

# 감전재해예방(上)

이 재 인

한양대학교 전기공학과 교수

## 1. 전기의 위험성

### 1-1 전기의 위험성

전기는 시설의 운용·보수작업에 종사하는 사람 및 전기사용자의 감전에 대한 위험과 전기화재로 인해 재해를 줄 우려가 있다.

따라서 이러한 전기위험의 사고예방을 위한 안전대책으로 전기사업법, 전기공사법, 전기설비기술기준에 관한 규칙, 전기용품 안전관리법, 산업안전보건법 등 여러 법규가 마련되어 있으나 아직도 일반인의 전기안전에 관한 올바른 인식이 부족한 것 같다.

전기의 안전대책은 전기설비나 전기기기의 보호와 함께 인명보호를 우선하여 강구되어야 한다. 전기안전이라는 것은 전기재해를 방지하는 것으로 끝나서는 안된다.

전기안전은 전기를 안전하게 활용하는 것, 즉 전기를 안전하게 공급하고 사용하는 것을 말한다.

그러므로 발전·변전·송전·배전 등 전기를 공급하는 분야에서부터 전기를 수전하여 사용하는 자가용 전기시설 및 일반가정 등의 소비분야

에 이르기까지 모든 분야에서 재해나 고장으로 인한 불안감 없이 안심하고 업무를 수행하고 전기를 충분히 활용할 수 있게 되어야 한다.

전기재해는 일반적으로 다른 재해에 비하여 발생율은 낮으나 일단 재해가 발생하면 사망할 위험이 높으며, 또 다행히 생명은 구출되어도 일생 동안 불구자가 될 가능성이 높다.

우리나라의 감전사고는 자가용수용기까지 포함한 정확한 통계는 없으나 자가용수용기를 제외한 감전재해는 1975년에 135건에서 1977년에는 227건으로 연증가율이 약 34%를 나타내고 있다.

이것은 연간사용량과 비교하여 보면 1977년에 약 228억(KWH)의 전력량을 사용했으므로 약 1억(KWH)당 1건의 감전재해가 발생하였다고 볼 수 있다.

이와 같은 감전재해율은 일본의 통계도 비슷한 값을 보이고 있다.

1987년도의 경우 연간사용전력량이 약 640억(KWH)이므로 위와 같은 비율로 보면 640건의 감전재해가 발생했다는 것을 추측할 수가 있겠다. 앞으로 연간사용전력량은 점점 증가하는 추세에 있으므로 감전재해는 더욱 증가할 것으로

## 안전기술 4

보인다.

우리나라의 전체화재건수는 1980년의 5,438건에서 1987년도에는 10,144건으로 증가하였으며, 전기로 인한 화재도 1980년도에 1,402건으로 전체화재의 25.8%에서 1987년도에는 3,136건으로 30.9%로 증가하였다.

참고로 일본의 최근 10년간 전국의 근로기준법 적용사업장에서 치료 8일 이상을 요하는 사상재해는 3,851,879건이며 이 중에서 전기로 인한 재해는 19,052건으로 전체재해의 0.5% 정도이고, 전체사망자수는 53,258명이며 전기로 인한 사망자는 3,792명으로 전체사망자 비율의 7.2%에 달한다.

또 전체산업재해로 보면 사상자 중 약 1.4%가 사망하였으나 감전사고의 경우는 20% 정도가 사망하였는데 이것을 보면 감전사고는 높은 사망율의 특징을 갖고 있음을 알 수 있다.

이것은 감전되었을 때의 호흡정지·심장마

비·근육이 수축되는 따위의 기능장애와 그에 따른 추락 등으로 인한 2차재해때문이라고 생각되고 있다.

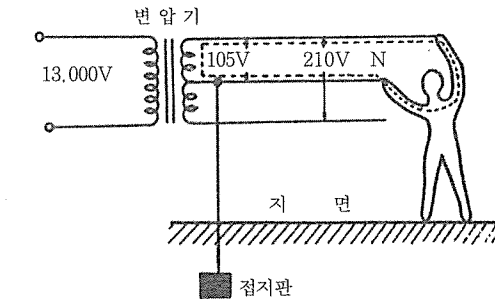
전기재해는 속발성이 낮은 재해이므로 장시간 재해가 발생하지 않았다 하더라도 반드시 설비나 작업방법이 안전하다고는 할 수 없다.

그러므로 과거의 무재해라는 실적만으로는 장래에도 안전이 보장되지 못하며 현재의 전기설비나 작업면에서 재해의 요인이 되는 것이 어느 정도 존재하느냐가 문제이다. 따라서 이와 같은 요인을 검출하여 제거하는 것이 가장 바람직한 것이다.

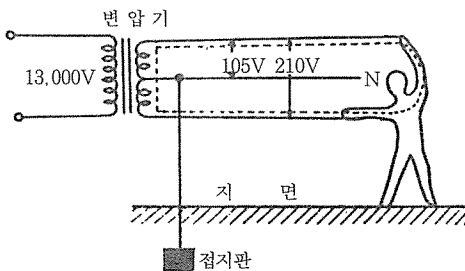
이렇게 전기재해요인을 모두 제거한다면 안심하고 설비를 관리하며 작업을 할 수 있을 것이다.

### 1-2 감전회로

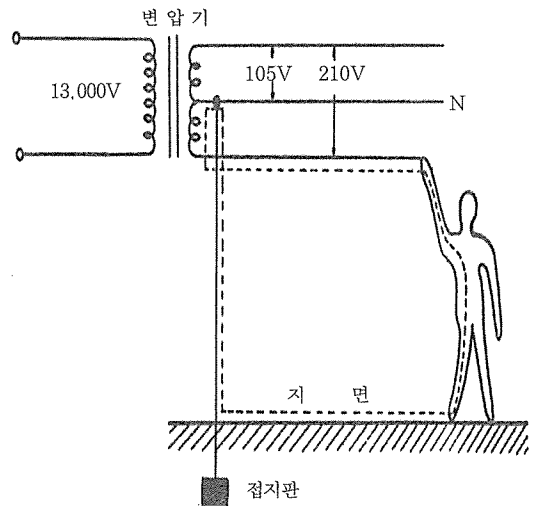
감전은 인체에 전류가 흐를 때 발생하는 것으



(a) 중성선과 전압선에 접촉되었을 경우



(b) 전압선간에 접촉되었을 경우



(c) 전압선에 접촉되었을 경우

그림 1 감전회로

로 충전부에 접촉되는 경우와 비충전부에 접촉되는 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다.

가. 충전부 감전회로

직접 접촉에 의한 감전 중 가장 위험한 것은 그림 1의 (a)와 (b)같이 사람의 양쪽 손이 전부 충전부에 접촉되는 경우로서 잠전전류는 인체→전압선(중성선)→변압기의 저압측으로 흐르게 된다.

다음은 그림 1의 (c)와 같이 인체가 하나의 전압선에 접촉되는 경우로서 감전전류는 인체→대지→변압기의 저압측으로 흐르게 된다.

즉 고전압을 저전압으로 변성하는 변압기의 2차측에 중성선을 접지함으로써 감전전류의 회로가 구성되기 때문에 감전이 발생한다.

만일 그림 1의 (c)에서 접지를 하지 않으면 고·저압 혼촉이 없는 한 감전회로가 구성되지 못함으로써 감전사고는 발생하지 않을 것이다.

그러나 전기설비기술기준에 관한 규칙 제24조에서는 고압과 저압의 혼촉에 의한 위험방지를 위하여 반드시 접지를 하도록 규정하고 있다.

이것은 비접지방식으로 하였을 경우 변압기의 1차와 2차간의 절연파괴 또는 고·저압혼촉이 발생하면 저압측에 고압이 인가되므로 부하설비가 파손되고 많은 사람들에게 위험을 초래하게 되므로 작은 위험을 감수하고서라도 큰 위험을 방지하기 위하여 접지방식을 채택하고 있다.

일반적으로 그림 1과 같이 전원에 접촉되어

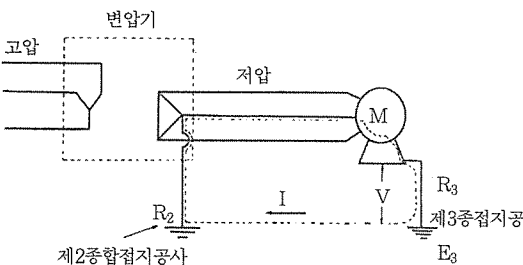


그림 2 비충전부의 접지

발생하는 감전사(전격사)의 기계·기구(mechanism)는 지금까지 동물실험과 사망·사고 등의 예를 참고로 하여 연구하고 있으며 사망원인은 주로 심실세동, 호흡기능의 상실, 전류에 의한 가슴의 압박 등이다.

나. 비충전부 감전회로

전기설비 중 전원설비를 제외한 모든 부하설비의 비충전부는 전기설비기술기준에 관한 규칙 제34조(기계·기구의 철대 및 외함의 접지)에 의하여 그림 2와 같이 접지하여야 한다.

그림 2와 같이 전기기기의 정상운전중 내부의 코일과 접지된 외부의 비충전부에 절연이 파괴되면 그림 3(a)와 같이 사람이 기계·기구에 접촉될 경우 인체를 통하여 감전전류가 흐르게 된다.

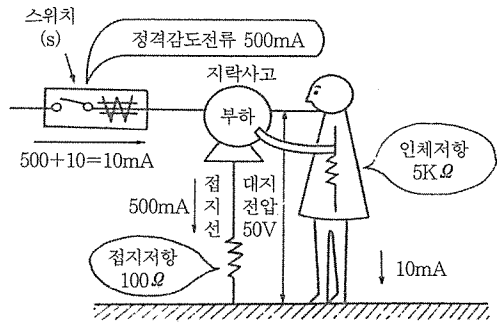


그림 3(a) 감전전류의 회로

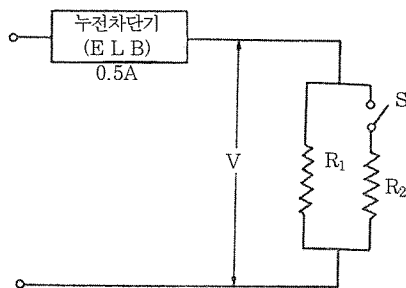


그림 3(b) 감전전류의 등가회로

## 안전기술 4

그림 3(a)와 같은 감전전류회로를 등가회로로 그리면 그림 3(b)와 같이 된다.

여기서 접지저항  $R_1$ 은 제3종 접지공사이므로  $100[\Omega]$ 이며, 접지선에 흐르는 전류는  $0.5[A]$ 이므로  $R_1$ 에서의 전압강하로 인한 대지전압  $V$ 는  $V=100[\Omega] \times 0.5[A]=50[V]$ 가 된다.

스위치 S를 ON하고 운전중 기기가 절연파괴될 경우 사람이 기계·기구에 접촉하게 되면 인체에는 다음과 같은 전류가 흐르게 된다.

인체내부조직의 저항은 약  $300[\Omega]$ , 인체의 피부저항, 즉 피부와 충전부와의 접촉저항은 대략  $2,500[\Omega]$ , 발과 신발사이의 저항은 약  $1,500[\Omega]$ , 신발과 대지사이의 저항은 약  $700[\Omega]$  정도로 본다. 이렇게 되면 인체의 전체저항  $R_2$ 는 대략적으로  $5,000[\Omega]$  정도가 되며 인체에 흐르는 전류  $I$ 는,

$$I = \frac{V}{R_2} = \frac{50[V]}{5000[\Omega]} = 0.01[A] = 10[mA] \text{가 된다.}$$

이와 같은 감전전류는 제2장에서 설명하겠지만 사람에게 치명적인 재해를 일으키는 것은 아니다.

이 때 피부의 저항은 피부에 땀이 나 있을 경우는 건조할 때보다 1/12 정도로 감소하며, 물에 젖어 있을 경우는 1/25 정도로 저항이 감소하게 되므로 감전전류는 증가하게 된다. 따라서 피부에 땀이 나 있는 상태나 물에 젖어 있을 경우는 대단히 위험하게 된다.

### 2. 감전현상(전격전류)

감전이란 인체에 전기에너지가 직접 가하여지는 것, 즉 인체의 일부 또는 전체에 감전전류가 흐르는 것이며, 인체에 감전전류가 흐르게 되면 인체는 생리적 현상으로 충격을 받게 된다. 이와 같은 현상을 감전 또는 전격이라 한다.

감전은 간단한 충격으로부터 심한 고통을 받

는 충격·근육의 수축·호흡의 곤란, 때로는 심실세동에 의한 사망까지도 도달하게 된다.

#### 가. 감전의 위험요소

인체에 감전되었을 경우 그 위험도는 다음과 같은 요소의 순으로 크게 영향을 받는다.

- ① 통전전류의 크기(인체에 흐르는 전류의 값 [mA])
- ② 통전의 시간과 전격의 위상, 즉 심장맥동 주기의 통전위상
- ③ 통전경로, 즉 감전전류가 통전하는 인체의 부위
- ④ 전원의 종류, 다시 말하면 직류나 또는 교류나, 다시 교류 때는 주파수 및 파형의 영향  
이상의 원인들 외에도 간접적으로는 인체의 저항이나 전압의 크기에도 관계된다.

#### 나. 감전전류의 영향

보통의 공기는 전기가 잘 통하지 못하는 부도체이며 금속체는 전기가 잘 통하는 양도체이다.

사람의 인체는 금속체와 같이 양도체는 못되지만 기타의 물질에 비하여 비교적 전기가 잘 통하는 편에 속한다.

인체에 전류가 흐르게 되면 극히 미약한 전류에서는 아무런 느낌이 없으나 통전전류가 조금씩 증가하면 찌릿찌릿한 것을 느끼고, 더욱 증가시키면 참을 수 없는 고통을 받게 된다.

통전전류를 더욱 증가시키면 화상을 입으며 근육이 수축하기도 한다.

인체는 (인체에 흐르는 전류의 크기) × (시간) 이 어느 정도 이상이 되면 전류의 열작용으로 전류의 유입구와 유출구에는 화상을 입게 되고, 인체내의 조직세포를 파괴하거나 혈구를 변질시키게 된다.

특히 문제가 되는 것은 감전전류의 자극에 의하여 근육이 수축됨으로써 호흡작용이 정지, 또

는 질식사하게 되거나 심장경련으로 심실세동을 일으켜 체내의 혈액순환이 정지되어 버리는 것이다.

또 높은 장소에서 감전이 되는 경우에는 비록 통전전류가 작아서 의식을 잃게 되어 추락이라는 2차적 원인으로 재해가 발생하게 된다.

인체의 생리적 현상에 따라 전류를 분류하면 다음과 같다.

(1) 최소감지전류

인체에 전압을 인가하여 통전전류의 값을 서서히 증가시켜서 어느 일정한 값에 도달하게 되면, 최초로 전기를 짜릿하게 느끼는 정도로 고통은 수반되지 않는 현상이 생기는데 이 때의 전류 값을 최소감지전류라 한다.

이 전류의 값은 직류나 교류냐에 따라서, 또 는 남녀·건강·연령에 따라서도 다르며 표 1을 참고하면 쉽게 알 수가 있다. 교류인 경우 상용주파수 60[Hz]에서 건강한 성인남자의 경우는 약 1[mA] 정도이다.

(2) 고통한계전류(이탈전류)

통전전류값을 더욱 증가시키면 점차로 고통을 심하게 느끼게 되며 생명에는 위험이 없으나 고통을 참을 수 있는 정도가 된다.

이 참을 수 있는 한계의 전류값을 고통한계전류라 하며, 상용주파수의 교류에서 성인남자인 경우 약 7~8[mA] 정도이다.

(3) 마비한계전류

통전전류의 값을 이탈전류의 값 이상으로 더욱 증가시키면 참을 수 없는 고통이 계속되며, 전류가 흐르는 부분의 근육에는 수축현상이 심하게 일어난다.

이 경우에는 신경이 마비되어 신체의 운동을 자유로이 할 수 없게 되며 자력으로 위험지역을 이탈할 수 없게 된다.

이 때는 타인의 구조를 받지 않으면 장시간 전류가 흐르게 되어 마침내는 고통을 심하게 받아 의식을 잃고 호흡이 곤란하게 되어 사망하게 된다.

이와 같은 마비한계전류는 상용주파수의 교류에서 건강한 성인남자의 경우 약 10~15[mA]가 된다.

(4) 심실세동전류

인체에 통전되는 전류가 더욱 증가되면 전류의 일부가 심장부분을 흐르게 된다. 이렇게 되면 심장이 정상적인 맥동을 하지 못하며 불규칙적으로 세동을 하게 되어 결국 혈액의 순환에 큰

표 1 전류의 인체에 대한 작용

전격의 영향	직류 (mA)		교류(실효치)(mA)				
	남	여	60 (Hz)		1,000 (Hz)		
			남	여	남	여	
최소감지전류	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8	
고통을 받지 않는 감전전류	9	6	1.8	1.2	17	11	
고통을 받는 감전전류	62	41	9	6	55	37	
고통을 받는 전격, 전원에서 자력으로 이탈할 수 있는 전류	74	50	16	10.5	75	50	
교착전류(근육강직, 호흡곤란)	90	60	23	15	94	63	
심실세동의 가능성	전격시간 : 0.03초	1,300	1,300	1,000	1,000	1,100	1,100
	전격시간 : 3초	500	500	100	100	500	500
심실세동이 확실하게 발생	위 값의 2.75배를 한 것						

## 안전기술 4

장애를 가져오게 된다.

이와 같은 현상을 심실세동(心室細動, ventricular fibrillation)이라 부르며, 일단 이 상태가 되면 전류를 제거하여도 자연적으로는 건강이 회복되지 못하며 그대로 방치하여 두면 수 분내에 사망하게 된다.

심실세동을 일으키는 전류값은 사람을 실험 대상으로 하여 결정할 수 없으므로 여러 종류의 동물실험을 통하여, 그 결과로부터 사람의 경우에 대한 전류값을 추정하고 있다.

이렇게 추정된 심실세동전류값  $I$ 는 통전시간  $T$ 에 크게 관계되며, 전류값의 관계식은 여러 사람에게 의하여 주장되고 있으나 달지엘(C.F. Dalziel)에 의한 다음과 같은 식이 인정되고 있다.

$$I = \frac{165}{\sqrt{T}} \text{ [mA]}$$

여기서 전류  $I$ 는 1,000명 중 5명 정도가 심실세동을 일으키는 값이며,  $t$ 는 통전시간[초]이다.

심실세동을 일으키는 위험한 전기에너지는 인체의 전기저항  $R$ 을  $500[\Omega]$ 으로 보면 다음과 같다. 즉 전기에너지를  $W$ 라 하면

$$\begin{aligned} W &= I^2RT = \left( \frac{165}{\sqrt{T}} \times 10^{-3} \right)^2 \times 500T \\ &= (165^2 \times 10^{-6}) \times 500 \\ &= 13.6 \text{ [W.S]} = 13.6 \text{ [J]} \\ &= 13.6 \times 0.24 \text{ [cal]} \\ &= 3.3 \text{ [cal]} \text{가 된다.} \end{aligned}$$

즉 13.6[W]의 전력이 1[초]간 공급되는 아주 미약한 전기에너지이지만 인체에 직접 가해지면 생명을 위협할 정도로 위험한 상태가 된다.

이상에서 설명한 것 외에도 남녀의 차·연령·체질·건강상태 등에 따라서 감전의 정도가 다르며, 통전시간이 짧을수록 위험도는 감소된다.

대략 1[s]당 165[mA]로 0.1[s]에서는 500[mA]가 한계치이며, 45[ms]의 통전시간에서는 3.7[A] 정도의 큰 전류가 인체를 통과해야 심실세동현상이 일어난다. 따라서 누전차단기나 지락차단기 등에 의한 감전사고를 방지하는 경우에는 고속차단형을 사용하여 차단시간을 될 수 있는 한 짧게 하여 주어야 한다.

참고로 심실세동전류의 종류를 보면 <표 2>와 같다.

표 2 심실세동 전류의 종류

심실세동전류의 종류 [mA]	체중 [kg]	심실세동 발생율 [%]	통 전 시 간 [S]				인가되는 전기에너지 [J] (인체저항 500[Ω])
			0.005	0.03	1	3	
위험전류	70	0.5	2,340	955	165.4	95.5	13.7
위험한계전류		50	6,440	2,630	455	263	103.5
치사전류		99.5	10,530	4,300	744	430	277
위험전류	57.4	0.5	1,950	796	137.8	79.6	9.5
위험한계전류		50	5,380	2,190	380	219	72
치사전류		99.5	8,880	3,580	622	358	193