

제한된 부지에서 위험전압 검토에 의한 메시 접지설계

(Mesh Grounding Design Based on the Study of Dangerous Voltage on Limited Sites)

손석금* · 김재철**

(Seok-Geum Son · Jae-Chul Kim)

Abstract

In Korea, characterized in most cases by limited area or high earth resistivity, it is likely to design narrow distances between grounding conductors, with a view to keeping ground resistance and touch voltage below the safety margin values.

A new grounding method is suggested, making use of double meshes, to lower touch voltage in a confined area, since it is difficult to lay the plugs under the ground with narrow gaps between them on a limited site.

For the presentation of a new model, the suggested grounding system has been analyzed and studied in ground resistance, touch voltage and step voltage, using IEEE Std. 80 calculations and computer simulations.

Key Words : Dangerous Voltage, Mesh Grounding, Grounding Design

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 건축물 시스템은 고층화, 대형화, 인텔리전트화를 통한 전력을 공급하는 전원설비, 변전설비, 배전설비 및 정보 통신설비, 전산시스템, OA기기 그리고 보안 및 방범설비, 빌딩관리 시스템, 통합 감시 제어 시스템 등 다양한 설비가 혼재되어 설치 운영되고 있다.

* 주저자 : 숭실대학교 대학원 전기공학부 박사과정

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 9월 20일

1차심사 : 2011년 9월 23일, 2차심사 : 2011년 10월 20일

심사완료 : 2011년 10월 27일

이러한 전자 장비들로 구성된 시스템의 정상적인 운영을 보장해야 한다는 측면에서 접지시스템의 구축은 지금까지 보다 더 중요성이 강조되고 있다[1-2].

접지시스템을 구축하여 감전사고와 기기의 손상 등을 방지하기 위해서는 근본적으로 대지표면의 전위상승을 억제하여야 하며, 이와 동시에 대지표면에서의 전위경도를 작게 하여야만 효과적이다[2].

동일한 접지전류가 흐르는 경우 접지저항이 낮을수록 대지표면의 전위상승이 작아지는 것은 당연하며, 안전성도 좋아지게 된다. 그러나 접지저항만으로 접지시스템의 안전성을 평가하는 것은 감전보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 비효과적일 수도 있다[3-6].

이는 뇌격전류나 대용량의 전력설비의 접지고장에

의해서 흐르는 접지전류는 대단히 크기 때문에 접지 저항을 낮게 하여도 대지표면의 전위는 높은 값을 나타내기 때문이다[3-6].

특히 IEEE Std. 80에서는 접지시스템의 안전성에 대해 접지저항 보다는 인체의 안전한계전류를 고려한 접촉전압, 보폭전압, 메시전압을 이용하여 평가한다 [7-9].

IEEE Std. 80-2000에서 제시하고 있는 메시접지망의 설계방법은 내부 도체의 간격을 동일거리 유지하면서 도체가 교차되는 부분을 수직으로 유지하는 형태를 나타내고 있다. 이때 접지저항뿐만 아니라 인체의 안전한계전류를 고려한 접촉전압, 보폭전압, 메시전압 등의 안전하다고 판단되지 않은 경우 메시접지망의 도체간격을 좁히고, 접지봉을 매설하는 등의 방법을 이용하여 재설계를 하도록 되어 있다[10].

하지만 제한된 면적에서 메시접지망의 도체간격을 좁히고, 접지봉을 매설하는 등의 방법으로는 한계가 있기 때문에 본 논문에서 제시하는 방법은 좁은 면적에서 2중으로 메시전극을 설치하여 기존 메시접지방식과 동일한 동 도체 길이를 사용하여 접지저항 및 접촉전압을 감소시켰다.

1.2 연구의 목적 및 방법

접지 설비에 접속된 설비 시스템에 아무런 장애가 없도록 하기 위해서는 접지저항 값이 0[Ω]을 갖는 것이 이상적이나 현실 불가능 방법이므로 접지시스템의 안전하고 효율적인 선정을 위해서는 현장 조건에 맞는 접지전극의 시스템선정 및 설계가 중요하다 [11-12].

이를 위한 대지 저항률 파악, 접지저항 값의 계산, 대지표면전위상승에 대한 특성 해석이 매우 중요한 요소이다[11-12].

우리나라의 경우 부지가 좁아 제한된 면적에서의 접지저항과 위험전압을 안전허용치 이내로 낮추기 위하여 접지도체 간격을 좁게 설계하는 경향이 있으므로 한 번의 도체개수를 기준을 초과하는 경우가 발생할 수 있다[2]. 따라서 건축물에서 채택하고 있는 메시 도체의 정사각형의 경우 좁은 접지면적에 대해 도체간

격을 변경하였을 때와 새로운 2중 메시전극을 이용한 접지를 IEEE Std. 80 계산식과 컴퓨터 시뮬레이션한 값을 분석하여 접지 저항과 위험전압에 대해 비교 분석하여 새로운 접지 방법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 전력계통해석프로그램 개요

대부분 건축물에 사용하고 있는 정사각형에 대해 IEEE Std. 80 계산식과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교 분석하고 적용을 검토하였다.

컴퓨터 시뮬레이션은 전력계통해석 프로그램인 SKM사에서 개발한 SKM POWER TOOLS을 통해 수행하였다[13-14].

SKM POWER TOOLS은 캘리포니아 공대에서 개발된 소프트웨어로 DAPPER(고장계산, 전력조류계산) CAPTOR(보호협조), HI-WAVE(고조파 해석), I²SIM, TMS(과도현상 해석), A_FAULT(ANSI 기준 고장계산), IEC_FAULT(IEC 기준 고장계산), Ground MAT(접지분석)로 구성된 전력계통해석 프로그램이다.

Ground MAT(접지분석)은 Study module들로 접지 설계 및 분석을 위한 프로그램으로 최적화 접지설계를 위한 것으로 잠재적인 분석 및 접지 시스템의 효율성을 검증하기 위해 그래픽을 이용한 범용 유한 요소 알고리즘을 사용하였다.

SKM POWER TOOLS 프로그램의 Ground MAT은 IEEE Std. 80을 기초로 해서 개발된 프로그램으로 IEEE Std. 80의 수계산이나 단일지층에 대한 한계를 극복할 수 있어 IEEE Std. 80보다 신뢰성이나 편리함에서 새로운 접지설계 모델을 제안할 수 있다.

2.2 제한된 부지의 접지설계

제한된 부지에서의 메시 접지 설계를 하기위해 접지공사 가능구역 35×35[m²], 대지저항률(ρ) 200[Ω·m], 자갈층의 저항률(ρ_s) 2500[Ω·m], 자갈층의 두께(hs) 0.1[m], 메시전극 매설깊이(h) 0.5[m], 지락차단시간

(tc) 0.5[sec], 지락 시 정상임피던스(Z_1) $4 + j10[\Omega]$, 지락 시 영상임피던스(Z_0) $10 + j40[\Omega]$, 분류계수(Sf) 0.6, 선간전압 115[kV]의 제원일 경우 주어진 제원을 이용하여 IEEE Std. 80 접지설계 순서에 의해 접지공사 구역을 정사각형 $30 \times 30[m^2]$ 로 설정하면 면적(A)은 $900[m^2]$ 가 되고, 접지구역의 대지 저항률(ρ) $200[\Omega \cdot m]$ 로 한다. 접지 시공 장소에서 지표면을 $0.1[m]$ 두께의 $2500[\Omega \cdot m]$ 의 자갈을 깔고 체중 $50[kg]$ 인 사람의 보폭전압 안전한계값은 $1,936[V]$ 가 되고 접촉전압의 안전한계값은 $608[V]$ 가 된다.

메시포설 면적에서 메시오체의 간격(D)을 $3[m]$, 한 변의 도체수(n)는 11 매설깊이(h)를 $0.5[m]$ 이라면, 메시오체의 길이(L)는 $660[m]$ 가 되어 접지저항은 $3.18[\Omega]$ 이 된다.

지락전류는 $1,908[A]$ 가 되어 구내의 전위상승은 $6,067[V]$ 가되고 메시오체는 $970[V]$, 보폭전압은 $750[V]$ 로 전위상승과 접촉전압이 접촉전압의 한계값 $608[V]$ 보다 매우 높으므로 감전의 위험성이 있어 메시오체 간격을 줄이거나 접지저항을 저감하는 방안이 검토되어야 한다.

접촉전압을 $608[V]$ 이하로 하기 위하여 한 변의 도체수를 증가 하면서 계산을 했을 때 20개 이상 부터 접촉전압이 안전한 값 이하로 표 1과 같이 계산이 되었다.

표 1. 계산한 메시오체 접촉전압
Table 1. Touch voltage calculated mesh ground

한 변의 도체수(n)	메시오체 길이(L)	접지저항 $[\Omega]$	접촉전압 $[V]$
15	900	3.10	761
16	960	3.09	721
17	1020	3.07	686
18	1080	3.06	654
19	1140	3.05	625
20	1200	3.04	599
21	1260	3.04	575
22	1320	3.03	554

2.2.1 메시오체 간격에 의한 접지설계 제안
그림 1과 같이 메시오설 면적에서 메시오체의 간격(D)을 $1.5[m]$ 로 한 변의 도체수(n)를 21로 하는 메시오체의 길이(L)를 $1,260[m]$ 로 메시오체의 간격을 좁혀서 접지설계를 하였다.

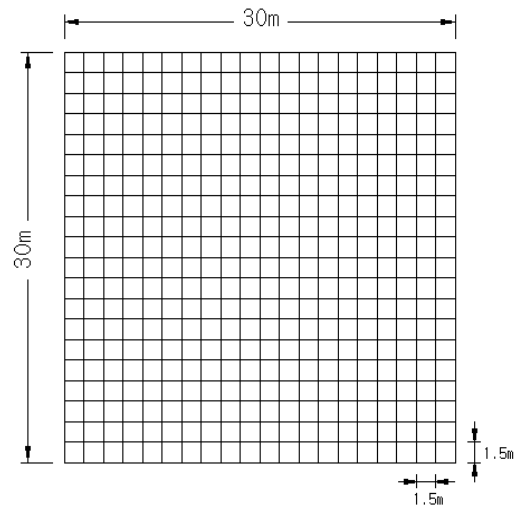


그림 1. 메시오체 접지설계
Fig. 1. Ground design of the mesh electrode

2.2.2 2중 메시오체를 이용한 접지설계 제안
그림 2와 같이 메시오설 면적에서 메시오체의 간격(D)을 $3[m]$ 로 한 변의 도체수(n)를 11로 하는 2중 메시오체를 이용하여 메시오체간 간격(t)을 $1[m]$ 로 하는 메시오체의 길이(L)를 $1,264[m]$ 로 2중 메시오체를 이용한 새로운 접지설계를 제안한다.

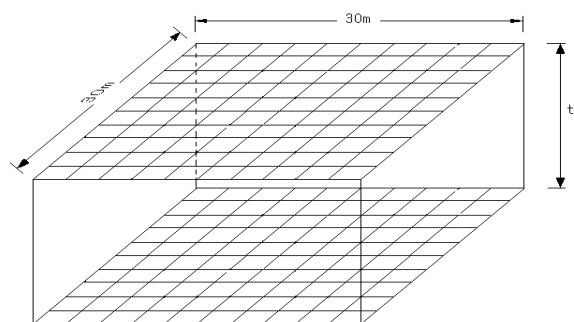


그림 2. 2중 메시오체 접지설계
Fig. 2. Ground design of the double-mesh electrode

제한된 부지에서 위험전압 검토에 의한 메시 접지설계

2.3 제안한 접지설계 분석

2.3.1 IEEE Std. 80 계산식

표 2는 IEEE Std. 80 위험전압 계산식에 의한 계산 값으로 대지 저항률 $200[\Omega \cdot m]$, 메시도체 길이를 $1,260[m]$ 로 동일한 조건에서의 계산 값으로 메시전극 접지일 경우 메시간격(D)를 $1.5[m]$ 로 한 변의 도체개수(n) 21인 경우 접지저항이 $3.04[\Omega]$ 과 접촉전압 $540[V]$, 보폭전압 $877[V]$ 로 계산이 되었다. 또한 2중 메시 전극 접지일 경우 메시간격(D)를 $3[m]$ 로 한 변의 도체개수(n) 11인 경우 접지저항이 $3.04[\Omega]$ 과 접촉 전압이 $533[V]$, 보폭전압 $379[V]$ 로 계산이 되어 안전한계값보다 각각 적은 값으로 계산이 되었다.

표 2. 계산한 접지저항 및 위험전압
Table 2. Calculated ground resistance and dangerous voltage

접지방식 구분	메시전극 접지	2중 메시 전극 접지
한 변의 도체개수	21	11
메시전극간격[m]	1.5	3
메시도체 길이[m]	1260	1264
접지저항[Ω]	3.04	3.04
대지표면전위상승[V]	5800	5800
접촉전압[V]	540	533
보폭전압[V]	877	379

2.3.2 컴퓨터 시뮬레이션

제안한 접지설계를 전력계통해석 프로그램으로 시뮬레이션한 결과는 그림 3에서 그림 6과 같다.

그림 3과 같이 대지 저항률 $200[\Omega \cdot m]$ 메시간격(D) $1.5[m]$ 한 변의 도체개수(n) 21인 메시 접지의 메시도체길이(L) $1260[m]$ 를 시뮬레이션한 결과가 대지 표면 전위상승이 $3978[V]$ 부터 최대 $5382[V]$ 까지 분포되었다.

그림 4와 같이 대지 저항률 $200[\Omega \cdot m]$ 메시간격(D) $3[m]$ 한 변의 도체개수(n) 11인 2중 메시 접지의 메시도체길이(L) $1,320[m]$ 를 시뮬레이션한 결과 대지

표면 전위상승이 $3863[V]$ 부터 최대 $4878[V]$ 까지 분포되었다.

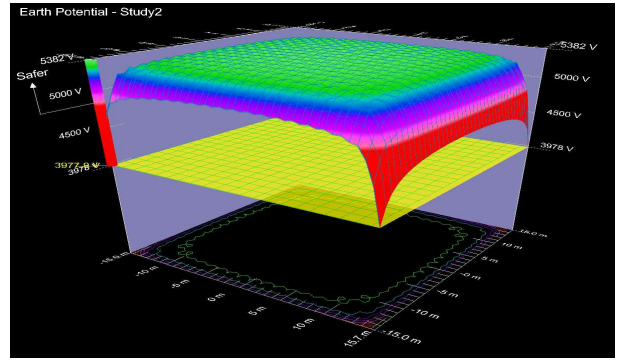


그림 3. 메시 전극의 대지표면 전위상승 분포
Fig. 3. Distribution of ground surface potential rise of the mesh electrode

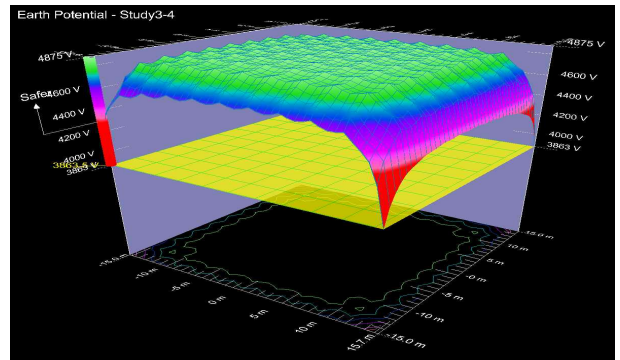


그림 4. 2중 메시 전극의 대지표면 전위상승 분포
Fig. 4. Distribution of ground surface potential rise of the double-mesh electrode

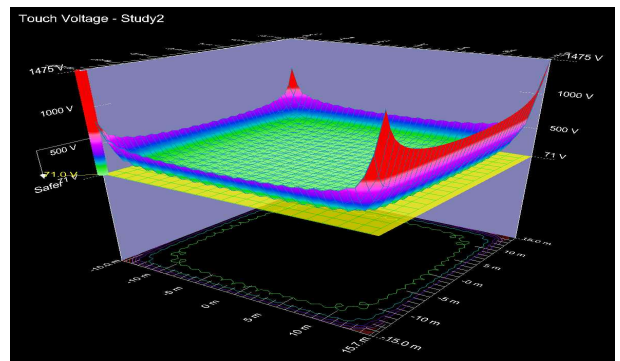


그림 5. 메시 전극의 접촉전압 분포
Fig. 5. Distribution of touch voltage of the mesh electrode

그림 5와 같이 대지 저항률 $200[\Omega \cdot m]$ 메시간격(D) 1.5[m] 한 변의 도체개수(n) 21인 메시 접지의 메시도체길이(L) 1260[m]를 시뮬레이션한 결과 접촉전압이 71[V]부터 최대 1475[V]까지 분포되었다.

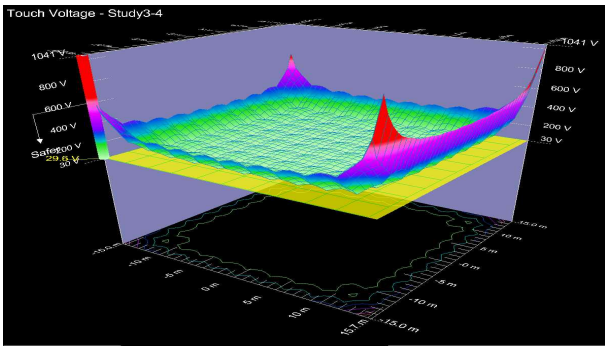


그림 6. 2중 메시 전극의 접촉전압 분포
Fig. 6. Touch voltage distribution of the double-mesh electrode

그림 6과 같이 메시간격(D) 3[m] 한 변의 도체개수(n) 11인 2중 메시접지의 메시도체길이(L) 1320[m]를 시뮬레이션한 결과 접촉전압이 30[V]부터 최대 1041[V]까지 분포되었다.

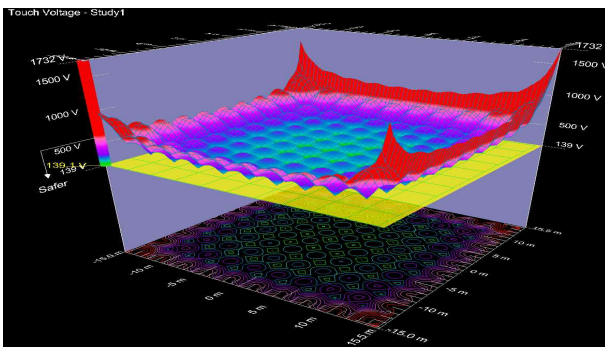


그림 7. 메시 전극의 접촉전압 분포 (0.5(m))
Fig. 7. Distribution of touch voltage of the mesh electrode(0.5(m))

그림 7과 같이 대지 저항률 $200[\Omega \cdot m]$ 메시간격(D) 3m 한 변의 도체개수(n) 11인 메시 접지의 매설깊이를 0.5[m]로 하여 메시도체길이(L) 660[m]를 시뮬레이션한 결과 접촉전압이 139[V]부터 최대 1732[V]까지 분포되었다. 또한 그림 8과 같이 대지 저항률

$200[\Omega \cdot m]$ 메시간격(D) 3m 한 변의 도체개수(n) 11인 메시 접지의 매설깊이를 1.5[m]로 하여 메시도체길이(L) 660[m]를 시뮬레이션한 결과 접촉전압이 166[V]부터 최대 1313[V]까지 분포되었다.

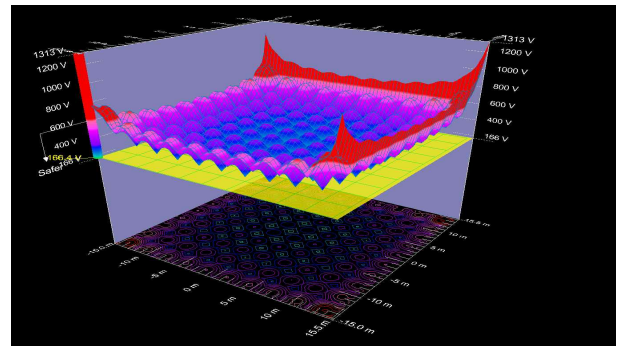


그림 8. 메시 전극의 접촉전압 분포 (1.5(m))
Fig. 8. Distribution of touch voltage of the mesh electrode(1.5(m))

시뮬레이션한 결과를 분석하면 접촉전압의 저감을 위해서는 2중 메시전극을 이용한 접지설계가 가장 효과적인 것으로 분석이 되었다.

표 3. 시뮬레이션한 접지저항 및 위험전압
Table 3. Simulated ground resistance and dangerous voltage

접지방식 구분	메시전극 접지	2중 메시 전극접지
한 변의 도체개수	21	11
메시전극간격[m]	1.5	3
메시도체 길이[m]	1260	1320
접지저항[Ω]	2.86	2.69
대지표면전위상승[V]	5453	5128
접촉전압[V]	1475	1131
보폭전압[V]	550	460

또한 그림 9와 같이 대지 저항률이 $400[\Omega \cdot m]$ 일 때 접지저항 값이 IEEE Std. 80 계산식에 의해 계산 값은 메시 도체의 길이에 따라 결정되기 때문에 메시전극과 2중 메시 전극의 접지저항은 $6.07[\Omega]$ 로 동일하게 계산되었고 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 접지저항은 메

제한된 부지에서 위험전압 검토에 의한 메시 접지설계

시 전극 접지는 5.71[Ω]이고 2중 메시 전극 접지는 5.37[Ω]로 감소되었다. 또한 대지 저항률 200[Ω·m] 일 때 메시 전극과 2중 메시 전극의 접지저항을 분석한 결과 IEEE Std. 80 계산 값은 3.04[Ω]로 동일하게 계산 되었고, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 접지저항은 2.86[Ω]에서 2.69[Ω]로 저감되는 것으로 분석되었다.

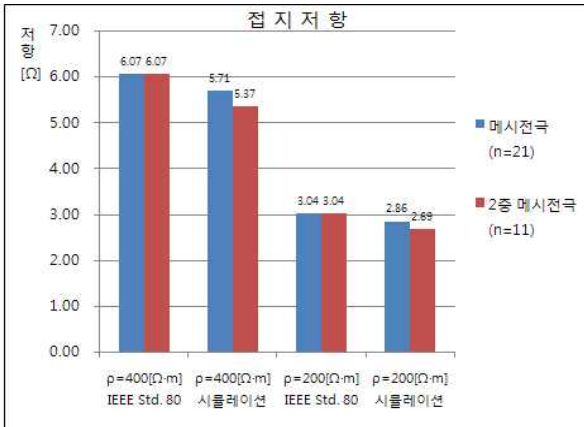


그림 9. 접지저항 분석
Fig. 9. Analysis of ground resistance

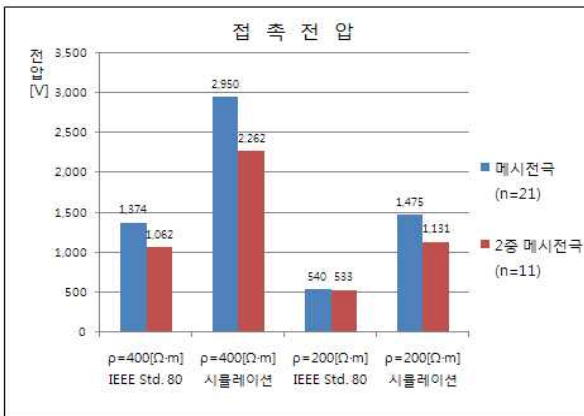


그림 10. 접촉전압 분석
Fig. 10. Analysis of Touch voltage

그림 10과 같이 대지 저항률 400[Ω·m] 일 때 접촉전압은 IEEE Std. 80 계산식에 의한 계산 값은 메시 전극 접지와 2중 메시 전극 접지가 각각 1374[V], 1062[V]로 계산되었고 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 측정값은 2950[V]와 2262[V]로 2중 메시 전극 접지가 낮

아지는 것으로 분석되었다. 또한 대지 저항률 200 [Ω·m] 일 때 메시 전극과 2중 메시 전극의 접촉전압은 IEEE Std. 80 계산 값은 540[V]와 533[V]로 계산되었고, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 접촉전압은 1475[V]와 1131[V]로 2중 메시전극 접지가 낮아지는 것으로 분석되었다.

표 4. 계산한 2중 메시접지 접촉전압
Table 4. Touch voltage calculated double-mesh ground

메시전극 상층길이 [m]	메시전극 하층길이 [m]	메시도체 총길이 [m]	접촉전압 [V]
660	124	784	669
660	184	844	616
660	244	904	571
660	304	964	532
660	364	1,024	498

표 1과 표 4를 비교하여 접촉전압의 안전한계값 608[V]이하로 하기 위해 메시도체의 총길이가 1200[m]가 필요하나 2중 메시전극을 이용한 접지설계는 메시도체의 총길이가 904[m]만으로 가능한 것으로 분석되어 메시도체를 296[m]를 절감할 수 있다.

또한 터파기 시공의 어려움을 해결하기 위해 변형된 2중 메시전극을 이용한 새로운 접지설계 방법을 [그림 11]과 같이 제안한다.

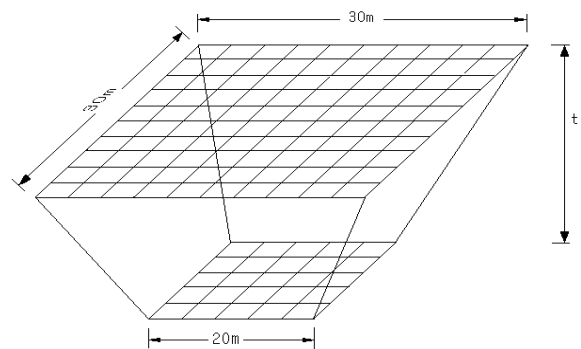


그림 11. 2중 메시전극 접지설계(L=904[m])
Fig. 11. Ground design of the double-mesh electrode(L=904[m])

3. 결 론

우리나라는 건축물 부지가 협소한 경우가 많고 심층 토양으로 갈수록 암반이 나타나는 등 대지 저항률이 비교적 높기 때문에, 접지망의 도체 간격을 좁게 설계하는 경우가 많다.

제한된 면적에서의 경우 IEEE Std. 80의 계산식을 그대로 사용하게 되면 접지도체 간격을 좁게 설계하면 과대 설계가 될 수 있고, 접지도체 간격을 넓게 설계하면 접지저항과 위험전압인 접촉전압과 보폭전압을 안전한계값 이하로 맞출 수 없다는 것이다.

따라서 본 논문에서는 첫째 메시 전극 간격을 좁게 설계 하였을 경우와 2중 메시 전극을 이용한 접지를 IEEE Std. 80 계산식과 컴퓨터 시뮬레이션한 값을 분석 하여 접지 저항과 위험전압이 모두 낮아지는 새로운 2중 메시 전극을 이용한 새로운 접지설계 방법을 제안하였다. 둘째 접촉전압을 낮추면서 메시도체를 25[%] 절약을 하면서 시공의 문제를 해결하기 위해 변형된 2중 메시전극을 이용한 접지설계 방법을 제안하였다.

References

[1] 송영주, “접지설비 절차에 따른 개선된 접지설비모델”, 조명·전기설비학회, Vol. 22, No. 6, pp55, 2008.
 [2] 신복성, “위험전압 검토에 따른 개선된 접지설비 모델”, 홍익대학교 석사학위논문, 2008.
 [3] 송영주 외, “최적 접지도체간격에 관한 대수함수제어”, 조명·전기설비학회 Vol. 20, No. 5, 2006.
 [4] “이복희 외, “접지의 핵심 기초 기술”, 도서출판 의제, 2002.
 [5] 삼용식 외, 메시접지극의 내부도체 배치에 따른 개선된 메시 접지극 모델, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol. 24, No.6, 2010.

[6] 정용기, “IEC 60364 건축전기설비 기술기준 핸드북”, 의제, 2000.
 [7] 홍순석 외, “위험전압 검토에 따른 개선된 접지설비 모델”, 조명·전기설비학회, Vol. 22, No. 4, 2008.
 [8] 손석금 외, “위험전압 검토에 의한 메시접지설계”, 대한전기학회, Vol 60P, No. 3, 2011.
 [9] J. G. Sverak, “Progress in Sep and Touch Voltage Equations of ANSI/IEEE std. 80-Historical Perspective”, IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 13, No. 3. 1998.
 [10] ANSI/IEEE Std. 80-2000, “IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000.
 [11] 고교건언저, 이형수역, 동일출판사, 接地設計入聞 1993.
 [12] 고교건언저,, 정종욱 옮김, “접지·등전위 본딩 설계 실무지식”, 일본용사 성안당, 2008.
 [13] 손이조, IEC 60364 전기설계감리 시공가이드북, 기다리, 2009.
 [14] 손이조, (주)세흥이엔씨, “전력계통해석 프로그램”.

◇ 저자소개 ◇



손석금 (孫錫金)

1969년 8월 10일생. 1997년 한밭대 전기공학과 졸업. 2000년 성균관대 전기공학과 졸업(석사). 2010년 숭실대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 발송배전기술사 현재 오산대학.

Tel : (031)370-2677

Fax : (031)370-2679

E-mil : skson@osan.ac.kr



김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년 ~ 현재 숭실대 전기공학과 교수.

Tel : (02)817-0647

Fax : (02)817-0780

E-mil : jckim@ssu.ac.kr