

저압계통에서의 감전사고 및 방지대책

劉 錫 九
(漢陽大 工大 教授)

차 례

1. 서 론
2. 감전의 현상과 위험요인
3. 감전전류의 안전한계
4. 인체를 통과하는 전류의 영향
5. 인체의 전기저항
 - 5.1 인체 내부 저항
 - 5.2 피부저항
 - 5.3 인체의 전기저항
6. 감전사고의 분류 및 방지대책
7. 지락검출과 지락보호
 - 7.1 보호접지방식
 - 7.2 누전차단방식
8. 지락보호와 보호협조
9. 결론
참고문헌

1. 서 론

전기는 오늘날 문명사회의 기초에너지로서 여러방면에서 이용되고 있으며 전기의 이용없이는 우리들의 문화생활과 산업활동은 있을 수 없다. 이와같이 없어서는 안될 전기도 한편으로는 매우 큰 위험성을 내포하고 있다. 그것은 전기가 인체에 흐름에 따라 발생하는 감전이라는 현상이며, 이러한 경우 어떤 때에는 중대한 감전재해가 발생하기도 한다. 감전재해는 전기가 갖는 위험성을 모른다거나, 혹은 위험성에 대한 인식이 부족함으로 일어나는 경우가 대부분이다. 그러므로, 전기가 갖는 위험성을 정확히 인식하고, 감전재해를 일으키지 않으며 전기를 이용하기 위해서 안전수칙, 접지공사등 여러가지의 대처방안을 이룩하여 안전을 도모하여야 한다.

여기서는, 먼저 감전에 대한 인체의 생리학적 반응을 기술한 후 전기설비주위에서 발생하기 쉬운 감전사고를 방지하기 위한 대처방안으로서 지락보호에 대해 해설하고자 한다.

지락보호에는 그 계통의 접지방식에 따라 보호 접지방식, 과전류차단방식, 누전경보방식, 절연 변압기방식, 누전차단방식등이 있으며, 이들은 각각 나름대로의 특징이 있으나 주로 누전차단방식이 다른 것에 비해 적절하며, 세계적으로도 지락보호대책으로 보안효과를 높일 수 있는 누전차단기를 채용하고 있는 실정에 있다.

2. 감전의 현상과 위험요인

인체가 감전될 경우 그 현상은 단순한 shock 정도의 것으로부터 근육의 강직, 질식, 心室細動 등에 의한 사망, 혹은 실신, 출혈등 여러가지 증상을 일으키게 된다. 이러한 현상은 인체에 흐르는 전류에 의해 발생하는 것이며, 인체에 전압이 가해져도 전류가 흐르지 않으면 이러한 현상은 일어나지 않는다. 따라서, 감전의 위험요인으로서는 다음과 같은 인체에 흐르는 전류(通電電流)로서 결정된다.

- ※ 통전전류의 크기
- ※ 통전경로
- ※ 통전전류의 종류(AC, DC, 주파수)
- ※ 통전시간
- ※ 전격(감전)인가위상(心周期의 어느 위상에서 전격을 받았는가)
- ※ 통전전류의 파형

여기서 통전전류의 크기는 인체에 관한 접촉전압과 그 사이에 인체저항에 따라 결정되므로 그 접촉전압과 인체저항도 감전의 현상을 결정하는 2차적인 원인이 된다고 하겠다.

3. 감전전류의 안전한계

인체의 심장은 주기가 약 0.7초인 전기신호를 자신에서 발생시키며 심장의 이완과 수축을 규칙적으로 하여 혈액을 체내에 순환시키고 있다. 그런데 어떤 큰 전류가 외부로부터 체내에 흘러들어오면 심장으로부터 발생하는 신호가 산란되어 정상적인 pump 작용을 할 수 없게 되는 소위 감전상태가 되는 것이다. 즉, 심근의 제어 신호가 산란되어 심장의 규칙적인 동작이 이루어지지 못하고 진동해 버리는데 이 진동을 心室細動이라고 하며, 이 결과로 심장의 pump 작용이 비정상적으로 되어 체내의 혈액공급이 중단된다. 일반적으로 감전에 의한 사망은 이 心室細動이 주요 원인으로 알려지고 있다.

감전으로 인하여 외부로부터 체내에 흘러 들어오는 전류의 값이 작으면 단순히 전류가 통했다는 것을 느끼는 순간이 있는데, 이 느낌의 최소전류치를 感知電流라고 한다. 이 전류는 인체에 유입한 곳(접촉부위), 면적 및, 전류의 종류에 따라 차이가 있는 한편 동일조건 하에서도 개인에 따라 다소 차이가 있으며, 연구결과 60Hz 정현파 교류에서 남자가 평균 1.086mA, 최소 0.5mA이며, 직류에서 평균 5.2mA, 최소 2mA로 나타나 있다. 또한, 感知電流보다 더욱 큰 전류가 인체에 들어오면 통전경로에서 근육의 경련, 신경의 마비 및 운동이 부자유스럽게 되며 자기의 힘으로 이 상태를 피할 수가 없게 되는데, 이렇게 되면 타인의 도움없이 전원으

로부터 이탈하지 못하며 긴시간 동안 고통상태에서 의식을 잃거나 호흡곤란으로 질식사하는 경우도 있다. 따라서 운동의 자유를 잃고 자력으로 접촉한 전원에서 이탈할 수 있는 최대한도의 전류치를 離脫電流라고 하며, IEC(국제전기표준회의)의 보고에 의하면 10mA를 채용하고 있다. 그런데, 전류가 보다 더 크게 되어 심장부에 흐르는 전류가 증가하면 전기신호가 산란되고, 心室細動이 일어나 혈액을 공급할 수 없어 사망에 이르게 된다. (그림 1 참조) 이 心室이 細動하기 시작하는 전류를 心室細動電流라고 하며, 또 心室細動이 한번 발생하면 비록 전원으로부터 벗어났어도 자연적으로 심장이 정상화되지 않고 수분내에 사망하게 된다. 따라서 이 心室細動電流는 매우 중요하나 인간의 생체계측이 불가능하므로 여러동물들의 실험을 통하여 인간의 경우를 추정하는데 이것은 2절에서 언급한 통전시간, 경로, 전격인가위상등에 따라 차이가 있다.

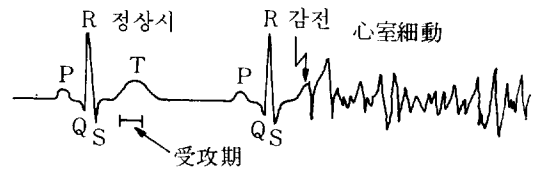


그림 1. 心電圖에 의한 심장의 움직임

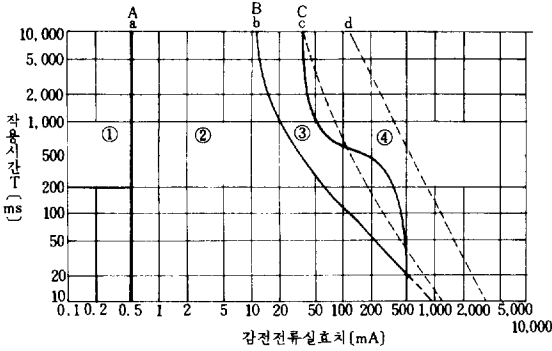
4. 인체를 통과하는 전류의 영향

1984년 IEC의 보고서에 의하면 50, 60Hz의 통전전류에서 인체가 나타내는 반응의 전류-시간영역을 나타내면 그림 2와 같으며, 이 그림에서 직선과 곡선으로 구분된 4개의 영역에서 인체의 생리학적 반응을 열거하면 다음과 같다.

- 영역 ① : 반응 없음
- 영역 ② : 해로운 생리학적 영향 없음
- 영역 ③ : 기관조직의 손상은 예상되지 않으나, 근육수축, 호흡곤란, 순간적 심장박동의 정지를 포함한다. 心室細

動的 위험은 없음.

영역 ④ : 心室細動이 있음. 심장박동의 정지, 호흡정지, 중화상등의 病生理學的인 반응이 있음.



<참고>

독일의 Kœppen과 미국의 Dalziel은 a,b,c,d로 구분하여 5개의 영역으로 나누었으나 IEC의 TC-64 (건축전기설비 전문위원회)는 A, B, C로 구분하여 ①, ②, ③, ④의 4개 영역으로 구분하도록 개정하였다.

그림 2. 감전전류의 안전한계

5. 인체의 전기저항

감전의 위험도는 주로 인체에 흐르는 크기와 시간에 따라 결정된다는 것은 이미 기술한 바이지만 그 전류의 크기는 인체에 가해진 전압(접촉전압)과 인체의 전기저항에 따라 결정된다. 인체의 전기저항은 통전경로, 피부의 습한 정도, 전극의 접촉면적, 접촉압력 및 습도등에 따라 변화하는 것 이외에 접촉전압과 통전시간에 따라라도 변화하므로 인체에 흐르는 전류와

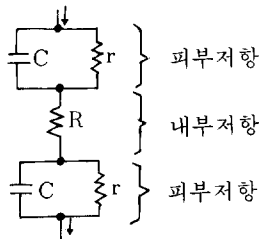


그림 3. 인체의 전기적 등가회로

접촉전압 사이에는 ohm의 법칙이 직선적으로 성립하지 않는다. 따라서, 특히 접촉전압에 대한 인체의 전기저항치는 중요하다고 하겠다.

통전경로가 손에서 발로 통한 경우를 생각하면 전류는 손의 피부저항→인체내부의 저항→발의 피부저항을 거쳐 흐르게 된다. 즉, 인체의 전기저항은 인체내부의 저항이 피부의 저항으로 쌓여져 있는 형태가 되는데 그 전기적인 등가회로를 나타내면 그림 3과 같다.

5.1 인체내부저항

인체내부의 저항은 내부조직, 혈액, 뼈 등으로부터 구성되며 전기적 등가회로에서는 거의 저항성분으로 표현된다. 실제로 내부저항은 접촉전압에 대해 거의 변화가 없으며 500~1,000Ω으로 되어 있다.

5.2 피부저항

피부저항은 반절연성층과 작은도전성조직(氣孔)으로 되어 있으므로 전기적 등가회로에서는 저항성분과 용량성분의 병렬회로로 생각할 수 있다. 피부의 저항은 피부의 습한 정도, 습도 이외에 이미 언급한 접촉전압, 통전시간등에 따라 변화한다. 일반적으로 습한 경우의 피부저항은 건조한 경우의 1/10이하이며, 접촉전압이 높게 되면 피부저항은 감소하고, 더욱 높으면 피부가 파괴되어 그 저항은 무시할 수 있다고 하겠다.

5.3 인체의 전기저항

인체의 전기저항은 인체내부의 저항과 피부의 저항을 포함시킨 것이 되지만 여기서는 인체에 접촉전압이 발생한 순간에 인체에 흐르는 전류

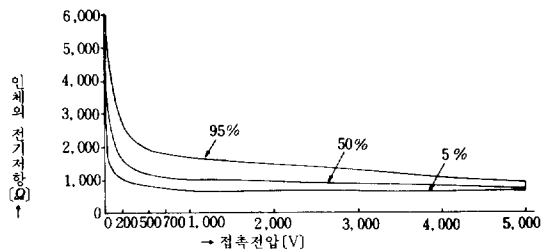


그림 4. 접촉전압에 대한 인체의 전기저항

의 최대치로 결정되는 저항(초기저항이라고 함)과, 통전전류가 계속하여 흐른 경우의 실효치로 결정되는 저항(인체의 전저항, 일반적으로 인체의 전기저항이라고 하면 이것을 가리킴)이 있다.

접촉전압이 발생한 순간은 피부의 저항을 무시할 수 있으며, 인체의 초기저항은 인체내부의 저항과 거의 같다고 할 수 있다. 또, 인체의 전저항에 대해서는 최근 발표된 IEC의 보고서로부터 5,000V이하의 접촉전압에 대해서는 그림 4와 같이 주어지고 있다. 이것은 건조상태일 때의 손→손, 또는 손→발로 50, 60Hz의 교류가 흐른 경우의 값이다.

6. 감전사고의 분류 및 방지대책

감전사고를 크게 나누어 보면 직접접촉사고와 간접접촉사고가 있다. 직접접촉사고란 전기기기에 전류가 흘러 들어오는 충전부분에 직접 접촉되어 감전되는 사고이다. 이에 반해 간접접촉사고란 전기기기의 절연이 저하하여 내부의 충전부분으로부터 외부의 비충전 금속부분에 전기가 누설되고 있는 상태일 때 접촉하여 감전되는 사고이다. 간접접촉사고는 전기기기가 정상적이라면 일어나지 않고 기기의 절연저하라는 고장이 생기어 일어나는 것이다. 최근의 감전사망통계를 보면 이 간접접촉에 의한 사고가 눈에 띄게 많아 졌다.

감전을 방지하기 위한 대책의 하나로서는 기기의 이중절연화가 있으며, 지락보호가 필요하게 된 것은 전기기기의 절연이 열화하여 지락이 생기기 때문이다. 전기기기 자체의 절연을 강화하여 지락이 쉽게 발생하지 않도록 하면 지락보호가 필요없다. 이와 같이, 전기기기의 측면에서 지락사고의 방지대책을 강구해 나가는 방법도 있으며, 그 대표적인 것이 이중절연기기의 개발이고 그 이외에 접지공사와 밀접한 관계가 있는 보호접지방식과 누전차단방식등이 있다. 이들에 대하여 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

7. 지락검출과 지락보호

지락사고의 검출은 사고시에 발생하는 영상전압을 검출하는 방법과 영상전류를 검출하는 방법이 있으며, 저압계통에서는 대부분 영상전류 검출방식을 쓰고 있다.

지락사고시 영상전류는 한방향성을 갖고 있으므로 각상의 정상 및 역상분의 합이 영인 것에 반해 영상분의 합은 영이 되지 않으며, 따라서, 변류기(CT), 혹은 영상변류기(ZCT)를 사용함으로써 영상전류가 검출된다. 영상전류 검출방식의 각종 예를 나타내면 그림 5와 같으며, 저압계통에서는 CT 및 ZCT가 주로이지만 누전차단기에서는 ZCT를 사용하고 있다.

ZCT는 지락검출에 매우 효율적인 기기이며, 그림 6은 ZCT의 개념도이다. 지금 부하측에 왕복로의 1차도체가 있다고 하자. 부하기기가 정상으로 가동하고 있으면 왕복하는 전류는 ZCT에서 균형되어 있으므로 2차측 코일에는 전압이 나타나지 않는다. 그런데, 부하기기에 이상(예를 들면, 절연열화에 의한 지락)이 발생하면 1차도체의 전류균형이 무너지며, 이 때, ZCT의 2차측에 전압이 발생하며 이 전압을 이용하여 회로의 SW를 Open시키는 것이 ZCT의 간

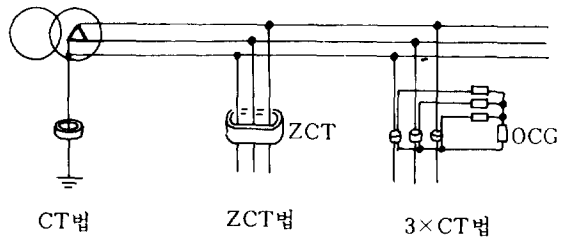


그림 5. 영상전류의 검출방법

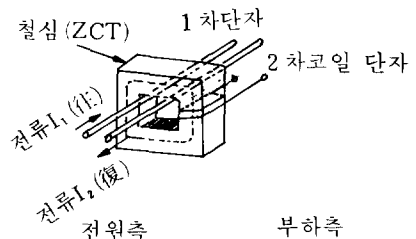


그림 6. ZCT의 개념도

단한 원리이다.

지락검출에서 문제가 되는 것은 검출치(영상 전류 검출방식에서는 전류치)의 설정이며, 저압 전로의 지락보호목적은 감전을 위시하여 누전화재, 전기설비등에 대한 보호이다. 따라서, 누전 차단기나 경보기등 보호장치의 검출치는 위의 보호목적에 따라 결정된다.

일반적으로 보호장치의 검출치는 인체의 감전 보호를 주체로 하여 결정하고 있는데 감전보호가 가능한 정도의 감도로 정해 놓으면 누전화재나 전기설비의 보호는 자동적으로 해결된다. 한편, 지락검출과 접지공사의 관련을 보호접지방식과 누전차단방식의 두가지 예를 들어 기술하면 다음과 같다.

7.1 보호접지방식

전기기기의 금속제 외함, 전선로 및 배선의 금속제 외부등을 접지하여 감전을 보호하는 방법이다. 그림 7은 이 방식에 의한 지락사고의想定圖를 나타낸 것이다. 저압전로의 계통접지저항을 R_2 , 부하기기의 접지저항을 R_E , 지락전류를 I_g 라고 하며, 부하기기에 절연열화등의 고장이 발생하면 지락점으로부터 I_g 가 흘러 이 점에서 고장전압 E_F 가 식 (1)과 같이 발생한다.

$$E_F = I_g \cdot R_E \quad (1)$$

전압전로의 사용전압(대지전압)을 E 라고 하면

$$E = I_g \cdot (R_2 + R_E) \quad (2)$$

가 되며, 식 (1), (2)로 부터 R_E 를 구하면

$$R_E = E_F \cdot R_2 / (E - E_F) \quad (3)$$

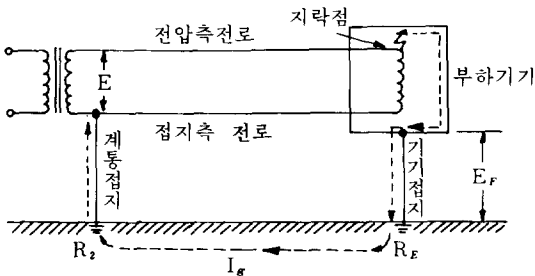


그림 7. 보호접지방식에서의 지락사고 상정도

표 1. 보호접지방식에 의한 기기접지저항치(최대치) (Ω)

	계통접지의 접지저항 (Ω)	접 속 접 압	
		25V	50V
대지전압 (100V)	1	0.33	1.0
	2	0.67	2.0
	3	1.0	3.0
	4	1.0	4.0
	5	1.7	5.0
	6	2.0	6.0
	7	2.3	7.0
	8	2.7	8.0
	9	3.0	9.0
	10	3.3	10.0
대지전압 (200V)	1	0.14	0.33
	2	0.29	0.67
	3	0.43	1.0
	4	0.57	1.3
	5	0.71	1.7
	6	0.86	2.0
	7	1.0	2.3
	8	1.1	2.7
	9	1.3	3.0
	10	1.4	3.3

단, 전로 임피던스는 생략하였음

와 같이 된다. 식 (3)에 의해 대지전압, 계통접지저항, 고장전압, 기기접지저항의 관계를 보면 다음과 같이 된다.

발생하는 고장전압에 인체의 허용접촉전압 25, 50V를 이용하여 보호접지방식에 의한 기기접지의 접지저항(최대치)을 계산하면 표 1과 같다.

이 표로부터, 이 방식에 의해 감전보호를 할 경우에는 매우 낮은 기기접지저항이 필요하여 접지공사가 어렵게 된다. 예를 들면, 대지전압 100V, 계통접지저항이 10Ω 이라고 할 때 허용 접촉전압을 25V로 억제하는데는 기기접지저항을 3.3Ω 이하로 하지 않으면 안된다.

7.2 누전차단방식

누전차단기를 전로 system에 이용하여 감전을 보호하는 방법이 누전차단방식이며, 그림 8은 이 방식에 의한 지락사고의 상정도를 나타낸

8. 지락보호와 보호협조

지락전류치는 계통의 전압과 접지저항등에 의해 수mA에서 과전류에 이르기까지 광범위하게 분포되어 있다. 그 때문에 지락보호장치의 검출감도전류 및 동작시간의 결정은 일반적으로 다음과 같은 관점에서 이루어지고 있다.

(i) 간선용 누전검출장치는 보호구간이 넓고, 정전에 의한 영향이 크므로 불필요한 동작등을 피하기 위해서도 검출감도를 예민하게 하지 않으며, 이 결과 누전화재방지를 주로 하여 정격감도전류를 최대공급전류의 1/1,000 ~ 1/3,000(200~1,000mA), 동작시간을 0.2~2초로 하는 것이 보통이다.

(ii) 분기용 누전검출기는 보호구간이 비교적 좁으므로 검출감도를 예민하게 하며, 이 결과 감전, 누전, 화재방지를 겸용한 것으로 정격전류를 30~200mA, 동작시간을 0.1초로 하는 것이 보통이다.

(iii) 400V 배전에서 변압기 중성점의 지락전류검출은 일반적으로 경보와 차단기로 구별하며, 경보는 1A, 차단은 20~30A, 확인시간은 2초(최대)정도로서 충분한 협조를 도모하고 있다.

표 3은 지락보호장치의 설치장소에 따른 검출장치의 성능을 나타낸 것이다. 이 표의 회로구성이라면 분기및 간선의 지락사고 경우에 지

표 3. 지락보호장치의 회로구성

지락 보호장치의 위치	회로구성의 예		성능
	검출감도	동작시간	
인입구	500mA 또는 1,000 mA	1,000mA	1 초 ~ 2 초
	100mA 또는 200mA	500mA	
간 선	30mA	200mA	0.2초 ~ 0.5초
	30mA	200mA	
분 기	30mA	200mA	0.1초 이하
	30mA	200mA	
기기외함의 접지공사	500Ω이하	100Ω이하	
기기외함의 접촉전압	15V	20V	

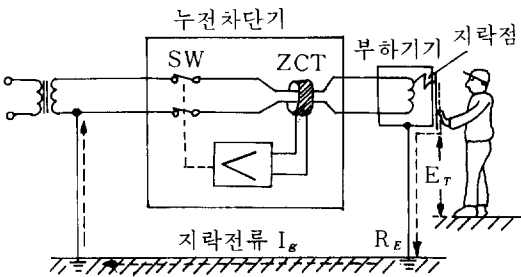


그림 8. 누전차단방식에서의 지락사고 상정도

것이다. 보통상태에서는 전로의 SW가 닫혀있지만 부하기기에서 지락사고가 발생하면 누전차단기는 내장되어있는 영상변류기가 이상상태를 검출하여 SW를 동작시켜서 전원을 차단하게 된다.

이 그림에서 지락전류의 경로를 점선으로 나타내었는데 인체가 부하기기에 접해있을 때에 인가된 접촉전압을 E_T , 지락전류를 I_g , 부하기기의 접지저항을 R_E 라고 하면 접촉전압은 식(4)와 같이 된다.

$$E_T = R_E \cdot I_g \quad (4)$$

이로부터 기기접지저항, 지락전류, 접촉전압의 관계를 보면, 즉, 접촉전압에 인체의 허용접촉전압 25, 50V를 이용하여 지락전류를 누전차단기의 검출감도전류로 바꾸어서 누전차단기를 동작시키기 위해 필요한 기기접지저항(최대치)을 계산하면 표 2와 같이 된다.

이 방식에 따르면 보호접지방식보다도 기기의 접지저항이 완화되어 있음을 알 수 있으며, 이는 접지공사가 용이하다는 의미를 갖고 있다.

표 2. 누전차단기방식에 의한 기기접지저항치 (최대치) [Ω]

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

락발생회로의 차단기만이 동작하고, 상위차단기는 동작하지 않으므로 급전신뢰도가 좋아진다.

9. 결 론

이상 감전에 대한 인체의 생리학적인 현상을 포함하여 감전방지를 위한 보호대책중 특히 지락 보호에 대해 언급하였다.

감전은 주로 인체에 흐르는 전류와 시간에 따라 좌우되지만 感知電流가 1mA, 離脫電流가 10mA로 매우 작으며, 일단 心室細動을 일으키면 전원으로부터 떨어져도 수분 이내에 사망한다는 것, 또 인체의 전기저항은 접촉전압, 통전 시간 및 피부저항에 따라 변화하여 1,000~10,000 Ω 정도라는 것 등이 명확해져 있다.

이러한 감전재해를 막기 위해서는 중요한 대책방안으로서 기기의 이중절연과 보호접지방식이 있으며, 세계적으로 볼 때 지락보호대책에는 보안효과를 일층 제고하기 위하여 누전차단방식을 채용하고 있다.

간혹, 보호장치(누전차단기)가 있으면 접지가 필요치 않다고 오해하는 경우가 적지 않은데 이

것은 접지가 불필요한 것이 아니고 접지저항의 값이 완화된다는 의미이며, 이는 접지공사의 측면에서 볼 때 매우 유리한 것이다.

전기는 눈으로 볼 수 없으며, 특히 이상전류는 어느곳을 통과할지 모른다. 그러므로 이러한 상황에 대처하기 위해서는 각 방면으로부터 안전성을 한층 중요시 하고, 대처방안을 철저히 세워야 하며, 이로부터 중대한 감전재해를 예방함으로써 전기로서의 우리가 원하는 본래의 문명혜택을 누릴 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 田中, 市川 : “電擊危險と危險限界”, 産業安全研究所, PIIS-SD-70-1, 1970.
- 2) IEC, Technical Committee No. 64. “Effects of current passing through the human body”, Pub. 471-1, 1984.
- 3) 山野 : “電擊危險とその影響の發生限界”, 日本靜電氣學會誌, 1985.
- 4) 日本電氣學會 技術報告(II部) : 第116號, 1981.
- 5) 川瀬, 高橋 : “接地工事について”, 電設工業, 1986. 3.
- 6) 長山 : “人間行動と事故・安全”, 電氣評論, 1986. 5.