

독립 전원설비에서의 접지방법 개선에 관한 연구

류보혁[†] · 남택주^{*} · 김정훈^{**}

한국산업안전공단 · *기술표준원 · **홍익대학교 전자전기공학부
(2001. 8. 22. 접수 / 2001. 12. 3. 채택)

A Study of Ground System improvement on Isolated Power Generation

Bo-Hyuk Ryu[†] · Taik-Joo Nam^{*} · Jung-Hoon Kim^{**}

Korea Occupational Safety & Healthy Agency · *Agency for Technology & Standards

**Hong-Ik University the Department of Electrical Engineering

(Received August 22, 2001 / Accepted December 3, 2001)

Abstract : In construction sites, portable generators and electrical equipments cause frequently electrical accidents due to the poor condition of their usage. However, there are very few technical guidelines on these equipments even though they have serious accident causing potentiality. In order to reduce such accidents in practical and economical, grounding methods are studied in this paper as the countermeasure of electrical accidents. Several Korean national standards and international standards regarding three grounding types are compared each other, and some prevention means of electrical accidents are reviewed in this study. This paper presents the most effective grounding methods by assuming the WCS with the isolated power systems.

Key Words : grounding system, low-voltage system, portable generator, ungrounded system, TN system, TT system, IT system, touch voltage, safety voltage

1. 서 론

기존 전력계통에서 멀리 떨어져 있어 전기를 공급받기 곤란한 밭파현장, 교량 건설현장 등에서 전기기기를 사용하여야 할 경우, 부득이 이동형 발전기, 즉 독립 발전설비를 사용하게 되는데, 이때에는 감전재해를 방지하기 위한 안전장치로써, 접지, 누전차단기, 절연감시장치 등을 설치하여야 한다. 그러나, 현장 여건상 이들 안전장치의 설치가 곤란하여 생략하는 경우가 많고, 특히 접지만을 했을 경우 더 많은 위험을 초래할 수도 있다. 대부분의 이동형 발전기는 공사현장의 노천에서 그대로 사용되고 있을 뿐만 아니라, 유지관리나 주변 환경이 열악한 조건에 있기 때문에 절연열화나 충전부 노출 등의 전기사고의 위험은 더욱 높다 하겠다. 그러나, 이와 같이 취약한 건설 현장에서 감전방지를 위한 발전기의 접지방식을 결정하기 위한 연구가 국내에서는

거의 이루어진 바 없으며, 전기설비 기술기준 등 관련 규정에서도 이에 대한 구체적인 지침 또한 없는 상태이다. 따라서, 건설현장, 특히 독립되어 있는 발전기에 접속하여 사용하는 교류 아크 용접기, 작업등, 전동드릴 등의 사용시 감전재해를 근원적으로 막기 위한 방법을 수립하는 것이 아주 시급하다. 본 연구에서는 단독전원설비인 소형 발전기에 접속하여 사용하는 전기기기로 인한 작업자의 감전위험을 방지하기 위해 외국의 관련기준을 살펴보고, 감전사고모델을 모의하여 보다 효과적이고 안전한 접지방법 및 안전대책을 제시하고자 하였다.

2. 접지설비의 목적

접지설비는 전력계통의 사고시, 전기설비는 물론 사람의 안전을 확보하기 위하여 전기설비의 중성점 및 기기의 외함을 대지와 전기적으로 접속하는 것으로, 계통접지(system ground)와 기기접지(보호접지, protective ground)로 나눌 수 있다. 그리고,

[†]To Whom correspondence should be addressed.
bhryu@kosha.net

접지방범에 따라 전력계통을 크게 3가지, 즉 계통접지와 기기접지를 공용으로 한 TN계통, 이 두 가지 접지를 별도로 시공한 TT계통, 계통을 비접지 또는 임피던스접지로 하고 기기를 직접 접지한 IT계통¹⁾ 등이 있다(우리나라의 전력계통의 경우, 정확하게 구분하기는 곤란하나 배전계통은 TN계통이 주류이고, 자가용 전기설비는 TN, TT 또는 IT 등 모두 사용). 여기에서 전력계통의 중성점접지는 계통의 안전운전과 경제적인 측면에서 채용하며, 직접접지방식과 임피던스접지방식, 비접지 방식 등이 있다^{2,3)}. 접지설비는 전력계통 및 인명의 안전을 위하여 그 역할이 아주 중요하며, 다양한 계통의 각기 다른 요건에 따라 각 계통의 목적과 상황에 적합한 지침, 방법 등을 개발하기 위한 연구가 지속되고 있다.

특히, 산업현장(자가용 전기설비)에서의 접지설비는 계통내의 위치, 개별 특성, 공정요건 등에 따라 전력회사의 접지계통과는 상당히 다른 면이 있다⁴⁾. 산업현장에서 접지공사를 하는 주 목적은 만약의 사고시, 대지전압을 규정값 이하로 낮추고 고장선로의 검출 또는 자동차단 등으로 인명 및 설비를 보호하기 위한 것이다. 본 논문에서는 감전재해에 관련한 접지설비를 중심으로 연구하였다.

3. 전력계통별 감전위험방지대책

전술한 바와 같이 접지방범에 따른 전력계통은 크게 TN, TT 및 IT계통 등 3개 계통으로 구분하는데, 절연불량이나 충전부 노출 등으로 인한 감전재해를 방지하기 위한 대책은 계통별로 조금씩 차이가 난다.¹⁾

3.1 TN계통

Fig. 1과 같이 전원측의 한 점을 접지시키고, 기기의 모든 노출 도전성 부분을 이 접지와 접속한 계통을 말한다.

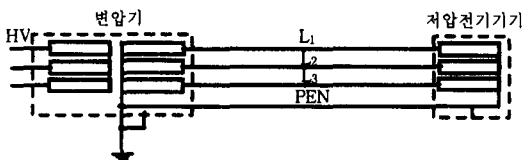


Fig. 1. TN-C System

이러한 TN계통에서의 보호장치로는 과전류보호기와 누전차단기(TN-C계통 제외)가 있다.

3.2 TT계통

Fig. 2와 같이 계통접지와 기기접지를 각각 별도로 한 계통을 말한다.

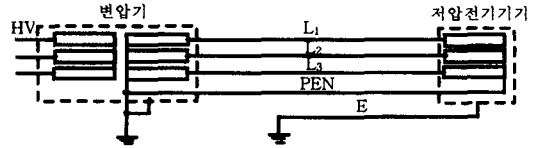


Fig. 2. TT System

이러한 TT계통에서의 보호장치는 과전류차단기와 누전차단기가 있다.

3.3 IT계통

Fig. 3과 같이 계통을 대지로부터 절연시키거나 충분히 높은 임피던스로 접지시키고, 기기를 별도로 접지하는 계통이다.

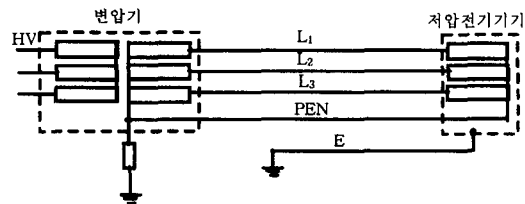


Fig. 3. IT System

IT계통에서의 보호장치로는 절연감시장치, 과전류보호기, 누전차단기가 있다.

4. 단독 전원설비의 접지 특징 및 관련 규정

우리나라의 산업현장, 특히 건설현장에서 사용하고 있는 단독 전원설비, 즉 이동형 발전기는 주로 220, 380[V] 또는 440[V]의 저압 발전기로 전력계통과는 분리된 독립 전원으로 사용되고 있다. 이러한 발전기의 대부분은 단상 전원과 3상 전원을 모두 사용하기 위하여 Y결선방식이 대부분이며, Δ결선방식을 채용하는 발전기는 특수 목적의 발전기를 제외하고는 거의 사용되고 있지 않다. Y결선의 발전기는 통상 중성점을 직접접지하고 발전기의 외함은 접지시키는 방법을 사용하고 있으나, 현장 여건상 부득이 중성점을 외함 또는 대지로부터 절연시킨 비접지방식을 사용하는 경우도 있다. 건설현장에서 이용하는 이동형 발전기의 용량은 수[kVA] 이하부터 수십[kVA]까지의 중소형이 대부분이며, 주로

전기용접, 조명, 그라인더, 전기드릴, 컴프레서 등의 소규모 부하 전용으로 사용하고 있다. 또한, 이동형 발전기를 전원으로 이용하는 설비는 노후되거나 가혹한 조건에서 사용되므로 충전부분의 노출이나 절연열화로 감전재해가 일어날 가능성이 아주 높다. 따라서, 이동형 발전기를 이용하는 건설현장에서는 설비를 보호하는 것도 중요하지만 건설현장의 인명 보호 측면에서 접지공사가 이루어져야 한다.

4.1. 우리나라의 접지 규정

접지설비에 관한 기술기준은 산업자원부 고시인 전기설비기술기준과 이를 준용한 산업안전보건법이 있고, 이 기준에서는 계통접지를 제2종 접지, 기기 접지를 전압에 따라 제1종, 제3종 및 특별3종으로 구분하고 있으나, 이는 다만 접지저항으로만 분류한 것이다. 그러나, 이동형 발전기의 접지에 관한 사항과 중성점 접지방식을 결정할 때 필요한 세부적인 지침에 대하여는 규정되어 있지 않다.

4.2. 미국의 NEC 규정

1) NEC(National Electrical Code) 250-5(b)에는 50 [V]에서 1,000[V]의 교류전로의 경우, 다음을 제외하고 모든 회로를 접지하여야 한다고 규정하고 있다.

“1,000[V] 이하로써 지락검출기를 계통에 설치하여 자격이 있는 요원이 전로를 지속적으로 관리하는 경우는 접지설비 생략 가능”

2) NEC 250-6(Portable and Vehicle-mounted Generators)에 다음의 경우, 발전기 외함은 접지할 필요가 없고 계통 접지극과 기기 접지극을 공용으로 사용할 수 있다.

- ① 발전기에 부착된 기기 또는 콘센트를 통하여 기기에 공급하는 경우
- ② 기기 비통전 금속부와 콘센트의 기기접지선용 단자를 발전기 외함에 본당한 경우

4.3. 영국의 기준

1) 영국의 BS(British Standards) 7375(Code of practice for distribution of electricity on construction and building sites) 3.5.4에서는 NEC와는 달리 건축현장에서의 보호접지에 대하여 비교적 자세하게 기술되어 있다.

- ① 단기간(2~3일) 사용하는 소형 단상 발전기의 중성점을 외함이나 대지에 접속하지 않는 비접지방식이 가능하다. 다만, 독립단상발전기

에 의한 전력계통에서 사용되는 110/230[V] 휴대형 기기는 BS 2754의 Class II(이중절연 또는 강화절연) 기기를 사용하여야 한다.

- ② 사용되는 기기가 한대 이상이고, 만족스러운 접지를 얻을 수 없을 경우, 계통은 IT계통으로 간주해야 하며 절연감시가 필요하다.
- ③ 17.2.3.1(단독 발전기), 17.2.4(저압 3상 이동형 발전기)에서 계통접지를 생략할 수 있는 조건에 대하여 규정하고 있다.

2) HSE(Health & Safety Executive) 지침

건설현장에서의 전기안전(Electrical safety on Construction sites)에서, 발전기에 대하여 다음과 같이 규정하고 있다.

39 기존 전력계통에서 멀리 떨어진 곳에서의 작업 또는 소형 전기기기를 사용하는 경우, 이동형 발전기(출력 10[kVA]까지)가 자주 사용된다. 짧은 시간의 작업(하루 미만)의 경우 Class II기기를 사용한다면, 발전기는 접지 할 필요가 없다.

40 110[V], 소용량(5[kVA] 이하)의 단상 발전기인 경우, 사용하는 장치가 모두 이중절연되었거나 접지된 한 개의 기구에만 전용으로 전력을 공급한다면, 접지할 필요가 없다. 그러나, 기구는 발전기의 외함과 반드시 전기적으로 접속되어야 한다.

42 보다 더 큰 용량(10[kVA] 이상)의 발전기를 안전하게 사용하기 위하여 각별한 주의가 필요하며, 여기에는 전문가의 자문과 다음 사항이 고려되어야 한다.

- 발전기의 외함과 중성선을 접속하고 그 외함을 접지시킨다.
- 접지임피던스는 보호장치(퓨즈, 차단기 등)가 확실히 작동할 수 있는 작은 값이어야 한다.
- 접지조건이 좋지 않다면, 지락보호장치를 부착한다.

4.4. 각 기술 기준의 비교

1) NEC에 따르면 이동형 발전기의 전압이나 용량과는 관계없이 이동형 발전기에 접속하여 사용하는 전기기계·기구의 결선 상태에 따라서 접지방식이 결정된다. 단지, 50~1,000[V]의 교류회로의 접지에 대하여 회로를 전압에 따라 분류하여 접지를 규정하였으며, 1,000[V] 이하의 독립전원계통을 유자

격자가 관리하고 지락검출기를 설치하는 경우에는 접지를 생략할 수 있다.

2) HSE 지침 및 BS에서 접지방법은 NEC에서와는 달리 이동형 발전기의 정격전압 및 용량에 따라 구분하였다. HSE의 40조에서는 NEC와 유사하게 전용의 기계기구를 사용하는 이동형 발전기에 대한 규정에서 별도의 접지를 요구하지 않는다. 하지만, NEC에서는 리셉터클이나 플러그를 이용하는 기계기구가 발전기의 외함에 플러그의 접지도체를 통하여 연결되도록 한 반면에, HSE에서는 110[V] 소용량(정격 5[kVA]까지) 이중절연구조의 단상 발전기인 경우에 한하여, 한 개의 기구 전용으로 전력을 공급할 때에만, 접지할 필요가 없다고 규정되어 있다. 이 때에도 기구는 발전기의 외함에 반드시 전기적으로 접속되어야 한다.

3) NEC와 BS(HSE)의 비교

① 공통점

- 기존 전력계통과 분리된 소규모부하의 경우, 안전이 보장되는 한 계통접지는 불필요하다.
- 제한적으로 계통접지를 하지 않아도 된다는 규정 이외의 경우에 대해서 세부규정을 두지 않고 있다.
- NEC와 BS의 이동형 발전기의 접지항목 관련 내용에서는 코드의 기본 개념 외에 특별한 계산이나 이론에 의해 규정된 내용은 없고, 규정 이외의 사항에 대하여는 자율적인 적절한 접지공사를 권고하고 있다.

② 차이점

- 이동형 발전기의 항목을 포함하고 있는 “발전기”의 등급 분류 및 분류 기준에 있어서, NEC에서는 발전기를 전압별로 나누지만, HSE에서는 용량별로 구분하고 있다.
- NEC는 기기 접지만 요구하나(계통접지의 비접지 방식 허용), BS는 발전기의 용량 및 전압에 따라 제한을 두고 있다.

5. 사례 연구

이동형 발전기를 이용한 저압전력계통에서 발생할 수 있는 지락전류의 크기를 인체저항과 대지저항의 함수로 나타내고, IEEE의 인체회로 모델^{7,9)}에 이 지락전류가 흐를 때 인체에 인가되는 전압과 전류를 계산하였다. 실제 이동형 발전기를 이용하고 있는 건설현장의 대지저항률과 이동형 발전기의 대

지, 외함, 중성선 상호간의 전기적 접속상태를 측정하고, 규정대로 접지했을 경우와 비정상적으로 접지했을 경우에 발전기 주변에서 지락사고가 일어났을 경우, 인체가 외함에 접속되었을 경우에 인체에 흐르는 전류를 비교하였다.⁵⁾

5.1. 대지저항률 및 접지저항의 측정

본 연구를 위하여 이동형 발전기를 사용하고 있는 실제 건설현장 2곳에서의 대지저항률 및 접지저항의 측정 예를 Table 1, 2 및 3에 나타내었다.

Table 1은 Wenner의 4전극법에 의해 측정된 겉보기 대지저항률값이며, 이 값을 바탕으로 컴퓨터 해

Table 1. Values of apparent soil resistivities

간격a(m)	case 1	case 2	case 3
1	81.3	80.6	35.7
3	14.08	14.36	11.79
5	6.38	6.34	4.55
10	3.01	3.0	0.974
15	-	2.05	0.607
20	1.58	1.58	0.471
30	-	1.6	0.468

Table 2. Values of soil parameters

구분	case 1	case 2	case 3
1층 대지저항률[Ω · m]	542.045	562.208	228.612
2층 대지저항률[Ω · m]	178.874	185.507	58.276
1층의 두께[m]	1.269	1.246	3.095
반사계수	-0.50376	-0.50380	-0.59373

Table 3. Values of earth resistances

전위전극 P ₂ 위치		측정저항(Ω)
측정선길이(m)	c ₂ 상대길이	
5	0.1	187
10	0.2	195
15	0.3	199
20	0.4	200
25	0.5	201
30	0.6	201
35	0.7	201
40	0.8	203
45	0.9	217
50	1	247

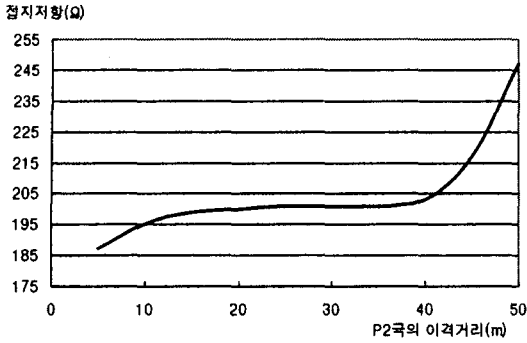


Fig. 4. Earth resistance curve(case1)

석프로그래(CDEGS) 및 ANN을 이용하여 추정된 결과를 Table 2에 나타내었다.⁹⁾

Table 2의 case 1 측정장소에 시공되어 있는 비교적 접지공사가 양호한 접지설비(가로등)의 접지저항을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 이를 이용하여 Fig. 4의 곡선을 얻을 수 있으며, 접지저항은 이 곡선의 61.8%의 거리가 되는 점¹⁰⁾에서의 저항값 201[Ω]이 된다.

위의 결과에서, 건설현장의 대지저항률은 평균 500[Ωm] 이상이 되므로, 규정에 의한 접지저항 10 [Ω] 또는 100[Ω] 이하의 접지저항을 얻는다는 것은 접지망을 매설하는 등의 대규모 접지공사를 하기 전에는 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다.

5.2. 지락사고 상정 모델

Fig. 5에서 1선 지락전류 I_G 의 크기는 대칭대좌표 법에 의하여 식(1)로부터 계산할 수 있다.

$$I_G = \frac{3V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3(Z_G + R)} \quad (1)$$

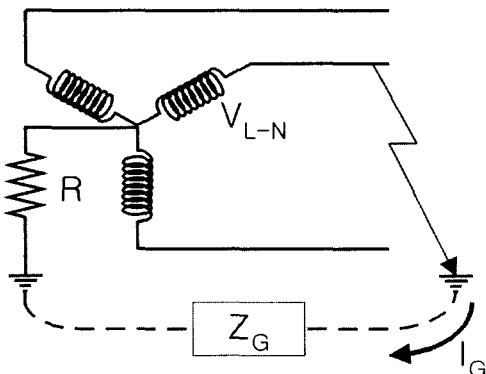


Fig. 5. Single line-to-ground fault circuit model

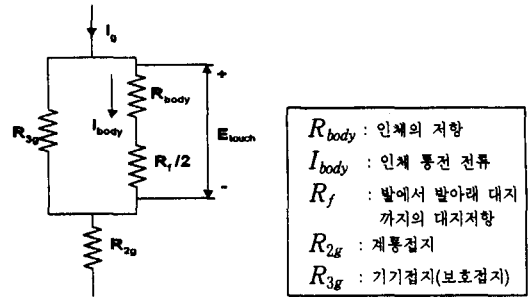


Fig. 6. Circuit model of earth and human body

여기서, Z_1, Z_2 : 정상 및 역상 임피던스

$Z_0 + 3(Z_G + R)$: 영상임피던스

$R + Z_G$: 고장 아크와 접지회로의 임피던스, 중성점 임피던스의 합

최악의 상태(WCS)를 고려하기 위하여, 지락사고가 발전기 단자와 아주 가까운 곳(선로 임피던스=0, $Z_1 = Z_2 = Z_0 = 0$)에서 일어났다고 가정했을 경우, 1선지락 고장전류는 다음과 같다.

$$I_G = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + (Z_G + R)} \approx \frac{V_{L-N}}{(Z_G + R)} \quad (2)$$

여기서, $Z_G + R$ 은 Fig. 6 모델 사용

위의 모형에서 E_{touch} 는 다음과 같다.

$$I_{body} = \frac{E_{touch}}{R_{body} + R_f/2} \quad (3)$$

여기서, 인체의 저항은 한쪽 손으로부터 발까지의 저항, 또는 한쪽 발에서 다른 발까지의 저항을 말하며 보통 1,000[Ω]으로 한다(WCS로써 토양과 발사이의 접촉저항은 젖어있거나, 신발을 신지 않은 상태를 가정하여 0[Ω]으로 간주). R_f 는 위험전압계산식에서와 같이 3ρ 로 가정한다. 이동형 발전기의 접지시공은 주로 접지봉에 의해 시공되므로, R_{3g} 는 기기 외함-대지간의 기기접지(보호접지)의 접지저항이며, R_{2g} 는 발전기 중성점의 접지저항이다. Table 4는 가혹한 경우(WCS)로 설정된 각 경우에 대해서, R_{2g} 와 R_{3g} 값을 결정한 값이며, 위의 가정들을 이용한 Z_G 값은 순수하게 저항만으로 이루어진 것으로 간주한다.

Fig. 6에서 1선 지락 고장시의 고장전류와 이 때 인체에 흐르는 전류는 Table 5과 같다.

Table 4. Values of earth resistance for each case

case 1		case 2		case 3		case 4		case 5	
제통만 접지한 경우		중성점만 접지한 경우		규정값 이상의 접지		비접지 (기기접지)		비접지 (기기접지 없음)	
R_{2g}	R_{3g}	R_{2g}	R_{3g}	R_{2g}	R_{3g}	R_{2g}	R_{3g}	R_{2g}	R_{3g}
10	10	10	500	500	500	0.2M	10	0.2M	500

- 주) 1 : 규정대로 접지할 경우, R_{2g} , R_{3g} 10[Ω]
 2 : 중성점만 규정대로 접지, R_{2g} 는 10[Ω], R_{3g} 는 형식적인 접지공사(접지봉 1개만 타봉)를 했을 경우 500[Ω]으로 가정
 3 : 기준값 이상으로 접지 한 경우, R_{2g} , R_{3g} 500[Ω] 가정
 4 : 비접지 방식, 외함만 규정대로 기기 접지한 경우, R_{3g} = 10[Ω], 중성점과 대지간의 접지저항은 대지와 중성점간의 절연저항의 규정인 R_{2g} =0.2[MΩ]의 값으로 가정
 5 : 비접지 방식, 형식적인 접지공사를 가정하여, R_{3g} = 500[Ω], R_{2g} 는 대지와 중성점간의 절연저항값인 0.2[MΩ]으로 가정

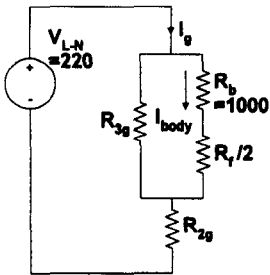


Fig. 7. Equivalent model of single line-to-ground fault circuit

Table 5. Values of fault currents, body currents and touch voltages

	지락전류	인체전류	접촉(위험)전압	비고
case 1	11.054[A]	109[mA]	109[V]	위험
case 2	641[mA]	214[mA]	214[V]	
case 3	264[mA]	88[mA]	88[V]	
case 4	1.10[mA]	0.01[mA]	0.01[V]	안전
case 5	1.10[mA]	0.37[mA]	0.37[V]	

이 경우, 50[kg]과 70[kg]의 인체에 대한 IEEE Guide에서 권고하는 허용전압은 다음과 같다.

$$E_{touch50} = (1,000 + 1.5\rho_s)(0.116)/\sqrt{T} \text{ [V]} \quad (4)$$

$$E_{touch70} = (1,000 + 1.5\rho_s)(0.157)/\sqrt{T} \text{ [V]} \quad (5)$$

여기서, ρ_s 는 지표면의 저항률이나 통상 젖은 대지 표면과 맨발을 가정하여 0으로 한다. 위의 허용전압

Table 6. Fault clearing time and safe voltage

시간(초)	주기(cycle)	안전전압(50kg)	안전전압(70kg)
0.05	3	518.77	702.13
0.0584	3.504	480.01	649.67
0.1	6	366.82	496.48
0.175	10.5	277.29	375.30
0.2	12	259.38	351.06
0.25	15	232.00	314.00
0.5	30	164.05	222.03
0.75	45	133.95	181.29
1.0	60	116.00	157.00
2.0	120	82.02	111.02
3.0	180	66.97	90.64

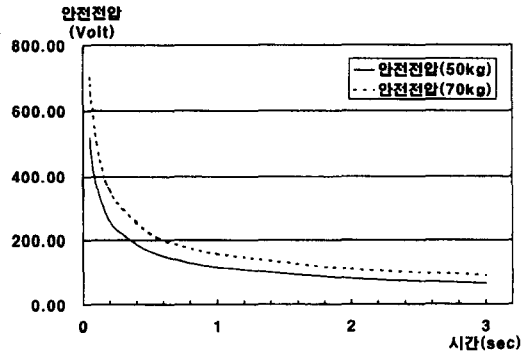


Fig 8. Safe voltage vs duration of shock

을 이용하여 고장제거시간에 대한 허용전압을 표로 나타내면 Table 6과 같다.

5.3. 사례 연구 결과

위의 결과에서와 같이 정해진 기준에 따라 직접 접지 방식으로 접지공사를 했을 경우에는 접촉전압이 109[V], 중성점만 접지하고 발전기 외함을 접지하지 않았을 때는 214[V], 규정값을 넘는 형식적인 접지공사를 시행하였을 경우는 88[V]로 나타나고 있는 반면, 비접지 방식을 채택하여 중성점을 접지하지 않았을 경우의 접촉전압이 1[V] 이하로 나타나, 비접지방식이 직접접지 방식보다 위험전압이 낮고 경제적으로도 우수함을 알 수 있다. 따라서, 2차 고장이 아닌 단일 고장만을 고려했을 경우, 비접지 방식은 중성점과 대지간의 절연만 잘 확보되어 있다면, 외함 접지가 되어있지 않다고 해도 고장전류가 작고 접촉전압도 낮아서, 전격위험이 거의 없다고 할 수 있다.

6. 결 론

참고문헌

앞에서 건설현장에서의 독립전원설비(이동형 발전기 등) 사용에 관련된 감전위험과 이를 방지하기 위한 국내외 기준들에 대하여 비교 검토하고, 접지의 여러 형태별로 WCS를 고려한 감전위험 모델을 제시하였고, 여기에서 우리나라 건설현장에서 감전재해를 예방하기 위하여 도출된 결과는 다음과 같다.

1) 사용전압의 저감 : 건설현장에서는 전기위험을 증대시키는 여러 요인이 상존해 있으므로, 그 위험을 고려하여야 하며, 만약의 경우 절연열화나 노출 충전부에 접촉한다 하더라도 그 위험을 줄일 수 있도록 가급적 사용전압을 낮추되, 인체에 인가되는 위험전압(대지전압)을 낮출 수 있는 결선(Y결선-중성점 접지)을 사용토록 한다.

2) 안전장치(방호장치) 시설 : 전기사고시 인체의 위험을 줄이기 위하여 가급적 빠른 시간 내에 고장 선로를 차단할 수 있는 과전류 차단기, 누전차단기 및 고장 전류를 흘릴 수 있는 접지를 실시하고 전기 사용기기는 2중절연 또는 강화절연기기를 사용한다.

3) 비접지 방식 채용 : 고저항을 대지에서 규정된 접지저항값을 얻는다는 것이 현실적으로 불가능하므로, 이와 같은 경우에는 비접지 방식으로 하되 발전기 외함과 기기 외함을 상호 본딩시켜 만약의 사고시 그 위험을 줄이도록 하고, 발전기의 절연과피 등의 사고를 감지할 수 있는 절연감시장치(시각 및 청각 경보, 누전경보장치)를 부착한다. 다만, 이 경우는 110/220V로 5kVA 이하의 소형 발전기로 제한하고 이 선로는 전기 전문가가 지속적으로 관리하도록 하여야 할 것이다.

4) 관련 규정의 제정 : 산업현장에서만 매년 100명 이상의 감전사망자가 발생되고 있는 바, 이 감전재해를 근본적으로 줄이고 전기설비를 효율적으로 관리하기 위해서는 본 연구결과를 바탕으로 한 관련 규정의 제정이 시급하다.

- 1) IEC 60364-4-41(Electrical installation of buildings, Protection for safety, Protection against electric shock.
- 2) IEEE Std. 142-1991, "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," 1991.
- 3) IEEE Std. 242-1975, "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," 1975.
- 4) Dr. Luke Yu, Roy T. Beck, "Evaluation of Electric Hazards in AC Low Voltage Systems," IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference, 1988, Record of Conference Papers, Industrial Applications Society 35th Annual, pp. 213~218, 1988.
- 5) J. P. Nelson, P. K. Sen, "High-Resistance Grounding of Low-Voltage Systems: A Standard for the Petroleum and Chemical Industry," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, Issue 4, pp. 941~948, July-Aug., 1999.
- 6) W. F. Robertson, J. C. Das, "NEC Requirements of Isolated Safety Ground for Medium Voltage Mobile or Portable Equipment in Industrial Environment," Pulp and Paper, 1999. IEEE Industry Technical Conference Record of 1999 Annual, pp. 216~223, 1999.
- 7) F. P. Dawalibi, R. D. Southey, R. S. Baishiki, "Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting from Electric Shocks," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, Issue 2, pp. 613~626, April, 1990.
- 8) J. H. Kim, B. H. Kim, B. H. Ryu, C. H. Nam, P. S. Ji, "Earth Resistivity Estimation Using ANN," ICEE '98 Proceeding Vol. 1, pp. 469~472, 1998.
- 9) American National Standards Institute, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding," ANSI/IEEE Std 80-1986, July 26, Grounding, IEEE, pp. 35~42, 1986.
- 10) G. F. Tagg, B. Sc., Ph.D., M. I. E. E., F. Inst. P., "Earth Resistances," pp. 196~198, 1964.