

3

## 감전사고의 특성 및 예방대책

한 기 봉

한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원 감전연구팀장 / 기술사

### 1. 머리말

전기에너지는 지구상의 어떤 에너지보다도 다른 에너지로의 변환효율이 우수하기 때문에 현대사회의 거의 모든 분야에서 필수적인 에너지로 인정받고 있으며, 또한 편리하게 사용되고 있다.

최근 산업의 발달과 더불어 전기사용량이 증가하면서, 각종 전기기기 및 설비의 복잡 다양화에 편승하여, 전기 재해 위해요인도 그만큼 증가되었다고 할 수 있는데, 실제 전기재해 발생건수 또한 줄어들지 않고 있다.

특히 전기는 눈에 보이지도 않고, 냄새도 없고, 소리 또한 나지 않기 때문에 취급하기에 상당한 어려움이 있으며, 조그마한 취급부주의나 잘못 사용할 경우에는 바로 전기재해로 이어져 인명과 재산상에 커다란 피해를 초래하는 경우가 많다. 하지만, 전기는 제어통제가 가능하기 때문에 안전하게 사용되고 있는 것이다.

전기재해는 크게 나누어 감전사고와 전기화재 및 설비 사고 그리고 최근 전자파 장애에 의한 자동화기기의 오동작으로 발생하는 사고 등으로 구분할 수 있다. 이와 관련하여 전기안전에 대한 예방대책 연구의 필요성은 사회적으로도 중요한 문제로 대두되고 있으며, 지속적인 연구개발이 이루어져야 하리라 보여진다. 특히, 감전사고로 인한 재해의 경우 매년 1000명 정도의 재해자가 발생하는데, 이중 16%가 사망한 것으로 나타나 다른 재해에 비하여 치사율이 높다는 것을 알 수 있으며, 사회적으로 큰 충격으로 받아들여지고 있다. 따라서, 국민의 생명과 직결되는 감전사고에 대해 인체의 전기적특성 및 반응과 예방대책에 대하여 살펴보고자 한다.

발이 이루어져야 하리라 보여진다. 특히, 감전사고로 인한 재해의 경우 매년 1000명 정도의 재해자가 발생하는데, 이중 16%가 사망한 것으로 나타나 다른 재해에 비하여 치사율이 높다는 것을 알 수 있으며, 사회적으로 큰 충격으로 받아들여지고 있다. 따라서, 국민의 생명과 직결되는 감전사고에 대해 인체의 전기적특성 및 반응과 예방대책에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2. 인체의 전기적 특성

#### 가. 인체의 임피던스

감전이라 함은 일반적으로 인체에 전압이 가해져 인체를 전로로 하여 전류가 흐르는 경우를 말하는데, 이때 인체에 흐르는 전류의 크기는 인체저항에 영향을 받게 된다. 인체는 피부와 혈액, 근육, 기타 세포 및 관절 등으로 구성되어 있으며, 인체를 전기적 도체로 생각할 경우 인체 각부는 전류에 대하여 저항분과 용량분의 임피던스를 가지고 있다. 이와 같은 값은 통전경로와 접촉전압, 통전 시간, 주파수, 피부의 습도, 그리고 접촉면적 및 접촉압력과 온도 등에 따라서도 복잡하게 달라지고, 그 밖에도 남녀노소, 건강상태, 심리적 영향 및 수면 전후 등에 의한

차이도 있으며, 일반적으로 비선형이다.

인체의 임피던스는 인체에 가해지는 전압, 소위 접촉전압에 의해 변화하고 또한 피부의 건조상태에 따라서도 변화하는데, 그 범위는 수100Ω ~ 수만Ω까지이다. 이는 인체의 내부조직에 의한 저항은 약 500Ω 정도로 거의 일정하지만, 피부의 저항은 0에서부터 수만Ω까지 변화되기 때문이라 할 수 있으며, 따라서 인체의 임피던스는 최악의 경우 약 500Ω까지 감소할 수 있다.

Gilbert와 Dalziel의 실험결과에 의하면, 피부의 습도 변화에 따른 피부저항은 피부가 젖어 있는 경우 건조한 경우에 비하여 10분의 1 이상 감소하며, 피부가 습한 경우는 약 3분의 1로 감소하는 것으로 나타났다.

#### 나. 전격현상의 특성

일반적으로 감전사고로 인한 사망을 살펴보면, 대부분 상용주파수의 전기에 감전되어 사망하는 것으로서 전격(電擊)에 의한 화상과 쇼크에 의해 높은 곳에서 추락 또는 전도로 사망하는 경우도 있지만, 감전 사망사고는 대체로 다음 3가지 메커니즘이 주된 원인인 것으로 알려져 있다.

- ① 심장부에 전류가 흘러 발생한 심실세동으로 인한 혈액순환 기능 장애
  - ② 뇌의 호흡 중추신경에 전류가 흘러 호흡기능이 정지되는 경우
  - ③ 흉부에 전류가 흘러 흉부를 압박함에 의한 질식
- 일반적으로는 감전 사망사고의 주된 원인을 ②의 호흡 중추신경에 흐른 전류에 의한 호흡기능 정지로 사망하게 되는 것으로 생각하여 전격시의 응급수단으로 피해자에게 인공호흡을 실시하는 경우가 많이 있다. 감전사고가 발생하였을 때 통전 경로에 따라서는 전류가 흉부를 흐르기도 하나, 호흡중추에는 직접 흐르지 않기 때문에 전격의 대부분은 호흡중추 신경마비에서 오는 호흡정지에 의한 것은 아니고, ①과 ③의 심실세동 또는 호흡근육의 경

련적 수축에 의한 질식사로 보여지는데, 전격사의 대부분은 심실세동에 의한 것이라 생각된다. 이는 실제 국내에서 발생한 감전사망사고 통계자료의 통전경로를 살펴보면 알 수 있는데, 대부분 손의 접촉으로 시작되어 발 등 하체로 통한 것으로 나타나고 있기 때문이다.

그리고, 동일한 전압의 전원에 사람이 접촉한 경우 인체저항이 큰 조건에서는 단순히 쇼크를 받는 정도일 수 있지만, 땀이나 물기에 젖어 있는 상태 등 인체저항이 적을 경우에는 치명적일 수도 있는데, 그것은 6, 7, 8월에 감전사고가 많이 발생하는 것과도 관련이 있으며, 이와 같이 전격의 위험정도를 결정하게 되는 주된 인자는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 통전 전류의 크기(인체로 흐르는 전류의 크기)
- 통전 경로(전류가 인체의 어느 부분을 흘렀는가?)
- 전원의 종류(교류, 직류)
- 통전시간과 전격인가위상(심장 맥동주기의 어느 위치에서 통전하였는가?)
- 주파수 및 파형

이와 같이 통전전류가 크거나, 인체의 중요한 부분을 흐를 경우, 또한 장시간 흐르게 되면 위험정도는 커지게 된다. 여기서 전격의 위험성은 전압의 고저와는 직접 관계되지 않지만, 인체의 통전전류는 인체의 내부저항 및 전류의 유출입 부분의 저항(피부저항, 장갑 및 신발 등의 저항)에 큰 영향을 받기 때문에 유출입 부분의 저항이 같은 조건일 경우는 전압이 높을수록 더욱 위험해진다. 또한 피부의 저항은 1000V 이상이 되면 절연과피를 일으킬 우려가 있어 더욱 위험하다.

### 3. 통전 전류의 크기와 인체 반응

인체에 전류가 흐를 경우, 전류의 크기에 따라 여러 가지 생리적 반응이 나타난다. 인체의 생리적 반응에 대한

실험 데이터는 개인차에 의한 불균형이 발생하지만, 통계상의 분석에 의하여 의미 있는 결과를 얻을 수 있다.

### 가. 최소 감지전류

인체의 반응은 통전전류의 크기에 따라서 달라진다. 인체에 흐르는 전류가 미세할 경우에는 인체에 전류가 흐르고 있어도 전혀 느낄 수 없으나, 그 크기를 넘어 통전전류가 점차 증가하여 어느 한계에 달하게 되면 처음으로 통전되고 있다는 것을 느끼게 되는 시점이 있다. 이때의 전류를 최소 감지전류라고 한다. 이와 같은 감지전류도 접촉조건 등 주변상황에 따라서 다르게 나타나는데, 전극을 손에 가볍게 댄 경우, 끼운 경우, 권 경우, 물에 담근 경우의 순서에 따라서 감지전류의 값이 크게 나타난다. 이것은 인체내로의 유입전류밀도에 차이가 있기 때문이며, 이들 사이에도 수배의 차이가 있다. 그리고, 남녀의 최초 감지전류를 비교하여 보면 여자는 남자의 약 3분의 2선에서 최초 감지전류를 느낀다. 그만큼 남자보다 여자가 전기적으로 민감하다는 것을 알 수 있다. 또한 인체에서 전류에 가장 민감한 부분은 안구이며 20 $\mu$ A의 전류에서, 허끝은 45 $\mu$ A에서 반응을 나타내며 일반적으로 인체는 상용주파수의 정현파 전류가 1mA 정도 흐를 경우 처음으로 전격을 느낄 수 있게 된다. 그러나, 이러한 감지전류도 주파수에 따라서 변화하여 주파수가 증가하면 감지전류도 증가되며, 직류일 경우는 감지전류의 평균치가 5.2mA로 교류에 비하여 약 5배 정도 높게 나타난다.

### 나. 가수전류(이탈전류, Let-Go Current)와 불수전류(교착전류, Freezing Current)

감지전류의 값을 지나서 통전전류를 계속 증가시킬 경우, 그 전류가 생명에는 직접적인 영향을 주지 않는 값이라 할지라도 통전경로의 근육이 경련을 일으키면서 근육신경이 마비되어 몸을 자유롭게 움직일 수 없게 된다. 즉

고통스러운 전격을 느끼면서도 자신의 힘만으로는 전격 상태에서 벗어날 수 없는 상황이 된다. 이러한 상태가 계속 지속될 경우 오랫동안의 고통상태에서 의식을 잃어버릴 수 있는데, 이와 같은 전류를 불수전류(不隨電流) 또는 교착전류라 한다. 이러한 현상이 발생하게 되는 전류의 크기는 교류 60Hz에서 남자인 경우 약 16mA, 여자는 약 10mA 정도라고 한다. 이와 반대로 운동의 자유를 잃지 않는 최대 한도의 전류를 가수전류(可隨電流) 또는 이탈전류라고 하는데, 남자의 경우는 약 9mA이고, 여자의 경우는 약 6mA라 한다.

### 다. 심실세동전류(Ventricular Fibrillation Current)

통전전류를 한층 더 가하여 심장부로 흐르는 전류가 증가하게 되면 심장이 경련을 일으키기 시작하고, 즉 혈액을 공급하는 심실이 정상적인 맥동을 하지 못하게 되어 심한 경우에는 맥동을 정지시켜 버리게 되는데, 이와 같은 현상을 심실세동이라 한다. 일단 이와 같은 상태에 도달하게 되면 인체에 흐르는 전류를 제거하여도 원상태로 회복되지 않으며, 그대로 방치할 경우 수분 이내에 사망하게 된다.

이와 같이 심실세동을 일으키는 전류값은 여러 종류의 동물실험을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 사람의 경우에 대한 전류값을 추정하고 있다. 이렇게 추정된 심실세동전류값 I는 통전시간 T와 큰 관계가 있으며, 심실세동전류값의 관계식은 여러 사람에 의하여 주장되고 있으나, Dalziel에 의한 다음의 식이 일반적으로 널리 인정되고 있다.

$$I = 165/\sqrt{T} \text{ (mA)}$$

여기서, 심실세동전류 I는 1000명 중 5명 정도가 심실세동을 일으키는 값이며, T는 통전시간(sec)을 나타낸다. 심실세동을 일으키는 위험한 전기에너지는 인체의 전

〈표 1〉 인체의 반응에 따른 전격전류

전격에 의한 인체의 반응	직 류 (mA)		교 류(mA)			
			60Hz		10000Hz	
	남자	여자	남자	여자	남자	여자
감지전류, 미세한 통전느낌	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
근육이 자유롭고, 고통이 없음	9	6	1.8	1.2	17	11
근육이 자유롭고, 고통을 수반함	62	41	9	6	55	37
고통을 수반한 쇼크, 이탈한계	74	50	16	10.5	75	50
고통을 수반한 격렬한 쇼크, 호흡곤란	90	60	23	15	94	63
심실세동 가능, 통전시간 0.03초	1300	1300	1000	1000	1100	1100
심실세동 가능, 통전시간 3초	500	500	100	100	500	500
심실세동이 확실히 발생	상기 값의 2.75배					

기저항 R을 극한 상황인 500Ω으로 놓고 산출하여 보았을 때 다음과 같다.

전기에너지를 W라 하면

$$W = I^2RT = (165 \times 10^{-3} / \sqrt{T})^2 \times 500T$$

$$= (165^2 \times 10^{-10}) \times 500 = 13.6(W - sec) = 13.6(J)$$

즉  $13.6 \times 0.24(cal) = 3.3(cal)$ 가 된다.

13.6W의 아주 미약한 전기에너지일지라도 인체에 1sec 동안 직접 가해질 경우 생명을 위협할 정도로 위험한 상태가 된다는 것을 알 수 있다.

### 라. 통전전류에 따른 인체의 반응

지금까지 최소감지전류에서부터 심실세동전류에 이르기까지의 전류의 크기에 따른 인체반응에 대하여 알아보았으며, 이것을 일괄하여 나타내면 표 1과 같다. 여기서 통전경로는 손-몸통-다리로 통전시간이 1초인 경우의 생리적 반응을 나타낸 것이다.

## 4. 전격전류의 영향

최근 감전재해는 감소추세에 있지만 아직도 연간 1000명에 가까운 인명이 감전사고를 당하고 있으며, 타 재해

에 비하여 치사율이 높아 그만큼 위험하다. 여기서 전격전류(電擊電流)의 영향을 살펴보면, 먼저 감전사망사고의 대부분은 감전사고 발생 직후 직사하는 경우가 가장 많은데, 감전사의 주된 원인은 심실세동에 의한 혈액순환 기능의 장애, 호흡 중추신경에 흐른 전류에 의한 호흡기능의 정지, 흉부압박에 의한 질식 등으로 알려져 있다. 이 중에서 가장 많이 발생하는 것은 통전경로별로 보았을 때 심장을 관통하는 경우가 가장 많은 것으로 분석되고 있어, 대부분 심실세동에 의한 심장마비로 판명되고 있다.

심실세동으로 인한 사망은 심실세동으로 인하여 혈액순환기능이 장애를 일으켜 뇌에 원활한 혈액공급을 불가능하게 하여 호흡을 명령하는 뇌의 기능이 상실되는 경우와 호흡운동을 하고 있는 근육에 전류가 흘러 근육이 경직되면서 호흡운동이 중단되거나, 전격을 받은 신경이 반사적으로 호흡을 정지하도록 작용하기 때문이다. 이와 같이 심장과 호흡은 밀접한 관계가 있으므로 감전사고로 의식을 잃었을 경우에는 지체없이 인공호흡과 심장마사지를 병행한 응급조치를 취해야 한다. 그리고, 감전사고로 병원에서 치료 도중 사망하는 것을 감전 지연사라 하는데, 감전 지연사의 경우는 재해발생 24시간 이내에 대부분 사망하게 된다.

또한, 감전사고의 휴유증으로는 전신에 영향을 미치는 심근경색(心筋梗塞)이 발생하는 경우가 있다. 심근경색은 심장에 영양분과 산소 등을 공급하는 혈관인 관동맥에 혈전이 생기거나 관동맥경화증 때문에 순환장애를 일으켜 심근전층에 경색괴저가 일어나 발작성으로 쇼크상태가 되는 심장질환을 말한다. 또다른 휴유증으로는 뇌의 파손 또는 경색 때문에 발생하는 운동 및 언어장애 등도 나타날 수 있다.

전기화상은 일반화상과는 증상이 상당히 다르며 치료에 많은 시간을 요하게 될 뿐만 아니라, 시간의 경과에 따라 상해정도가 확대되는 경우가 많다. 전기화상에는 아크나 스파크의 고열에 의한 피부의 열상과 전류가 인체에 흐를 때 발생하는 줄열에 의한 것이 있으며, 또한 증첩하여 복잡한 증상을 동반하기도 한다. 아크의 경우 일반적인 열상과 다르게 충전금속이 고열에 의하여 용융, 가스화되어 피부의 표면에 부착 침투하여 열상부위가 청색으로 변하는 경우가 많다. 스파크에 의한 경우는 줄열에 의하여 단백질이 응고되고, 피부와 근육, 골막, 골관절 등의 조직이 파괴된다. 여기서 중요한 것은 화상을 입은 면적이 증상에 많은 영향을 미친다는 것으로, 화상의 정도가 가볍더라도 신체표면의 3분의 1 이상 넓은 범위에 이르면 생명이 위협해진다.

그리고, 감전사고를 당한 후 방뇨가 곤란한 급성신부전 증세가 발생하는 경우도 있으며, 그 원인으로는 감전 직후의 쇼크로 신장 또는 신장의 혈관이 감전당시 흐른 전류에 의하여 손상된 경우와 통전전류에 의하여 근육이 늘어나거나 심한 열을 받은 상태 등을 들 수 있다. 또한 감전으로 인한 스트레스로 급성위궤양 또는 십이지장궤양 등의 합병증으로 이어지는 경우도 있고, 감전사고 후 1~4주 정도 지나 상처부위에서 다량의 출혈이 발생하는 경우도 있다. 이것은 겨드랑이 밑의 동맥에서 쇄골밑까지 화상을 입었을 때 동맥이 파손될 수 있기 때문

이며, 이때 동맥으로부터 출혈하는 경우 지혈이 쉽지 않다. 그리고 감전상해나 전기화상을 입고 어느 정도 시간이 지나게 되면 국소감염증이 발생하게 되며 염증이 생기는데, 그 원인은 상해를 받은 부분에 병원체가 혈액속으로 침입하기 때문이다. 이것은 급성염증을 일으키는 폐혈증으로 이어질 수 있고, 이 경우 생명에 치명적일 수도 있다.

## 5. 감전사고 예방대책

감전사고 예방대책은 크게 절연과 접지 그리고 누전차단기의 시설 등을 들 수 있는데, 저압에 의한 감전사고는 주로 전기기계기구, 배선 등에 의한 노출충전부 또는 누전에 의해 충전된 기기외함 및 철대 등에 인체가 접촉하여 발생한다.

이와 같은 감전사고를 예방하기 위해서는 첫째, 노출충전부가 없도록 충분한 절연처리를 하여 인체의 접촉가능성을 줄이는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 따라서 개폐기의 덮개파손 및 피복손상 등으로 충전부가 노출된 곳이 발견될 경우 즉시 개·보수 또는 절연처리를 하여 노출충전부가 없도록 해야 할 것이며, 둘째, 전기기계기구의 외함 등에 전기설비기술기준에 적합한 보호접지시설을 하여 기기가 누전 등으로 인하여 기기외함이 충전상태에 있을 때, 인체가 접촉하더라도 인체로의 통전전류를 감소시켜 감전위험성으로부터 벗어날 수 있도록 해야 한다. 셋째, 전원측에는 감전보호용 누전차단기를 설치하여 누전이 발생하였을 때 자동적으로 검출하고 즉시 전원을 차단시킬 수 있도록 하여, 누전으로 인한 감전위해요인을 사전 제거함으로써, 만약의 사고를 예방할 수 있도록 한다. 그리고, 누전차단기의 동작상태를 주기적으로 점검하여 부적합한 누전차단기는 즉시 교체할 수 있도록 해야 한다. 넷째, 이동용 전동공구에서 발생하는 감전사고는

대부분 누전으로 인한 감전사고로, 누설전류 전부가 인체를 통하여 흐르기 때문에 사망확률이 가장 높게 나타나고 있는 바, 이동용 전동공구는 반드시 이중절연구조의 기기를 사용하여 감전사고를 예방할 수 있도록 하는 것이 바람직하며, 만약 이중절연구조가 아닌 기능절연구조의 기기를 사용할 경우에는 기기외함접지와 전원측에 감전보호용 누전차단기를 설치해야 감전사고로부터 보호받을 수 있다.

그 외에도 절연변압기를 사용하여 비접지식 전로방식을 채택하는 방법 등이 있으며, 감전사고유형 등에 따라서 여러 가지 예방대책을 마련할 수 있다. 이와 같은 감전사고의 근본적인 예방대책은 안전한 전기설비를 갖추는 것도 중요하지만 정기적인 안전점검을 실시하여 부적합개소는 즉시 개·보수할 수 있도록 하는 등 설비관리를 게을리해서는 안된다. 또한, 저압설비의 개·보수 작업시에도 가능한 한 정전작업을 하는 것이 감전사고 예방 측면에서 많은 도움이 된다.

고압 이상에서의 감전사고는 전기인들에 의한 감전사고가 가장 많이 발생하는데, 그것은 충전부의 접근만으로도 섬락에 의해 전격을 받을 수 있는 설비의 점검·보수 및 관리작업 등에 전기인들이 접근할 기회가 많고, 순간 착각 및 부주의 등 무의식적으로 충전부에 접근하여 감전될 수 있기 때문에 감전위험성이 가장 높으며, 실제 감전사고도 많이 발생되고 있다.

따라서 고압이상 설비에 대한 전기작업은 정전작업을 원칙으로 하지만, 부득이 활선작업을 필요로 할 때에는 방호구 설치와 보호구를 착용하도록 하고 작업자의 작업 반경과 작업용공구의 크기 등을 고려한 거리에 섬락거리를 더한 접근한계거리 이내로 들어가지 않도록 해야 하며, 이때, 반드시 작업책임자의 지시 및 관리감독 하에 작업순서에 의한 안전한 작업이 이루어질 수 있도록 해야 한다. 또한, 정전작업시에는 책임분계점 개폐기의 개방과

다른 개폐기의 개방에 의한 2중 개방을 하도록 하고, 개방후에는 검전기 등에 의한 정전확인을 한 다음 오송전 및 다른 활선과의 혼촉 등으로 정전회로가 충전될 수 있는 위험상황을 사전 예방할 수 있는 단락접지 등의 안전 조치를 반드시 취하도록 해야 한다. 이때 정전과 재통전 등 중요한 작업시에는 작업책임자의 관리감독 하에 안전을 확인하면서 작업을 진행하도록 해야 한다. 그리고, 일반인들의 감전사고예방을 위하여 고압이상설비에는 울타리 및 잠금장치 등으로 전기관계자 외에는 출입할 수 없도록 하고, 또한 위험표지판을 설치하여 외부인이 접근하지 못하도록 해야 한다.

## 6. 맺음말

전기인들은 누구나 한 두번 정도의 감전을 경험하게 되는데, 당시 상황 및 조건에 따라서 사고로 이어지는 경우도 있다. 이와 같이 전기인들은 그만큼 전기와 접근할 기회가 많기 때문에 전기에 대한 전문가라 할지라도 감전사고 발생 가능성이 높다는 것이며, 실제 감전사고통계에서 전기인들이 가장 높은 점유율을 나타내고 있다. 이러한 감전사고의 특징은 전기가 흐르고 있는 충전부가 정전상태인지 충전상태인지를 검전기 등으로 확인하기 전에는 확인이 불가능하기 때문이며, 또한 충전상태를 인지하고도 무의식적으로 접근하게 되어 감전으로 이어지는 경우도 많이 있다. 따라서, 고압충전부에서의 작업은 반드시 정전상태에서 이루어지도록 하고, 무정전상태에서의 접근이 불가피할 경우에는 반드시 검전기 등에 의한 확인 및 안전조치를 취하고 작업책임자의 관리감독하에 안전작업수칙을 준수하면서 작업할 수 있도록 우리 모두 노력하여 감전사고를 예방해야 할 것이다. 감전사고는 순간적이며, mA 정도의 적은 전류에도 치명적일 수 있기 때문에 항상 주의를 기울여야 한다.