

## 빌딩 위험전압의 접지시스템 설계 방법에 관한 연구

박희정, 어익수\*  
호남대학교 전기공학과

### A Study on the Design Method of Grounding System of Hazardous Voltage in Building

Hee-jung Park, Ik-soo Eo\*  
Dept. of Electrical Engineering, Honam University

**요약** 접지저항값은 안전범위 안에 있는 인체 허용 접촉전압( $E_{touch}$ )값 이하가 되도록 설계 하여야 하며, 인체를 투과하는 전류가 달라 보폭전압( $E_{step}$ ) 한계가 접촉전압( $E_{touch}$ ) 한계 보다 커서 인체 허용 접촉전압( $E_{touch}$ )값 이하가 되면, 보폭전압( $E_{step}$ ) 요건도 만족한 것으로 볼 수 있다. 본 논문의 취지는 한국전기안전공사 공사계획신고 설계도서(접지 계산서 및 설계도면)의 공사시 제출목록인 접지 계산서의 빌딩 접지저항값을 1 Ω 이하, 접지 프로그램 SKM Power tools ground mat 으로 허용 접촉전압( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 보폭전압( $E_{step}$ ) 1714.32V 이하로 설계조건을 완성한다. 조건 값을 Mseh간격 5X5 m에 접지봉 4개를 매설깊이 0.8 m로 적용하여 예상 접촉전압( $E_t$ ) 93V, 예상 보폭전압( $E_s$ ) 428.6V 접지저항값은 0.26 Ω 이 되었고, Mseh 간격 10X10 m에 접지봉 8개를 매설깊이 0.5 m로 변화시켜 예상 접촉전압( $E_t$ ) 111V, 접지저항은 0.28 Ω 으로 도출되어, 요구되는  $E_{touch} > E_t$ ,  $E_{step} > E_s$  로 빌딩 접지저항값 1 Ω 이하 안전전압으로 설계된 것을 확인할 수 있었다.

**Abstract** The ground resistance value should be designed to be below the allowable touch voltage of the human body ( $E_{touch}$ ), and the step voltage ( $E_{step}$ ) limit should be greater than  $E_{touch}$  due to different currents. The purpose of this paper is that the building ground resistance value of the ground bill is 1 Ω less. The ground bill is the list of construction submissions of the Korea Electrical safety Corporation's construction plan report design book (ground bill and design drawing). With the ground program SKM Power tools ground mat, the design conditions are completed with an allowable touch voltage ( $E_{touch}$ ) of 551.62V and an allowable step voltage ( $E_{step}$ ) of 1714.32V less. Four ground rods were changed to have a buried depth of 0.8 m at a Mseh interval of 5X5 m, resulting in the expected touch voltage ( $E_t$ ) of 93V, an expected step voltage ( $E_s$ ) of 428.6V, and ground resistance value of 0.26 Ω. Eight ground rods were changed to have a buried depth of 0.5 m at a Mseh interval of 10X10 m, resulting in an expected touch voltage ( $E_t$ ) of 111 V and a ground resistance of 0.28 Ω on the basis of required  $E_{touch} > E_t$ ,  $E_{step} > E_s$  was designed with a safety voltage 1 Ω less of the building ground resistance value.

**Keywords** : Allowed Touch Voltage( $E_{touch}$ ), Allowed Step Voltage( $E_{step}$ ), Expected Touch Voltage( $E_t$ ), Expected Step Voltage( $E_s$ ), Resistance Value

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

email: iseo@honam.ac.kr

Received October 20, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised November 17, 2022

Published December 31, 2022

## 1. 서론

건축물은 고층화되고 부지면적은 한정되어 있으며 복잡 다 기능화 되어감에 따라 각종 약전기기가 설치되고, 모든 기기는 접지해야 하는 경우가 필수적이다[1]. 전기 안전관리법 시행에 따라 1,000KW 미만 자가용 전기설비 수전설비 및 구내 배전설비까지 사용 전 검사 범위가 확대되어, 수용설비 공사 계획신고 제출서류 중 한국전기설비규정(KEC) 설계시 추가 첨부서류로서 접지 설계도면으로 접지설비계통도, 접지설비 평면도, 접지상세도가 있고 접지설계 계산서로 대지저항을 측정과 지질 분석자료, 접지계산 Factor 요약표등 접지 설계결과서를 기본적으로 제출해야 한다. 그럼으로 본 논문에서는 SKM Power Tools Ground Mat IEEE std. 80 프로그램으로 KEC 기준 인체의 허용 접촉 전압 값을 도출하기 위한 새로운 접지모형을 제안한다.

## 2. 본론

IEEE std. 80은 안전하고 시간 단축 목적으로 접지 시스템 설계를 위한 허용 접촉전압과 허용 보폭전압을 결정하는 방법을 제시하고자 한다. 접지설비를 설계할 때 당연 현장에서는 이 값들보다 낮은 예상 접촉전압과 예상 보폭전압값을 갖는 접지 시스템 설계를 할 수 있도록 접지망 프로그램을 작동시키고 있다.

### 2.1 허용 접촉전압과 허용 보폭전압

IEEE std. 80 (Ground mat)에서는 예상 접촉전압( $E_{touch}$ )과 보폭전압( $E_{step}$ )이라 표시하고, 사람이 접지 시스템 범위 안에 있다는 가정하에 Eq. (1)과 Eq. (2)와 같은 허용 접촉 전압값, 허용 보폭 전압 값을 계산하도록 정의하고 있다[2].

$$E_{touch}=(R_F+\frac{2}{1}R_F)\times I_B \quad (1)$$

$$E_{step}=(R_F+2R_F)\times I_B \quad (2)$$

$I_B$  : 인체한계 통전전류

$I_B$ 는 몸무게 50 Kg의 사람이 견딜 수 있는 최대의 전류치를 의미하고 있다. 이 값은 인체에 통전 전류가 흐르는 시간과 연관이 있다. 50 Kg의 사람이 가질수 있는 저항 값 1,000  $\Omega$ 으로 비유하여 최대 허용 접촉전압과

최대 허용 보폭전압을 Eq. (3)과 Eq. (4)로 계산하였다 [3].

$$E_{touch50}=(1000+1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s)\times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3)$$

$$E_{step50}=(1000+6 \cdot C_s \cdot \rho_s)\times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (4)$$

$\rho_s$ : 측정된 표토층의 고유저항률  $\Omega \cdot m$ 값

토지의 특성을 계산한 토지 특성 계수  $C_s$ 와 반사율 K는 다음과 같다.

$$C_s=1-\frac{0.09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s+0.09} \quad (5)$$

$\rho_s$  : 표토층의 고유저항률

$C_s$  : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소 계수

$$K : \text{반사계수 } K=\frac{\rho-\rho_s}{\rho+\rho_s}$$

접지망(Grid)의 최대 전위상승 GPR(Ground surface Potential Rise)은 지락 전류와 접지 저항의 곱으로 Eq. (6)과 같이 계산한다[3].

$$GPR=I_G \times R_g \quad (6)$$

$I_G$  : (접지전극에 흐르는 전류)

$R_g$  : (접지저항)

접지망(Grid)에 유입되는 최대 고장전류 Eq. (7)과 같이 계산한다.

$$I_G=D_f \times I_g \quad (7)$$

$$D_f : 0.2$$

$I_g$  최대 지락고장 전류: 접지망(Grid) 접지저항( $R_g$ ) Eq. (8)과 같이 계산한다.

$$R_g=\rho \left[ \frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (8)$$

$\rho$ : 대지 고유저항  
 A: 접지망 포설 총면적  
 $L_t$ : 접지망 도체 총 길이

GPR ( $E_t$  이면, 접지망의 대지 전위상승(GPR) 값이 최대 허용 접촉전압( $E_t$ )보다 낮아 최대 지락 고장 전류가 접지망에 유입되었을 때 접촉전압에 의한 위험이 발생하지 않으므로 설계가 종료된다. 이상적으로 접지 저항이 0  $\Omega$  이 바람직하나 대지에는 수분이 존재하고 있으므로 실제로는 있을 수 없고, 대규모 송·변전소의 접지 저항은 우리나라 신규 검사시 1  $\Omega$  이하로 요구하며, IEEE std. 80 에서는 빌딩 및 특고 플랜트 변전소의 접지 저항은 1~5  $\Omega$  이 적당하다고 권장하고 있다[3].

### 2.2 현장 실측

Table 1과 같이 광주 광역시에 위치한 00빌딩 부지의 대지 저항 측정은 2022년 2월에 변압기 용량 600KVA, 연면적 2,150  $m^2$ , CA6470N 장비로 Wenner 4전극법을 이용하여 측정하였다[4].

Table 1. Conditions of the 00 building in gwangju Metropolitan city[4].

Condition	Content
Date	02. 2022
Location	Heukseok-dong, Gwangju Metropolitan City
Customer	00 building
Project Name	IBM building
Capacity	600 KVA
Building area	2150 $m^2$
Measurement	4-Point Wenner Method
Measuring Equipment	CA6470N
Calculation	Earth Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )=6.28 $\times$ Distance(m) $\times$ Resistance

Table 2. Ground resistance measuring equipment



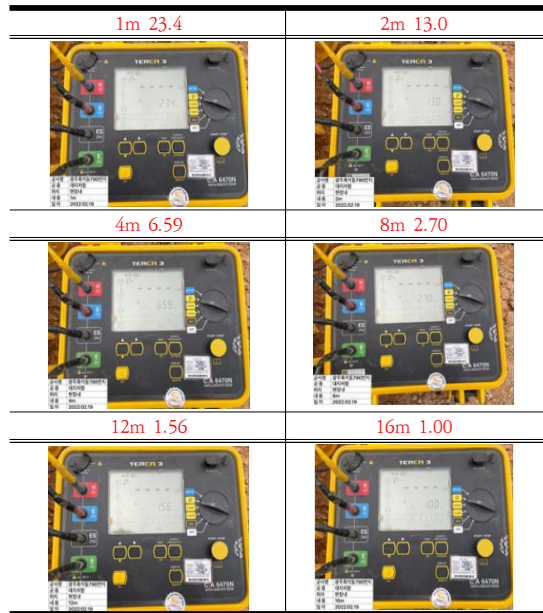
Table 2는 대지저항 다 기능 테스터기로 측정 범위는 0.001  $\Omega$ ~100 k  $\Omega$ , 측정 주파수 선택은 41Hz~512Hz이다.

Table 3은 현장 대지저항 데이터 결과값이고, Table 4와 같이 1 m, 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m로 현장에서 4전극법을 사용하여 측정하였다.

Table 3. Earth resistance and ground resistance

Measurement distance(m)	Earth resistance measurement( $\Omega$ )	Current Earth Resistivity( $\Omega \cdot m$ )
1	23.4	146.952
2	13.0	163.28
4	6.59	165.5408
8	2.70	135.648
12	1.56	117.5616
16	1.00	100.48

Table 4. The ground resistance value according to the distance between electrodes



시뮬레이션을 진행 조건 값을 Table 5와 같이 2000  $m^2$ 의 한정된 접지면적에 고장전류지속 시간 0.5 sec, 접지간격을 5x5, 10x10 m에서 접지봉을 4, 8개로 조건을 변형시키고 매설깊이를 0.5, 0.8 m로 환경을 변화시키면서 값을 입력하였다.

Table 5. Simulation condition value

Ground Area[m <sup>2</sup> ]	Meshed interval[m]	Ground seal quantity[ea]	Buried depth[m]
2000	5x5	4	0.5
	5x5	4	0.8
	5x5	8	0.5
	5x5	8	0.8
	10x10	4	0.5
	10x10	4	0.8
	10x10	8	0.8

Table 6에서는 접지 간격을 5x5 m와 접지봉 4개를 사용하여 매설깊이 0.8 m로 조건 값을 입력하여 허용 접촉전압 551.62V와 허용 보폭전압 1714.32V 값이 도출되었다.

Table 6. Allowable touch voltage, step voltage

Mesh spacing 5x5m, four grounding rods, 0.8m buried depth  
 $(E_{touch})551.62V, (E_{step})1714.32V$

Design Criteria	
Touch Voltage Limit:	551.62 Volts
Step Voltage Limit:	1714.32 Volts
Maximum Grid Current:	1026.18 Amps

Table 7에서는 접지간격을 5x5 m와 접지봉 4개를 사용하여 매설깊이 0.8 m로 조건값을 입력하여 예상 접촉전압 93V 값이 도출되었다.

Table 7. Expected touch voltage

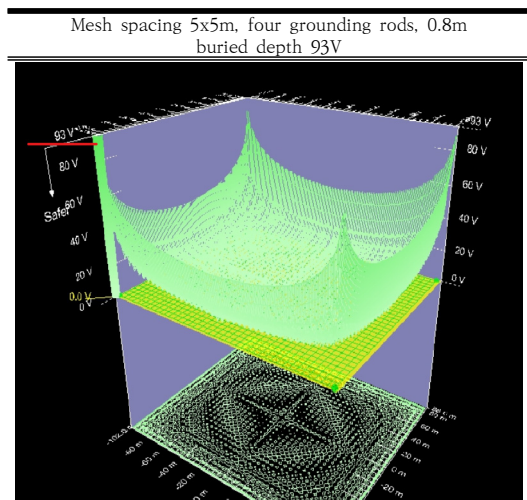


Table 8에서는 접지간격을 5x5 m와 접지봉 4개를 사용하여 매설깊이 0.8 m로 조건 값을 입력하여 접지 저항값 0.26 Ω 값이 도출되었다.

Table 8. Ground resistance value

Mesh spacing 5x5m, four grounding rods, 0.8m buried depth 0.26 Ω

Summary for Grid: Main	
Number of Grid Conductors:	76
Number of Ground Rods:	4
Total Length of Grid Conductors:	13970.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	7.20 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	13977.20 Meters
Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	1026.18 Amps
Grid Resistance Rg:	0.26 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	266.38 Volts

Table 9에서는 접지간격을 10x10 m와 접지봉 8개를 사용하여 매설깊이 0.5 m로 조건값을 입력하여 허용 접촉전압 551.62V 와 허용 보폭전압 1714.32V 값이 도출되었다.

Table 9. Allowable touch voltage, step voltage

Mesh spacing 10x10m, eight grounding rods, 0.5m buried depth  $(E_{touch})551.62V, (E_{step})1714.32V$

Design Criteria	
Touch Voltage Limit:	551.62 Volts
Step Voltage Limit:	1714.32 Volts
Maximum Grid Current:	1026.18 Amps

Table 10. Expected touch voltage

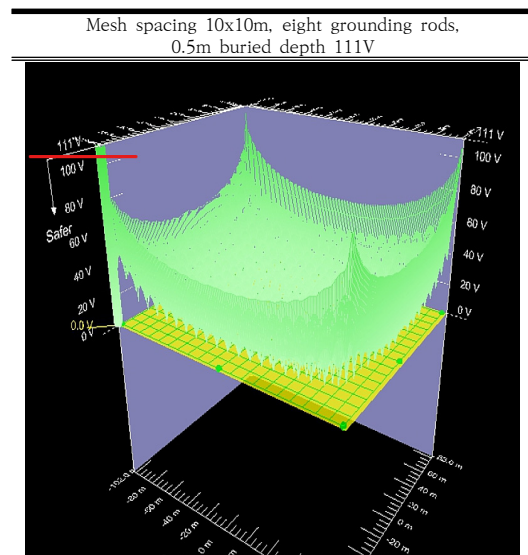


Table 10에서는 접지간격을 10x10 m와 접지봉 8개를 사용하여 매설깊이 0.5 m로 조건값을 입력하여 예상 접촉전압 111V 값이 도출되었다.

Table 11에서는 접지간격을 10x10 m와 접지봉 8개를 사용하여 매설깊이 0.5 m로 조건값을 입력하여 접지 저항값 0.28 Ω 값이 도출되었다.

Table 11. Ground ristance value

Mesh spacing 10x10m, eight grounding rods, 0.5mburied depth 0.28Ω	
Summary for Grid: Main	
Number of Grid Conductors:	38
Number of Ground Rods:	8
Total Length of Grid Conductors:	6760.00 Meters
Total Length of Ground Rods:	14.40 Meters
Total Length of All Grid Conductors:	6774.40 Meters
Symmetrical Ground Fault Current:	1000.00 Amps
Maximum Grid Current:	1026.18 Amps
Grid Resistance Rg:	0.28 Ohms
Grid Potential Rise (GPR):	289.52 Volts

### 2.3 사례 결과 및 고찰

SKM Ground mat version 2.0.2.4 를 이용하여 수용가가 요구하는 빌딩 접지저항 1 Ω 이하 허용 Touch Voltage( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 Step Voltage ( $E_{step}$ )1714.32V 값 이하로 안전전압을 도출하기 위하여 8가지 조건값의 결과는 Table 12에서와 같이 예상 Touch Voltage( $E_t$ ) 118V, 93V, 101V, 98V, 111V, 108, 111V, 108V 예상 Step Voltage( $E_s$ )428.6V 이하로 허용 접촉전압과 허용 보폭전압이 예상 접촉전압과 예상 보폭전압보다 크고, 접지 저항도 0.31 Ω, 0.26 Ω, 0.27 Ω, 0.27 Ω, 0.28 Ω, 0.28 Ω, 0.28 Ω, 0.28 Ω 으로 최종 결과값을 확인할 수 있었으며 접지 저항값은 1 Ω 이하 의 안전전압으로 설계되었다.

Table 12. Simulation final results

Meshed interval[m]	Ground seal quantity[eal]	Buried depth[m]	Touch voltage [ $E_t$ ]	Resistance value[Ω]
5x5	4	0.5	118	0.31
5x5	4	0.8	93	0.26
5x5	8	0.5	101	0.27
5x5	8	0.8	98	0.27
10x10	4	0.5	111	0.28
10x10	4	0.8	108	0.28
10x10	8	0.5	111	0.28
10x10	8	0.8	108	0.28

### 3. 결론

본 논문의 빌딩 접지 설계는 IEEE std. 80 표준 또는 KEC IEC 61936-1을 적용하여 한국전기 설비 규정에서 요구하는 대지 저항측정값을 검토하여 SKM Power tool 시뮬레이션 구현으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. Mesh 접지 간격 5x5 m에 접지봉 4개 매설깊이 0.5 m는 허용 Touch Voltage( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 Step Voltage( $E_{step}$ )1714.32V 이하 예상 Touch Voltage( $E_t$ )118V, 접지저항값은 0.31 Ω이다. 같은 조건에서 매설깊이 0.8m는 예상 Touch Voltage( $E_t$ )93V, 예상 Step Voltage( $E_s$ )428.6V 이하  $E_{touch} > E_t, E_{step} > E_s$ 이고, 0.26 Ω으로 설계조건을 만족하였다.
2. Mesh 접지 간격 5x5 m에 접지봉 8개, 매설깊이 0.5m 허용 Touch Voltage( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 Step Voltage( $E_{step}$ )1714.32V 이하 예상 Touch Voltage( $E_t$ ) 101V, 접지저항값은 0.27 Ω이며, 매설깊이 0.8m는 예상 Touch Voltage ( $E_t$ )98V, 예상 Step Voltage( $E_s$ )428.6V 이하  $E_{touch} > E_t, E_{step} > E_s$ 이고, 0.27 Ω으로 설계 조건을 만족하였다.
3. Mesh 접지 간격 10x10 m에 접지봉 4개, 매설깊이 0.5m 허용 Touch Voltage( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 Step Voltage( $E_{step}$ )1714.32V 이하 예상 Touch Voltage( $E_t$ ) 111V, 접지저항 값은 0.28 Ω 매설깊이 0.8m는 예상 Touch Voltage ( $E_t$ )108V 예상 Step Voltage( $E_s$ )428.6V 이하  $E_{touch} > E_t, E_{step} > E_s$ 이고, 0.28 Ω으로 설계 조건을 만족하였다.
4. Mesh접지 간격 10x10 m에 접지봉 8개, 매설깊이 0.5m 허용 Touch Voltage( $E_{touch}$ ) 551.62V, 허용 Step Voltage( $E_{step}$ )1714.32V 이하 예상 Touch Voltage( $E_t$ )111V, 접지 저항값은 0.28 Ω이고 매설깊이 0.8m는 예상 Touch Voltage ( $E_t$ )108V 예상 Step Voltage( $E_s$ )428.6V 이하  $E_{touch} > E_t, E_{step} > E_s$ 이고, 0.28 Ω으로 설계 조건을 만족하였다.

## References

- [1] S. H. Seo, "The Importance of Electrical Ground The Monthly Technology and Standards", Serial 21, pp. 13- 14, 2003.  
<https://koreascience.kr/article/JAKO200344947839031.pdf>
- [2] S. G. Son, & J. C., Kim, "Measurement and Analysis of Hazardous Voltage around Ground Electrodes for Substation Ground Design", Journal of the Electrical Society, pp. 214-219, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEEP.2011.60.4.214>
- [3] S. G. Son & J. C. Kim, "Mesh grounding design based on hazardous voltage review", Journal of the Electrical Society, pp. 91-97, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEEP.2011.60.3.120>
- [4] H. R. oh & I. S. Eo, "A Study on Factory Ground with IEEE Std. 80", Journal of the Korean Society of Industrial Technology, pp.79-88, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/kais.2021.22.12.79>

박 희 정(Hee-Jung Park)

[정회원]



- 2019년 2월 : 호남대학교 전기공학 (공학사)
- 2021년 2월 : 전남대학교 대학원 환경에너지공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 전기전자공학과 (재학)

<관심분야>

전기설비, 조명, 접지설비, 태양전지

어 익 수(Ik-Soo Eo)

[종신회원]



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

<관심분야>

전기설비, 조명분야