

국제 표준(IEC)에 의한 접지 설계 및 이에 대한 안전성 분석 · 평가

(Design and A Safety Analysis and Assessment of a Grounding System according to International Standards)

김두웅* · 조만형 · 김한수 · 신대성 · 류기환 · 김철환**

(Doo-Ung Kim · Man-Hyung Cho · Han-Soo Kim · Dae-Sung Shin · Ki-Hwan Ryu · Chul-Hwan Kim)

Abstract

In this paper, we evaluate safety of grounding system which is designed according to IEC standards. Safety assessment of construction site and grounding system of building is needed before construction for the safety of human in building. Until now, in case of domestic field, design of grounding system is proceeded based on methods which are proposed in IEEE Std. 80. In other words, it is not in the situation that grounding system is designed based on IEC standards. Therefore, we propose a method which designs grounding system and evaluates safety of it according to IEC standards. We measure ground resistance of construction site using measuring equipment of ground resistance. Using this value, soil structure and ground resistivity are obtained through program analysis. CDEGS program of SES company is used for simulation analysis.

Key Words : Grounding System, Safety, International Standards, Touch Voltage, Electrical Installation

1. 서 론

현재 국내 건축물 전기설비의 경우 전기설비기술기준, 전기설비기술기준의 판단기준, 건축전기설비설계기준, 내선 규정 등에 따라서 설계 및 시공을 하고 이후에 안전성 검사를 시행한다. WTO/TBT 협정에 따

라 국내 저압전기설비에 IEC 60364의 적용이 가능하게 되었다. 따라서 현행 국내 전기설비 분야는 국내기준과 IEC 표준의 선택적 적용이 가능하게 되었다[1].

IEC 60364는 건축물의 전기 설비에 대한 국제 표준으로 전기 설비의 시공 및 검사에 대한 지침이 표기되어있다[2]. 2000년대 들어와서 국내 내선 규정에 IEC 60364를 도입하였지만, 실제로 전기설비의 모든 부분이 IEC 표준대로 설계, 시공 및 검사가 수행되지는 않는 실정이며, 안전성 검사의 하나인 접지 검사 시에도 종별 접지저항을 점검하는 형태로 이루어진다. 또한 현재 국내에서 접지 설계 시 주로 IEEE Std. 80에서 제시하는 방법을 기반으로 진행한다[3]. 다시 말해서 아직까지 IEC 표준에 근거하여 접지설계가 이루어지

* Main author : Unified MS & Ph. D Course,
College of Information and Communication
Engineering, Sungkyunkwan University

** Corresponding author : Professor, College of
Information and Communication Engineering,
Sungkyunkwan University

Tel : 031-290-7124, Fax : 031-299-4137

E-mail : knight13th@skku.edu

Received : 2015. 7. 13

Accepted : 2015. 8. 24

지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 IEC 표준에 따라 접지 시스템을 설계하고 안전성을 평가하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 IEC에서 제시하는 허용 접촉 전압 산출 과정 및 접지 설계 절차에 대해서 설명한 후에, 부지를 고려한 접지 설계를 제안하고 시뮬레이션 결과를 통해 IEC 표준에 부합하는 안전성 평가 결과를 보여줄 것이다.

2. 본 문

2.1 허용 접촉 전압

IEC 62305-3에서는 전기적 연속성을 위해 접지저항을 0.2Ω 이내로 규정하고 있으며, IEC 61200-413에서 제시하는 접촉 및 보폭전압은 50V 이하이다[4]. 본 절에서는 IEC의 허용접촉전압 기준 값 50V 산출 근거에 대하여 설명할 것이다[5].

IEC에서 규정한 감전전류 및 통전시간에 대한 인체의 영향은 다음과 같다.

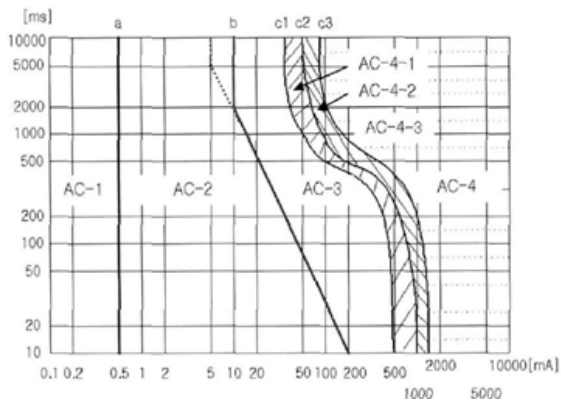


Fig. 1. Effect of human body according to shock current and time

- a : 전류 감지 시작
- b : 근육 반응 시작
- c1 : 심실세동의 시작
- c2 : 심실세동이 일어날 확률(5%)
- c3 : 심실세동이 일어날 확률(50%)
- AC-1 : 인체에 전류가 흐르는 것을 감지하지 못함

AC-2 : 인체에 전류가 흐르는 것을 감지하는 정도

AC-3 : 근육의 반응

AC-4 : 심실세동 발생, 사망 발생 가능

인체가 감전된 경우 인체에 흐르는 전류의 크기, 통전시간 뿐만 아니라 전류의 경로도 인체에 미치는 영향이 크다.

Table 1. Path factor accounting for the effects of current flowing through different current paths

F	왼손	오른손	양손
왼발	1	0.8	
오른발	1	0.8	
양발	1(기준)	0.8	1
양손	0.4	0.4	
등	0.7	0.3	
가슴	1.5	1.3	
엉덩이	0.7	0.7	

상용주파수에서 인체는 단순한 저항으로 표현된다. 표 2는 통계적으로 접촉전압에 따라 인구의 5%, 50%, 95%가 갖는 저항 값 데이터이다.

Table 2. Statistical values of the human body resistance for hands-to-foot current path

접촉전압 (V)	인체저항(Ω)		
	5(%)	50(%)	95(%)
25	1225	2275	4270
50	1015	1838	3063
75	875	1540	2450
100	840	1313	2240
125	788	1138	2713
220	700	945	1488
700	525	770	1985
1000	490	735	1050

인체와 대지와의 접촉저항이 클수록 감전의 위험을 줄일 수 있다. 인체와 대지와의 접촉 저항은 바닥재료의 특성에 따라 달라진다. IEC 61200-413에서는 인체와 대지와의 접촉저항을 보통의 경우에는 1000Ω, 특

수한 경우에는 200Ω으로 정의하였다[4].

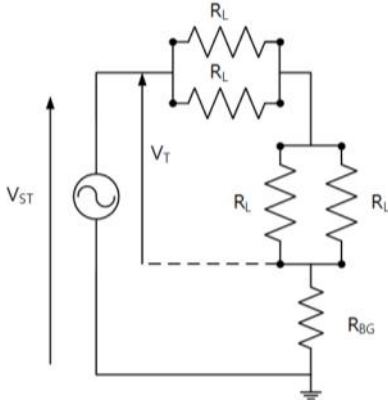


Fig. 2. Equivalent circuit of the worst case of electric shock

인체는 전압보다 전류에 더 민감하지만 전기안전기준을 설정할 때, 전류보다 전압을 사용하는 것이 일반적이다. 국제 표준에서 허용접촉전압 기준 값으로 그림 2의 V_{ST} 값을 사용한다[6].

그림 2처럼 두 손이 동시에 감전되는 경우를 가정하면, 이 경우 총 저항은 다음과 같다.

$$R_{Total} = R_L + R_{BG} \quad (1)$$

여기서 R_L : 표 2의 인체 저항 값
 R_{BG} : 1000Ω (특수한 경우 200Ω)

IEC에서 규정한 감전전류 및 통전시간에 대한 인체의 영향 곡선을 보면 대략 30mA 이하의 전류에 대해서는 통전시간에 관계없이 근육의 반응만 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 표 3과 4에서 확인할 수 있듯이 보통의 경우에는 접촉전압이 50V 이하, 특수한 경우에는 25V 이하인 전압이 안전하다고 판단할 수 있다[4].

2.2 접지 설계 절차

그림 3은 IEC 61936-1에서 제시하고 있는 접지시스템 설계흐름도를 나타낸다[7]. 우선 접지시스템의 최초 설계를 진행하고 흐름도를 따라서 각 항목들에 해

당하는 값들을 결정한다. 접지시스템이 c, i, m 항목에서 제시하는 조건을 충족하는 경우 설계가 완료된다.

Table 3. Shock current in normal case

보통의 경우 (인체와 대지의 접촉저항 : 1000Ω)			
접촉전압(V)	인체 감전전류(mA)		
	5%	50%	95%
25	11	8	5
50	25	18	12
75	40	30	22
100	54	43	31
125	70	58	34
220	129	113	88
700	459	395	235
1000	671	576	488

Table 4. Shock current in special case

특수한 경우 (인체와 대지의 접촉저항 : 200Ω)			
접촉전압(V)	인체 감전전류(mA)		
	5%	50%	95%
25	18	10	6
50	41	25	15
75	70	43	28
100	96	66	41
125	127	93	43
220	244	192	130
700	966	722	320
1000	1449	1070	800

3. 접지 설계 및 시뮬레이션

국제표준에 따른 접지시스템 설계 및 실증을 위해 IEC 61936-1에서 제시하는 설계흐름도에 따른 설계를 진행하였다. 그림 4, 5와 같이 건물모양과 실증부지를 고려하여 가장 간단한 2가지 Case를 설정하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 그 결과 값이 국제표준에서 제시하는 접촉전압 값 50V를 만족하는지에 대한 비교 검토를 진행하였다. 전체 시뮬레이션 과정은 표 5와

같다. 시뮬레이션 프로그램으로 SES사의 CDEGS를 사용하였다.

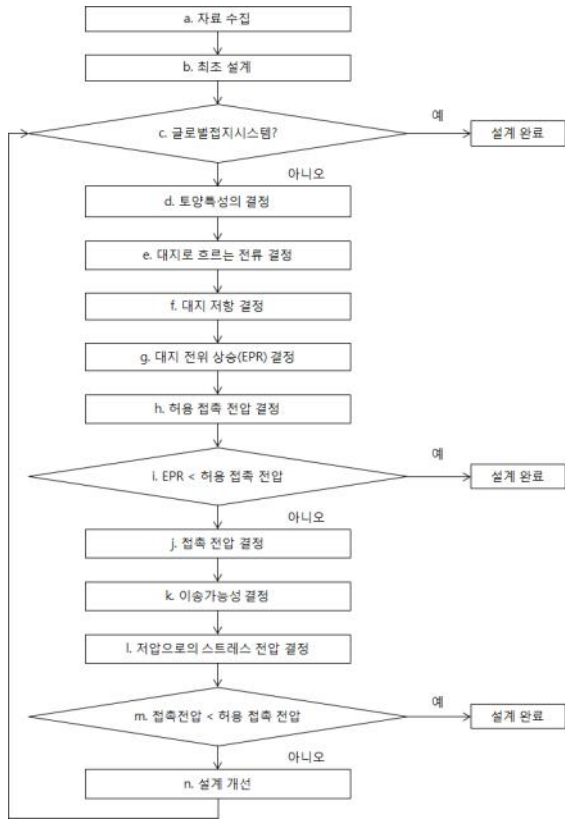


Fig. 3. Design flowchart of grounding system

Table 5. Procedure of case study

단계	진행 사항	결과 및 세부사항
1	Case 설정	그림 4, 5
2	실증부지 대지저항 측정 { 토양특성 대지저항 대지로 흐르는 전류 } 결정	표 6 식 2
3	Case 별 시뮬레이션 진행	-
4	IEC 기준 값 충족여부 확인	그림 7, 8

글로벌접지시스템은 “개별적 접지들을 서로 연결한 대형접지시스템”을 의미한다[8]. 본 논문에서 설계한 접지시스템은 글로벌접지시스템이 아니기 때문에 흐름도에 따라서 설계를 순차적으로 진행하였다.

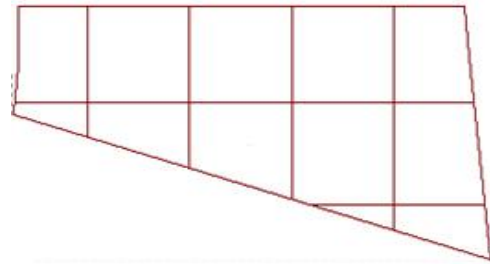


Fig. 4. Mesh grounding system(Case 1)

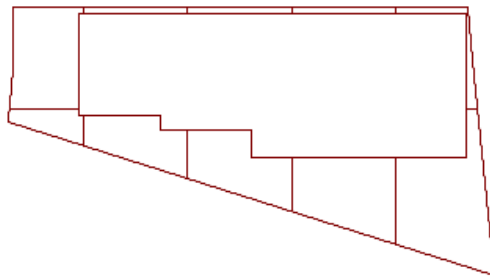


Fig. 5. Grounding system considering shape of building

그림 6은 실제 공사부지에서 대지저항을 측정한 사진이다. 토양의 특성, 대지 저항을 결정하는 경우에 그림 6처럼 실제 대지 저항을 측정한 뒤에, 프로그램 분석을 통해 대지저항률 및 토양의 구조를 얻었다. 표 6에 대지 저항 측정 정보와 프로그램 분석 결과를 나타내었다. 프로그램 분석 결과 대지는 상층과 하층으로 구분되어지며, 상층의 대지저항률은 $534.70\Omega \cdot m$, 두께는 1.53m이고 하층은 $494.03\Omega \cdot m$ 의 대지저항률 값을 갖는 것으로 분석되었다.

Table 6. Program analysis result and measurement information of ground resistance

대지저항 측정		CDEGS 프로그램 분석결과		
측정일자	2014.11	토양 구조	대지저항률 ($\Omega \cdot m$)	두께 (m)
날씨	맑음	상층	534.70	1.53
부지면적	$3305.1m^2$	하층	494.03	∞
토사종류	마사토			
측정장비	CA6470			
측정방법	4-point Wenner			



Fig. 6. Measurement of Ground resistance in Construction site

대지로 흐르는 전류는 단락전류가 접지시스템으로 유입되었을 때 발생한다. 단락전류는 한전에서 제시하는 단락용량과 정격전압을 사용하여 구할 수 있다. 한전에서 제시하는 단락용량은 520MVA이고 정격전압은 22.9kV이므로 단락전류는 식 (2)와 같다.

$$I_{sc} = \frac{520 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 22.9 \text{ kV}} = 13100 \text{ A} \quad (2)$$

접지시스템의 접촉전압을 구하기 위해 앞에서 얻은 대지저항률 및 토지 정보, 단락 전류를 공통 조건으로 놓고, 각 Case 별로 접촉전압 시뮬레이션을 진행하였다. 2.1절에서 설명하였듯이 IEC에서는 접촉 시간과 관계없이 인체에 안전한 접촉전압 기준 값으로 50V를 제시하고 있다. 표 7을 보면 Case 1의 경우 접지도체 총 길이 520.52m, 접지저항 3.84Ω, 접촉전압 34.50V이고 Case 2의 경우 접지도체 총 길이 519.81m, 접지저항 6.50Ω, 접촉전압 28.76V인 것을 알 수 있다. 또한 그림 7과 8을 통해 접지시스템의 외곽부분에서 가장 높은 접촉전압이 발생하는 것을 확인할 수 있고 2가지 경우 모두 IEC 허용 기준 값을 충족하는 것을 알 수 있다.

Table 7. Simulation results

	Case 1	Case 2
접지도체 총 길이(m)	520.52	519.81
매설깊이(m)	0.5	0.5
대지 전위상승(V)	50.35	42.726
접지저항(Ω)	3.84	6.50
접촉전압(V)	34.50	28.76

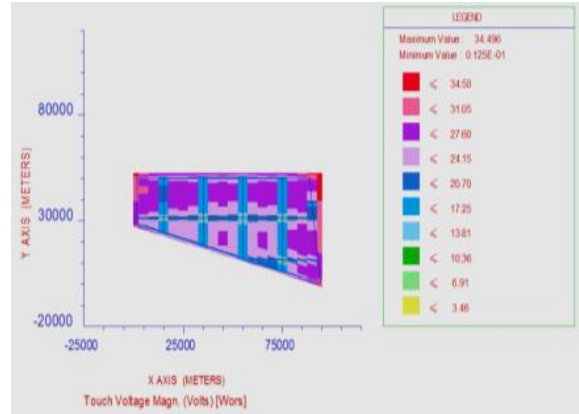


Fig. 7. Simulation result of touch voltage(Case 1)

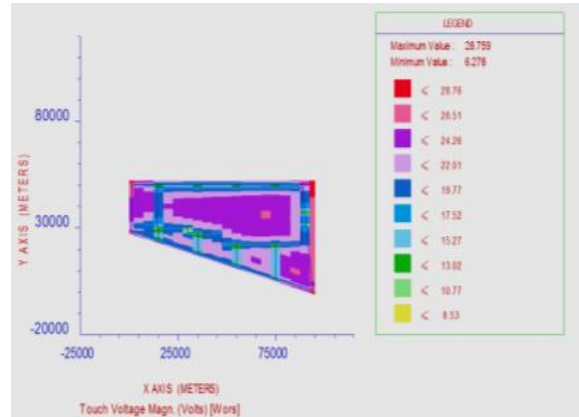


Fig. 8. Simulation result of touch voltage(Case 2)

4. 결 론

본 논문에서는 IEC 표준을 기반으로 접지시스템 설계 및 시뮬레이션을 진행하고 안전성 평가를 진행하였다. 시뮬레이션 결과, Case 2의 경우 Case 1에 비해 총 접지 도체의 길이가 0.71m만큼 감소하였고 최대 접촉전압 값은 5.74V만큼 줄어들어 접촉전압 값에 대해서 16.64%만큼의 감소효과를 보였다. 2가지 Case 모두 접촉 전압 값이 IEC에서 제시하는 기준 값인 50V 이하를 만족하고 인체 안전을 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 논문의 결과를 토대로 향후 접지설계에 대한 세부적인 내용이 국내 실정에 맞게 수정된다면 접지설계 시에 IEC 표준 적용이 가능할 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업경제 기술혁신사업(에너지표준화 및 인증 지원사업)의 과제번호 I-2013-003-T2 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Oh-Hwan Kim, Jae-Chul Kim, "The Comparison and Analysis about Earth System based on IEC60364", KIIEE, Vol.24, No.1, 2010. 1.
- [2] "Electrical Installations for Buildings", IEC 60364-5-51, 2005.
- [3] Seok-Geum Son, Jae-Chul Kim, "Mesh Grounding Grid Design of Dangerous Voltage Review", KIEE, Vol.66, No.3, 2011. 9.
- [4] "Electrical Installation guide", IEC 61200-413, 1996.
- [5] Massimo Mitolo, "Effects of Electrical Currents and Bonding Requirements in Buildings", 41st IAS Annual Meeting, Conference Record of the 2006 IEEE, p.1816-1820, Volume 4.
- [6] Massimo Mitolo, "Electrical Safety of Low-Voltage Systems", McGraw-Hill, 2009.
- [7] Ju-Cheol Lee, Jin-Geun Yeom, Seung-Hyun Jeong, Cheol-Gyun Byeon, Jae-Chul Kim, "The Design Flowchart of Earthing System for Building Electrical Installations in Accordance with International Standards", KIIEE, Vol.28, No.8, 2014. 6.
- [8] Ki-Hong LEE, "Global Earthing System", KIIEE, Vol.25, No.3, 2011. 5.

◇ 저자소개 ◇



김두용 (金杜雄)

1986년 9월 8일생. 2012년 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 정보통신대학 석박통합과정.



조만형 (趙萬衡)

1970년 2월 26일생. 1993년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1995년~현재 한국전력기술 전기계측기술그룹 책임기술원 근무.



김한수 (金漢洙)

1965년 1월 20일생. 1992년 부경대 전기공학과 졸업. 1994년 경성대 산업공학과 졸업(석사). 2008년 서울과학기술대 신에너지공학과 졸업(박사). 1983~1997년 한국전력공사 근무. 1997년~현재 대한전기협회 기술기준처 처장. 본 학회 평의원(사업이사).



신대성 (申大成)

1975년 9월 22일생. 2001년 서울과학기술대학교 안전공학과 졸업. 2003년 동 대학원 졸업(석사). 2008년 동 대학원 졸업(박사). 2005년~현재 대한전기협회 기술기준처 팀장.



류기환 (柳起桓)

1984년 11월 15일생. 2010년 안양대학교 전기전자공학과 졸업. 2012년 숭실대학교 전기공학과 졸업(석사). 2012~2013년 일진전기 CTO실 연구원 근무. 2013년~현재 대한전기협회 기술기준처 직원.



김철환 (金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 성균관대 정보통신대학 교수. 전력IT인력양성센터 센터장.