

Part  
**III**<sub>2</sub>

# 접지 시스템 계획 (마지막회)

Power Seven 컨설팅 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 내산규정은 이에 대한 규정이 없으며, 단지 접지저항 접지저항 값만을 규정하고 있어 실무에서 많은 이견이 발생하고 있고, 전력기술인 협회지 2~4월호에서 살펴본듯이 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 건축물과" "공장 설비"에 대한 "접지전극 형상의 설계"로 적합한 "4각 루프형 배열"과 Mesh 접지설계 기술을 해설하기로 한다.

CONTENTS

- 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

### 5.2.3 최대 허용 전위차

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

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

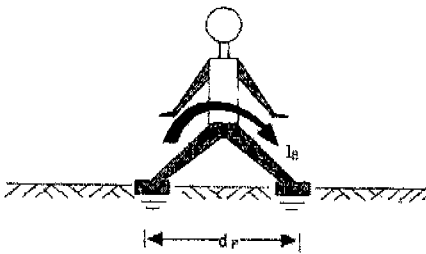
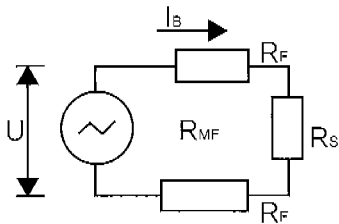
단,  $I_B$  : 사고회로(인체)에 흐르는 전류(A)

$R_B$  : 두 발 사이의 인체 저항( $\Omega$ )

$R_F$  : 한쪽 발과 대지 사이의 저항( $\Omega$ )

$R_{MF}$  : 두 발 사이의 상호(Mutual)저항( $\Omega$ )

$R_{2FS}$  : 두 발 사이의 직접 저항( $\Omega$ )



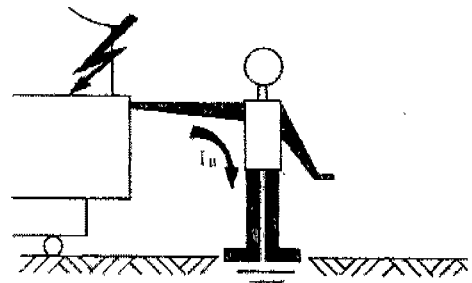
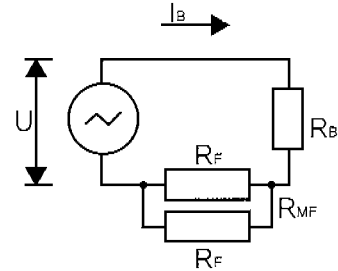
[그림 10] 보폭 전압 등가회로

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

$$U2 = I_B \cdot \{R_B + 1/2(R_F + R_{MF})\} = I_B \cdot (R_B + R_{2FF})$$

단,  $R_B$  : 한 손과 두 발 사이의 인체 저항( $\Omega$ )

$R_{2FF}$  : 두 발 사이의 병렬 저항( $\Omega$ )



$$R_A = R_B + \frac{1}{2}(R_F + R_{MF})$$

[그림 11] 접촉전압 등가회로

상기 두 그림에서 인체의 두 발은 직경 8(cm)의 금속성의 원판전극과 동가이며, 발밑 토양의 대지 고유저항에서 두 발사이의 직렬저항( $R_{2FS}$ )은  $6 \times C_s \times P_s$ , 두 발사이의 병렬저항( $R_{2FF}$ )은  $1.5 \times C_s \times P_s$  정도가 되는 것으로 판명되었다. 따라서, 인체의 내부 저항을 1,000( $\Omega$ )이라 가정할 경우 사고회로에서 인체에 인가되는 최대 허용 보폭전압(Estep) 및 접촉전압(Etouch)은 각각 U1, U2와 같고, 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

① 최대 허용 보폭전압(Estep)

$$= (R_B + R_{2FS}) I_B = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.116 / \sqrt{t_s}$$

② 최대 허용 접촉전압(Etouch)

$$= (R_B + R_{2FF}) I_B = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.116 / \sqrt{t_s}$$

여기서,  $C_s$ : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 계수

- $\rho_s$ : 표면의 대지 고유 저항( $\Omega\text{-m}$ )
- $t_s$ : 사고 지속 시간(s)
- $I_B$ : 인체 허용 전류(A)
- 0.116 : 사람의 몸무게가 50kg인 경우
- 0.157 : 사람의 몸무게가 70kg인 경우

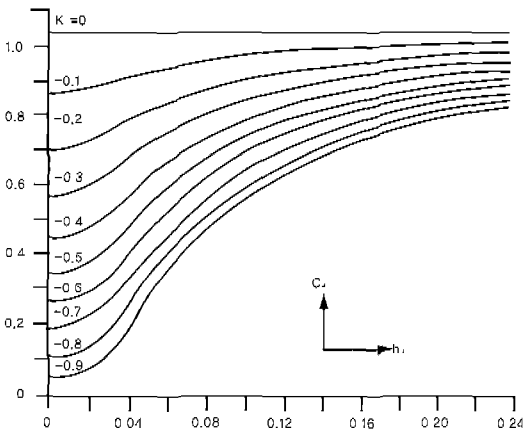
단, 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수  $C_s$ 는 [그림12]에 의해 산출하며, 반사계수( $K$ )는 아래 식에 의한다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

- $\rho$  : 토양의 고유 저항 ( $\Omega\text{-m}$ )
- $\rho_s$  : 표토층 고유 저항 ( $\Omega\text{-m}$ )
- $h_s$  : 표토층의 두께(m)

또한 식에 의해  $C_s$ 를 계산할 경우는 아래와 같다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + (2 \cdot n \cdot h_s / 0.82)^2}} \right]$$



[그림 12] 감소계수( $C_s$ )산출

## 5.2.4 접지 도체의 선정

서로 다른 설계 조건에서 접지도체의 구성물질과 도체의 굵기 및 도체의 최대 허용온도 등의 요소를 결정하기란 매우 어렵다. 따라서, 접지망 도체의 접속, 접속리드를 포함한 접지 도체는 아래의 조건을 만족하는 것을 선택해야 한다.

### 1) 용단 반지를 위한 접지도체의 굵기

접지도체의 단시간 온도상승의 결정에 대한 정량적인 분석은 Sverak에 의한 공식에서 찾아볼 수 있으며, 이 수식은 접지 도체상수나 수식에 의해 계산되는 접지도체의 용량을 구할 수 있다. 공식을 정리하면 아래와 같다.

$$A = I_g \cdot \sqrt{\frac{(t_s \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4) / TACP}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K_o + T_a} \right) \right]}}$$

- $I_g$  : 1선 지락 실효치(kA)
- $A$  : 도체의 단면적(mm<sup>2</sup>)
- $T_m$  : 최대의 허용 온도(°C)
- $T_a$  : 주위 온도(°C)
- $t_s$  : 전류 유입 시간(s)
- $\alpha_r$  : 20°C 에서의 저항 온도계수
- $\alpha_0$  : 0°C 에서의 저항 온도 계수
- $\rho_r$  : 20°C 에서의 접지 도체의 고유 저항 ( $\mu \cdot \Omega \cdot \text{cm}$ )
- TACP : 체적 열용량(J/cm<sup>3</sup> · °C)

위 공식에서 적용되는 계수들은 [표9]와 같다. 단, 경동선을 접지선으로 사용하고 접지도체의 접속을 압축식에 의한 경우 등의 물리적 성질이 변하는 온도상승 한도 250°C 를 적용하는 것이 바람직하다.

[표 9] 접지도체 상수

도체종류	도전율 [%]	$\alpha_y$ [20℃]	Kol(1/a <sub>0</sub> ) [0℃]	Tm [℃]	$\rho_y$ [20℃]	TCAP [J/cm <sup>3</sup> ·℃]
연동선	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
경동선	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
동복강선	40.0	0.00378	245	1084/1300	4.397	3.846
동복강선	30.0	0.00378	245	1084/1300	5.862	3.846

2) 기계적 강도

기계적 강도면에서 본 접지도체의 최소 굽기는 볼트 접속은 80mm이며, 일반적으로 100~150mm이다.

3) 도전율

고장전류에 의한 용단 및 기계적 강도면을 고려하여 결정된 굽기면 도전율은 충분하다.

5.2.5 각종 계수의 결정과 수식의 적용

접지망을 구성하는 접지 도체의 소요 길이를 계산하기 위하여, Mesh 전압(Em)과 보폭전압(Es)이 접지도체의 유효길이(L 또는 L<sub>M</sub>)와의 관계식은 아래와 같다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L}$$

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L}$$

단, K<sub>m</sub>: Mesh 전압 산출을 위한 계수 (Geometric factor)

K<sub>i</sub>: 전위경도의 변화에 대한 교정계수 (Current irregularity factor)

K<sub>s</sub>: 보폭 전압 산출을 위한 간격계수

I<sub>g</sub>: 최대 접지망 유입 전류(A) : 여기서는 1선 지락 전류의 분류계수와 감쇠계수를 고려한 최대 Grid 전류를 말한다.

$$I_g : D_r \cdot S_r \cdot (3I_0)$$

D<sub>r</sub>: 감쇠계수

S<sub>r</sub>: 분류계수(0.4~0.6 정도)

$$D_r = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_r} (1 - e^{-\frac{2t_r}{T_a}})}$$

t<sub>r</sub>: 고장 지속 시간(초)

T<sub>a</sub>: DC offset 시정수

[표 10] D<sub>r</sub>의 대표적인 값

t <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>			
	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.4	1.033	1.064	1.095	1.125
0.5	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	1.018	1.035	1.052	1.068
1.0	1.013	1.026	1.039	1.052

1) Mesh 전압

접지망의 Mesh 전압 계산식은 다음 식에 의한다

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L}$$

여기서, L=L<sub>C</sub>+L<sub>R</sub>: 접지도체의 유효길이(m), 접지망 외곽에서 떨어진 부분에 접지봉을 설치하거나 설치하지 않은 경우

L<sub>C</sub>: 매설 접지도체의 총 길이(m)

L<sub>R</sub>: 접지봉의 총 길이(m)

ρ: 대지 고유 저항(Ω-m)

$$L = L_C + [1.55 + 1.22(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}})] \cdot L_R$$

: 접지망 외곽 및 전체에 접지봉을 사용한 경우

L<sub>x</sub>: X 방향의 최대길이(m)

L<sub>y</sub>: Y 방향의 최대길이(m)

L<sub>r</sub>: 각 접지봉의 길이(m)

① 이때 사용되는 계수 K<sub>m</sub>은 아래와 같다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{16Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \right.$$

$$\left. \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2\pi-1)} \right]$$

단,  $K_{ii} = 1$ (접지망 외곽 및 전체에 접지봉을 사용한 경우)

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{접지망 외곽에서 떨어진 부분에} \\ \text{접지봉을 설치하거나 설치하지 않은 경우} \end{array} \right)$$

$$K_h = \sqrt{1+h/h_0}$$

$h_0$  = Grid의 기준 깊이(1m)

$h$  : 매설 깊이(m)

$K_{ii}$  : 외곽도체에 대한 내부도체의 보정계수

$d$  : 도체 굵기(m)

$K_h$  : 매설 깊이에 따른 보정계수

$D$  : Grid 간격(m)

$n$  : 도체 수(개)  $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$

$n_b \cdot n_c \cdot n_d = 1$  (사각형 매설 접지인 경우)

$L_p$  : 매설 접지 도선의 주변길이(m)

또한, 사각형 매설 접지가 아닌 경우는

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[ \frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0.7A}{L_x \cdot L_y}} \quad A : \text{Grid의 면적(mm}^2\text{)}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

$D_m$ : Grid 상 2점간의 최대 길이(m)

② 교정계수( $K_i$ )는 다음과 같이 표현된다.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$K_i$  계산식에서 0.656은 0.644로, 0.172는 0.148로 변경되었다. 일반적으로 접촉전압, 보폭 전압, Mesh 전압 등의 수식은 대지 고유저항이 매우 균일하거나 Grid 간격이 절대적으로 동일한 이상적인 조건을 가정하여 산출되었으나 이런 이상적인 조건하에서도 접지망으로 흐르는 전류밀도는 접지선의 주변, 특히 모서리에서는 중심부보다 높다. 따라서 전위경도는 변화하며 이런 것을 보정하기 위하여 교정계수  $K_i$ 를 선택한다.

2) 보폭 전압

접지망 주변의 보폭 전압은 다음 식에 의한다.

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot K_i}{L}$$

여기서, 유효 매설 접지 도선의 길이는

$$L = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_k$$

$K_s$ 의 값은 매설 깊이에 따라 결정되며 산출 공식은 아래와 같으며 일반적인 매설 깊이는 0.25(m)  $\leq h \leq 2.5$ (m)인 경우인 공식을 사용한다.

$$\textcircled{1} \quad K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

(0.25(m)  $\leq h \leq 2.5$ (m)인 경우)

$$\textcircled{2} \quad K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right] \quad (0.25(m) > h \text{인 경우})$$

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \dots \dots \dots + \frac{1}{n-1} \quad (n < 6 \text{인 경우})$$

$$W = \frac{1}{2n-1} + \ln(n-1) - 0.425 \quad (n \geq 6 \text{인 경우})$$

여기서,  $D$ 는 평행 접지 도선(Grid)의 간격이다.

### 5.2.6 접지 저항의 계산

접지계의 총 저항 값의 산정은 접지계의 기본 Layout과 크기를 결정하는 첫 번째 단계이며, 변전소의 접지 저항은 접지계를 점유하는 접지 소요 면적과 대지 고유저항의 크기에 따라 결정된다.

즉, 이상적인 접지는 Remote Earth 에 대해서 "0"에 가까운 저항을 나타내야 하지만, 실제적으로는 아래 식에서 보는 바와 같이 대지 고유저항에 비례를 하고 변전소 접지계의 면적(또는 접지도체의 길이)에 반비례 한다.

①  $R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}}$  (표토층에서의 접지저항 계산식)

②  $R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L}}$  (도체의 매설깊이  $h < 0.25(m)$ 인 경우)

③  $R_g = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$  ( $0.25 \leq h \leq 2.5(m)$ 인 경우)

- Rg : 변전소 접지저항(Ω)
- p : 평균 대지고유저항(Ω-m)
- A : 접지 부지(m<sup>2</sup>)
- L : 매설된 도체의 총 길이(m)
- h : 매설깊이(m)

예제1) 접지봉을 사용하지 않고, 접지도선을 매설하여 Mesh 접지설계를 하려고 한다. 다음 조건을 고려하여 접지저항을 계산하여라.

- a. 고장 지속시간 : 0.5초
- b. 1선 지락전류 및 시정수 : 3,180A, X/R=10
- c. 전류 분류계수 : 0.6
- d. 대지 고유저항 : 400Ω -m
- e. 표토층(자갈)의 고유저항(젖은 상태) : 2,500Ω -m
- f. 표토층(자갈)의 두께 : 0.102m
- g. 접지 도선의 매설 깊이 : 0.5m
- h. 매설 가능 면적 : 63m×84m
- i. 주위온도 : 40℃

## 접지설계 순서

### ① 접지면적

현장은 직사각형 63m×84m=5,292m<sup>2</sup> 이므로 초기단계에서 접지면적은 70m×70m=4,900m<sup>2</sup> 로 가정한다.

### ② 접지도체의 굵기

[표10]에서 D<sub>r</sub>는 고장시간 0.5초 일 때 약 1.0이므로 비대칭 고장전류도 3,180A이다. 매설 접지선으로 경동 연선을 적용하고, 주위온도는 40℃, 경동 연선의 용해온도가 1,084℃ 이므로 수식에 의해 매설 접지선의 굵기는 8.1mm 로 계산된다. 그러나 여기서는 굵기가 가는 동선대신 동복강선을 사용하기로 한다. 따라서 도체 굵기 d는 0.01m로 선정한다.

### ③ 허용접촉 전압 및 보폭전압

상기 조건을 고려한 반사계수는

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = \frac{400 - 2,500}{400 + 2,500} = -0.72$$

또한, 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계

수 C<sub>s</sub>는 [그림12]에 의해 0.74이다.

따라서 70kg인 사람의 경우 허용접촉 전압 및 보폭전압은

#### a. 보폭전압

$$= (R_B + R_{2FS})I_B = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2,500) \times 0.157 / \sqrt{0.5} = 2686.6 \text{ Volt}$$

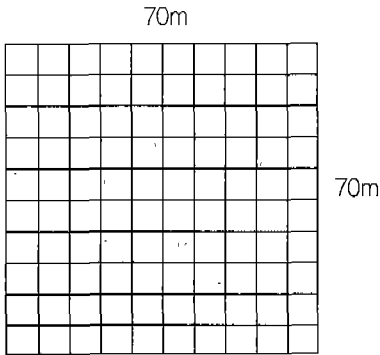
#### b. 접촉전압

$$= (R_B + R_{2FP})I_B = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2,500) \times 0.157 / \sqrt{0.5} = 838.2 \text{ Volt}$$

### ④ 예비 설계

[그림13]과 같이 매설 면적 70m×70m에 접지 도선의 등 간격 D = 7m이므로 매설 접지 도선의 총 길이는 L<sub>c</sub> = 2×11×70m = 1,540m 이다. (단 접지봉은 사용하지 않는 조건임)



[그림 13] 매설 접지도(Square Grid Without Ground Rods 70m)

⑤ Grid 접지저항의 계산

0.25 ≤ h ≤ 2.5(m)인 경우이므로

$$R_g = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + \sqrt{h20/A}} \right) \right]$$

$$= 400 \cdot \left[ \frac{1}{1,540} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4,900}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.5\sqrt{20/4,900}} \right) \right] = 2.78 \Omega$$

⑥ I<sub>g</sub>: 최대 접지망 유입 전류(A): 여기서는 1선 지락 전류의 분류계수와 감쇠계수를 고려한 최대 Grid 전류를 말한다.

$$I_g = D_r \cdot S_r \cdot (3I_0) = 1.0 \times 0.6 \times 3,180 = 1,908A$$

⑦ 대지 전위상승(GPR: Ground Potential Rise)과 허용접촉전압의 비교

GPR = I<sub>g</sub> × R<sub>g</sub> = 1,908 × 2.78 = 5,304 > E<sub>touch</sub> = 5,304 < 838.2V 로 계산된다. 그러나 대지 전위상승 값이 허용접촉전압보다 매우 높으므로 재검토하여야 한다. 또한, 매설 깊이에 따른 보정계수는

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

여기서, 외곽도체에 대한 내부도체의 계수는

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{2/n}} = \frac{1}{(2 \cdot 11)^{2/11}} = 0.57$$

$$K_h = \sqrt{1+h/h_0} = \sqrt{1+0.5/1.0} = 1.225$$

따라서, Mesh 전압 산출을 위한 계수(Geometric factor)는

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.01} + \frac{(7+2 \cdot 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.01} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.01} \right) + \frac{0.57}{1.225} \text{Ln} \left( \frac{8}{\pi(2 \cdot 11-1)} \right) \right]$$

$$= 0.89$$

그리고, 교정계수 K<sub>i</sub>는

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

여기서 도체 수 n = n<sub>a</sub> · n<sub>b</sub> · n<sub>c</sub> · n<sub>d</sub>

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \text{이며,}$$

L<sub>p</sub>: 매설 접지 도선의 주변길이는 4 × 70(m) = 280(m) 이므로

$$n_a = \frac{2 \times 1,540}{280} \times 11 \text{ 이고}$$

사각형 매설 접지인 경우이므로

$$n_b \cdot n_c \cdot n_d = 1 \text{이다.}$$

$$\text{즉 도체 수 } n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 11$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 0.644 + 0.148 \cdot 11 = 2.272$$

따라서 Mesh 전압 E<sub>m</sub>은

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + L_R} = \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.89 \cdot 2.272}{1,540} = 1,002.1V$$

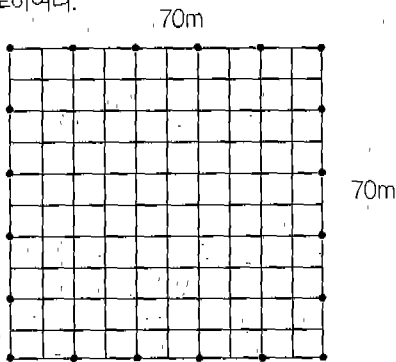
⑧ Mesh 전압 E<sub>m</sub>과 허용 접촉전압의 비교

$$E_m = 1,002.1V > E_{touch} = 1,002.1 < 838.2V \text{이다.}$$

그러나 여기서도 Mesh 전압 값이 허용접촉전압보다 높으므로 재검토하여야 한다. 재검토는 예제 2)에 계속하여

해설한다.

**예제2)** 예제1에서는 접지봉을 사용하지 않는 조건으로 예비설계를 하였으나 대지전위 상승 값과 Mesh 전압이 허용 접촉전압보다 높게 계산되었다. 따라서 여기서는 7.5m 짜리 접지봉 20개를 [그림 14]와 같이 매설 접지 도선을 따라 추가하여 재검토하여야.



[그림 14] 매설 접지도(Square Grid With Twenty 7.5m Rods)

⑤ Grid 접지저항의 계산

예제 1의 ⑤단계부터 다시 계산한다.  
접지도체의 유효 총 길이는  $L=L_c+L_R=1,540+20 \times 7.5=1,690\text{m}$ 이다. 따라서 Grid 접지저항은

$$R_g = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h/20A} \right) \right]$$

$$= 400 \cdot \left[ \frac{1}{1,690} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4,900}} \left( 1 + \frac{1}{1+0.5\sqrt{20/4,900}} \right) \right] = 2.75\Omega$$

⑥ 예제 1)과 동일

⑦ 대지 전위상승(GPR : Ground Potential Rise)과 허용접촉전압의 비교

$$GPR = I_g \times R_g = 1,908 \times 2.75 = 5,274 \text{ Etouch}$$

$$= 5,247 \text{ V} > 838.2\text{V} \text{ 로 매우 높다.}$$

⑧ Mesh 전압 재검토

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2\pi-1)} \right]$$

여기서 접지봉을 사용하는 경우이므로

$$K_{ii}=1$$

$$K_h = \sqrt{1+h/h_0} = \sqrt{1+0.5/1.0} = 1.225 \text{ 이다.}$$

따라서  $K_m$ 은

$$= \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.01} + \frac{(7+2 \cdot 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.01} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.01} \right) + \frac{1.0}{1.225} \text{Ln} \left( \frac{8}{\pi(2 \cdot 11-1)} \right) \right] = 0.77$$

즉, Mesh 전압  $E_m$ 은

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + [1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_r^2 + L_y^2}} \right)] \cdot L_R}$$

$$= \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.77 \cdot 2.272}{1,540 + [1.55 + 1.22 \left( \frac{7.5}{\sqrt{70^2 + 70^2}} \right)] \cdot 150} = 747.4\text{V}$$

⑨ Mesh 전압  $E_m$ 이 허용 접촉전압보다 낮으므로 다음 단계를 진행한다.

⑩ 보폭전압 기준

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1-0.5^{n-2}) \right]$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \cdot 0.5} + \frac{1}{D+0.5} + \frac{1}{7} (1-0.5^{11-2}) \right]$$

$$= 0.406$$

따라서 보폭전압은

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot K_i}{0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R}$$

$$= \frac{400 \cdot 1,908 \cdot 0.406 \cdot 2.272}{0.75 \cdot 1,540 + 0.85 \cdot 150} = 548.9\text{V}$$

⑩ 위에서 계산된 보폭전압은 예제 1)의 ③에서 계산된 허용 보폭전압 2686.6V 보다 상당히 낮게 계산되었으므로 설계는 종료한다. <끝>