

신발의 전기저항 측정에 관한 연구

최상원 · 이석원*

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전연구실
*한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전인증센터
(2013. 1. 3. 접수 / 2013. 5. 7. 채택)

A Study on the Measurement of Electric Resistance of Footwear

Sang-Won Choi · Seokwon Lee**

Department of safety research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

*Center for Safety Certification, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

(Received January 3, 2013 / Accepted May 7, 2013)

Abstract : The occurrence of the ventricular fibrillation is directly dependent on the magnitude and duration of the current. The current which flows through the human body is proportional to the touch voltage applied across the body and is in inverse proportion to the impedances in the circuit. The circuit impedances consist of human body impedance, line impedance, equipment impedance, earth terminal impedance and impedance of shoes which a person put on. The impedance of shoes greatly affect the severity of the electric accidents. The human body impedances relevant to the contact areas, contact conditions, current paths and touch voltages are already determined in the IEC 60479-1. However, the impedance of shoes is ignored or substituted by a simple value because of the absence of the sufficient data. For example, the impedance of shoes plus ground contact resistance is postulated to be 1,000 Ω in the IEC 61200-612. In IEEE 80, the shoe resistance plus ground contact resistance is assumed to be bare foot with $\rho 4b \Omega$. In this paper, we measured and analyzed the impedance of shoes with respect to conditions such as applied weight, environment variables and voltages. The results showed that the impedance of shoes is dependent on environment variables regardless of the types of shoes. Most of shoes showed the correlation with the applied force, whereas a few shoes showed characteristics related to the applied voltage. In terms of severity of electric shock, one thirds of test samples indicated to be dangerous in saltwater conditions.

Key Words : electric resistance, shoes/footwear(dry, wet, salty), human body

1. 서론

심실세동에 의한 순환기 계통의 교란은 저압에서의 감전사고의 가장 큰 원인이다. 인체를 통한 통전전류의 크기 및 통전시간은 심실세동의 발생에 직접적으로 영향을 준다. 통전전류가 심장주기의 한주기 이상 흐르는 경우, 심실세동 발생에 관한 한계값은 대략 30 mA이며, 한계값 통전시간이 증가함에 따라 감소된다. 통전전류는 전압에 비례하며 통전경로상에 위치한 임피던스에 반비례한다. 이러한 임피던스에는 인체임피던스, 선로임피던스, 기기임피던스, 접지저항 및 사람이 착용하고 있는 신발의 임피던스가 있다. 일반적으로 선로 및 기기의 임피던스 값은 상대적으로 작아 무시될 수 있으며, 접지저항, 인체임피던스 및 착용한 신발류의 임피던스가 사고의 결과에 크게 영향을 미친다¹⁻²⁾. 인체의 임피던스는 각 접촉 면적, 접촉상태, 통전경로 및 접촉 전압에 대하여 IEC 60479-1이 이미 발간되어 있다³⁾. 그러나 신발임피던스의 경우 충분한 데이터가 없기 때문에 무시되거나, 단순한 값으로 치환되고 있다. 예를 들어, IEC 61200-612에서 신발의 저항 및 대지와의

접촉전압의 합은 1,000 Ω 으로 가정되고 있다⁴⁾. 변전소 접지설계를 위한 IEEE 80에서는 신발저항 및 대지와의 접촉저항의 합을 맨발에 $\rho 4b \Omega$ 으로 가정한다⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 감전사고에 대한 신발류의 영향을 파악하기 위하여, 신발에 인가되는 체중, 습윤과 같은 환경 변수 및 인가전압에 따른 신발의 저항을 측정하고자 하였다.

2. 신발의 전기저항 측정기준 및 장치개발

2.1. 국내외 관련 기준

2.1.1. 국내 기준

현재 상용주파 60 Hz에 대한 신발의 전기저항시험을 규정하고 있는 국내 표준은 없다. 단, 절연화의 경우에는 절연내력시험을 규정하고 있다. 국내에서도 산업안전보건법 제34조에 의거 절연화 등의 보호구는 안전인증 기준에 따라 안전인증을 받도록 되어있다. 안전인증은 저항측정이 아닌 내전압시험을 규정하고 있다. 시편을 금속제 전극위에 고정시키고 2.3±0.2 kg 무게의 금속제 발모형을 안착 표면 전면적의 65% 이상 접촉되도록 부착한 후, 60 Hz

*Corresponding Author: Seokwon Lee, Tel : +82-32-510-0859, E-mail: lswon1@lycos.co.kr
Center for Safety Certification, Occupational Safety and Health Research Institute, 478, Munemi-ro, Bupyeong-Gu, Incheon 403-711, Korea

14,000 V의 전압을 75%까지는 적당한 속도로 상승시키고, 그 이후로는 약 1,000 V/s의 비율로 규정 시험전압까지 증가시켜 이에 1분간 견디는지의 여부와, 측정 충전전류를 접지 측에 연결된 시료치 지시형 전류계로 측정, 합격기준은 5 mA 이하로 되어있다.

국가 산업표준화법에 의한 KS M ISO 20344⁶⁾는 ISO 20344⁷⁾ 규격을 부합화한 것으로, 전기적 실험은 내전압성 시험과 전기 절연성 시험으로 구분된다.

2.1.2. 국외 기준

국외의 경우는 역시 신발의 전기저항을 측정하는 표준은 존재하지 않지만, 절연화의 시험에 대해서는 ISO(International Standard Organization), ASTM(American Society of Test Material) 및 EN(European Normative) 규정이 있다. 유럽의 EN 50321⁸⁾은 KS M ISO 20344 표준과 동일 시험기준이다. Fig. 1은 시험장치를 나타낸 것이다. 시험은 수돗물로 채워진 수조안에서 수행되며, 안전화 내부는 수돗물 또는 직경 3.5±0.6 mm인 스테인리스 구슬로 채워진다. 시험에 스테인리스 구슬은 흡수성 물질과 같이 채워져 사용된다. 신발내부 물 깊이 또는 구슬을 높이는 신발외부의 물 깊이에 상응해야하며, 시험되는 안전화종류에 따라 결정된다. 신발 내부 물 또는 구슬은 전원의 고전압 단자에, 신발외부 수조 내 물은 접지에 연결된다. 인가시간은 시험 종류(정기 및 형식시험)에 따라 다르게 적용된다. 시험전압은 안전화 종류에 따라 Table 1에 지정된 전압에 도달할 때까지 점차 증가시키며, 도달 시 바로 감소시킨다. 전압 변화속도는 상승/하강 모두 1000 V/s이다. 이 시험에서 관통(puncture)되지 않으면 적합한 것으로 판정된다.

미국에는 ANSI(American National Standards Institute) Z41⁹⁾ 표준이 있으며, 국내 보호구 의무안전인증기준과 비슷한 내전압 성능을 요구하고 있으며, 누설전류를 3.0 mA 이하로 규정하고 있다.

측정장비로는 용량 500 VA 이상 변압기가 사용되며,

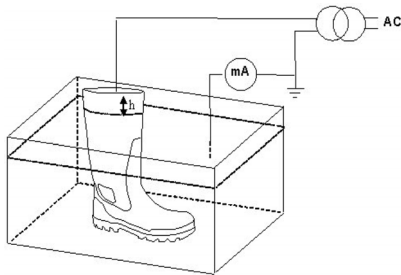


Fig. 1. Arrangement of resistance test apparatus for footwear.

Table 1. Voltage and current value for verification and type test.

Class of shoes	Test AC voltage (kVrms)	Test current for the boot(mArms)				AC voltage for type test (kVrms)
		Design(EN 344)				
		A	B	C	D	
00	2.5	1	1.5	2	3	5
0	5	2	2.5	4	5	10

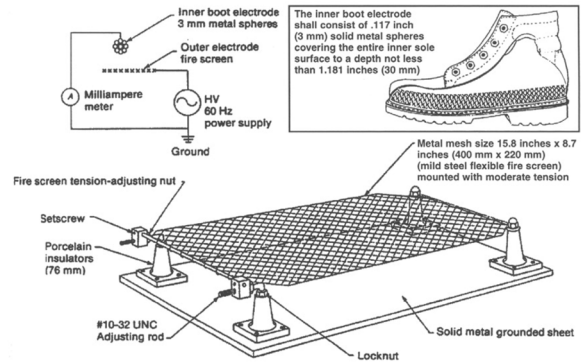


Fig. 2. Typical arrangement of electrical test platform for footwear.

측정시스템의 입력임피던스는 280 kΩ을 넘을 수 없다. 신발 내 전극은 BB탄 모양의 3 mm 금속제 구슬이며, 이 구슬들을 신발 안에 넣어 전체 신발 내부 면을 높이 30 mm 이상 덮도록 한다. 신발 외부 전극은 신발에 구슬이 있을 때 신발의 무게를 지지하도록 적당한 장력이 가해진 스프링으로 지지되는 금속제 망(fire screen)으로 구성된다. 전압은 실제 시료 신발에 인가되는 실효값을 지시하도록 측정하며, 전류는 교류 전류계로 측정한다. Fig. 2는 시험장치 배치도를 나타낸 것이다.

캐나다 표준인 CSA(Canadian Standards Association) Z195¹⁰⁾은 ANSI Z41과 거의 유사하며, 동일한 시험장비 및 절차를 사용한다. 단, ANSI 규정이 14 kV에 1분 동안 누설전류 한도를 3.0 mA로 규정한 반면, CSA Z195 표준은 60 Hz 18 kV의 시험전압에 누설전류 한도를 1 mA로 규정하고 있다.

2.2. 측정장치 개발 및 특성

2.2.1. 착안 사항

측정장치는 근로자가 일반적으로 착용할 수 있는 신발에 대한 전기저항을 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 측정장치는 실험전압을 공급하기 위한 전원장치, 신발의 저항을 측정하기 위한 전압 및 전류감지기, 신발에 필요한 하중을 주기위한 유압장치 및 힘을 측정하기 위한 센서로 구성된다. 측정장치의 구성은 Fig. 3과 같으며, 기본명세 요구사항은 다음과 같다.

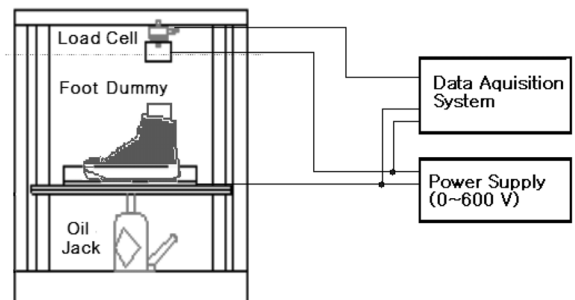


Fig. 3. Schematic diagram of test equipment.

• 전압

감전재해에서 인체의 사망원인은 전압에 따라 크게 달라지는데, 저압사고의 경우에는 심실세동이 주요 사망원인이 되나, 고압사고의 경우 큰 전류에 의해 제세동(defibrillation) 현상 때문에 심실세동보다는 과도전류에 의한 화상, 아크화상 등이 중요원인이 된다. 따라서 이 연구에서는 신발의 저항이 사고에 영향을 줄 수 있는 저압 사고를 모의하기 위하여 측정장치의 시험전압을 저압인 교류 0~600 V로 하였다.

• 작용압력

통전경로에 발이 포함된 경우, 대부분 신발에는 사람의 체중이 인가하게 된다. 따라서 사람의 체중을 모의하기 위해 신발에 100 kg 이상의 하중을 줄 수 있도록 하였고, 인가하중은 로드셀을 이용하여 감시될 수 있도록 하였다.

• 측정범위

인체의 감지 전류 한계값은 통상 0.5 mA로 알려져 있다. 저압의 한도는 600 V이므로, 저압감전사고에 대하여 유의(有意)한 임피던스 값은 1.2 MΩ이 된다. 이 연구에서는 측정장치의 감도 등을 고려하여 최대 측정할 수 있는 임피던스 범위를 10 MΩ으로 정하였다.

• 전극

신발과의 접촉저항 등에 의해 발생하는 오차를 막기 위해, 신발내부의 전극은 동재로 발모형으로 제작하였고, 신발 바닥측 전극은 신발크기 이상의 사이즈를 갖는 평편한 동판으로 제작하였다. 또한 바닥면 판은 신발이 물에 잠겼을 경우를 모의하기 위해 높이 3 cm의 턱을 만들었다. 발모형의 크기는 노동부고시(2008-73호, 2008. 12. 3)의 '절연화 안전인증 기준'에 의한 전극과 동일 형상을 갖도록 270 mm로 하였다.

• 외형 및 기타기능

신발에 작용하는 힘은 유압잭을 통해 신발의 하부에서 가해진다. 이 힘에 의해 장치 구조부에 응력이 가해지는 것을 막기 위해, 신발 측 전극 상부에 스프링과 오일로 구성된 완충기를 설치하였다. 신발 측정 장치는 하부에 바퀴를 달았으며, 측정기와 분리시켜 이동성을 증대시켰다.

2.2.2. 장치 세부명세

측정장치의 세부적인 명세는 다음과 같다.

- 모형 발 및 발목
 - 크기 : 270 mm - 재질 : 동
 - 형상 : 인체 발모양
 - 전원 연결을 위한 단자 장착
- 압력 가변 장치
 - 구동방법 : 유압방식 - 압력범위 : 0~500 kg
 - 수동조작으로 미세한 조절가능
- 압력 가변 지그
 - 크기 : 1000(H) × 600(W) × 600(D) mm

- 재질 : SS가공 - 절연봉 : 100 Φ × 50 mm
- 절연판 : 300(W) × 400(D) × 12(H) mm
- 동판 : 200(W) × 300(D) × 7(H) mm
- 계측 및 제어용 외함
 - 크기 : 1600(H) × 750(D) × 600(W) mm
 - 재질 : 알루미늄
- 전류 센서
 - 분해능 : 10 nA - 입력저항 : < 11 Ω
 - 오차 : 0.5%
- 전압 센서
 - 분해능 : 1 uV - 오차 : 0.4%
 - 입력저항 : 1 MΩ ± 2% 약 150 pF
- 압력 센서
 - 용량 : 0~200 kg - 출력 : 1.0 mV/V ± 1%
 - 히스테리시스 : ≤ 0.5%
 - 반복성 : ≤ 0.2% - 입력력 저항 : 350 Ω
- 전원 공급기
 - 정전압 정주파수의 교류전력
 - 출력 : 0~600 V, 반도체 가변방식
 - 주파수변환 : 50~100 Hz
 - AC 15 kV 인가 5 MΩ 이상 (1분간)
 - 용량 : 2 kVA/3 A - 강제공냉식

3. 신발의 전기저항 측정 실험

3.1. 측정개요

사람이 착용한 보호구의 임피던스가 포함된 보호구의 임피던스는 통전경로가 발을 통해 형성된 경우 신발 및 대지의 저항이, 손을 통해 형성된 경우 장갑류의 저항이 포함된다. 이러한 신발류 등의 저항은 감전사고의 결과에 큰 영향을 준다. 인체의 총 임피던스에 관하여는 IEC 60479에서 접촉상태 및 접촉면적을 감안한 접촉전압에 대한 임피던스 값이 적용되고 있으나¹¹⁾, 신발류 등의 저항에 관한 부분은 관련 데이터의 미비 등으로 단순한 값으로 나타내거나 무시하고 있다. IEC 61200-413에서 통전시간에 대한 접촉전압 한계값 곡선을 만들 때, 신발 및 대지의 저항을 1,000 Ω으로 가정하였고, 물이 존재하는 심각한 상황에 대해서는 200 Ω으로 가정하였다¹²⁾. 변전소 접지설계에 사용되는 IEEE Std 80에서 접촉 및 보폭전압 계산 시 맨발로 가정하였고, 다만 발과 접촉하는 대지저항을 $\frac{\rho}{4b}$ 로 가정하였다. 여기서, ρ 는 대지저항률이며 b 는 발과 등가 크기를 갖는 원의 반경이다.

전기작업 안전을 다루는 IEEE 902에서는 130 cm²의 접촉면적에 대하여 고무신발의 저항은 > 20 MΩ, 건조상태의 가죽신발에 대해 100~500 kΩ, 습한상태의 가죽신발에 대한 5~20 kΩ으로 제시하고 있으나¹³⁾ 각종 인자에 대한 관계에 대해서는 모호한 상태이다.

따라서 이 실험에서는 습기와 같은 환경 및 신발을 신은 사람에게 의해 인가되는 체중, 신발에 걸리는 전압에 따른 신발의 전기저항 변화에 대한 관계를 실험적으로 규명하

고자 하였다.

3.2. 실험조건 및 방법

신발의 전기저항 측정 실험은 다음과 같은 인자를 고려하였다.

- 인가전압은 저압 감전사고를 모의하기 위해 저압 0~600 V로 하였으며, 50 V, 75 V, 110 V, 150 V, 200 V, 220 V, 300 V, 380 V, 400 V, 440 V, 500 V 및 600 V로 12 수준으로 정하였다.
- 신발상태는 건조상태, 수돗물에 젖은 습윤상태 및 땀에 젖은 염분상태로 총 3수준으로 실험을 진행하였다. 각 상태의 정의 및 구체적인 실험조건은 아래와 같다.
 - 건조상태는 정상적인 실내 환경 하에서 신발상태로 온도 20℃ 상대습도 50%로 7일간 유지하였다.
 - 습윤상태는 수돗물에 젖은 상태로, IEC 60479-1에서 평균 고유저항=3,500 Ωcm, pH=7~9의 수돗물에 젖은 상태의 정의에 따라 실시하였다.
 - 염분(소금물) 습윤상태는 소금물에 젖은 상태로 IEC 60479-1에서 평균 고유저항=30 Ωcm, 염화나트륨 3% 수용액에 젖은 상태의 정의에 따라 실시하였다.
- 작용압력은 사람의 체중을 고려하여 한발로 서 있는 상태 70 kg, 양발로 서 있는 상태 35 kg 및 하중이 없는 상태인 10 kg으로 실험하였다.
- 측정값은 측정장치의 오차를 고려하여 측정가능 한계 값을 10 MΩ으로 하였다.

3.3. 시료

시료 신발은 건설현장에서 주로 신고 있는 비 절연성 안전화 및 일반 제조업체 근로자들이 착용할 수 있는 운동화, 구두 및 슬리퍼류를 대상으로 하였다. 사이즈는 측정장치의 발모형에 맞추어 270 mm를 선정하였다. 시료 신발의 목록은 Table 2와 같다.

3.4. 측정 장치 및 측정 방법

실험은 앞의 2에서 개발한 Fig. 4의 실험장치를 사용하였다.

50개의 측정시료에 대해 실험조건에 규정된 인자들에 대해 다음과 같이 신발 전기저항을 측정하였다.

- 인가전압은 50 V, 75 V, 110 V, 150 V, 200 V, 220 V, 300 V, 380 V, 400 V, 440 V, 500 V 및 600 V로 12 수준으로 실험하였으며, 방전 발생 시 상위 수준의 실험은 생략하였다.
- 신발은 건조상태, 수돗물에 젖은 습윤상태 및 소금물에 젖은 염분 습윤상태로 실험을 진행하였다. 건조상태는 향온향습기를 이용하여 온도 20℃, 상대습도 50%로 7일간 유지시킨 후 실험하였다. 습윤상태는 수돗물에 시료를 24 시간 이상 담근 후 흡습성이 좋은 운동화 및 안전화는 자기 무게의 40%, 흡습성이 떨어지는 구두 및 슬리퍼는 자기 무게의 20%의 물이 흡수되도록 한 후 측정하였다. 땀에 젖은 상태를 모

Table 2. List of footwear for test specimen.

no.	type	sole material	upper material	weight(g)
1	safety shoes	rubber+phylon	leather	675
2	sneakers	rubber+phylon	synthetic leather	355
3	sneakers	rubber+phylon	artificial leather	330
4	leather shoes	polyurethane	synthetic leather	290
5	slippers	rubber+phylon	artificial leather	280
6	sneakers	rubber+phylon	synthetic leather	305
7	sneakers	rubber+phylon	synthetic leather	370
8	safety shoes	rubber	leather	725
9	sneakers	rubber+phylon	synthetic leather	395
10	slippers	rubber+polyurethane	synthetic leather	260
11	slippers	polyurethane	synthetic leather	255
12	slippers	polyurethane	synthetic leather	275
13	slippers	cork+sponge	synthetic leather	295
14	slippers	polyurethane	synthetic leather	270
15	slippers	polyurethane	synthetic leather	250
16	slippers	polyurethane	leather	315
17	slippers	rubber	leather	385
18	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	705
19	sneakers	rubber+polyurethane	synthetic leather	290
20	sneakers	rubber+phylon	wet fabric	310
21	sneakers	rubber+polyurethane	synthetic leather	325
22	leather shoes	rubber	leather	425
23	leather shoes	rubber	leather	380
24	leather shoes	rubber	leather	400
25	safety shoes	rubber	leather	515
26	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	615
27	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	760
28	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	665
29	safety shoes	rubber+phylon	leather	475
30	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	685
31	sneakers	phylon rubber	polyurethane mesh	335
32	slippers	polyurethane	synthetic leather	260
33	sneakers	phylon rubber	synthetic leather mesh	305
34	slippers	polyurethane	synthetic leather	240
35	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	670
36	leather shoes	rubber	leather	400
37	safety shoes	rubber	leather	595
38	sneakers	phylon rubber	synthetic leather mesh	365
39	leather shoes	rubber	leather	605
40	leather shoes	rubber	leather	355
41	slippers	phylon	synthetic leather	160
42	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	750
43	sneakers	phylon rubber	synthetic leather mesh	330
44	sneakers	phylon rubber	synthetic leather mesh	475
45	slippers	polyurethane	synthetic leather	270
46	safety shoes	rubber+polyurethane	leather	665
47	leather shoes	rubber	leather	455
48	leather shoes	rubber	leather	420
49	slippers	polyurethane	synthetic leather	215
50	safety shoes	leather	rubber	665

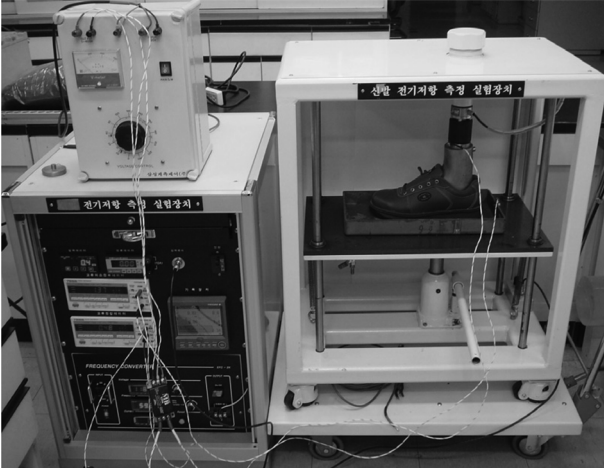


Fig. 4. Photo of experimental set-up.

의한 염분상태의 경우 염화나트륨 3% 수용액에 시료를 24 시간 이상 담근 후 흡성이 좋은 운동화 및 안전화는 자기 무게의 40%, 흡습성이 떨어지는 구두 및 슬리퍼는 자기 무게의 20%의 물이 흡수되도록 한 후 측정하였다.

- 실험장치의 유압장치를 이용하여 신발에 70 kg, 35 kg 및 10 kg를 인가하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1. 실험 결과

50개의 측정시료에 대각 시료의 각 상태별 전기저항 측정값은 Table 3과 같으며 각 결과를 종합하면 다음과 같다.

4.2. 검토

측정결과는 통계전용 소프트웨어인 Minitab을 사용하여 일반기술 통계량 분석 및 일반선형모델로 분석하여 신발 상태, 인가전압, 인가압력이 신발 임피던스에 유의한 영향을 미치는지 검정하였다.

4.2.1. 안전화의 측정결과

- 건조상태에서 모든 시료의 임피던스는 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 습윤상태에서 각 시료의 평균 임피던스는 5개의 시료가 10 MΩ 이상 값을 나타내었으며, 최저값은 1.1915 kΩ으로 측정되었다.
- 염분상태에서 각 시료의 평균 임피던스는 1개의 시료가 10 MΩ 이상 값을 나타내었고, 나머지 시료는 0.4628 kΩ에서 4,167.6 kΩ의 값을 나타내었다.
- 일반선형모델의 잔차분석결과 안전화의 임피던스에 대한 전압의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 6개의 시료는 통계적으로 유의하지 않으며, 7개 시료가 유의한 것으로 나타났다. 이 중 4개의 시료가 ‘+’의 관계, 3개의 시료가 ‘-’의 관계를 나타내었다.

- 일반선형모델로 분석한 안전화의 임피던스에 대한 인가압력의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 4개의 시료는 통계적으로 유의하지 않고, 9개 시료가 유의한 것으로 나타났으며, ‘-’의 관계를 가졌다. 이는 대부분 안전화의 임피던스가 압력이 증가함에 따라 감소하나, 전압에 대해서는 신발에 따라 영향이 다르게 나타났다.
- 일반선형모델로 분석한 안전화 임피던스에 대한 상태(건조, 습윤, 염분)의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 14개의 시료 모두 ‘-’의 상관관계를 나타내었다.

4.2.2. 운동화의 측정결과

- 건조상태에서 모든 시료의 임피던스는 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 습윤상태에서 4개 시료의 임피던스가 10 MΩ 이상을 나타내었고, 나머지 8개 시료의 평균 임피던스는 64.19 kΩ에서 2,412 kΩ 값을 나타내었다.
- 염분상태에서 1개 시료의 임피던스가 10 MΩ 이상을 나타내었으며, 나머지 시료의 평균 임피던스는 0.66 kΩ에서 1,190.9 kΩ 값을 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 운동화의 임피던스에 대한 전압의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 8개의 시료는 통계적으로 유의하지 않고, 4개 시료가 유의한 것으로 나타났으며, 3개 시료가 ‘+’, 1개 시료가 ‘-’의 관계를 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 운동화의 임피던스에 대한 인가압력의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 2개의 시료는 통계적으로 유의하지 않고, 10개 시료가 유의한 것으로 나타났으며, ‘-’의 관계를 가졌다. 이는 대부분 운동화의 임피던스가 압력이 증가함에 따라 감소하나, 전압에 대해서는 신발에 따라 영향이 다르게 나타났다.
- 일반선형모델로 분석한 운동화 임피던스에 대한 상태(건조, 습윤, 염분)의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 모든 시료가 유의하며, ‘-’의 관계를 나타내었다.

4.2.3. 구두의 측정결과

- 건조상태에서 모든 시료의 임피던스는 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 습윤상태에서 각 시료의 평균 임피던스는 5개의 시료가 10 MΩ 이상 값을 나타내었으며, 최저값은 42.46 kΩ으로 측정되었다.
- 염분상태에서 평균 임피던스는 2개의 시료가 10 MΩ 이상 값을 나타내었으며, 나머지 시료의 평균임피던스는 1.02 kΩ에서 24.9 kΩ 값을 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 구두의 임피던스에 대한 전압의 관계는 10 MΩ 이상 값을 나타낸 2개의 시료를 제외하고, 신뢰구간 95%를 기준으로 4개의 시료는 통계적으로 유의하지 않으며, 2개의 시료가 ‘+’관계를, 3개 시료가 ‘-’의 관계를 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 구두의 임피던스에 대한 인가압력의 관계는 10 MΩ 이상 값을 나타낸 2개의 시료를 제외하고, 신뢰구간 95%를 기준으로 1개의 시료

Table 3. Summary of measured results on shoes impedance.

no.	footwear impedance(k Ω) @ salt, 110 V	footwear impedance(k Ω) @ salt, 220 V	average impedance (k Ω) @ wet	average impedance (k Ω) @ salt	average impedance (k Ω) @ dry	impedance vs test voltage significance	impedance vs pressforce significance
1	1.594231	1.641806	9.975	2.1469	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
2	9.983074	10.00061	64.19	10.74	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
3	1010.658	1318.629	9754	1190.9	more than 10 M Ω	not significant	not significant
4	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	N/A	N/A
5	2.291737	2.018376	3362.4	2.7156	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
6	84.69422	88.04261	128.76	90.078	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
7	48.27229	51.78006	995.52	68.1	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
8	0.419849	0.406655	1.1915	0.4628	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
9	4.583563	3.66674	226	109	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
10	5.472999	5.432277	3159	6.5	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
11	792.7928	1106.918	more than 10 M Ω	1219	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
12	20.37467	20.95466	69.8	21.188	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
13	1.292614	1.089115	227.1	1.74	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
14	6.180164	6.567384	more than 10 M Ω	6.44	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
15	16.66955	16.92456	more than 10 M Ω	21.69	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
16	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	N/A	N/A
17	33.34516	34.38129	5356	32	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
18	5.000245	3.928647	108.8	4.7	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
19	22.45448	31.43396	174.8	33.24	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
20	23.41023	22.68322	1223.2	26	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
21	413.9229	404.5977	2412	400.3	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
22	3.416266	3.63643	more than 10 M Ω	3.892	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
23	4.400206	4.835289	more than 10 M Ω	5.56	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
24	26.19784	24.44765	8927	24.9	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
25	1490.313	2534.27	more than 10 M Ω	2965	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
26	25.00602	27.09713	71	26.55	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
27	3453.689	4413.24	more than 10 M Ω	4149.1	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
28	3.793239	3.793171	270.8	4.34	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
29	17.7452	17.4619	1145.4	16.9	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
30	4243.827	4172.989	5456	4167.6	more than 10 M Ω	not significant	not significant
31	2.16	2.16	more than 10 M Ω	2.34	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
32	174.92	183.51	more than 10 M Ω	187.36	more than 10 M Ω	not significant	not significant
33	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	N/A	N/A
34	6.67	6.29	more than 10 M Ω	24.54	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
35	3948.31	4010.21	more than 10 M Ω	3986.40	more than 10 M Ω	not significant	not significant
36	2.50	2.27	2152.00	2.58	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
37	4.58	4.68	635.40	4.50	more than 10 M Ω	not significant	not significant
38	0.55	0.59	1146.40	0.66	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
39	10.48	13.33	more than 10 M Ω	11.79	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
40	0.90	1.03	51.09	1.02	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
41	6935.69	7896.63	8305.60	7547.00	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
42	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	more than 10 M Ω	N/A	N/A
43	1.47	1.16	more than 10 M Ω	6.15	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
44	7.86	7.46	more than 10 M Ω	8.10	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)
45	10.09	8.73	more than 10 M Ω	11.50	more than 10 M Ω	not significant	significance(-)
46	2162.80	2394.95	more than 10 M Ω	2363.10	more than 10 M Ω	significance(+)	significance(-)
47	4.07	4.65	42.46	5.00	more than 10 M Ω	not significant	significance(+)
48	2.04	1.95	1495.60	2.08	more than 10 M Ω	significance(+)	not significant
49	6159.01	6497.34	more than 10 M Ω	6282.00	more than 10 M Ω	not significant	significance(+)
50	0.83	0.79	303.65	0.97	more than 10 M Ω	significance(-)	significance(-)

는 통계적으로 유의하지 않으며, 1개의 시료가 ‘+’ 관계를, 7개 시료가 ‘-’의 관계를 가졌다. 이는 대부분 구두의 임피던스가 압력이 증가함에 따라 감소하나, 전압에 대해서는 신발종류에 따라 다르게 나타났다.

- 일반선형모델로 분석한 구두 임피던스에 대한 상태 (건조, 습윤, 염분)의 상관관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 모든 시료가 ‘-’ 관계를 나타내었다.

4.2.4. 슬리퍼의 측정결과

- 건조상태에서 모든 시료의 평균임피던스는 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 습윤상태에서 7개의 시료가 10 MΩ 이상을 나타내었으며, 최저값은 69.8 kΩ으로 측정되었다.
- 염분상태에서 시료의 평균임피던스는 1.74 kΩ에서 7,547 kΩ 값을 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 슬리퍼의 임피던스에 대한 전압의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 7개의 시료는 통계적으로 유의하지 않으며, 4개 시료가 ‘+’의 관계를, 1개의 시료가 ‘-’의 관계를 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 슬리퍼의 임피던스에 대한 인가압력의 상관관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 5개의 시료는 통계적으로 유의하지 않으며, 6개 시료가 ‘-’의 관계를, 1개의 시료가 ‘+’ 관계를 나타내었다.
- 일반선형모델로 분석한 슬리퍼 임피던스에 대한 상태 (건조, 습윤, 염분)의 관계는 신뢰구간 95%를 기준으로 모든 시료가 ‘-’의 관계를 나타내었다.

5. 결론

인체를 통한 통전전류의 크기 및 통전시간은 심실세동의 발생에 직접적으로 영향을 준다. 일반적으로 선로 및 기기의 임피던스 값은 상대적으로 작아 무시될 수 있으며, 접지저항, 인체 임피던스 및 착용한 신발류의 임피던스가 사고의 결과에 크게 영향을 주기 때문에 본 연구에서는 감전사고에 대한 신발류의 영향을 확인하기 위하여, 신발에 인가되는 체중, 습윤과 같은 환경변수 및 인가전압에 따른 신발의 저항을 측정하였다. 50개의 측정시료에 대하여 다음과 같은 주된 실험결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 건조상태에서 모든 시료의 임피던스는 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다. 이 값은 건조상태에서 신발을 통한 감전재해로 이어질 가능성이 거의 없다고 판단된다.
- 2) 습윤상태에서 각 시료의 평균 임피던스는 1.1915 kΩ에서 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 3) 염분상태에서 각 시료의 평균 임피던스는 0.4628 kΩ에서 10 MΩ 이상의 값을 나타내었다.
- 4) 가장 낮은 신발 임피던스는 시료 12번으로 습윤상태에서 740 Ω, 염분상태에서 341 Ω으로 측정되었다.
- 5) 일반선형모델로 분석한 신발 임피던스에 대한 상태 (건조, 습윤, 염분)의 관계는, 유의수준 5% 기준으로, 10 MΩ 이하를 나타낸 28개의 시료 모두 ‘-’ 상관관계를 가졌다.

6) 일반선형모델로 분석한 신발 임피던스에 대한 전압의 관계는, 유의수준 5% 기준으로, 10 MΩ 이하를 나타낸 28개의 시료 중 16개의 시료가 유의하지 않았으며, 4개 시료가 ‘-’ 관계, 8개의 시료가 ‘+’ 관계를 나타내었다.

7) 일반선형모델로 분석한 신발 임피던스에 대한 인가압력의 관계는 유의수준 5% 기준으로, 10 MΩ 이하를 나타낸 28개의 시료 중 21개 시료가 ‘-’ 관계를 가졌으며 7개의 시료만이 유의하지 않았다. 이는 대부분 신발의 임피던스가 압력이 증가함에 따라 감소하나, 전압에 대해서는 신발에 따라 다르게 나타났다.

실험 결과를 종합해 보면, 신발의 저항은 신발의 종류에 관계없이 신발상태(건조, 습윤, 염분)에 영향을 받으며, 많은 신발이 인가 압력에 유의한 결과를 보였고, 인가전압에는 일부 신발만이 유의한 관계를 나타내었다. 감전의 위험성에 관해서 측정결과 염분상태에서는 50개의 신발 중 10개의 신발이 위험을 나타내었다.

References

- 1) Seokwon Lee, Hyungseok Kim, “Measurement of the resistance of shoes”, 2010 Fall Conference of the Korean Society of Safety, p. 44, 2010.
- 2) Electric Shock Prevention Measures for Low Voltage Electrical Facilities, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA, 2009-106-1318, 2009.
- 3) IEC 60479-1, Effects of Current on Human Beings and livestock-Part 1: General Aspects, 2005.
- 4) IEC 1200-612, Electrical installation guide- , 1996.
- 5) IEEE 80, Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000.
- 6) KS M ISO 20344, Personal Protective Equipment - Test Methods for Footwear, 2005.
- 7) ISO 20344, Personal Protective Equipment - Test Methods for Footwear, 2004.
- 8) EN 50321, Electrically Insulating Footwear for Working on Low Voltage Installations, 2000.
- 9) ANSI Z41, Performance Requirements for Protective Occupational Footwear, 1999.
- 10) CSA Z195, Protective Foot Wear, 2002.
- 11) IEC 60479, Effects of Current on Human Beings and Livestock, 2005.
- 12) IEC 1200-413, Electrical Installation Guide- Protection Against Indirect Contact-Automatic Disconnection of Supply, 1996.
- 13) IEEE 902, Guide for Maintenance, Operation, and Safety of Industrial and Commercial Power Systems, 1998.
- 14) KS C IEC 61340-4-3, Electrostatics - Part 4-3 : Standard Test Methods for Specific Applications - Footwear, 2007.