

# 低電壓에서의 感電保護에 관한 研究

## A Study on the Protection of Electric Shock in Low Voltage

이 재 인\*  
Jai In Lee

### ABSTRACT

Recently, due to the increase of 220V distribution lines and equipments preventive measures to cope with several kinds of electric accidents is revealed as an urgent problem.

This study investigates the following matters; the cause and present condition of electric shock accident, the influence of electric shock on human body, the safety limit of electric shock, the method of distribution voltage, the insulation of electrical load apparatus, the technics of electric shock prevention and foreign materials concerned with this subject etc.

This paper present the fundamental cause of electric shock and synthetic preventive counter measure of electric shock, too.

### I. 서 론

전기는 오늘날 문명사회의 기본 에너지로서 여러 방면에서 이용되고 있으며 전기의 이용 없이는 우리들의 문화생활과 산업활동은 있을 수 없다. 이와같이 없어서는 안될 전기에너지도 한편으로는 매우 큰 위험성을 내포하고 있다. 그것은 전류가 인체를 흐름에 따라 발생하는 전격현상이며, 이러한 경우, 중대한 감전재해가 발생한다.

우리나라에서는 감전에 의한 사망자수가 매년 감소되는 경향에 있다. 이는 전기설비에 서 절연재료의 향상, 구조, 시공상의 개선 및 보호장치의 보급등 기술상의 이유를 들 수 있다. 이것은 오로지 전기를 안전하게 사용하기 위한 기술이 현저하게 진보된 것이며, 전기 그 자체의 위험성이 소멸된 것은 아니다.

따라서 앞으로도 전기를 안전하게 사용하려면 전기의 위험성에 대한 바른 지식을 충분히 습득하도록 노력하여야 될 것이다.

그러므로 본 연구에서는 전기설비의 안전대책중 저압배전에 의한 감전사고를 중심으로 누전의 인체영향 및 감전기구, 전기사고 현황 및 저압배전방식에 따른 감전예방에 관한 기술기준 및 표준규격, 운용상의 제반 기술적사항을 외국의 관련자료와 더불어 검토하여 종합적인 감전예방안을 연구하는 데 있다.

### II. 감전현상

#### 2-1 감전이란

감전은 전류가 인체에 흐르는 것을 말하며, 이때 생리적인 현상은 충격을 받게 되므로 전격이라고도 하며 근육의 수축 또는 심실세동 현상이 나타나는데 그 원인순은 전류의 크기,

\*정회원 : 한양대학교 전기공학과

통전경로 및 통전시간, 전류의 종류 및 주파수 등에 따라 크게 변한다.<sup>1)</sup>

본 논문에서는 심실세동현상을 증점적으로 연구하였다.

2-1-1 심실세동 현상

심실세동 현상은 주로 전류의 크기와 인체의 어느부분을 전류가 관통하였느냐하는 통전경로 및 통전시간과도 밀접한 관계가 있다.

(1) 통전시간이 심장의 맥동주기(인간의 경우 0.75(s))보다 길어지면 심실세동을 발생시키는 전류치가 급격하게 저하하는 경향을 보인다.

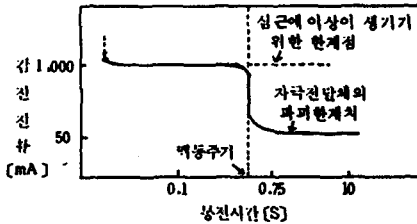


그림 1. 인간의 심실세동 발생한계

그림 1에서 통전시간이 1[s]이내인 때도 1[A]정도에서 심실세동을 발생시키지만 1[S]를 초과하면 50[mA] 즉 1/20 이하로 급격히 저하되고 있다. 이 사실은 통전시간이 맥동주기보다 짧을 때는 수 100[mA]의 전류에서도 인명이 구조되지만 맥동주기를 넘어버리면 50[mA]이하의 작은 전류에서도 치명적인 재해가 발생한다.

(2) 위험도는 통과한 전류와 시간에 관계되며 다음 식과 같다.

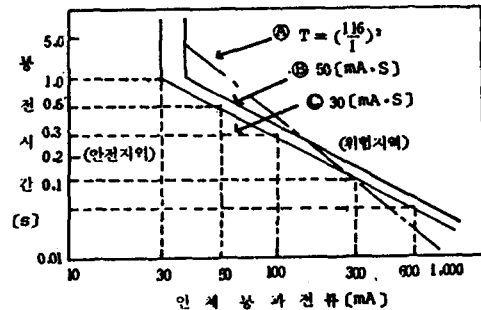


그림 2. 심실세동전류와 통전시간한계

④ 직선은 다르지일이 평균체중 50(kg)인 남자에 적용한 식으로 제안한 것이다.

$$I^2 \cdot T = 116^2$$

$$\therefore I = \frac{116}{\sqrt{T}} \text{ (mA)}$$

이 식의 적용범위는 0.008 ~ 5[S]의 범위이고 0.1[S]에서 367[mA], 1[S]에서 116[mA], 5[S]에서 52[mA] 이상이 위험한 전류가 된다. 5[S]이상 연속통전은 미확인되었다.

⑤ 곡선은 케펜이 감전전류의 안전한계로서 전류×시간을 50[mA·S]로서 제안한 것이다.

$$I \cdot T = 50 \text{ (mA·S)}$$

가령 100 [mA·S]의 전류가 인체에 흐른 경우 위식으로 부터 T=0.5 [S]가 되므로 0.5 [S]미만 즉 0.4[S]에서 차단하면 인명은 구조되고 1 [S]에서 차단하면 인명이 구조되지 못한다는 것이다.

또 케펜곡선에서 인체통전 전류가 50[mA] 이하에서는 시간에 관계없이 안전하다고 볼 수 있지만 50[mA]가 연속통전되었을 경우의 영향에 대해서는 미지수이다. 위의 사항을 기초로 하여 ⑥곡선에 1.67의 안전율을 감안하여 그린것이 ⑦곡선이며 전류×시간은 30 [mA·S]이다.

$$I \times T = 30 \text{ (mA·S)}$$

2-2 감전재해의 현황

2-2-1 전압별 감전재해

전압별 감전사고는 고압배전 선로에서 77.6 [%], 저압에서 17.0 [%], 송전전압에서 5.4 [%]로 발생하고 있는 경향이다.

그중 본논문의 연구대상인 저압에서 살펴보면, 100[V]와 200[V] 수용호수비가 1:1.1인데 비하여 220[V]급에서 감전의 빈도는 4.8 배에 이르고 있어 220[V]에 대한 안전대책이 증점적으로 강구되어야 한다.

한편 고압 및 특별고전압에서는 사망자에 비하여 부상자가 3배정도 많으나 저압에서는 오히려 사망자가 부상자의 6배정도 많은 것은 부상자의 사고발생 이후 관리가 소홀한 점이 있으며 저압측에서는 인공호흡이나 구급법을 잘 활용하면 상당한 인명을 구할 수 있을 것이다.

### III. 감전보호

감전보호는 감전시 인체에 흐르는 전류가 안전한계 이내가 되도록하거나 또는 인체가 전선로에 접촉하더라도 감전전류가 흐르지 않도록 하는 것에 귀착되므로 절연과 접지 또는 지락보호가 감전보호의 주류가 된다.

#### 3-1 저압배전방식

송배전은 발전소에서 발생한 전력을 수용가의 부하기에 공급함에 있어서 다양한 전격전압을 허용전압 변동내로 유지하면서 송배전 손실감소, 선로사고 범위축소를 포함한 공급신뢰성과 더불어 수용가의 전기안전등의 측면에서 가장 경제성이 있는 송배전방식을 연구개발 채택하여年平均 10[%] 내외의 증가하고 있는 전력수요에 대해 관련한 배전설비에 관한 최근의 동향을 살펴보면 다음과 같다.

#### 3-1-1 우리나라 및 외국의 저압방식

주요 외국의 저압배전방식은 다음 표와 같다. 표에서 보는바와 같이  $\Delta-Y$  3상4선식이 많이 채용되고 있으며, 주상변압기를 경계로 하여 2차 전압 배전선로가 1차고압 배전선로와 전기적으로 분리되어 있어 누전보호에서 볼때 1종 절연변압기방식에 속한다.

우리나라에서 송전계통전압은 345[KV], 154[KV], 66[KV] 급이며 1차배전전압은 22.9 [KV-Y], 11.4[KV-Y], 66[KV] 및 일부는 3.3 [KV]이고 2차배전 전압은 단상 3선식 100/200[V], 3상 4선식 220/380[V]로서 22.9

[KV]에서는 다중접지계통으로 1차와 2차가 전기적으로 분리되지 않는다.

#### 3-1-2 세계각국의 배전전압

세계 각국의 배전전압의 실태는 표 1과 같다. 표에서 보면 단상 배전전압으로는 200 [V]급(220[V], 230[V], 240[V])이 100[V]급(100 [V], 110[V], 150[V], 120[V], 127[V])보다 많이 채용되고 있음을 알 수 있으며, 특히 Africa에서는 몇개국이 모두 220[V] 급임을 주목할만 하다.

#### 3-2 지락보호

##### 3-2-1 접지에 의한 보호방식

전기기에 비충전부 접지를 하면 감전을 방지할 수 있는 것으로 알려져 있으나 이것만으로는 안전하지 못하다. 그림 3과 같은 저압회로에서 전기기기의 A점에서 완전지락이 발생하였을 경우 전원 변압기의 1선에는 제 2종 접지공사가 되어있다. 이것은 저압회로에서 지락이나 혼촉으로 인하여 저압의 부하측에 고압이 인가되어 재해가 발생하게 된다.

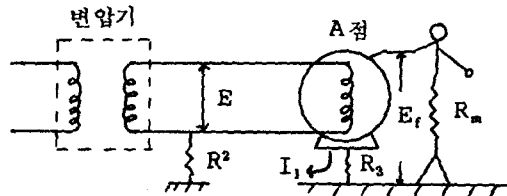


그림 3. 고장전류회로

이 경우 재해를 방지하기 위하여 제 2종 접지공사( $R_2$ )를 시공하여 두면 이상시 저압전로의 대지전위 상승을 150[V] 이하로 억제할 수 있어 보안을 확보할 수 있게된다.

고장이 발생하지 않았을 경우 비접지선의 대지전압은  $E_f$ 가 되며 인체가 전기기에 접촉되어도 인체는 대지와 같은 전위를 유지하며 전위차가 없기 때문에 감전되지않으나 2가닥의 전선을 잡아 인체가 선간단락 상태가 되거나 비접지선을 잡거나 고장으로 인하여

누전되고 있는 경우는 전기기기 일부에 접촉하여도 대지전압에 의하여 감전되는 경우가 있다.

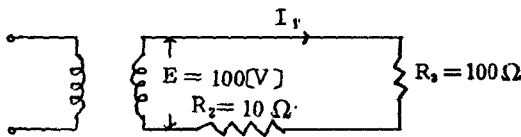
a) 전기기기의 외함에 인체가 접촉되지 않은 경우 : 이 경우 그림 3의 회로는 그림 4 a의 등가회로가 되므로 지락전류  $I_1$  은

$$I_1 = \frac{E}{R_2 + R_3} = \frac{100}{10 + 100} = 0.909[A]$$

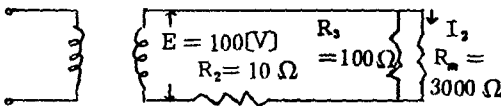
여기서  $R_2 = 10[\Omega]$ ,  $R_3 = 100[\Omega]$ ,  $E = 100[V]$ ,  $R_m = 3,000[\Omega]$  으로 본다, 따라서  $E_f$  는

$$E_f = R_3 I_1 = 100 \times 0.909 = 90.9[V]$$

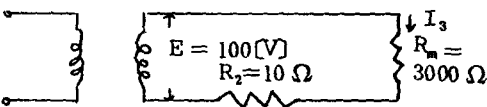
즉 대지전압은 90.9[V]가 되며 인체가 여기에 접촉되면 감전된다.



(a) 인체가 접촉되지 않는 경우



(b) 인체가 접촉된 경우



(c) 접지선이 단선된 경우  
그림 4. 등가회로

b) 전기기기의 외함에 인체가 접촉된 경우 : 이 경우 그림 3의 등가회로는 그림 4 b와 같이 되며 인체에 흐르는 감전전류  $I_2$  는

$$I_2 = \frac{E}{R_2 + \frac{R_2 R_m}{R_3 + R_m}} \times \frac{R_3}{R_3 + R_m} = 30.2[mA]$$

인체에 흐르는 전류 즉 감전전류는 30.2 [mA]가 된다. 이상에서 전기기기의 외함에

100[Ω]의 3중접지공사를 하였어도 전기기기가 누전된 경우 a에서 접촉전압이 90.9[V]이고, b에서 감전전류는 30.2[mA]로 위험한 상태에 있다. b,c를 비교할 때 2.1[mA]라는 약간의 차이만 있으므로 접지공사의 효과가 미미하다. 이 사실은 b의  $I_2$  식을 정리하면

$$I_2 = \frac{E \cdot R_3}{R_2 R_3 + R_2 R_m + R_3 R_m} = \frac{E}{R_m \left(1 + \frac{R_2}{R_3} + \frac{R_2}{R_m}\right)}$$

$R_2$  는 1 ~ 10 [Ω],  $R_m$  은 2,000 ~ 3,000 [Ω]이므로

$$I_2 = \frac{E}{R_m \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)}$$

가 되며,  $I_2$  를 작게 하기 위해서 E와  $R_m$  이 일정한 경우  $\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$  를 크게 하여야 된다. 따라서  $R_2$  를 크게 하여야 되며, 한편  $R_3$  는 전술한 목적보다 작을수록 좋으므로  $R_2$  와  $R_3$  의 선정은 다목적용 고려하여 선정하여야 된다.

### 3-2-2 누전차단기에 의한 보호방식

저압전로에 지락이 발생했을 때 지락전류를 검출하여 자동차단하기 위한 설비이며 검출방법과 동작시간으로 구분하면 전류동작형, 전압동작형 및 고속형, 보통형, 지연형이 있으며, 이 가운데 감전방지를 목적으로 하며 제 1종, 제 2종 접촉상태를 발생하는 장소 및 주택에 시설하는 것은 위험도가 높기 때문에 고속형을 사용한다.

운전중 부하기기에 지락사고가 발생하면 누전차단기에 영상변류기가 이상상태를 검출하여 전원을 차단하게 된다. 이때 전기기기에 인체가 접촉하면 접촉전압  $E_f$  는

$$E_f = R_2 I_f$$

저전압에서의 감전보호에 관한 연구

표 3. 세계각국의 사용전압

국명	주파수	전압	국명	주파수	전압	국명	주파수	전압
Austria	50	220/380	Belgium	50	127/220	Denmark	50	220/380
West germany	50	220/380	France	50	127/220	Iceland	50	220
Ireland	50	220/380	Italy	50	220/380	Luxembourg	50	220/380
Malta	50	240/415	Netherlands	50	220/380	Norway	50	230
Portugal	50	230/380	Spain	50	127/220	Sweden	50	220/380
Switzerland	50	220/380	British	50	230/400	Greece	50	127/220
Greenland	50	220/380	Algeria	50	127/220	Angola	50	220/380
Cameroon	50	220/380	Chad	50	20/380	Congo	50	220/380
Jahomey	50	220/380	Ethiopia	50	220/380	Gabon	50	220/380
Gambia	50	230/400	Ghana	50	220/400	Guinea	50	220/380
Ivory coast	50	220/380	Kenya	50	240/415	Liberia	50	220/380
Libya	50	127/220	Malagasy	50	220/380	Malawi	50	220/250
Mali	50	250/380	Mauritius	50	230/440	Morocco	50	115/220
Mozambique	50	220/380	Niger	50	220/380	Nigeria	50	220/400
Rhodesia	50	220/380	Rwanda	50	220/380	Senegal	50	127/220
Sierra leone	50	230/400	Somalia	50	220/440	South africa	50	220/380
S.W.Africa	50	220/380	Suden	50	240/415	Swaziland	50	230
Tanzania	50	230/400	Togo	50	127/220	Tunisia	50	220/380
Uganda	50	240/415	U.A.Republic	50	110/220	Upper Volta	50	220/380
Argentina	50	220/380	Bolivia	50	230/440	Erazil	50/60	127/220
E.Hooduras	60	110/220	Chile	50	220/380	Colombia	60	110/220
Costa Rica	60	120/240	Ecuador	60	127/220	El Salvador	60	110/220
Guatemala	60	120/240	Honduras	60	110/220	Mexico	60	120/208
Nicaragua	60	120/240	Panama	60	110/220	Paraguay	60	220/440
Peru	60	220/380	Surinam	50/60	127/220	Uruguay	50	220
Venezuela	60	120/208	Bahamas	60	115/200	Barados	50	120/208
Bermuda	60	120/208	Guadaloupe	50	127/220	Guyana	60	110/220
Haita	60	115/230	Jamaica	50	110/220	Martinique	50	220/380
P.R.Tobago	60	230/400	Virgin ist.	60	120/208	Aden	50	230/400
Bahrain	50	230/400	Cyprus	50	240/415	Dubay	50	220/380
Iran	50	220/380	Irag	50	220/380	Israel	50	230/400
Jor dan	50	220/380	Lebananon	50	110/190	Saudi Arabia	50	120/208
Syria	50	115/200	Turkey	50	220/380	Afghanistan	50	220/380
Burma	50	230/440	Cambodia	50	120/208	Ceylon	50	230/400
Honk Kong	50	200/346	India	50	230/400	Japan	50/60	100/200
Korea	60	100/200	Laos	50	127/220	Malaysia	50	240/415
Pakistan	50	230/400	Pakistan	50	230/400	Singapore	50	230/415
Thailand	50	220/380	Vietnam	50	127/220	A.Samoa	60	120/208
Australia	50	240/415	Fijiislands	50	240/415	Guam	60	120/208
Indonesia	50	110/190	Nauru Island	50	240	New Zealand	50	230/400
Papua	50	240/415	Philippines	60	120/208	China	60	110/220
Sarawak	50	230/400	Bulgaria	50	220/380	Finland	50	220/380
Hungary	50	220/380	Poland	50	220/380	Romunia	50	220/380
Ussr	50	127/220	Yugoslavia	50	220/380			



여기서  $I_f$ 는 지락전류,  $R_E$ 는 부하기기의 접지저항이다. 인체에 허용 접촉전압 25.50 [V]를 이용하여 누전차단기의 검출감도전류 및 기기의 접지저항은 다음과 같이 된다.

표 2 기기의 접지저항

누전차단기의 검출감도전류	접 촉 전 압	
	25 [V]	50 [V]
30 [mA]	833 [Ω]	1,667 [Ω]
200 [mA]	125 [Ω]	250 [Ω]
500 [mA]	50 [Ω]	100 [Ω]

3-2-3 지락 보호방식의 비교

1) 접지방식

그림 3의 감전회로에서 허용안전 접촉전압  $V_0$ 와 전원의 대지전압  $E$  및 접지저항  $R_0$ 와  $R_2$ 의 관계는

$$R_0 \leq \frac{V_0}{E-V_0} R_2$$

위의 식에서  $E=220[V]$ 라 하고 안전접촉 전압을 50[V]로 봄으로

$$R_0 = \frac{5}{17} R_2$$

가 된다.

이와같이 보호접지방식은 극히 간단한 이점은 있으나 작은 접지저항을 요구하게 된다.

2) 누전차단 방식

이 방식은 감전보호만이 아니라 누전으로 인한 화재도 방지되며 고감도, 고속형 누전차단기를 사용하면 직접접촉되는 경우도 보호가 된다.

반면에 전류감도가 너무 예민하면 정상상태의 누전전류에서도 오동작되는 점과 고저압 혼촉 또는 지락사고등과 같은 이상상태로 인하여 옥내전로의 대지전압이 상승하게 되며, 이 때 인체가 접촉되면 누전차단기가 고속차

단되어도 차단시간 동안 고전압 접촉에 의한 위험 즉 단시간 허용접촉전압의 초과로 감전 안전을 보장할 수 없는 경우가 있다.

IV. 결 론

우리나라의 감전사고의 현황, 감전의 인체영향, 감전의 안전한계, 배전전압을 포함한 배전 방식과 지락보호 및 감전보호기준을 조사연구한 결과 감전사고는

① mA 라는 작은 전류로 커다란 위험이 따른다.

② 인체의 통전부위에 따라 치명적인 재해가 발생된다.

③ 원인별로 보면 재해자 자신의 과실에 의한 감전사고가 전체의 84.4[%], 전기공작물의 불량으로 인한 것이 11.2[%], 제 3자의 과실에 의한 재해가 4.4[%]로 나타났다.

방지대책으로는 다음과 같은 것을 들 수가 있다.

- ① 누전차단기의 설치 의무화
- ② 누전차단기의 점검 주기 및 유효수명을 합리적으로 결정
- ③ 감전사고 분석의 고정성을 마련
- ④ 고압사고를 분석하여 절연도의 향상
- ⑤ 자가용 전기공작물의 사용승인후 정기점검 철저
- ⑥ 전기공작물을 설치, 보수하는 기능자를 규제
- ⑦ 전문인은 작업의 목적, 내용, 절차 및 상호 협조등을 숙지
- ⑧ 정확한 보호장치의 선택등을 들 수가 있다.

참 고 문 헌

1. C.F. Dalziel "Electric Shock hazard" IEEE, Spectrum, p. 41 ~ 50, Feb. 1972

2. IEC, Technical Committee No.64  
"Effects of current passing  
through the human body", pub  
471~1, 1984
3. L.A Geds and L.E. Baker, "Respan-  
se passage of electric current  
through the body" J.Assoc,  
Advancement of medical instr.,  
vol.2, p.13~18, Feb, 1971.