

22.9kV 수전설비 Mesh 접지설계의 안전성 평가 사례

(A Safety Assessment of a Mesh Grounding System for 22.9kV Substations)

박상교* · 최창규**

(Sang-Gyo Park · Chang-Kyu Choi)

Abstract

There is increasing demand for practical groundings for small-area substations because of the recent revision of Korea's Electrotechnical Regulations, which necessitates the method of evaluating their safety. This paper proposes a practical mesh grounding system for 22.9kV substations and studies how to evaluate its safety. The proposed grounding system is proved to obey the safety criteria of ANSI/IEEE Std. 80 via ANSI/IEEE Std. 80 method and computer simulation.

Key Words : Korea's Electrotechnical Regulations, ANSI/IEEE Std. 80, Small-Area Substations

1. 서 론

22.9kV급 소규모 수전설비 접지설계의 평가는 지금까지 소요 접지저항을 얻기 위한 접지전극 위주로 설계 및 시공되고 있다. 전기설비기술기준의 개정으

로 공통·통합 접지가 도입되어 통합 접지기반 소규모 건축물에서의 메시접지전극 설계시 안전성에 대한 연구가 필요하게 되었다.

접지시스템을 안전하게 운용하기 위한 가장 중요한 요소 중의 하나는 접지저항을 허용값 이내로 낮추는데 있다. 또한 접지시스템에 지락전류가 흘렀을 때 접지전극 주변에서의 접촉전압 및 보폭전압을 허용값 이내로 유지하는 것이 중요하다[1-2].

전기설비기술기준의 판단기준 제18조(접지공사의 종류) 제6항에서도 저압 접지극이 고압 및 특고압 접지극의 접지저항 형성영역에 완전히 포함되어 있다면 위험전압이 발생하지 않도록 이들 접지극을 상호 접속하도록 하고 있으며, 제7항에서도 통합접지는 국부접지계통의 근접구역에서는 위험한 접촉전압이 발생하지 않도록 하고 있다. 또한 제22조의 2(주택등 저압수용장소 접지) 제2항에서도 등전위 접속의 조건을 충족하지 못할 경우 접지극의 접지저항 값은 접촉전압이 허용접촉전압 범위 이내로

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사과정
** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수 · 공학박사
* Main author : Master course student, Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology
** Corresponding author : Ph.D, Professor, Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology
Tel : 02-2163-5144, Fax : 02-2068-9816
E-mail : parksanggyo@hanmail.net
접수일자 : 2013년 1월 31일
1차심사 : 2013년 2월 1일, 2차심사 : 2013년 3월 11일
3차심사 : 2013년 3월 19일, 심사완료 : 2013년 3월 23일

제한하고 있다[3-4].

변전소 전력계통은 불평형 지락사고 시 고장전류를 대지로 안전하게 분산시켜 작업자와 기기의 안전을 확보하고 정상 운전 시에는 각종 기기들의 안정적인 기준전압을 제공함으로써 원활한 전력공급을 그 목적으로 한다. 발·변전소 접지설계에서 접지계통의 성능을 대표하는 가장 대표적인 지수로서 접지저항이 있으며 사고 시 위험전압의 예측은 필요한 접지성능을 확보하는데 있어서 매우 중요한 작업이다.

대규모 접지설계 시 대부분 ANSI/IEEE Std. 80에서 제시한 간략한 접지저항, 접촉·보폭전압 계산식을 이용하고 있다. 그러나 이와 같은 간략한 계산식은 사용이 편리한 대신 많은 가정과 전제를 포함하게 되어 정확한 접지성능 예측이 어렵고, 안전 여유를 지나치게 많이 포함하는 경우가 있다.

그러므로 22.9kV급 통합 접지기반 소규모 건축물에서의 메시접지전극 설계를 ANSI/IEEE Std. 80의 표준순서에 의한 계산결과와 컴퓨터 프로그램을 활용하여 안전성을 평가하기 위한 기법을 제안하고자 한다.

2. 본 문

2.1 안전한계 접촉전압 및 보폭전압

ANSI/IEEE Std. 80은 안전한 접지시스템 설계를 위한 한계 접촉전압과 한계 보폭전압을 결정하는 방안을 제시한다. 따라서 접지설비를 설계할 때 현장에서는 이 값들 보다 작은 접촉전압과 보폭전압 값을 갖는 접지시스템 구축을 할 수 있도록 접지망을 설계하고 있다. ANSI/IEEE Std. 80 지침(Guide)는 안전한계 접촉전압(E_{touch})과 보폭전압(E_{step})이라 명시하고, 특히 사람이 접지시스템 주위에 있다는 가정을 바탕으로 식 (1)과 식 (2)와 같은 한계 위험전압 값을 계산하도록 정의하고 있다[1-2].

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

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

여기서 I_B 는 인체 한계 통전전류를 의미하며 몸무게 50kg의 사람이 견딜 수 있는 최대 전류치를 가정한다. 이 값은 특히 인체에 통전전류가 흐르는 시간과 밀접한 관계가 있으며, $I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$ 로 나타낸다. 50kg의 사람이 가지는 저항 값 1,000Ω으로 가정하여 접촉전압과 보폭전압을 식 (3)과 식 (4)로 계산하였다.

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

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

여기서 ρ_s 는 측정된 표토층의 고유저항률 Ω·m 값을 의미하고, 토지의 특성을 반영한 토지 특성계수 C_s 와 반사율 K 는 다음과 같이 계산한다.

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

여기서 ρ_s : 표토층의 고유저항률 Ω·m

C_s : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수

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

2.2 대지표면의 전위상승(GPR)

접지전위상승 GPR(Ground Surface Potential Rise)은 지락전류와 접지저항의 곱으로 식 (5)와 같이 계산한다[1].

$$GPR = I_g \times R_g [V] \quad (5)$$

여기서 I_g : 접지전극에 흐르는 전류 A

R_g : 접지저항 Ω

2.3 접지저항

이상적으로는 접지저항이 0Ω이 바람직하나 실체는 있을 수 없다. 대규모 송·변전소의 접지저항은 우리나라 전력회사에서 신규 검수시 1Ω 이하로 요구하며, IEEE 80의 14.1 및 IEEE 142의 4.1.2에서는 빌딩 및 산업용 플랜트 변전소의 접지저항은 1~5Ω이 적합하다고 권장하고 있다.

접지저항은 식 (6)으로 계산한다.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (6)$$

- 여기서 ρ : 평균적인 대지 저항률 $\Omega \cdot m$
- A : 메시 접지전극 포설면적 m
- L_T : 매설 도체의 총 길이 m
- h : 매설 깊이 m

2.4 접지설계 및 시뮬레이션

2.4.1 접지설계

본 연구에서는 우리나라 대부분의 메시 접지극에서 채택하고 있는 정사각형 접지망과 접지망 외곽에 접지봉을 추가하는 안 그리고 그리드 간격을 좁게 배치하는 3가지 안에 대해 ANSI/ IEEE Std. 80에 의한 계산식과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 안전성을 검토하였다.

접지설계의 제원선정은 접지공사 가능 구역을 건축전기설비설계기준에서의 변압기용량에 의한 방법으로 선정하고 접지구역의 대지저항률은 IEEE 80 Std. 14. 6. Concrete-encased electrodes에서 옥내수전실의 경우, 토양에 매입된 콘크리트 블록은 대지저항률이 30~90Ω·m 정도이므로 토양의 등가 대지저항률 ρ 은 100Ω·m, 콘크리트 슬라브 위에 대지저항률 ρ_s 3,000Ω·m 정도의 암석편이나 절연매트를 시설하는 것으로 가정하였다.

22.9kV급 수전설비 시공 현장에서 사용하는 접지선 굵기가 보통 60~100mm² 정도를 사용하므로 여유도, 기계적인강도 및 설치 후 유지보수 등을 감안하여 접지선 굵기는 95mm²로 가정하였다.

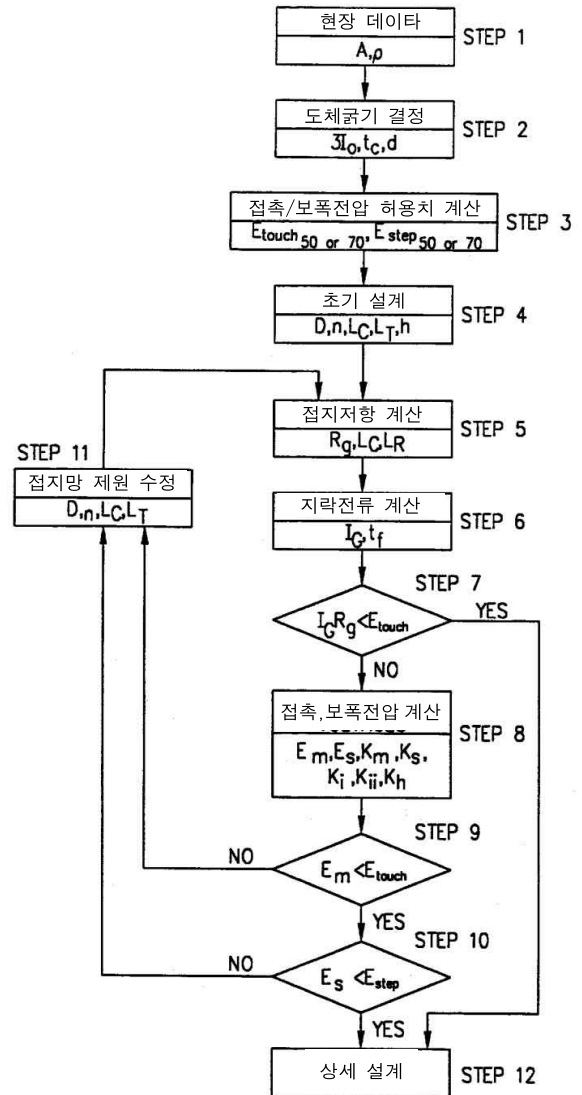


그림 1. 접지설계 흐름도
Fig. 1. The flowchart grounding design

계산결과 제1안은 대지전위상승값(GPR)과 최대예상접촉전압(E_m)이 최대허용접촉전압($E_{touch50}$)보다 높으므로 허용접촉전압을 만족할 수 있도록 접지망의 수정이 필요하다.

그 방법으로는 접지망의 도체간격, 접지도체의 길이, 매설깊이의 변경이나, 접지봉을 추가하는 방법이 있다. 부지 여건상 일반적으로 접지망 외곽에 대해서 접지봉을 추가하거나, 그리드 간격을 좁게 배치하는 방법이 사용된다. 접지봉을 추가하는 제2안과 그리드

표 1. 메시전극의 접지설계 제원
Table 1. Design specifications of the ground mesh electrode

접지설계의 제원	내 용
접지공사 가능구역[5]	$A : 1.4 \times 1000^{0.7} = 176 \text{ m}^2$
고장전류지속시간	$t_c : 1.0 \text{ 초}$
인체감전시간	$t_s : 1.0 \text{ 초}$
1선최대지락전류	$I_F : 8,000 \text{ A}$
변압기 %임피던스 (154kV/22.9kV, 45/60MVA)	$Z_1, Z_2, Z_0 = j32.2 (100 \text{ MVA 기준})$
지락전류분류계수	$\beta : 0.1$
접지망도체 전류 분류률	$a : 0.5$
토양의 등가 대지 저항률	$\rho : 100 \Omega \cdot \text{m}$
부지의 자갈층 대지 저항률	$\rho_s : 3,000 \Omega \cdot \text{m}$
접지망 매설깊이	$h : 0.8 \text{ m}$
수전실부지의 자갈층 두께	$h_s : 0.1 \text{ m}$
접지망 포설면적	$A : 12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$
접지선 굵기 산정	95 mm^2
수전전압/수전용량	$22.9 \text{ kV} / 1,000 \text{ kVA}$

간격을 좁게하는 제3안을 계산한 결과 모두 최대예상 접촉전압이 최대허용접촉전압을 만족하였다. 현장에서 비교적 시공이 용이한 제2안의 접지봉 추가방법을 적용 시 최대예상접촉전압이 449.1V, 최대예상보폭전압 319V로 접촉전압 안전한계값 보다 작게 되어 안전하다는 결론과 또한 보폭전압의 안전한계값도 매우 적어 안전한 접지설계임을 알 수 있다.

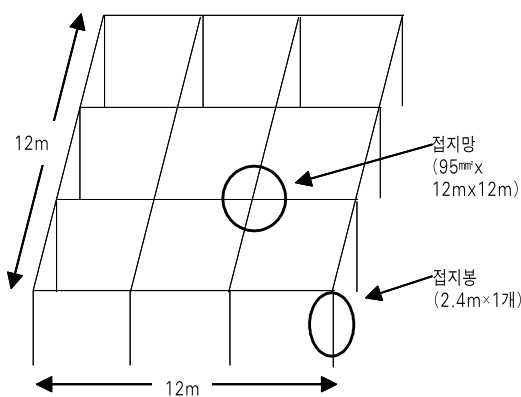


그림 2. 메시전극 접지[제1안]
Fig. 2. Ground mesh electrode[1 type]

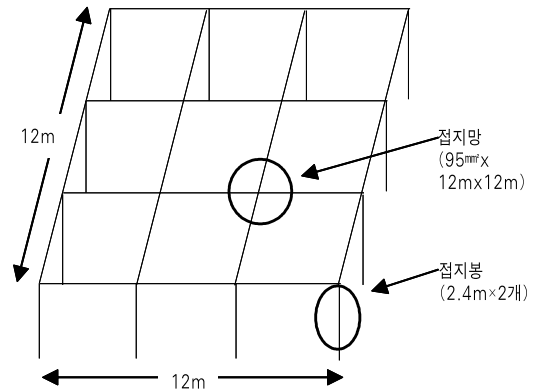


그림 3. 메시전극 접지[제2안]
Fig. 3. Ground mesh electrode[2 type]

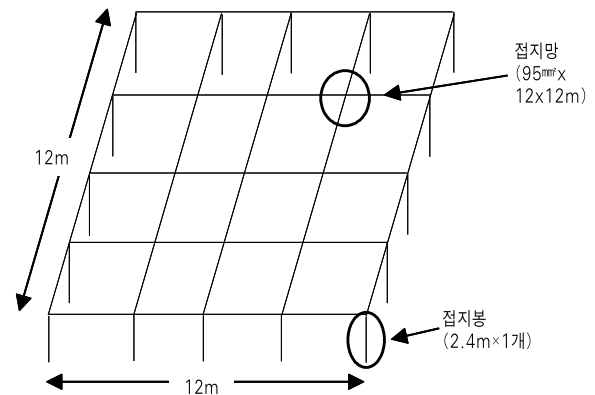


그림 4. 메시전극 접지[제3안]
Fig. 4. Ground mesh electrode[3 type]

표 2. 메시전극의 접지설계 계산결과
Table 2. The results of the design calculations of ground the mesh electrode

항 목	계산값	기준	제1안	제2안	제3안
$E_{step50} \text{ V}$		1,578	-	-	-
$E_{touch50} \text{ V}$		481	-	-	-
$R_g \Omega$		-	4.1	3.95	3.93
$GPR(I_g \times R_g) \text{ v}$		-	3,936	3,792	3,772.8
$E_m \text{ V}$ [최대예상접촉전압]		-	592.4	449.1	462.2
$E_s \text{ V}$ [최대예상보폭전압]		-	-	319	-
$EPR \text{ V}$ [접지망 최대전위상승]		-	-	3,792	-

2.4.2 시뮬레이션

전력계통해석 프로그램 SKM Power Tools은 캘리포니아 공대에서 개발된 소프트웨어로 전력계통 해석 프로그램 중에서 GroundMAT 모듈을 이용한 접지설계 및 분석을 통해 최적화 설계를 위한 것으로 잠재적인 분석 및 접지시스템의 효율성을 검증하기 위해 그래픽을 이용한 범용 유한 요소 알고리즘을 사용하였다[6].

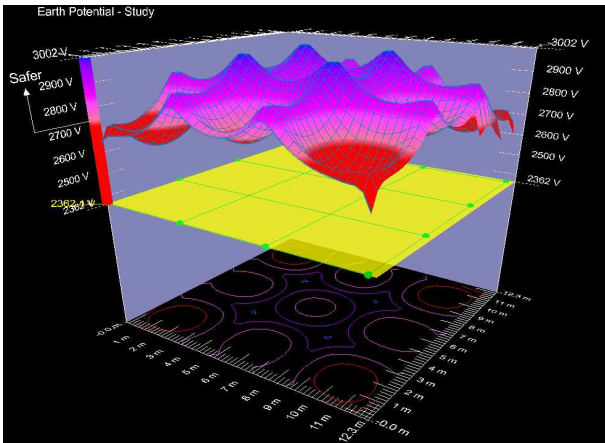


그림 5. 대지표면 접지전위상승 분석(제1안)
Fig. 5. Analysis of ground surface potential rise [1 type]

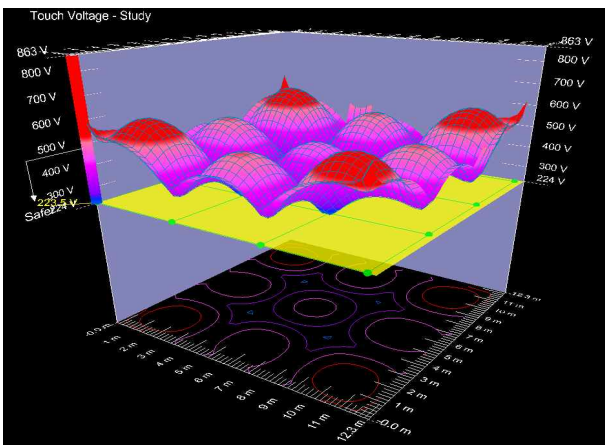


그림 6. 접촉전압 분석(제1안)
Fig. 6. Touch voltage analysis(1 type)

제1안을 GroundMAT Module을 사용하여 시뮬레이션 분석한 결과에서는 그림 5, 그림 6과 같이 내부는

크게 문제되지 않지만 구내와 구외의 경계면인 코너에서 대지표면의 접지전위상승(GPR)이 접촉전압 안전한계값 보다 매우 높고 또한 메시전압이 접촉안전한계전압을 초과함(적색부분)으로 접지망의 수정이 필요함을 알 수 있다.

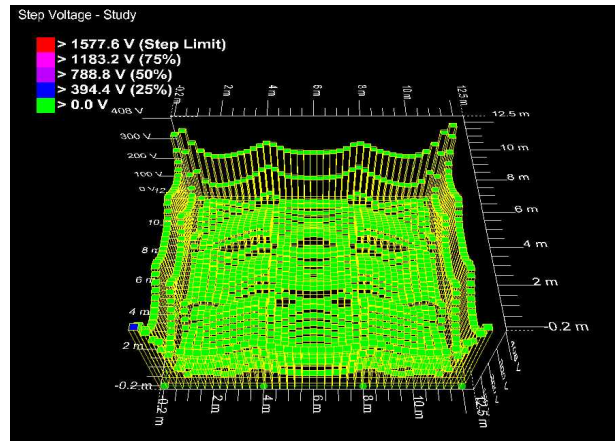


그림 7. 보폭전압 분석(제1안)
Fig. 7. Step voltage analysis[1 type]

제2안에서는 구내와 경계에서의 대지표면의 전위상승(GPR)은 그림 8과 같이 2,500V 부근을 경계로 안전영역으로 분석되고 있으며, 접촉전압은 그림 9와 같이 접촉안전한계전압인 481V보다 낮게 분포되는 것으로 분석되었다.

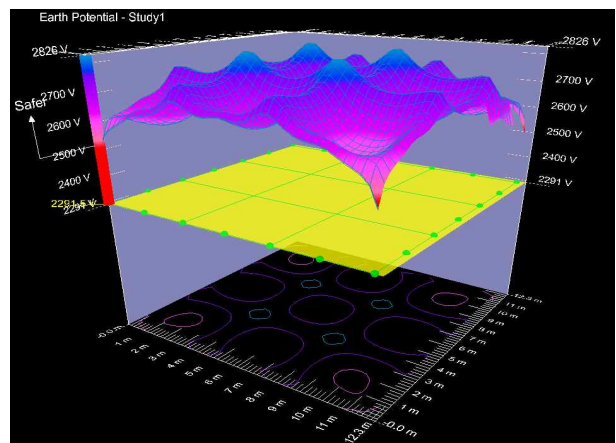


그림 8. 대지표면 접지전위상승 분석(제2안)
Fig. 8. Analysis of ground surface potential rise [2 type]

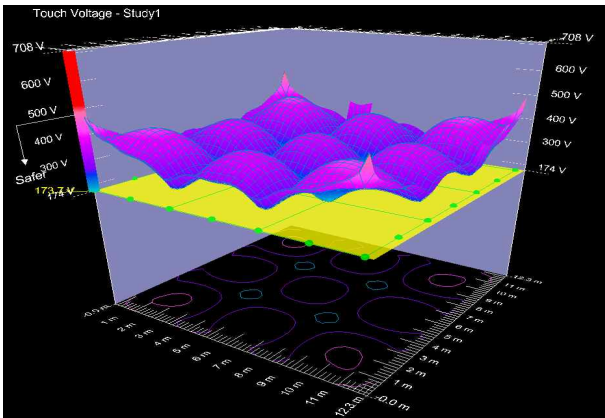


그림 9. 접촉전압 분석(제2안)
Fig. 9. Touch voltage analysis[2 type]

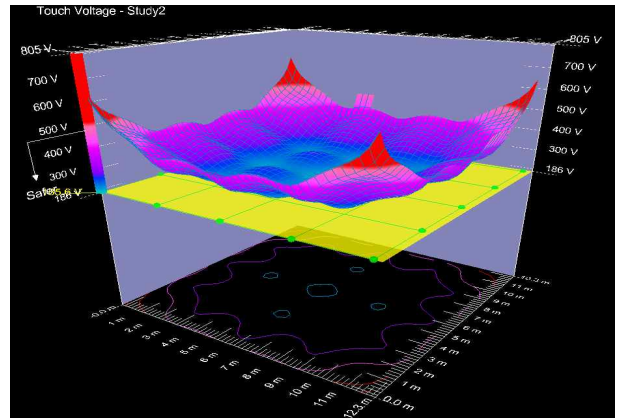


그림 12. 접촉전압 분석(제3안)
Fig. 12. Touch voltage analysis[3 type]

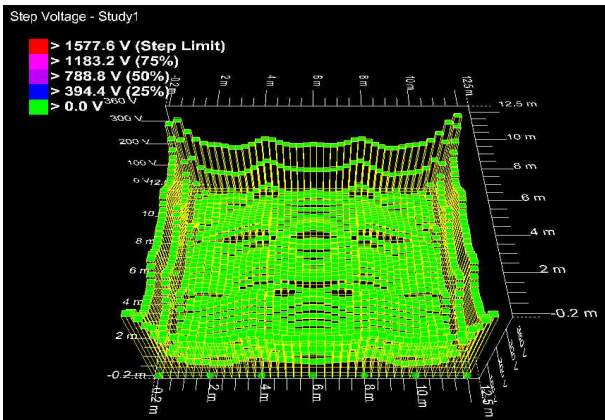


그림 10. 보폭전압 분석(제2안)
Fig. 10. Step voltage analysis[2 type]

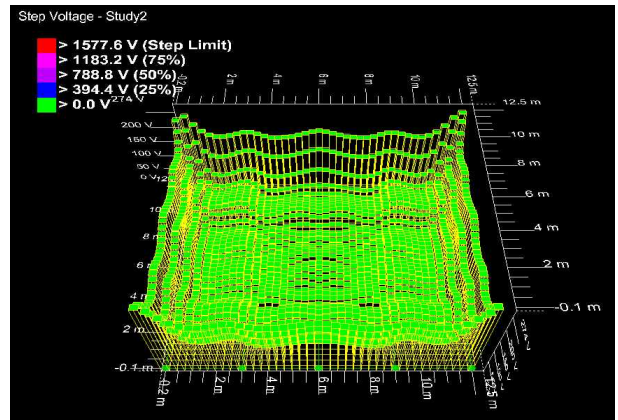


그림 13. 보폭전압 분석(제3안)
Fig. 13. Step voltage analysis[3 type]

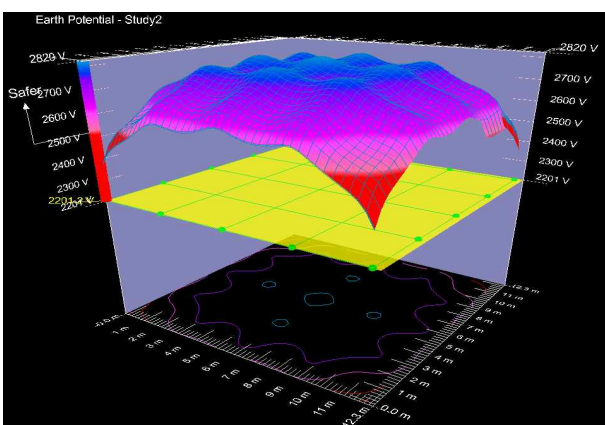


그림 11. 대지표면 접지전위상승 분석(제3안)
Fig. 11. Analysis of ground surface potential rise[3 type]

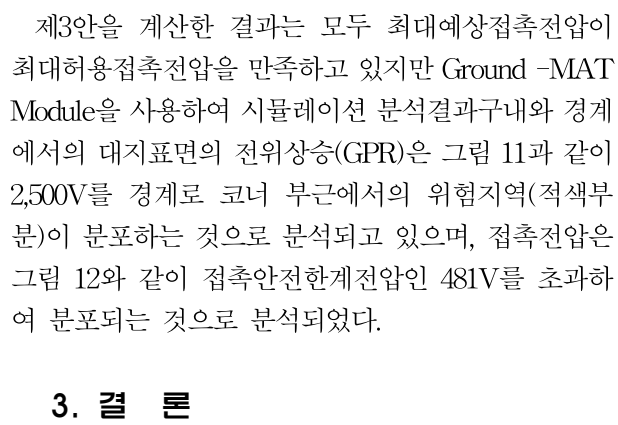


그림 11. 대지표면 접지전위상승 분석(제3안)
Fig. 11. Analysis of ground surface potential rise[3 type]

제3안을 계산한 결과는 모두 최대예상접촉전압이 최대허용접촉전압을 만족하고 있지만 Ground -MAT Module을 사용하여 시뮬레이션 분석결과구내와 경계에서의 대지표면의 전위상승(GPR)은 그림 11과 같이 2,500V를 경계로 코너 부근에서의 위험지역(적색부분)이 분포하는 것으로 분석되고 있으며, 접촉전압은 그림 12와 같이 접촉안전한계전압인 481V를 초과하여 분포되는 것으로 분석되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내에서 대규모 접지설계 시 가장 많이 사용되는 ANSI/ IEEE Std. 80의 표준순서에 의

한 계산결과와 컴퓨터 프로그램을 활용 수전설비 용량 1,000kVA급의 소규모 메시접지극 설계에 적용한 결과

1. 전기설비기술기준 및 판단기준 개정에 의한 공통·통합접지 도입으로 수전설비 용량 1,000kVA 미만에서 접지저항 5Ω 이하로 시공하는 경우 한국전기안전공사 공사계획신고용 설계도서 첨부는 생략가능 하도록 되어 있지만 접지저항이 5Ω 이하라도 메시접지극으로 설계 시는 연구 결과와 같은 안전성 검토가 필요함을 알 수 있다.
2. 수전설비 용량 1,000kVA급 3개안의 소규모 메시접지극 설계를 고려해 본 결과 접지방 그리드간격 4m의 등간격 배치에 접지봉 2.4m 2개를 타설하는 방법의 접지설계가 ANSI/IEEE Std. 80의 접촉전압 계산식과 프로그램에 의한 시뮬레이션 결과 안전성과 시공성에서 가장 적합한 것으로 판단되었다.
3. 22.9kV급 통합 접지기반 소규모 건축물의 메시접지전극 설계시의 안전성 평가 기법을 제한함으로써 현장에서의 활용도가 클 것으로 기대된다.

다만 분석결과 도체가 매설된 외곽부분에서는 전위차가 급격히 증가하여 메시 전극의 외곽 주변으로 위험전압을 저감시킬 수 있는 대책을 현장여건에 맞추어 검토할 필요가 있다. 향후 접지설계 시 수전설비 용량 및 대지저항률 변동에 따른 메시간격 조정과 메시접지저항 저감에 대한 문제는 연구가 계속되어야 할 것이다.

References

[1] ANSI/IEEE Std. 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Ins. New York. 2000.
 [2] ANSI/IEEE Std. 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Ins. New York. 1983.

[3] The Ministry of Knowledge Economy, "Electrotechnical Regulations", 2012.
 [4] Hyoung-Jun Gil · Hayang-Kon Kim, "Analysis Technique of Risk Voltage around Grounding Electrode by New Touch and Voltage Measurement Methods", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2012) 26(6). pp. 81-86.
 [5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Technics standards for Building Electrical Facilities", kidary. co, 2011.
 [6] Lee-Jo Son, "Power System Analysis Software ", Saehong Engineering & Consultant. Co. Ltd.

◇ 저자소개 ◇



박상교 (朴相敎)

1961년 3월 3일생. 2011년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2013년 서울과학기술대학교 대학원 석사과정 재학중. 건축전기설비기술사. 1995년~현재 한국전기안전공사 근무.
 Tel : (02)2163-5144
 Fax : (02)2068-9816
 E-mail : parksanggyo@hanmail.net



최창규 (崔昌圭)

1953년 2월 25일생 1979년 울산공과대학 전기공학과 졸업. 1981년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 연세대학교대학원 전기공학과 졸업(박사). 1981년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수. 2004~2006년 한국산업기술평가원 전문위원. 2007~2010년 한국가스공사 비상임이사. 2010~2012년 한국가스안전공사 비상임이사.
 Tel : (02)970-6410
 Fax : (02)978-8470
 E-mail : choick@seoultech.ac.kr