

감전사고 방지를 위한 한국인의 인체저항에 관한 연구

김찬오 · 김동주 · 이규정*

서울산업대학교 안전공학과, * 한국소방안전협회

1. 서론¹⁾

일반적으로 사람의 신체는 전기가 흐르기 쉬운 도체(Conductor)에 해당한다. 인체를 전로(電路)의 일부로 하여 전류를 흘려 주면, 극히 미약한 전류는 느끼지 못하지만 전류를 증가시켜 나가면 차차 견딜 수 없게 되며 더 큰 전류를 흘려 주면 인체에 여러 가지 장애현상이 발생하게 된다.

이와 같이 인체에 전류가 흐름으로써 발생하는 감전(Electric Shock)현상은 단순히 전류를 감지하는 정도의 가벼운 것으로부터 고통을 수반한 쇼크 또는 근육의 경직, 심실세동에 의한 사망 등 여러 증상을 보이며, 인체에 대한 통전전류가 크고 인체의 중요한 부분을 장시간 흐를수록 위험하다.²⁾

전격의 위험성을 결정하는 가장 중요한 인자는 인체를 통하는 전류(통전전류)인데, 이것은 인체에 걸린 인가전압을 인체저항 등으로 나눈 값으로 충전부와 인체와의 접촉 위치, 접촉상태, 남·여·어른·어린이 등에 따라서 다르다.

이중 특히 인체저항이 어떤 값을 가지는가 하는 것이 인가전압 및 통전전류와 더불어 감전사고를 방지하는데 있어 중요한 문제로 대두된다.³⁾

본 연구는 관계문헌 및 인체저항의 측정결과를 비교·검토하여, 감전사고 방지를 위한 인체저항의 기초자료를 제시하고자 한다.

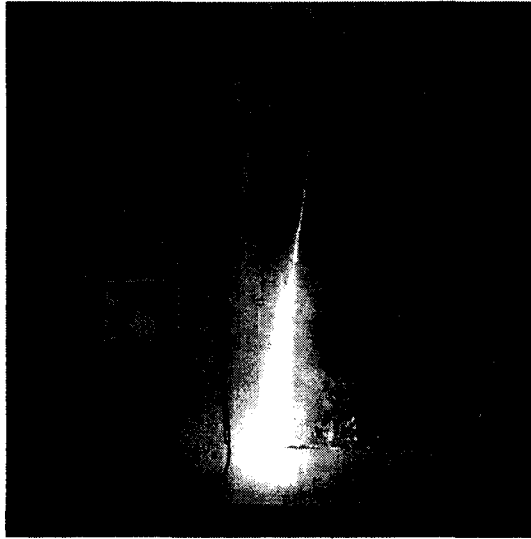
2. 측정 방법 및 대상

2-1. 측정방법

인체저항을 측정하기 위해서 미국 화재보험협회시험소(UL)에서 측정한 방법¹⁾과 동일한 조건으로, 멀티테스터(multi tester)를 이용하여 인체저항을 측정하였다. 멀티테스터에 사용되는 건전지는 1.5V 2개와 9V 1개이며, 건전지의 수명이 정상인 경우 $\pm 3\%$ 의 정확도를 가지고 있다.

멀티테스터는 저항의 측정범위(Range)에 따라 사용전원이 달라지는데, R \times 1K일 경우에는 1.5V 건전지 2개(3V)가 사용되며, R \times 10K일 경우에는 9V 건전지와 1.5V 건전지 2개(3V)가 동시에 사용되어 12V를 인체에 인가하게 된다.

2-2. 측정장치의 구성



[Fig. 1] 측정장치의 구성

2-3. 측정대상의 신체적 특징에 따른 분류

총 피측정인원은 125명으로,

성별로는 남자 113명, 여자 12명이며,

연령별로는 125명중 20세 이상 30세 미만 120명,

30세 이상 40세 미만 2명,

40세 이상 50세 미만 3명이며,

체중에 따른 구분은 125명중 60kg 미만 32명,

60kg 이상 70kg 미만 52명,

70kg 이상 80kg 미만 35명,

80kg 이상 6명이며,

혈액형의 구분을 보면 O형 46명,

A형 48명,

B형 19명,

AB형 12명이었다.

2-4. 측정조건 및 측정경로

측정은 건조 상태와 젖은 상태로 구분하여 실시하였으며, 건조 상태에서는 신발을 착용한 경우와 신발을 벗고 양말만 착용한 경우, 그리고 맨발인 상태로 구분하였고, 젖은 상태에서는 신발 착용과 맨발인 경우로 구분하여 측정하였다.

측정경로는 왼손, 오른손, 왼발, 오른발, 양발을 조합하는 경로를 구성하였다.

건조 상태에서 신발을 착용한 경우는 3개의 통전경로에 따른 인체 저항을 측정하였고, 건조 상태에서 신발을 벗고 양말만 착용한 경우는 6개의 경로에 대해, 건조 상태에서 맨발인 경우에는 6개의 통전 경로에 대한 인체저항을 측정하였다.

젖은 상태에서 신발을 착용한 경우는 2개의 경로에 대해, 젖은 상태 맨발인 경우 6개의 경로에 대해 인체저항을 측정하였다.

3. 측정결과 및 고찰

3-1. 인체저항의 측정결과

피실험자 125명을 대상으로 하여 인체저항을 측정하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

통전경로		평균 저항값		
	비고	건조상태	젖은상태	감소비율
오른손-왼손(大)	신발	35,102Ω	9,232Ω	1 / 3.8
오른손-왼손(小)		207,322Ω	46,684Ω	1 / 4.4
오른손-왼발	착용	∞		
오른손-오른발	양말	29,623Ω	측정 안 함	
오른손-왼발		29,427Ω		
오른손-양발		25,991Ω		
왼손-오른발		30,107Ω		
왼손-왼발		30,025Ω		
왼손-양발		26,675Ω		
오른손-오른발	맨발	23,270Ω	11,218Ω	1 / 2.07
오른손-왼발		23,254Ω	11,538Ω	1 / 2.02
오른손-양발		20,909Ω	9,161Ω	1 / 2.28
왼손-오른발		23,274Ω	10,959Ω	1 / 2.12
왼손-왼발		23,944Ω	10,937Ω	1 / 2.19
왼손-양발		20,335Ω	10,052Ω	1 / 2.02

[Table 2] 통전경로에 따른 인체저항 측정결과

(1) 통전경로별 인체저항의 평균값은 다음과 같다.

오른손 - 왼손(大) 건조 상태에서의 인체저항 평균값은 35,102Ω이었고,

오른손 - 왼손(大) 젖은 상태에서의 인체저항 평균값은 9,232Ω이었다.

원손 - 양발 건조 상태에서 양말을 착용한 경우 인체저항 평균값은 26,675 Ω 이었고, 원손 - 양발 젖은 상태에서 맨발인 경우 인체저항 평균값은 10,052 Ω 이었다.

(2) 보통 인체의 전기저항은 피부저항이 약 2,500 Ω , 내부 조직저항 500 Ω , 발과 신발사이의 저항 1,500 Ω , 신발과 대지사이의 저항을 700 Ω 으로 보아 전체저항은 5,000 Ω 로 알려져 있으나⁵⁾, 실제 측정결과 신발과 대지 사이의 저항값은 무한대(∞)로 나타났다.

(3) Freiburger는 손에서 발을 거치는 통전경로를 대상으로 인체저항을 측정한 결과 피부가 건조한 경우보다 습한 경우의 저항값이 1/10~1/20 정도로 감소한다고 발표하였지만⁷⁾, 한국인을 대상으로 측정해 본 결과 신발을 착용한 상태에서 오른손-원손의 건조 상태와 젖은 상태의 인체저항 감소비는 평균 1/4~1/5 정도인 것으로 나타나 약간의 차이가 있었으며, 맨발인 상태에서는 손-발의 건조 상태와 젖은 상태의 인체저항 감소비는 1/2.02 ~ 1/2.28 정도인 것으로 나타났다.

(4) DC 12V의 전압을 인가하여 측정한 오른손-원손(大) 건조상태의 인체저항은 평균 35,000 Ω 로 나타났는데, 전압의 증가에 따라 인체저항은 감소하여 AC 220V 전압이 인가되는 경우에는 인체저항이 약 1/50로 감소한다는 발표된 연구결과를 근거로 하면⁸⁾ 이 경우 인체저항은 700 Ω 정도밖에 되지 않는다. 외국의 문헌에서 약 2,000 Ω 정도는 남아있다고 발표한 것과는 많은 차이를 보인다.⁵⁾

(5) 인체저항 분포

1) 혈액형에 따른 분포

DC 12V의 전압을 인가했을 경우, 피측정자의 5%범위(percentile rank)에서는 B형이 10,000 Ω , AB형이 8,500 Ω , A형이 8,000 Ω , O형이 7,000 Ω 으로 근소한 차이를 보이고 있으며, 피측정자의 50%범위에서는 A형이 29,000 Ω , B형이 27,000 Ω , O형이 21,000 Ω , AB형이 16,000 Ω 으로 A형과 비교해보면 많은 차이를 보이고 있다. 피측정자의 95%범위에서는 A형이 84,000 Ω , O형은 48,000 Ω , B형은 46,000 Ω , AB형은 34,000 Ω 으로 A형이 인체저항 분포폭과 저항값이 높게 나타난 반면에 AB형은 인체저항의 분포폭이 가장 좁은 것으로 나타났다.

2) 체중에 따른 분포

DC 12V의 전압을 인가했을 경우, 피측정자의 5%범위에서의 분포를 보면, 60kg미만은 5,000 Ω , 70kg이상 80kg미만은 4,000 Ω , 60kg이상 70kg미만은 3,000 Ω , 80kg이상에서는 2,000 Ω 이하가 되지 않는 것으로 나타났으며, 피측정자의 50%범위에서의 분포를 보면, 60kg미만 9,800 Ω , 60kg이상 70kg미만 8,000 Ω , 70kg이상 80kg미만에서 7,500 Ω , 80kg이상인 경우는 6,500 Ω 이하가 되지 않는 것으로 나타났다. 피측정자의 95%범위에서의 분포를 보면, 60kg미만 19,000 Ω , 60kg이상 70kg미만 18,000 Ω , 70kg이상 80kg미만은 10,000 Ω , 80kg이상인 경우 7,000 Ω 이하가 되지 않는 것으로 나타났다.

결과적으로 체중이 적은 사람군의 인체저항값이 그 분포가 넓고 저항값이 높게 나오는 반면에, 체중이 많이 나가는 사람군인 경우는 저항값의 분포가 좁고 낮은 저항값을 보이고 있다.

3-2. 인체저항의 평균치

성인 남자의 인체저항의 평균치는 피부저항이 약 2,500 Ω , 내부조직저항이 약 300 Ω , 발과 신발 사이의 저항이 1,500 Ω , 신발과 대지사이를 700 Ω 으로 보아 전체적으로는 약 5,000 Ω 이 된다는 이론이 가장 널리 알려져 있다.¹⁾

또한 [Table 1]은 미국 화재보험협회시험소(UL)에서 어른 40명(남자 20명, 여자 20명)에 대해 DC 12V의 건전지를 사용해 각각 5[mA], 1[mA]의 전류를 흘려 측정된 인체저항을 나타낸 것이다.

단위 : [Ω]

저항 범위	통 전 경 로				
	손-손 (건)	손-발 (건)	손-손 (습)	손-발 (습)	오른손-발 (습)
최소	6,600	1,550	930	610	820
최대	18,000	13,500	2,720	1,260	1,950
평균	11,300	4,800	1,940	870	1,220

주) 연령범위:18~58세, 신장범위:152~185[cm], 체중범위:45~94[Kg]

[Table 1] UL에서 측정된 어른의 인체 저항⁷⁾

이 결과를 보면 인체저항(손-손)값은 건조상태에서 평균 저항치가 11,300 Ω , 젖은 상태에서 평균 저항치가 1,940 Ω 인 것으로 나타나 있다.

한편, 본 연구에서 DC 12V 건전지를 이용하여 측정된 인체의 평균 저항값(손-손)이 건조상태는 35,102 Ω 인데 반해 젖은 상태는 9,232 Ω 으로 나타나, 5,000 Ω 을 제시하고 있는 이론 및 미국 화재보험협회 시험소에서 측정된 인체저항값과 비교할 때 다소 차이가 나고 있다.

4. 결론

감전사고를 방지하기 위해서는 인체저항이 중요한 변수가 되는데, 외국에서는 여러 기관에서 연구를 통하여 인체저항을 측정하여 발표한 사례가 있으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않아 우리나라 사람의 특성에 부합하는 감전사고 방지대책을 수립하는 데에는 한계가 있었다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 국내에서 피측정

자 125명을 대상으로 하여 인체저항을 측정하여 위와 같은 결과를 얻었다.

그러나 본 측정은 DC 12V의 Multi-Tester를 가지고 측정했기 때문에 실제 감전사고 발생 가능성이 큰 교류 220V가 인가되었을 때와는 차이가 있을 것으로 사료되며, 이 부분에 대하여는 보다 더 심층적인 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

- [1] 김찬오외 6인, "전기안전공학", 동화기술, 1995.
- [2] 한국전기안전공사, "98년도 감전사고 실태조사" 1999.
- [3] 한국전기안전공사, "전기재해통계분석" 1998
- [4] 전기안전공학 연학사 1991년
- [5] W. B. Kouwenhoven & O. Langworthy "Effect of electric shock",
TAIEE, Jan 1930
- [6] C.F.Dalziel, J.B.Lagen & J.L.Thurston "Electrical Engineering 60
Trans 1073, 1941
- [7] H.Freiberger, "Der Elektrische Widerstand des menschlichen Körpers Gegen
Technischen Gleich und Wechselstrom" Elektrizitätswissenschaft, Vol33, 1933.
- [8] W.Fordham Cooper, "Electrical Safety Engineering" 1978.