지상과 수중에서 전격에 의한 위험성 평가

김두현† · 강동규 · 이종호
충북대학교 안전공학과
(2003. 8. 30. 접수 / 2004. 2. 8. 채택)

Hazard Assessment by Electric Shock both on the Ground and in the Water

Doo-hyun Kim† · Dong-kyu Kang · Jong-ho Lee
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University
(Received August 30, 2003 / Accepted February 8, 2004)

Abstract : This study presents a hazard assessment of the human body exposed to electric shock considering various parameters which affect severity of the electric shock. The present study has two research objectives; one is to analyze hazards of the human body by the electric shock both on the ground and in the water. The other is to understand the mechanism of the electric shock. In order to achieve these objectives the hazard of shock is estimated by comparing with physiological effects of electric current through the human body according to variation of shock parameters of shock circuits. The shock parameters adopted in this paper consist of body resistance, resistance of protective equipment, ground resistance, shock duration, depth of ground surface layer, reflection factor, permissible touch voltage, body current and body voltage. Besides, safety standard determining hazard degree of the human body is introduced. And hazard of the human body due to the electric shock is quantitatively assessed in consideration of data obtained by the method suggested herein, and final results are presented and discussed.
Key Words : hazard assessment, electric shock, shock parameters, safety standard.

1. 서 론

전력산업의 초기부터 전기설비의 주변에서 사람의 안전은 중요한 관심사가 되어왔다. 전격사고의 대부분은 충전설비의 고장으로 누전이 되어 대지전위의 상승 또는 충전부와 접촉함으로써 허용치를 초과하는 인체전류의 크기와 통전시간에 의해 사람의 안전에 부정적인 영향을 끼친다[1]. 세계 각 국에서는 전격모델과 관련된 안전기준을 마련하여 전격위험성 분석 및 평가를 시행하고 있다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 전격사고로 인한 사망, 부상 등의 인명피해가 감소하지 않고 있다[2]. 이런 이유로 전격사고의 원인분석과 대책수립에 대해 재고가 필요한 것이 현실이다. 지금까지 대부분의 전격 사고는 후속조치로써 사고원인만 조사되었으나, 향후에는 다양한 전격조건을 고려하여 전격모델과 관련된 안전기준 즉, 허용접촉전압, 허용인체전류 등을 구함으로써 전격사고가 발생하기 전에 사전조치의 일환으로 위험성 예측 및 평가가 필요하다[3].

감전사고에 의한 인체전류의 허용치(안전한계)를 제공하기 위해 발전되어 온 두 안전기준이 IEEE Std 80과 IEC 479-1이다. IEEE Std 80은 전격모델에 대한 안전을 평가하기 위한 방법을 제공하는 반면 IEC 479-1은 인체의 발과 대지의 접촉임피던스를 제공하지 않는다. 허용접촉전압은 두 기준에서 공통으로 제시하고 있으며, IEEE Std 80에서의 허용인체전류는 우리가 흔히 일컫는 안전전류와 동일한 개념이고, IEC 479-1에서는 통전시간과 전류경로에 따라 다른 값을 제시하고 있다. 아울러 IEC 479-1에서는 인체전류와 인체전압을 해석적 함수식으로 제공하고 있다.

지상과 수중에서 전격으로 인한 위험성을 평가하

†To whom correspondence should be addressed.
dhk@cbucc.chungbuk.ac.kr

기 위해서는 인체저항, 절연화와 절연고무장갑의 전기저항, 발의 접촉저항, 대지저항과 같은 전격모델의 파라미터 중 사고회로에서 인체의 위험성 강도와 직접적인 관련이 있는 인체전류의 크기를 결정하는 저항성분에 대한 특성파악이 1차적으로 요구된다[4]. 본 연구는 지상에서 인체의 전격 위험성 평가를 위해 다양한 전격조건을 가정한 후 IEEE Std 80과 IEC 479-1에서 제시하는 안전기준인 허용접촉전압, 허용인체전류, 인체전압, 인체전류를 구하고, 수중에서 인체의 전격 위험성 평가를 위해 침수된 전기설비의 누전으로 인한 전격 위험성의 크기를 누전점으로부터의 거리와 전위분포를 이용하여 정량적으로 분석하고, 그 위험성을 회피하기 위한 이격거리를 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 지상에서 전격 위험성 모사

지상에서 전격 위험성의 평가를 위한 절차는 Fig. 1에서 설명하는 방법을 따른다. 전격모델을 선택하고 다양한 전격조건을 설정한 후, 전격 파라미터를 구하여 IEEE Std 80과 IEC 479-1에서 제시하는 방법[5,6]에 따라 허용접촉전압을 이용하여 인체의 전격위험성 정도를 평가할 수 있다. 본 연구에서는 테브낭 등가저항(발의 접촉저항)에 영향을 주는 표층 두께의 변화유무에 따라 두 가지 경우로 나누어 위험성 평가를 실시하였다. 대지저항률과 통전시간의 변화에 따라 모사한 경우와 표층의 두께와 반사계수의 변화에 따라 모사한 경우이다.

표층의 두께에 변화를 주지 않고 대지저항률에 변화를 준 경우의 전격위험성 모사를 위한 전격조건은 다음과 같다. 변전소의 접지는 8×8[m] 메시형 접지매트로 구성되어 있다. 또한, 대지저항률이 2000[Ω · m]인 0.1[m] 두께의 자갈층이 변전소 주위를 덮고 있다. 접촉전압은 이전의 연구[3]와 동일하게 390[V]로 가정하였다. 전격조건의 가변요소를 최대 고장시간은 0.05에서 0.5[sec] 사이에서 0.05[sec] 간격으로 설정하고, 대지저항률은 10, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 3000[Ω · m]로 가정하여 허용접촉전압, 허용인체전류, 인체전압과 인체전류을 구한다.

표층의 두께를 가변하여 발의 대지저항의 변화를 고려한 경우에는 표층의 저항률이 2000[Ω · m], 접촉전압은 400[V], 통전시간은 0.4[sec]로 각각 가정하였다. 감소계수에 영향을 주는 표층의 두께(h)와

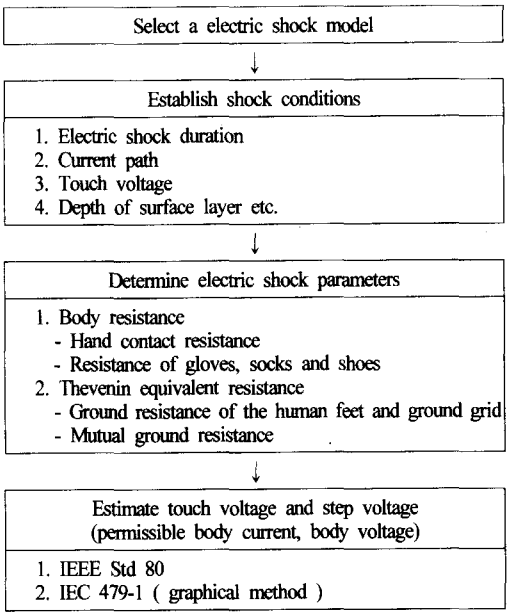

Fig. 1. Block diagram for hazard assessment of the electric shock.

반사계수(K)의 대표값은 5, 10, 15, 20[cm]와 -0.3, -0.4, -0.5, -0.6, -0.7, -0.8, -0.9를 각각 적용하였다. 이러한 대표적인 값에 대해 위에서 행한 동일한 절차를 반복하여 전격 파라미터를 구해 전격시 인체의 반응과 비교하여 인체의 전격위험성을 평가한다.

2.2. 수중에서 전격 위험성 실험

여름철 집중호우로 인해 가로등이나 자동점멸기함과 같은 일부가 침수된 전기설비의 고장으로 인한 누전환경을 모사하기 위해 약 1 : 10의 축소모델을 사용한다. 전격의 위험성을 평가하기 위해 거리에 따른 전위분포를 측정하여 인체전압과 인체전류를 예측해 인체반응의 정도를 추정한다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 강철로 제작한 두께가 6[mm]이고, 크기가 100×100×75[cm]인 물탱크에 수돗물(fresh water)을 채우고 가변-교류전압원을 설치하였다. 전압원의 한 전선은 접지시킨 물탱크와 연결하고 다른 한 전선은 끝 부분을 약 5[cm]를 벗겨 누전점으로 하였다. 누전점은 한 가닥의 전선을 수면 아랫쪽에서 연결하는 방식(line source I)과 가로등 자동점멸기함을실제 크기의 1/10인 5.8×2.8×6.7[cm]인 스테인레스-스티일을 사용하여 제작한 가로등 자동점멸기함 내부에서 누전이 발생하는 방식(street-lamp control-box source II)으로 하였다. 본 실험에서

연결을 위해 사용한 전선은 크기가 20[AWG]로 유사한 실험에서 사용된 전선과 동일한 것을 사용하였다[7]. 누전지점 근처의 인체는 침수 깊이가 비교적 낮아 전류가 한쪽 발을 통과하여 흐르는 경우와 물의 깊이가 깊어 몸통부분을 경유하여 전류가 흐르는 경우에 대해 길이가 17[cm]이고, 직경이 1.6[cm], 3.5[cm]인 동봉으로 각각 모델링하였다. 동봉의 침수 깊이는 통전경로가 한쪽 발과 몸통부분인 경우에 대해 50[cm]와 85[cm]의 1/10인 5[cm], 8.5[cm]로 각각 구분하여 실험하였다. 동봉의 직경은 한 발의 대지저항이 지표면에 수평으로 위치한 반경이 8[cm]인 원판과 등가인 점을 참고하였고, 인체의 표면적 S[cm^2]은 키 H[cm]와 몸무게 W[kg]의 함수로 표현되는 식 (1)를 이용하였다[8].

$$S = H^{0.725} \times W^{0.425} \times 72.46 \quad (1)$$

키가 170[cm], 몸무게가 75[kg]인 인체를 원통으로 모델링할 경우 직경이 약 35[cm]인 원통으로 모델링할 수 있다는 점을 고려하여 동봉의 직경을 결정하였다. 교류전압을 100에서 220[V]까지 20[V] 간격으로 가변함과 동시에 누전점으로부터 동봉 사이의 거리에 따라 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50[cm]로 변화를 주면서 동봉과 물탱크 사이에 전압계를 연결하여 전위를 측정하였다.

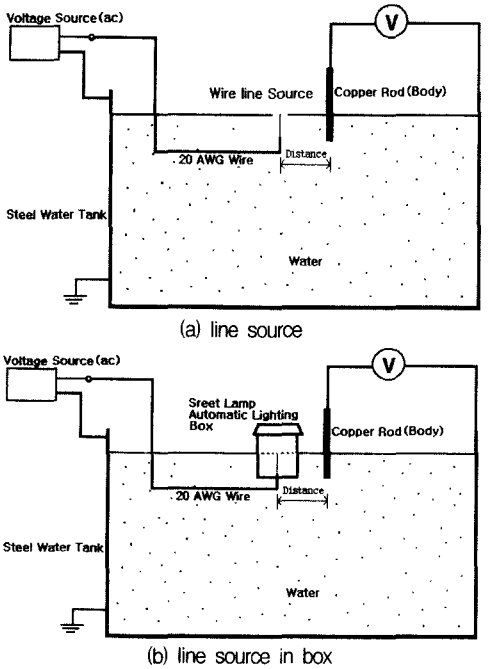

Fig. 2. Experimental setup for measurement of electric potential in fresh water.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지상에서 인체의 전격 위험성

3.1.1. 대지저항률의 전격 특성

최대 고장시간(통전시간)과 대지저항률을 전격조건의 가변요소로 정하여 계산한 결과 대지저항률이 1000, 2000, 3000[Ω · m]로 커짐에 따라 통전시간이 0.4[sec]인 경우 허용접촉전압은 IEC 479-1인 경우 581, 679, 758[V]이고, IEEE Std 80인 경우에는 635, 757, 852[V]로 증가하는 경향을 보였다. 또한 대지저항률이 2000[Ω · m]일 때 통전시간이 0.1. 0.2, 0.3, 0.4, 0.5[sec]로 증가할 경우 IEC 479-1에 의한 허용접촉전압은 2041, 1402, 1010, 679[V]로 감소하였다.

Fig. 3은 대지저항률과 통전시간을 고려하여 계산한 허용접촉전압을 보수성 즉, 안전성 측면에서 비교하여 나타낸 것이다. 대각점선 좌측은 IEC 479-1이 IEEE Std 80보다 작은 허용접촉전압을 제시하고 있다. 다시 말해, IEC 479-1이 보수적인 안전기준임을 나타내고, 대각선 우측은 그 반대이다. 또한 허용접촉전압 뿐만 아니라 인체전류, 인체전압 등 인체의 전격위험성 정도를 판단할 수 있는 전격 파라미터를 구할 수 있다. Fig. 4에서 보여주고 있듯이 주어진 감전조건에서 대지저항률이 1000, 2000, 3000[Ω · m]로 증가함에 따라 인체전류와 인체전압은 각각 96.2, 81.6, 72.8[mA]와 152, 135, 125[V]로 모두 감소하였다.

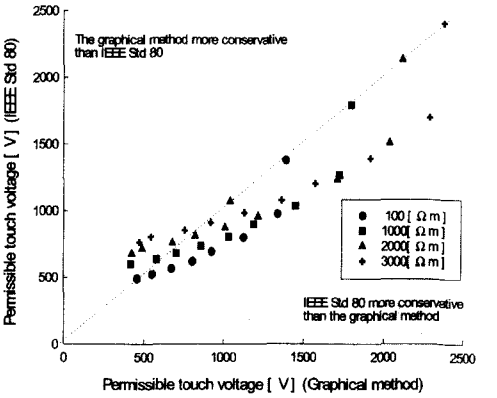

Fig. 3. Permissible touch voltages by the graphical method against IEEE Std 80, soil resistivity.

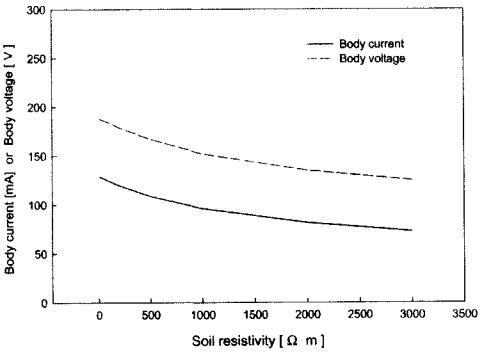

Fig. 4. Body current and body voltage by the graphical method.

3.1.2. 발의 대지저항의 전격 특성

전격모델의 저항 파라미터 중 발의 대지저항에 영향을 주는 감소계수를 구하기 위해 제시된 식들을 이용하여 대표적인 표층의 두께(h)와 반사계수(K)를 각각 5, 10, 16, 20[cm]와 -0.3, -0.5, -0.7, -0.9로 가정하여 IEEE Std 80과 IEC 479-1에서 제시하는 방법으로 허용접촉전압을 구한 결과 가 Fig. 5, Fig. 6이고, 인체전류와 인체전압을 나타낸 것이 각각 Fig. 7, Fig. 8이다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 보여주는 공통점은 표층의 두께가 5[cm]이고 반사계수가 -0.9인 경우 IEEE Std 80과 IEC 479-1로 구한 값이 각각 322.1, 324.2[V]로 감소계수 F(X)를 이용하여 구한 허용접촉전압이 가장 작았고, 그 이외의 방법으로 구한 허용접촉전압은 각각 470.6, 464.6, 483.3[V]과 445.8, 440.8, 456.1[V]로 거의 비슷하였다. 또한 Fig. 5와 Fig. 6에서 보여주는 허용접촉전압 사이의 차이점은 IEEE Std 80보다는 IEC 479-1에 의한 허용접촉전압이 대체로 작

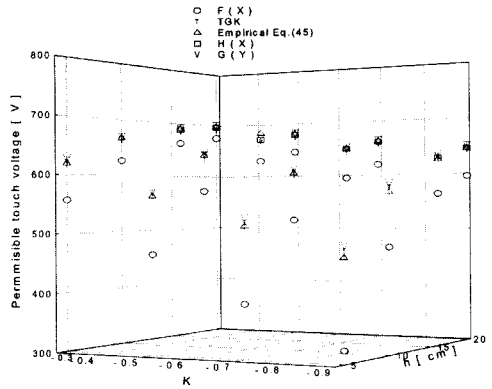

Fig. 5. Comparison of permissible touch voltages by IEEE Std 80.

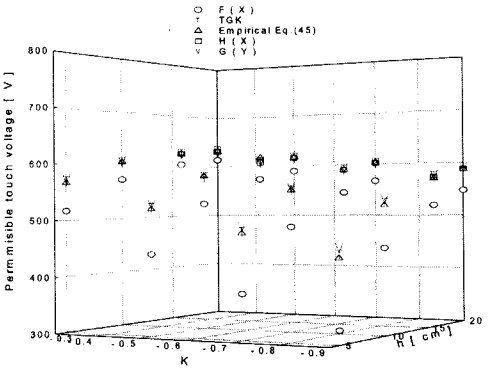

Fig. 6. Comparison of permissible touch voltage by IEC 479-1.

았다. 표층의 두께가 5[cm]이고 반사계수가 -0.9, -0.7, -0.5, -0.3으로 증가할수록 F(X)에 의한 IEEE Std 80으로 구한 허용접촉전압은 322.1, 388.7, 466.2, 558.1[V]와 반사계수가 -0.9이고 표층의 두께가 5, 10, 16, 20[cm]으로 증가할수록 동일한 방법으로 구한 허용접촉전압은 322.1, 476.7, 563.6, 596.1[V]로 표층의 두께와 반사계수의 값이 커질수록 허용접촉전압은 커지는 경향을 보였다.

한편, Fig. 7에서 보여주는 것처럼 표층의 두께가 고정되어 있고 반사계수가 위와 동일한 조건으로 변할 경우 인체전류는 192.4, 159.8, 133.8, 112.3[mA]이고, 반사계수가 고정되어 있고 표층의 두께가 위와 동일한 조건으로 변할 경우 인체전류는 192.4, 130.9, 111.2, 105.4[mA]로 표층의 두께와 반사계수의 값이 커질수록 인체전류는 감소하고, 표층의 두께가 5[cm]이고 반사계수가 -0.9인 경우 F(X)를 이용하여 구한 인체전류의 크기가 192.4[mA]인 반면 나머지 식들을 이용하여 구한 값인 132.6, 134.2,

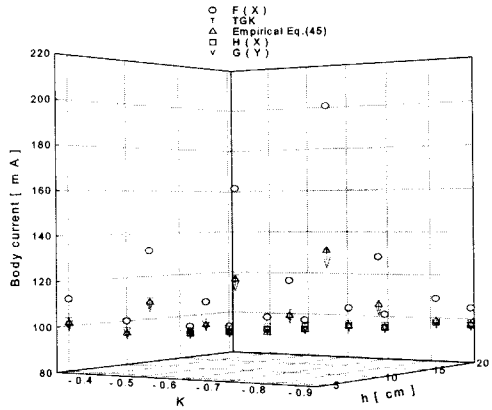

Fig. 7. Comparison of body current by IEC 479-1.

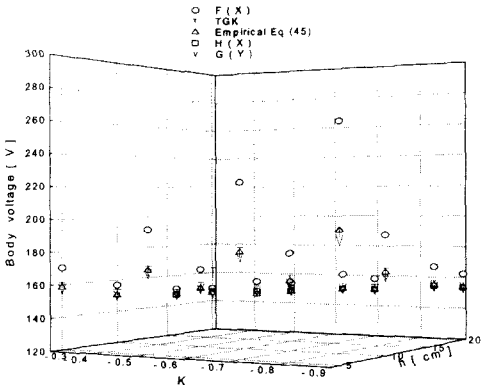

Fig. 8. Comparison of body voltage by IEC 479-1

129.2[mA]보다 크게 얻어졌다. Fig. 8에서는 대표적인 표층의 두께와 반사계수에 대해 인체전압은 인체전류와 동일한 조건에 대해 254.5, 221.1, 193.7, 170.5[V]와 254.5, 190.6, 169.4, 162.8[V]로 인체전류와 경향이 같음을 보여주고 있다.

3.2. 수중에서 인체의 전격 위험성

3.2.1. 거리에 따른 전위분포 특성

수중에서의 감전특성 요소인 누전점의 형태, 누전점으로부터 동봉까지의 거리, 동봉의 직경 및 침수 깊이에 따라 누전점 전압의 크기를 달리하여 전위분포를 구한 결과가 Fig. 9부터 Fig. 12까지에서 보여준다. 상용전압인 220[V]에서 거리에 따른 전위분포를 누전점의 형태에 따라 제시한 그래프가 Fig. 13부터 Fig. 15까지이다. 인체가 수중에 잠기면 전계분포가 달라져 거리에 따라 유기되는 전위가 변한다. 따라서 인체저항에 따른 전위의 변화를 고려하지 않고 500[Ω]으로 가정하여 이격거리를 구하였다.

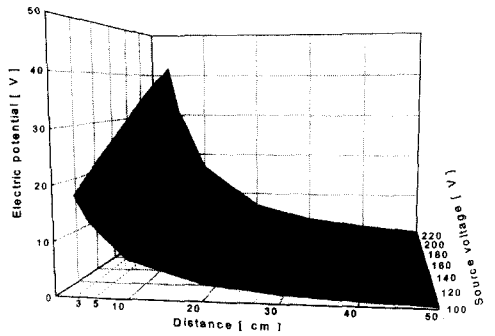

Fig. 9. Electric potential with a line source I in case of submerged depth = 5[cm] and rod diameter = 1.6[cm].

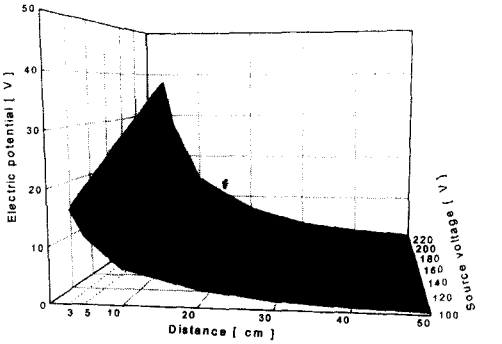

Fig. 10. Electric potential with a line source I-1 in case of submerged depth = 8.5[cm] and rod diameter = 3.5[cm].

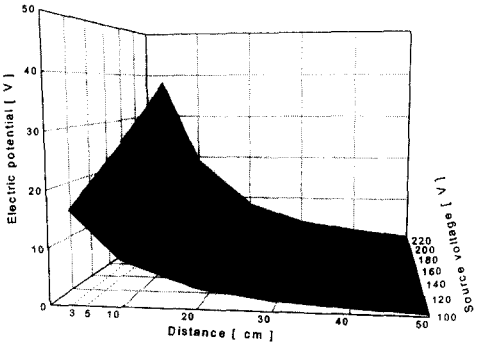

Fig. 11. Electric potential with a street-lamp control -box source II in case of submerged depth = 5[cm] and rod diameter = 1.6[cm].

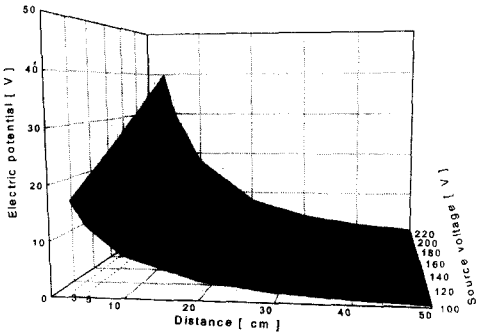

Fig. 12. Electric potential with a street-lamp control -box source II-1 in case of submerged depth = 8.5[cm] and rod diameter = 3.5[cm].

누전점의 형태가 전선인 경우의 전위가 Fig. 9에서 Fig. 10까지이고, 가로등 자동점멸기함 내부인 경우의 전위가 Fig. 11에서 Fig. 12까지로 누전점 전압이 220 [V]인 경우에서 누전점으로부터 50[cm]에서 3[cm]까지 가까이 접근해 감에 따라 누전점의 형태가 전선인 경우 침수깊이가 5[cm], 동봉의 직경이

1.6[cm]일 때 전위는 각각 0.97[V], 41.70[V]였고, 침수깊이가 8.5[cm], 동봉의 직경이 3.5[cm]일 때는 전위가 각각 1.0[V], 38.17[V]로 측정되었다. 누전점의 형태가 자동점멸기함 내부의인 경우에서는 동일한 조건하에서 0.98[V], 38.23[V]와 0.97[V], 39.95[V]로 각각 측정되었다. 두 경우 모두 전위가 약 40 [V]까지 상승함을 알 수 있다. 누전점 전압이 110, 160, 220[V]로 상승함에 따라 누전점으로부터 3[cm] 떨어진 지점에서의 전위는 누전점의 형태가 전선이고 침수깊이가 5[cm], 8.5[cm]인 경우에 대해 20.57, 30.87, 41.70[V]와 18.60, 27.54, 38.17[V]이고, 누전점의 형태가 자동점멸기함 내부이고 동일한 침수깊이에 대해 18.23, 26.64, 38.23[V]와 19.01, 28.01, 39.95 [V]로 누전점 전압이 상승함에 따라 일정한 비율로 전위가 커짐을 알 수 있었다. 이상의 결과를 토대로 분석해 보면 침수깊이나 동봉직경의 차이에 대한 전위의 변화는 큰 차이점을 보이지 않고, 또한 누전점의 형태에 따라 비교할 때 동일한 동봉직경에 대해 누전점이 전선인 경우와 가로등 자동점멸기함 내부인 경우 모두 뚜렷한 차이점을 보이지 않았다. Fig. 13과 Fig. 14에서는 누전점 전압이 220[V]인 경우, 누전점의 형태별로 동봉의 침수깊이와 직경에 대해 전위의 경향을 알 수 있다.

이상의 결과를 토대로 수중에서 전격현상의 발생기구를 다음과 같이 두 가지 경우로 예측할 수 있다. 첫째, 인체가 수중에서 노출된 전선이나 가로등 자동점멸기함과 같은 충전부에 직접 접촉하는 경우로 220[V]가 모두 인체에 인가되므로 가장 위험한 전격현상으로 추정된다. 둘째, 전위가 존재하는 수중에서 인체가 접지된 물체에 접촉함으로써 위치하는 지점의 전위와 기준전위인0 [V]와의 전위차가

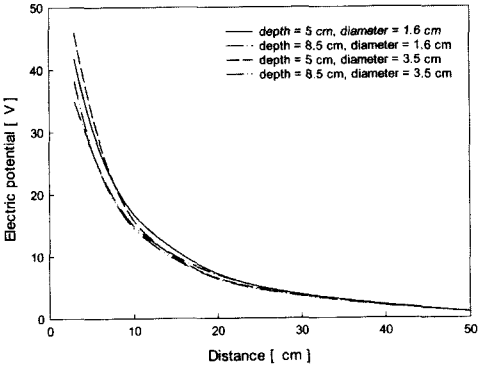

Fig. 13. Electric potential vs. distance from a line source at 220[V].

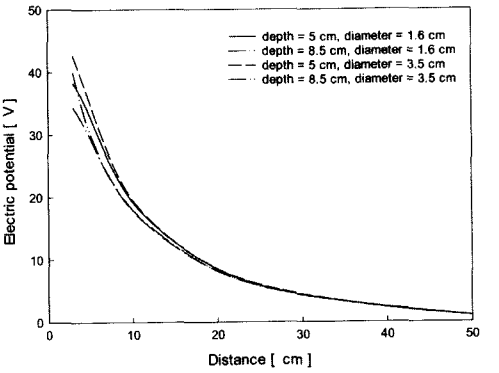

Fig. 14. Electric potential vs. distance from a street -lamp control-box source at 220[V].

인체에 인가되는 경우로 본 실험과 가장 유사한 예로 볼 수 있다.

3.2.2. 이격거리 예측

Fig. 15는 상용전압에서 누전점으로부터의 거리에 따른 전위분포를 누전점의 형태별로 제시한 그래프이다. 인체의 대부분이 수중에 있는 상태에서의 허용접촉전압을 2.5[V]이하로 제시하는데[9], 이것을 기초로 하여 구한 이격거리가 약 40[cm] 이상이다.

Fig. 16은 허용접촉전압을 2.5[V]로 가정한 경우의 누전점 전압의 크기에 따른 이격거리를 나타낸 그래프이다. 직경이 1.6[cm]이고 침수깊이가 5[cm]일 때 누전점의 형태가 전선인 Source I의 경우에는 누전점 전압이 100에서 140[V]까지, 150에서 220[V]까지인 경우의 이격거리는 각각 30[cm]와 40[cm]이고, 누전점의 형태가 동일한 경우에 직경이 3.5[cm]이고 침수깊이가 8.5[cm]인 Source I-1과 직경이 1.6 [cm]이고 침수깊이가 5[cm]인 누전점의 형태가 자

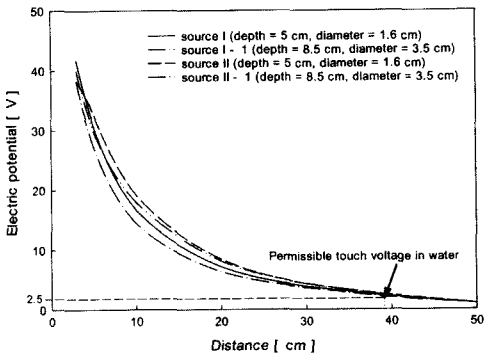

Fig. 15. Electric potential vs. distance at 220[V].

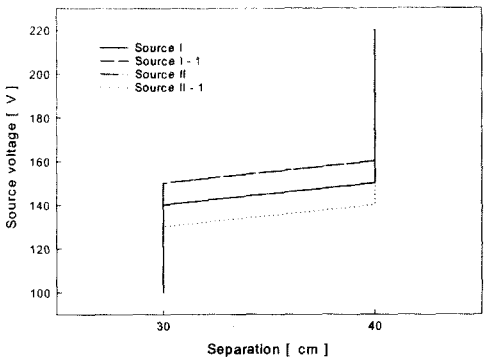

Fig. 16. Source voltage vs. separation in case of permissible touch voltage, 2.5[V].

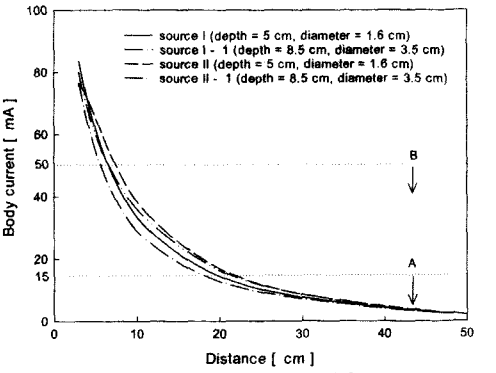

Fig. 17. Body current vs. distance at 220[V].

동점멸기함 내부인 Source II인 경우에는 모두 누전점 전압이 100에서 150[V]까지, 160에서 220[V]까지인 경우 이격거리가 각각 30[cm]와 40[cm]이다. 또한 직경이 3.5[cm]이고 침수깊이가 8.5[cm]인 Source II-1에서는 누전점 전압이 100에서 130[V]까지, 140에서 220[V]까지인 경우의 이격거리는 각각 30[cm]와 40[cm]으로 예측되었다.

Fig. 17은 누전점으로부터의 거리에 따른 인체전류를 계산한 그래프로 점선 A의 윗 부분은 통전시간이 1[sec]인 경우, 인체전류가 15[mA]로 근육수축, 호흡장애, 회복성 심장정지 등이 발생할 우려가 있는 구간이고, 점선 B의 윗 부분은 동일한 통전시간에 대해 인체전류가 50[mA]로 심실세동이 일어날 수 있는 구간이다. 점선 아래의 화살표는 만약 통전시간이 길어지면 이격거리도 커진다는 것을 나타낸다. 본 실험의 결과에 의하면 인체전류를 이용한 인체반응, 즉 심실세동을 막기 위한 이격거리가 약 10 [cm] 이상이고, 근육수축과 같은 인체반응을 예방하기 위한 이격거리는 약 20[cm] 이상으로 추정할 수 있다. 제시한 이격거리는 지상에서 인체전류에 대한 인체반응의 데이터를 참고로 추정한 최소값이며, 동일한 인체전류와 통전시간에 대한 수중에서의 인체반응은 더 큰 이격거리가 요구된다. 본 실험에서 사용한 모델은 신호등 자동점멸기함과 인체를 대표하는 동봉을 축소하였을 뿐 거리 단위는 변화가 없다. 즉, 축소모델의 이격거리를 실제 이격거리로 적용이 가능하다고 본다. 또한 물의 종류에 따른 위험성의 정도는 수돗물, 흙탕물을 이용한 콘센트의 수중실험 결과, 차이가 없다고 보고된 바가 있으므로[10] 실험결과를 미루어 짐작할 수 있다.

이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다. 인체를 동봉으로 모델링 한 경우 누전점의 형태, 동봉의 침수깊이와 직경의 변화에 따른 전위는 뚜렷한 차이점은 발견하지 못했다. 인체의 대부분이 수중에 있을 경우에 대해 제시된 허용접촉전압인 2.5[V]를 적용하여 이격거리의 최소값을 40[cm]로 예측하였다. 또한 인체저항의 최소값, 500[Ω]과 통전시간을 1[sec]로 가정해 인체전류의 한계 값을 15[mA], 50[mA]로 가정할 경우 이격거리를 20[cm]와 10[cm]로 각각 추정하였다. 인체의 전격위험성은 통전시간과 인체의 자세 및 방위에 따라 달라지므로 이격거리의 예측을 위해서는 고려대상에 포함시켜야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 지상과 수중에서 발생하는 전격현상에 대해 전격모델을 토대로 전격사고가 발생할 경우 인체전류의 크기를 결정하는 중요한 파라미터인 인체저항, 발의 대지저항과 같은 저항성분을 전격조건에 따라 고려하여 대표적인 안전가이드에서 제시하는 허용접촉전압, 허용인체전류, 인체전압, 인체전류 등의 안전기준을 구해 전격으로 인한 인체의 위험성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

대지저항률이 증가할수록 허용접촉전압은 커지고, 통전시간이 증가할수록 허용접촉전압이 작아지는 경향을 알 수 있었다. 대지저항률이 증가할수록 인체전류와 인체전압은 모두 감소하였다. 표층의 두께와 반사계수의 값이 커질수록 허용접촉전압은 커지고, 인체전류와 인체전압은 감소하였다. 또한 IEEE Std 80에서 제시하는 감소계수를 이용하여 구한 허용접촉전압이 다른 방법으로 구한 허용접촉전

압보다 작았고, 인체전류와 인체전압은 정반대의 경향을 보였다.

수중에서 누전점의 형태, 동봉의 침수깊이와 직경의 변화에 따른 전위는 뚜렷한 차이점을 보이지 않았고, 누전점이 한 선인 경우와 자동점멸기함 내부인 경우 모두 누전점으로부터 50[cm]에서 3[cm]까지 접근함에 따라 약 40[V]의 전위상승이 발생하였다. 누전점 전압의 크기가 100[V]에서 220[V] 사이인 경우의 이격거리는 약 30[cm]에서 40[cm]로 예측되었다. 또한 인체저항의 최소값을 적용하여 구한 인체전류를 인체의 생리적 반응에 관한 데이터와 비교하여 이격거리를 구하는 방법을 제시하였다.

참고문헌

1) 김두현, 강동규, 김상철, "저전압에서 통전전류를 이용한 인체의 동저항 측정 및 예측", 산업안전학회지, 제16권, 제1호, pp. 37~42, 2001.
2) 김두현, 강동규, "침수된 전기설비의 누전으로 인한 수중에서의 감전특성에 관한 연구", 산업안전학회지, 제17권, 제3호, pp. 61~65, 2002.
3) 김두현, 강동규, "그래프법을 이용한 안전기준에 의한 감전위험성 평가", 산업안전학회지, 제16권, 제3호, pp. 53~60, 2001.
4) D.K. Kang, D.H. Kim, S.R. Kim, and Y.B. Park, "Estimation of Permissible Body Voltage and Body Current Considering Reduction Factor for Ground Resistance of the Feet", Jounal of the KIIS, Vol. 16, No. 5, pp. 29~34, 2001.
5) C.H. Lee, and A.P. S. Meliopoulus, "Comparison of Touch and Step Voltages Between IEEE Std 80 and IEC 479-1", IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, No. 6, pp. 593~601, 1999.
6) ANSI/IEEE Std 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 1986.
7) B. Thapar, V. Gerez, and V. Singh, "Effective Ground Resistance of the Human Feet in High Voltage Switchyards", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 7~12, 1993.
8) 人間工學 ハンドブック 編輯委員會編, 人間工學 ハンドブック, 金原出版株式會社, 1966.
9) 한국산업안전공단 자료개발팀, 전기작업의 안전, 한국산업안전공단, 2000.
10) 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원, "배선기구류의 감전위험성 연구", 한국전기안전공사, 1999.