

IEEE std. 80을 적용한 공장 접지에 관한 연구

오향록¹, 어익수^{2*}

¹(주)한길이앤씨, ²호남대학교 전기공학과

A Study on Factory Grounding applying IEEE std.80

Hyang-Rok Oh¹, Ik-soo Eo^{2*}

¹Hangil ENC Co., Ltd.

²Dept. of Electrical Engineering, Honam University

요약 전기설비기술기준의 판단 기준이 국제표준과 다르고, 전기설비기술의 선진화를 통해 안정성, 신뢰성 및 편의성을 확보하고자, 국제표준에 부합한 사용자 중심의 한국 전기 설비 규정(KEC)으로 개정되었고, 접지 설계를 진행시 설계 초기에 대지저항을 측정 등이 의무화되었다. IEEE std. 80을 적용한 접지 흐름도에 따라 수용가가 요구하는 접지저항값과 위험 전압 및 안전전압을 계산하여 지락전류 발생 시 인체 안전을 확보하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 접지 프로그램(Ground Mat)을 이용하여 수용가가 요구하는 공장 접지저항 1 Ω 이하, 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V의 값 이하로 안전전압을 도출하기 위한 것이다. IEEE std. 80을 적용한 공장 접지 설계 조건을 Mesh 접지 간격 10×10 m에 접지봉 5개로 하면, 예상 Touch Voltage(E_t) 122 V 이하, 예상 Step Voltage(E_s)는 86.1 V 이하, 접지저항은 0.44 Ω 이고, Mesh 접지 간격 15×15 m에 접지봉 5개로 조건을 변경하면, 예상 Touch Voltage(E_t) 140 V 이하, 예상 Step Voltage(E_s)는 86.1 V 이하, 접지저항은 0.48 Ω 으로 결과 값을 알 수 있었다. 즉, 조건 모두 허용 접촉전압과 허용 보폭전압이 예상 접촉전압과 예상 보폭전압보다($E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$) 크므로 접지 설계를 만족하였고, 접지저항 값도 수용가가 요구하는 1 Ω 이하 값으로 시뮬레이션 되는 것이 검증되었음을 확인할 수 있었다.

Abstract This paper derived the safety voltage using the grounding program (Ground Mat). In particular, the safety voltage was derived for the factory ground resistance of below 1 Ω or less, allowable Touch Voltage (E_{touch}) of 209.17 V, and allowable Step Voltage (E_{step}) of 344.54 V as required by the customer. Moreover, we perform simulations under the conditions of factory grounding design, which applied IEEE Std. 80. In this simulation, five ground rods with a mesh grounding interval of 10×10 m, were considered. Further, the expected Touch Voltage (E_t) is 122 V or less, the expected Step Voltage (E_s) is 86.1 V or less, and the grounding resistance is 0.44 Ω in the simulation. Additional simulations were also performed with the condition changed to 5 ground rods with a mesh grounding spacing of 15×15 m, an expected Touch Voltage (E_t) of 140 V or less, an expected Step Voltage (E_s) of 86.1 V or less, and a ground resistance of 0.48 Ω . The simulation result of this paper satisfies the grounding design because the allowable contact voltage and allowable step voltage are greater than the expected contact voltage and expected step voltage ($E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$). It is also verified through simulation that the grounding resistance value is lower than 1 Ω as required by the customer.

Keywords : Earth Resistivity(ρ), Touch Voltage(E_{touch}), Step Voltage(E_{step}), Common Ground, IEEE Std. 80

*Corresponding Author : Ik-soo Eo(Honam University)

email: iseo@honam.ac.kr

Received November 10, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised December 2, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

Korea Electro-technical Code(KEC, 한국 전기 설비 규정)에 따라 한국 전기안전공사에 공사계획 신고 시 제출자료 목록으로 고장전류 계산서, 접지설비 계통도, 접지설비 평면도, 접지설비 상세도, 접지 설계 계산서, 접지 설계 결과서 등을 제출하여야 한다.

접지의 주 목적은 접촉전압 저감, 대지전위 상승 억제, 보호계전기 동작 확보, 감전 사고 방지로 전기적 특성의 향상이나 대지 귀로로 이용하는 등이 있다[1].

공장 접지는 대지 면적이 크고 장비의 사용 용도를 고려하여 계획되지만, 특고압으로 수전 받는 경우 예상 접촉전압, 보폭전압과 대지전위 상승, 허용 접촉전압 등을 접지 설계에 적용하여야 한다.

본 논문에서는 대지저항률과 대지저항률의 변화에 미치는 영향요소, 대지저항률 측정 방법, IEEE std -80를 적용한 접지 설계 순서에 따라 접지설비의 흐름과 특성을 이해하고, 접지 프로그램(Ground Mat)을 이용하여 허용 접촉전압과 보폭전압, 예상 접촉전압과 보폭전압 비교, 접지저항값 등에 관한 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 본론

2.1 대지저항률(ρ) 정의

대지저항률은 단면적 1 m^2 이고 길이가 1 m 인즉, 체적이 1 m^3 인 토양의 전기 저항으로 대지 고유저항 또는 대지 비저항이라고 정의하며 단위는 $\Omega \cdot \text{m}$ 또는 $\Omega \cdot \text{cm}$ 이다.

2.1.1 대지저항률의 변화에 미치는 영향요소

(1) 토양의 종류

토양은 진흙, 모래, 자갈, 사암 등으로 구성되고 대지 저항률은 Table 1에서 보는 바와 같이 $100 \sim 100,000 \Omega \cdot \text{m}$ 값을 갖는다.

Table 1. Type of soil and earth resistivity

Classification	Mud	Clay	Sand	Sand-stone
Resistivity ($\Omega \cdot \text{m}$)	100 ~200	150 ~300	250 ~500	10,000 ~100,000

(2) 계절의 영향

접지저항은 계절에 따라 크게 변동하는데, Fig. 1과 같이 그 변화율은 70 %에서 130 % 사이에서 토양의 수분함량과 온도 변화가 상호작용해서 발생한다[2].

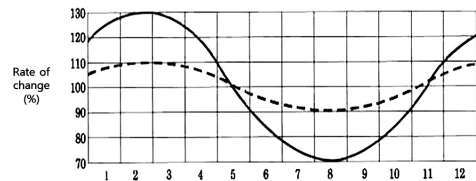


Fig. 1. The influence of the seasons

(3) 수분의 함유량

흙의 입자에 수분이 포함되어 있으면 저항률은 급격히 감소한다. 토양의 수분이 2 %에서 28 %로 증가하면 Table 2와 같이 저항률은 1/30까지 낮아진다.

Table 2. Moisture content

Moisture content(%)	2	6	10	28
Resistivity ($\Omega \cdot \text{m}$)	1,800	380	220	60

(4) 온도

저항률은 물질의 온도에 따라 Table 3과 같이 변하고, 금속의 저항은 온도가 상승하면 증가하고, 반도체, 전해액, 절연체 등의 저항은 온도가 상승하면 감소한다.

Table 3. Earth resistivity with temperature

Temperature($^{\circ}\text{C}$)	Earth resistivity($\Omega \cdot \text{m}$)
20	72.
10	99
0(Water)	138
0(Ice)	300
-5	790
-15	3,300

(5) 화학물질

토양 속에 수분과 함께 전해질의 화학물질이 포함되어 있으면, 저항률이 크게 감소한다. 이런 특성을 이용한 것이 접지저항 저감제이다.

2.1.2 대지저항률 측정 방법

(1) 2전극 법

(2) Wenner 4전극 법

(3) Schlumberger-Palmer 법 (부등간격 4전극 법)

(4) 역산 법 (간이 측정법)

상술한 4가지 측정 방법 중에 대지저항률 측정이 정확하고, 일반적으로 가장 널리 적용하고 있는 Wenner 4전극 법을 살펴보면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 4개의 전극을 일직선상에 등 간격으로 설치하고, 외부의 전류극(C1, C2)에 교류 전원을 공급할 때 내부의 전위극(P1, P2) 간의 전위차를 측정한다[3].

$$\rho = 2\pi a \times R = 2\pi a \times \frac{V}{I} (\Omega \cdot m) \left(d \leq \frac{a}{20} \right) \quad (1)$$

R : 대지저항, ρ : 대지저항률, a : 전극간격

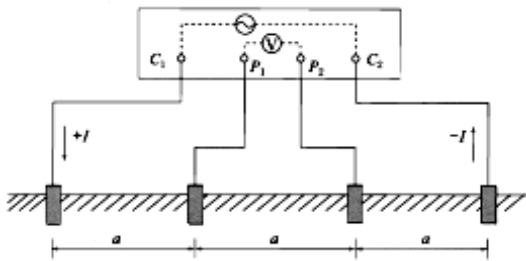


Fig. 2. Wenner 4-electrode method

2.2 공장 접지설계 흐름도

사고 시 지락전류와 위험 전압으로부터 인체의 안전을 확보하기 위해 IEEE. std. 80을 이용하면 다음과 같다 [4].

(1) Step 1 (현장 데이터 정보를 파악)

접지 시공 부지에 대한 토양의 특성을 파악하는 것이 기초 자료이다. (A : 접지 망 포설 면적, ρ : 토양의 등가 고유저항)

(2) Step 2 (접지 망 도체의 굵기 계산)

접지선에 큰 고장전류가 흐르면 Joule에 의해 용단되는 경우가 있으므로 적절한 전류용량을 갖는 도체가 선정되어야 한다.

$$A_c = \frac{I_f}{\sqrt{\left[\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \times a_r \times \rho_r} \right) \times \in \left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right) \right]}} \times \alpha (\text{mm}^2) \quad (2)$$

T_m : 도체의 최대허용온도(℃)

T_a : 주온온도(℃)

a_r : 20℃ 에서의도체의저항온도계수

ρ_r : 20℃ 에서의도체의저항[$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]

K_o : 234℃

t_c : 고장전류지속시간(sec)

$TCAP$: 열용량계수[$J/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$]=3.42

(3) Step 3 (최대 허용 접촉전압과 보폭전압)

인체 체중 50 kg인 경우를 기준으로 허용 접촉전압과 보폭전압을 시뮬레이션 한다.

표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수 (C_s)

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \quad (3)$$

ρ : 대지저항률

ρ_s : 표토층대지고유저항률

최대 허용 접촉전압

$$E_{\text{touch}} = (1,000 + 1.5 \times C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} (V) \quad (4)$$

최대 허용 보폭전압

$$E_{\text{touch}} = (1,000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} (V) \quad (5)$$

(4) Step 4 (예비설계)

접지 망은 Mesh 방식을 적용하며, 포설 면적은 3,600 m^2 로 결정하고, 총 도체길이는 Mesh 간격의 조건에 따라 산정한다.

$$L = L_C + L_R \quad (6)$$

L_C : 접지망도체의길이(M)

L_R : 접지봉의길이합계(M)

접지저항 계산

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] (\Omega) \quad (7)$$

(5) Step 5 (최대 지락 Gird 전류)

1선 최대 지락전류는 최댓값인 계통의 지락전류값을 적용한다.

$$I_G = C_p \times \beta \times I_f \quad (8)$$

C_p : 계통확장계수(1.0)
 β : 지락전류분류계수
 (분류율은 20% ~ 40% 적용)

(6) Step 6 (접지 망의 최대 전위 상승(EPR) 계산)
 접지 망의 최대 전위 상승은 접지전류와 접지저항의 곱으로 정한다.

$$EPR = I_G \times R_g (V) \quad (9)$$

(7) Step 7 (예상 접촉전압(E_t)계산)
 Mesh 전압은 Mesh 전극의 중심과 4개 모서리 사이에는 전위차가 발생하고, 이 경우의 전위 상승의 전위차를 말한다.

$$E_t = \rho \times K_m \times K_i \times \frac{I_G}{L_t} (V) \quad (10)$$

(8) Step 8 (예상 접촉전압과 허용 접촉전압 비교)
 $E_t < E_{touch}$ 이면 다음 단계

(9) Step 9 (예상 보폭접압(E_s)계산)

$$E_s = \rho \times K_s \times K_i \times \frac{I_G}{L_s} \quad (11)$$

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

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

$$L_s = 0.75 \times L_C + 0.85 \times L_R$$

(10) Step 10 (예상 보폭접압과 허용 보폭전압 비교)
 $E_s < E_{step}$ 이면 본 설계 채택

2.3 사례연구

2.3.1 현장 대지저항 측정

Table 4에서 보는 바와 같이 전라남도 나주에 위치한 A(사) engineering 공장 부지의 대지저항 측정은 2021년 4월에 변압기 용량 400 kVA, 연면적 4,590 m²이고, Fig. 3과 같이 CA6470N 장비로 Wenner 4전극 법을 이용하여 측정하였다.

Table 4. Naju Factory, Jeollanam-do

Condition	Contents
Date	04. 2021
Location	Naju, Jeollanam-do
Customer	A engineering
Project Name	Naju factory
Capacity	400 kVA
Gross area	4,590 m ²
Measurement Methods	4-Point Wenner Method
Measuring Equipment	CA6470N
Calculation	Earth Resistivity($\Omega \cdot m$) = 6.28 x Distance(m) x Resistance



Fig. 3. CA6470N(Earth resistivity meter)

(1) 대지저항률 계산



(a)



(b)



(c)



(g)



(d)



(e)



(f)

Fig. 4. Earth resistance measurement data

- (a) Field Measurement Panorama
- (b) Inter-electrode distance : 1 m
- (c) Inter-electrode distance : 2 m
- (d) Inter-electrode distance : 4 m
- (e) Inter-electrode distance : 8 m
- (f) Inter-electrode distance : 12 m
- (g) Inter-electrode distance : 16 m

대지저항은 Fig. 4와 같이 전극 간 거리를 1 m, 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m로 측정하면 Table 5와 같이 계산된 데이터 값이 되고, 이 값을 Ground mat에 시물레이션 하면 Fig. 5와 같이 상부층 205.63 $\Omega \cdot m$, 하부층 9.06 $\Omega \cdot m$ 값을 확인할 수 있다.

Surface Material:	Height (mm)	Resistivity (ohm)	Redraw
	30	150	Earth Library...
Layer	Thickness (meters)	Resistivity (ohms - m)	
Soil 1	1.0002	205.63	
Soil 2	Infinity	9.06	

Fig. 5. Ground resistivity according to the ground mat

Table 5. Earth resistivity measurement

Location	Measuring distance(m)	Resistance (Ω)	Earth Resistivity ($\Omega \cdot m$)
Naju factory	1	48.4	303.95
	2	27.4	172.07
	4	13.0	81.64
	8	5.40	33.91
	12	2.19	13.75
	16	1.45	9.12

(2) 접지 설계 공통 조건

Table 6에서 보는 바와 같이 접지방식은 공통접지, 적용규격 IEEE Std. 80, 접지면적 3,600 m^2 , 접지전극 A형 Ground electrode ground rod $\phi 18 \times 1.8 m$ 와 B

형 Ground electrode BC wire 70 mm², 그리드전류 1000 A, 고장 차단시간 0.5 s, 인체 체중 50 kg, 요구 접지저항 1 Ω 이하를 적용하였다.

Table 6. Ground design specification

Condition	Contents
Grounding method	Common ground
Applicable standard	IEEE Std. 80
Ground area	3,600 m ²
Ground electrode	A형 ground electrode ground rod Ø 18×1.8 m
	B형 ground electrode BC wire 70 mm ²
Grid current	1000 A
Interrupting time	0.5 s
Human weight	50 kg
Required earth resistance	1 Ω 이하

(3) Mesh 접지 간격 및 접지봉 설치 수량

Table 7에서 보는 것처럼 Mesh 접지 간격 10×10 m에 접지봉 5개, Mesh 접지 간격 10×10 m에 접지봉 10개, Mesh 접지 간격 15×15 m에 접지봉 5개, Mesh 접지 간격 15×15 m에 접지봉 10개로 Ground mat에 대입하여 시뮬레이션을 진행하였다.

Table 7. Mesh ground spacing and Ground rod quantity

Ground area	Mesh ground spacing(m)	Ground rod quantity(ea)
3,600 m ²	10×10	5, 10
	15×15	

3. 공장 접지 사례 및 고찰

3.1 시뮬레이션 조건 1

접지 공통 조건과 Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 5개를 이용하여 시뮬레이션 하면 Fig. 6에서 보는 바와 같이 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 122 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V 이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.44 Ω으로 설계 조건을 만족하였다.

Summary for Grid: Main

Number of Grid Conductors:	14
Number of Ground Rods:	5
Total Length of Grid Conductors:	840.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	8.00 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	848.00 Meters
Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	513.09 Amps
Grid Resistance Rg:	0.44 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	225.93 Volts

(a)

Design Criteria

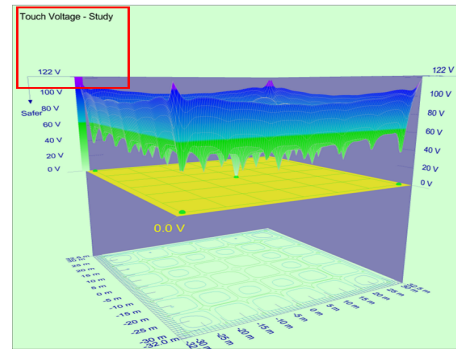
Touch Voltage Limit:	209.17 Volts
Step Voltage Limit:	344.54 Volts
Maximum Grid Current:	513.09 Amps

(b)

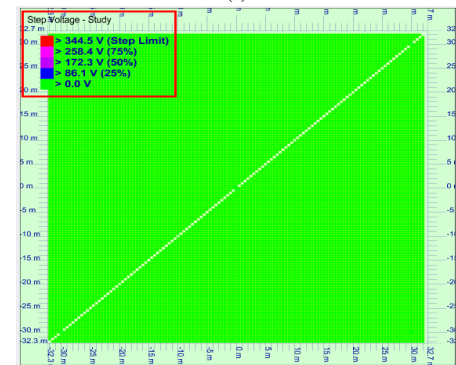
Study Setup and Options

Tolerance:	1.00e-005
Max Number of Iteration:	1000 Series Terms
Body Resistance:	1000 Ohms, IEEE Standard 80
Foot Resistance:	550.13 Ohms
Fault Clearing Time:	0.50 Seconds
Tolerable Body Current Limit:	0.184 Amps, IEEE 50 kg body
Fault Current Division Factor Sf:	0.50
Division Factor Sf Calculation Method Used:	User Defined
Symmetrical Ground Fault Current If:	1000.00
Decrement Factor Df:	1.02618

(c)



(d)



(e)

Fig. 6. Ground design verification using Ground Mat

- (a) Mesh spacing, Ground rod, Conductor length, Ground resistance, GPR
- (b) Allowable Touch Voltage and Allowable Step Voltage
- (c) Interrupting time and Human weight
- (d) Expected Touch Voltage
- (e) Expected Step Voltage

3.2 시뮬레이션 조건 2

접지 공통 조건과 Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 10 개를 이용하여 시뮬레이션 하면 Fig. 7에서 보는 바와 같이 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 98 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.36 Ω 으로 설계 조건을 만족하였다.

Summary for Grid: Main

Number of Grid Conductors:	14
Number of Ground Rods:	10
Total Length of Grid Conductors:	840.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	17.00 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	857.00 Meters

Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	513.09 Amps
Grid Resistance Rg:	0.36 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	183.43 Volts

(a)

Design Criteria

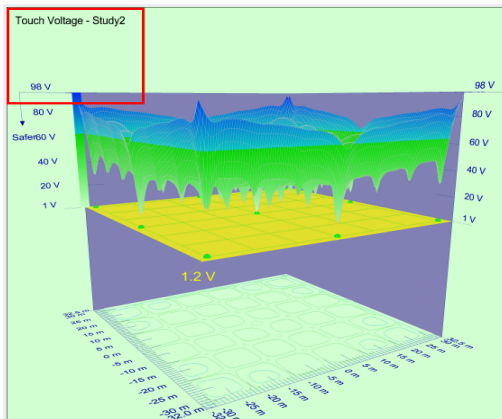
Touch Voltage Limit:	209.17 Volts
Step Voltage Limit:	344.54 Volts
Maximum Grid Current:	513.09 Amps

(b)

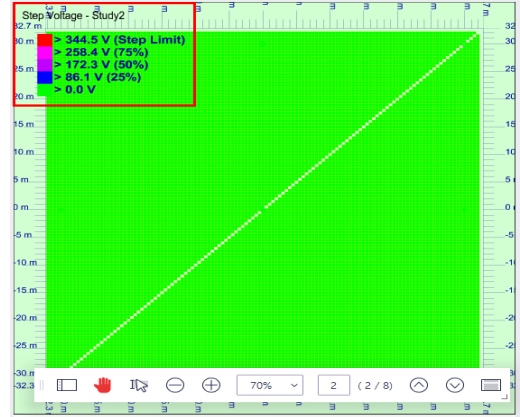
Study Setup and Options

Tolerance:	1.00e-005
Max Number of Iteration:	1000 Series Terms
Body Resistance:	1000 Ohms, IEEE Standard 80
Foot Resistance:	550.13 Ohms
Fault Clearing Time:	0.50 Seconds
Tolerable Body Current Limit:	0.164 Amps, IEEE 50 kg body
Fault Current Division Factor Sf:	0.50
Division Factor Sf Calculation Method Used:	User Defined
Symmetrical Ground Fault Current If:	1000.00
Decrement Factor Df:	1.02618

(c)



(d)



(e)

Fig. 7. Ground design verification using Ground Mat

- (a) Mesh spacing, Ground rod, Conductor length, Ground resistance, GPR
 (b) Allowable Touch Voltage and Allowable Step Voltage
 (c) Interrupting time and Human weight
 (d) Expected Touch Voltage
 (e) Expected Step Voltage

3.3 시뮬레이션 조건 3

접지 공통 조건과 Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 5개를 이용하여 시뮬레이션 하면 Fig. 8에서 보는 바와 같이 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 140 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.48 Ω 으로 설계 조건을 만족하였다.

Summary for Grid: Main

Number of Grid Conductors:	10
Number of Ground Rods:	5
Total Length of Grid Conductors:	600.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	8.00 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	608.00 Meters

Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	513.09 Amps
Grid Resistance Rg:	0.48 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	243.97 Volts

(a)

Design Criteria

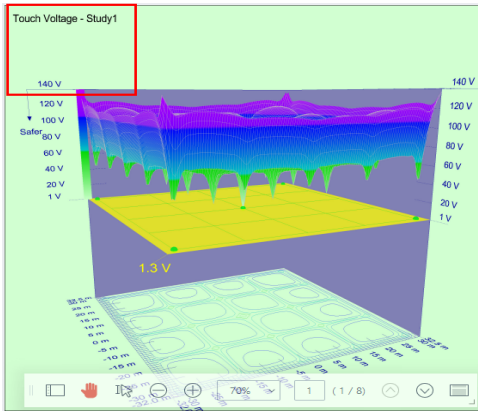
Touch Voltage Limit:	209.17 Volts
Step Voltage Limit:	344.54 Volts
Maximum Grid Current:	513.09 Amps

(b)

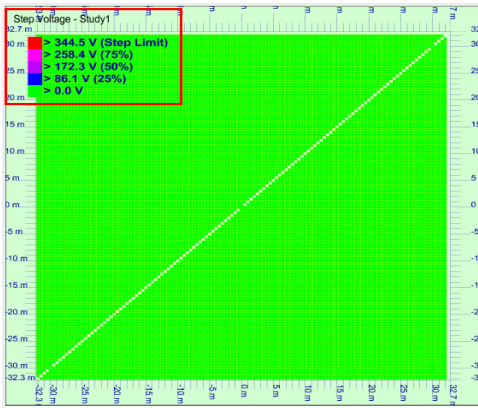
Study Setup and Options

Tolerance:	1.00e-005
Max Number of Iteration:	1000 Series Terms
Body Resistance:	1000 Ohms, IEEE Standard 80
Foot Resistance:	550.13 Ohms
Fault Clearing Time:	0.50 Seconds
Tolerable Body Current Limit:	0.164 Amps, IEEE 50 kg body
Fault Current Division Factor Sf:	0.50
Division Factor Sf Calculation Method Used:	User Defined
Symmetrical Ground Fault Current If:	1000.00
Decrement Factor Df:	1.02618

(c)



(d)



(e)

3.4 시뮬레이션 조건 4

접지 공통 조건과 Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 10 개를 이용하여 시뮬레이션 하면 Fig. 9에서 보는 바와 같이 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 110 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.38 Ω 으로 설계 조건을 만족하였다.

Summary for Grid: Main

Number of Grid Conductors:	10
Number of Ground Rods:	10
Total Length of Grid Conductors:	600.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	17.00 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	617.00 Meters
Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	513.09 Amps
Grid Resistance Rg:	0.38 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	194.55 Volts

(a)

Design Criteria

Touch Voltage Limit:	209.17 Volts
Step Voltage Limit:	344.54 Volts
Maximum Grid Current:	513.09 Amps

(b)

Study Setup and Options

Tolerance:	1.00e-005
Max Number of Iteration:	1000 Series Terms
Body Resistance:	1000 Ohms, IEEE Standard 80
Foot Resistance:	550.13 Ohms
Fault Clearing Time:	0.50 Seconds
Tolerable Body Current Limit:	0.164 Amps, IEEE 50 kg body
Fault Current Division Factor Sf:	0.50
Division Factor Sf Calculation Method Used:	User Defined
Symmetrical Ground Fault Current If:	1000.00
Decrement Factor Df:	1.02618

(c)

Fig. 8. Ground design verification using Ground Mat

- (a) Mesh spacing, Ground rod, Conductor length, Ground resistance, GPR
- (b) Allowable Touch Voltage and Allowable Step Voltage
- (c) Interrupting time and Human weight
- (d) Expected Touch Voltage
- (e) Expected Step Voltage

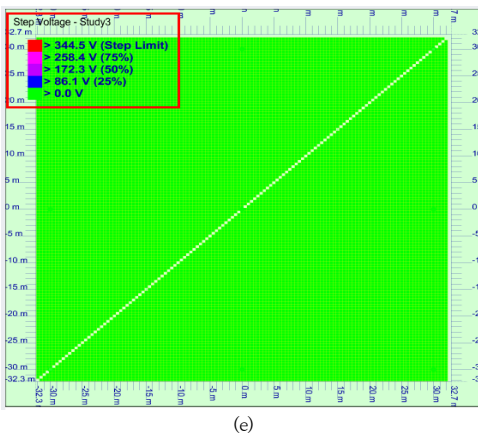
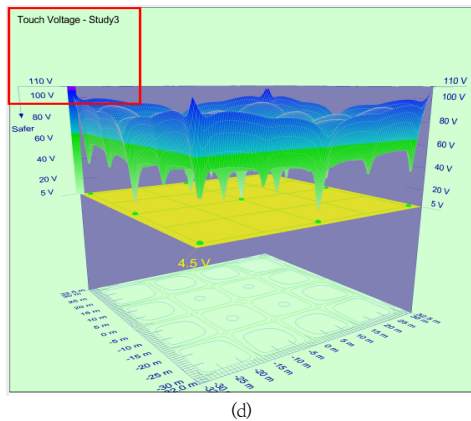


Fig. 9. Ground design verification using Ground Mat
 (a) Mesh spacing, Ground rod, Conductor length,
 Ground resistance, GPR
 (b) Allowable Touch Voltage and Allowable Step Voltage
 (c) Interrupting time and Human weight
 (d) Expected Touch Voltage
 (e) Expected Step Voltage

3.5 사례 결과 및 고찰

접지 프로그램(Ground Mat)을 이용하여 수용가가 요구하는 공장 접지저항 1 Ω 이하, 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V의 값 이하로 안전전압을 도출하기 위하여 4가지 조건을 시뮬레이션 한 결과는 Table 8에서와 같이 예상 Touch Voltage(E_t)는 122 V, 98 V, 140 V, 110 V, 예상 Step Voltage(E_s)는 모두 86.1 V 이하로 허용 접촉전압과 허용 보폭전압이 예상 접촉전압과 예상 보폭전압보다 크고, 접지저항도 0.44 Ω , 0.36 Ω , 0.48 Ω , 0.38 Ω 으로 시뮬레이션 되는 것을 확인할 수 있었다.

Table 8. Simulation result case

Mesh ground spacing(m)	Ground rod quantity(ea)	Touch Voltage (E_t)	Step Voltage (E_s)	Earth resistance (Ω)
10×10	5	122	86.1	0.44
10×10	10	98	86.1	0.36
15×15	5	140	86.1	0.48
15×15	10	110	86.1	0.38

Table 9에서 보는 것처럼 Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 5개 일 때, 8,420,884원, Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 10개 일 때, 8,591,881원, Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 5개 일 때, 6,149,461원, Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 10개 일 때, 6,231,961원으로 시뮬레이션 조건 3이 가장 경제성을 만족시킬 수 있는 접지 설계가 되었음을 확인할 수 있었다.

Table 9. Mesh length and Amount of money (material cost contrast, Unit price standard (2021))

Mesh ground spacing(m)	Ground rod quantity(ea)	Mesh length(m)	Amount of money(won)
10×10	5	848	8,420,884
10×10	10	857	8,591,881
15×15	5	608	6,149,461
15×15	10	617	6,231,961

4. 결론

전기안전 관리법 개정에 따라 구내 배전설비 1,000 kW 이상에만 제출하였던 접지 계산서를 1,000 kW 미만의 특고압 공장 설비에도 사용 전 검사 범위가 확대되어 접지 계산서를 제출해야 한다.

본 논문의 공장설비는 수전설비 400 kVA로 접지 계산서를 제출하여야 하는 대상물에 속한다.

공장 접지 설계는 IEEE std. 80 및 KEC IEC 61936-1을 적용하여 한국 전기 설비 규정 (Korea Electro- technical Code, KEC)에서 요구하는 대지저항측정값 또는 지질 분석 자료를 근거로 하여 접지 프로

그림을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 5개를 이용하면 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 110 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V 이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.38Ω 으로 설계 결과를 확인할 수 있었다.
- (2) Mesh 간격 10×10 m, 접지봉 10개를 이용하면 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 98 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V 이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.36Ω 으로 설계 결과를 확인할 수 있었다.
- (3) Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 5개를 이용하면 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 140 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V 이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.48Ω 으로 설계 결과를 확인할 수 있었다.
- (4) Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 10개를 이용하면 허용 Touch Voltage(E_{touch}) 209.17 V, 허용 Step Voltage(E_{step}) 344.54 V 이하, 예상 Touch Voltage(E_t) 110 V, 예상 Step Voltage(E_s) 86.1 V 이하, $E_{touch} > E_t$, $E_{step} > E_s$ 이고, 접지저항 0.38Ω 으로 설계 결과를 확인할 수 있었다.
- (5) 허용 접촉전압과 허용 보폭전압이 예상 접촉전압과 예상 보폭전압보다 크고, 접지저항은 1Ω 이하로 가장 경제성이 있는 시뮬레이션 조건으로는 Mesh 간격 15×15 m, 접지봉 5개를 선택하면 안전전압과 경제성을 만족시킬 수 있는 접지 설계가 되었음을 검증할 수 있었다.

References

- [1] Se-gil Jang "A Study on the efficient grounding construction" Master's thesis, Chonbuk National University Graduate School of Industrial Technology, pp.2, 2018.
<http://www.riss.kr/link?id=T14909250>
- [2] Joo-hyun Jo "A Study on the Grounding of Low Voltage Electric Work" Master's thesis, Mokpo

National University Graduate School of Industry, pp.52~53, 2017.

<http://www.riss.kr/link?id=T14574265>

- [3] Young-chul Cho, Gyeong-seok Yoon, Jeong-min Park "The Calculation of Corrective Coefficient for Grounding Electrode Resistance according to Variation of Soil Resistivity by Field Measurement" *Journal of Advanced Engineering and Technology*, Vol. 10, No.2, pp.213~218, 2017
DOI: <https://doi.org/10.35272/jaet.2017.10.2.213>
- [4] Chan-sik Min "A study of ground resistivity analysis through ground simulation (CDEGS)" Master's thesis, Hanyang University Graduate School of Engineering, pp.28~40, 2019.
<http://www.riss.kr/link?id=T15044954>

오 항 록(Hyang-Rok Oh)

[정회원]



- 2000년 8월 : 광주대학교 전자공학과 졸업
- 2020년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 재학 중
- 2014년 11월 ~ 현재 : (주)한길이앤씨 전기통신부 근무중

<관심분야>

전기설비, 건축물 에너지, Zero Energy, 접지설비

여 익 수(Ik-soo Eo)

[중신회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 (석사)
- 2008년 2월 : 서울벤처대학원 컴퓨터응용학과 (박사)
- 1998년 2월 ~ 현재 : 호남대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전기설비 및 조명분야