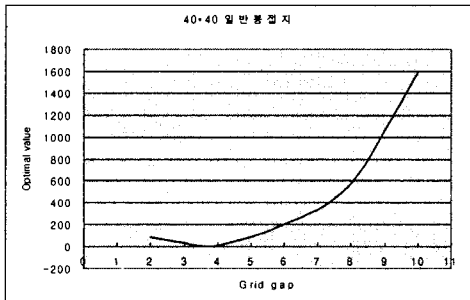


그림 9. 일반봉 접지
Fig 9. Driven rod grounding

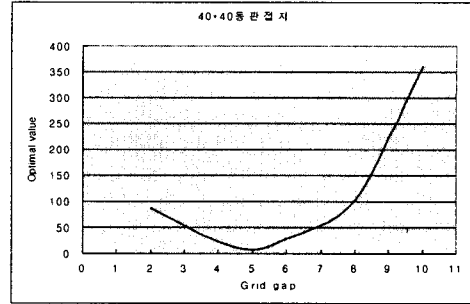


그림 10. 동판접지
Fig 10. Copper plate grounding

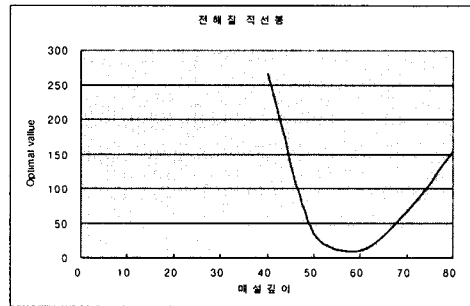


그림 11. 전해질 접지
Fig 11. Electrolyte grounding

4.2. 매설깊이에 따른 접지저항

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

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

여기서, W_1 : 100 (가중치)

X_2 : 매설깊이 [m]

R_{spec} : 5 [Ω]

$R_g(X)$: 설계접지저항 값

W_2 : 10^{-3} (가중치)

COST : 시공금액 (천원)

W_3 : 10^{-6} (가중치)

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

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

전극 모델	Grid 간격	설계 접지 저항	GPR	시공금액 (단위:천원)	Jk
40*40m Mesh 접지 (10m간격)	0.7	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)	0.7	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 동판접지 (5m간격)	0.7	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 접지 (6m, 2sets, 30m)	10	5.26	5266.3	13540	12.1617
	30	4.77	4776.5	13738	10.2039
	40	4.66	4664.5	13945	16.364
전해질 접지 (6m, 2sets, 30m)	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

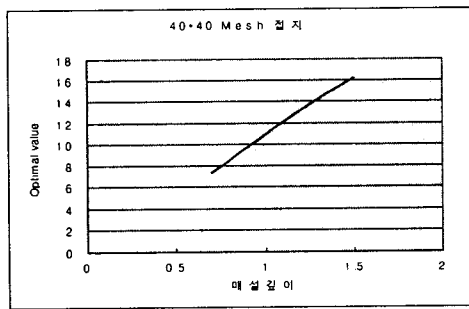


그림 12. Mesh 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig 12. The curve of Mesh grounding used Pattern Search

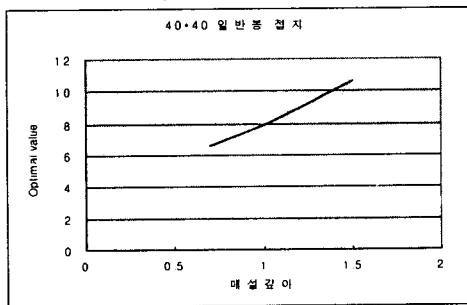


그림 13. 일반봉 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig 13. The curve of Driven rod grounding used Pattern Search

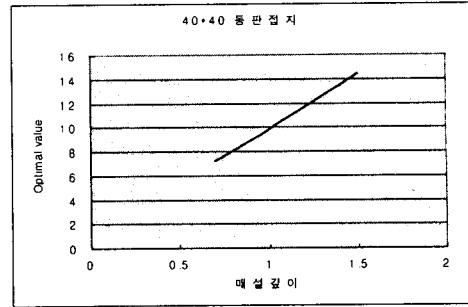


그림 14. 동판접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig 14. The curve of Copper plate grounding used Pattern Search

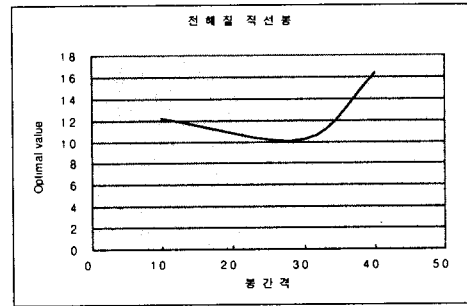


그림 15. 전해질 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig 15. The curve of Electrolyte grounding used Pattern Search

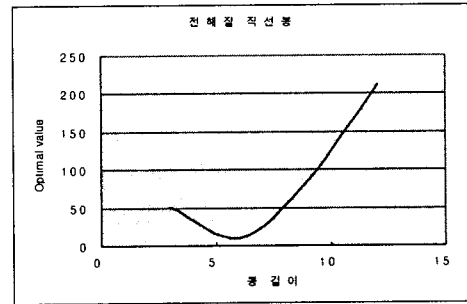


그림 16. 전해질 접지의 Pattern Search를 이용한 곡선
Fig 16. The curve of Electrolyte grounding used Pattern Search

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

전극모델	Grid 간격	매설 깊이	설계 접지 저항[Ω]
Mesh 접지	10 m	0.75m	4.83
일반봉 접지	4 m	0.75m	4.87
동판 접지	5 m	0.75m	4.85
전해질 접지	봉간격 30m	0.75m	4.77
	봉길이 6m		

CDEGS의 MALT 모듈을 이용하여 시뮬레이션한

결과인 그림 8~그림 16과 표 3에서 나타난 것과 같이 Pattern Search법을 이용한 최적의 접지 시스템을 나타내고 있으므로 본 논문의 연구 목적에 맞는 접지 시스템이 설계되었음 보여준다.

4.3. 대지전위 분포

각 접지 전극 모델에 따른 최적화 접지 시스템의 전위분포는 그림 17 ~ 그림 20과 같다.

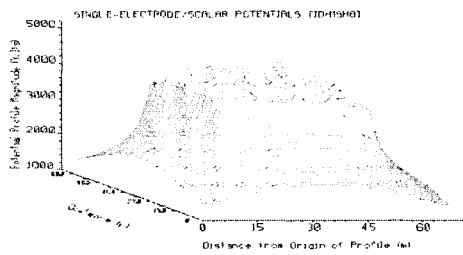


그림 17. Mesh접지의 전위분포
Fig 17. Potential distribution of Mesh grounding

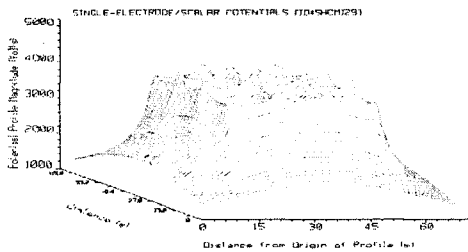


그림 18. 일반봉접지의 전위분포
Fig 18. Potential distribution of Driven rod grounding

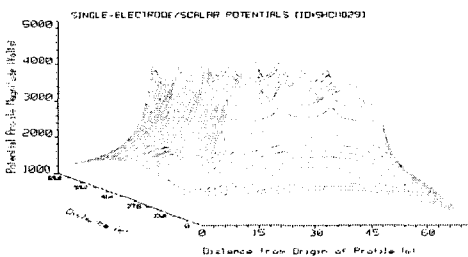


그림 19. 동판접지의 전위분포
Fig 19. Potential distribution of Copper plate grounding

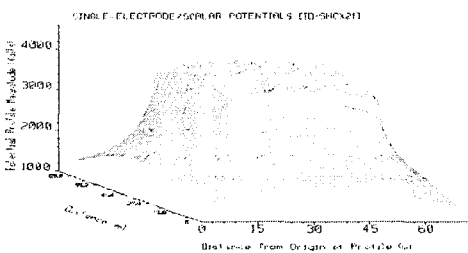


그림 20. 전해질접지의 전위분포
Fig 20. Potential distribution of Electrolyte grounding

대지전위분포를 시뮬레이션한 결과 최적의 접지 시스템에서 그림 17~그림 20에서와 같이 전위분포가 접지 전극에 고르게 분포되고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 4가지 접지시스템의 올바른 이해와 각 접지 시스템의 접지저항 변화를 분석하였으며 접지 도체를 통하여 대지로 빠져나가는 전류의 통로는 접지 도체를 고르게 배열해 Patter Search법에 의한 최적화 간격인 경우에 각 접지시스템에 따라 지표면의 대지전위 분포관계 및 최적 접지설계를 결정할 수 있다.

(1) Mesh 접지

① Grid 간격 10[m], 매설깊이 0.75[m]인 경우 요구 접지저항 5[Ω]에 가까운 접지 저항 값 4.83[Ω]을 얻을 수 있고 대지전위 분포도 고르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

② Grid 간격 10[m]인 경우 접지저항 4.83[Ω], Grid 간격 2[m]인 경우 설계 접지저항 값은 4.26[Ω]이며, 두 접지저항의 차는 0.57[Ω]이다. 접지저항값을 0.57[Ω] 낮추기 위해서 Grid 간격 2[m]로 하는 것은 비경제적이고 최적의 접지 시스템 설계라 할 수 없다.

(2) 일반봉 접지

① 봉 간격 4[m], 매설깊이 0.75[m]인 경우 요구 접지저항 5[Ω]에 가까운 접지 저항 값 4.87[Ω]을 얻을 수 있고 대지전위 분포도 고르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

② 봉 간격 10[m]인 경우 설계 접지저항 4.87[Ω], 봉 간격 2[m]인 경우 설계 접지저항 값은 4.09[Ω]이며, 두 접지저항의 차는 0.78[Ω]이다. 접지저항값을 0.78[Ω] 낮추기 위해서 봉 간격 2[m]로 배치하면 봉간격 4[m]인 경우 보다 320개 더 많이 설치하여야 하므로 비경제적이고 최적의 접지 시스템 설계라 할 수 없다.

(3) 동판접지

① 동판 간격 5[m], 매설깊이 0.75[m]인 경우 요구 접지저항 5[Ω]에 가까운 접지 저항 값 4.85[Ω]을 얻을 수 있고 대지전위 분포도 고르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

② 동판 간격 5[m]인 경우 접지저항 4.85[Ω], 동판 간격 2[m]인 경우 설계 접지저항 값은 4.09[Ω]이며, 두 접지저항의 차는 0.76[Ω]이다. 접지저항값을 0.76[Ω]을 낮추기 위해서 동판 간격 2[m]로 하면 동판간격이 5[m]인 경우 보다 360개 더 많이 설치하여야 하므로 비경제적이고 최적의 접지 시스템 설계라 할 수 없다.

(4) 전해질 접지

① 직선봉 간격 6[m], 2sets, 봉간격 30[m]로 60[m]

천공 할 경우 요구 접지저항 $5[\Omega]$ 에 가까운 접지 저항 값 $4.77[\Omega]$ 을 얻을 수 있고 대지전위 분포도 고르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

② 전해질 접지는 대지 저항률이 높고 접지망 포설 면적이 작고 낮은 접지 저항값을 요구할 경우 우수한 접지 시스템이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 공용 접지에 의한 단일 지층에 대해서 비교 검토하였으며 향후 연구과제로는 공용 접지에 의한 수평, 수직 지층에 대해서 비교 검토되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [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] 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
- [6] ANSI, "IEEE Std. 81-Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", 1983
- [7] 이종선, "현장의 접지기술과 접지 시스템", 성안당, 1998.
- [8] 최홍규 외, "전력사용시설물 설비 및 설계", 성안당, 2000
- [9] Lyncole, "XIT접지시스템 기술집" 2000
- [10] Daul, "DAD 접지시스템 기술집 " 2001
- [11] S.S.Rao, "Optimization Theory and Application", John Wiley & Sons, 1984.
- [12] 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.
- [13] Kyung Chul Kim, "Microcomputer Based Turbine - Governor Simulation for a Generating Unit", Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Arlington, August, 1998.