

침수 상용전원에 의한 감전위험성 검토

(A Study on the Electric Shock due to Submerged Power Source)

정종욱* · 정진수

(Jong-Wook Jung · Jin-Soo Jung)

요 약

본 논문에서는 상용전원이 침수되었을 경우, 이에 의한 인체 감전의 위험성을 실증실험을 통해 검토하였다. 실험을 위해 한쪽 벽면에 노출된 충전부가 설치된 모의수조를 구축하고 내부에 도전성 수용액을 채운 후, 전원으로부터의 거리, 방향, 도전성 수용액의 전도율 및 수위에 따른 전위를 측정하였다. 실험 결과 수중에 설치된 전원장치로 인한 전위분포는 거리에 따라 달라지지만, 침수 수용액의 전도율, 노출된 충전부로부터의 각도 및 측정높이는 전기적으로 미치는 영향이 거의 없음을 확인되었다.

Abstract

This paper describes a risk assessment of electric shock based on a experiment which demonstrates a submerged commercial power source.

For the experiment, a water tank was made and an outlet was installed on an interior wall. After filling the tank with a conductive water solution, the electric potential was measured with the distance, the direction from the power source, the conductivity and the level of the water solution.

As a result, the potential distribution due to the outlet energized and exposed to the water solution depends on the distance from the submerged power source, however, the direction from the power source, the conductivity and the level of the water solution seemed to scarcely affected on the electrical shock risk.

Key Words : Risk assessment, Electric shock, Submerged power source, Potential distribution

1. 서 론

지역을 가리지 않고 전 세계적으로 발생하고 있는 최근의 이상기후로 인해 국내에서도 해마다 인명·

재산상의 피해가 속출하고 있으며, 대표적인 사례가 바로 하계의 집중호우이다[1]. 이 같은 호우는 게릴라성으로 특정지역에 집중하여 발생하는 경우가 많아 수많은 시설을 단시간에 침수시키므로, 국민의 생명과 재산을 위협하는 1차재해의 주된 원인이 된다. 게릴라성 집중호우로 인해 침수되는 시설 중에는 지하공간에 설치된 전기설비가 포함되어 있으며, 불가항력적으로 발생하는 1차재해와는 별도로, 재해

* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
 Tel : 031-580-3063, Fax : 031-580-3111
 E-mail : phdjung@korea.com
 접수일자 : 2007년 1월 25일
 1차심사 : 2007년 1월 29일, 2차심사 : 2007년 3월 30일
 심사완료 : 2007년 4월 9일

침수 상용전원에 의한 감전위험성 검토

지역 잔류인원이나 재해복구를 위해 투입된 인력에 게 가해질 수 있는 2차재해는 복구과정 중의 환경적 요인과 충전부를 지닌 설비에 대한 불안전한 전기사용 등의 요인으로 인해 발생하는 경우가 대부분이다. 특히 침수된 환경 하에서의 전기사용이 일반적인 상황보다 더 치명적일 수 있다는 것은 지상과 수중에서의 위험성 비교를 통해 이미 실험적으로 입증된 바 있으며[2], 실제로 이와 같은 사고사례가 마스크를 통해 매년 보고되고 있다. 본 논문에서는 인체에 대한 전격의 위험이 제반 전기적·환경적 요인에 의해서도 영향을 받을 것으로 사료되는 바, 상용전원이 침수된 조건에서 선행연구들과는 달리 침수액의 도전을, 측정방향 및 수위를 변화시키면서 전위를 측정하였으며, 이때 이 공간 내에 설치한 인체모형의 양발간에 인가되는 전위경도도 아울러 측정·검토하였다.

2. 침수 전원설비 감전위험 실증실험

2.1 실험장치 구성

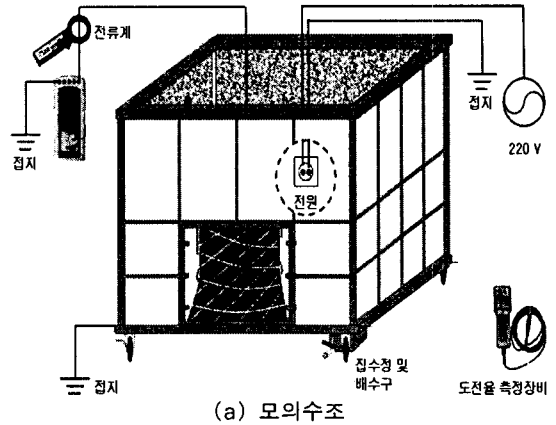
침수환경 하에 있는 전원설비에 대해 거리에 따른 전위분포 및 인체에 미치는 감전위험성을 알아보기 위해 다음과 같은 실험장치들을 구성하였다.

2.1.1 수조 및 인체모형

침수된 지하에 잔류한 인원에게 미칠 수 있는 위험을 알아보기 위해 도심부 일반 규모의 지하변전실을 1/3 정도 규모로 축소한 모의수조 및 인체모형을 제작하였으며, 이를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에 보인 바와 같이, 모의수조는 가로, 세로 및 높이를 모두 2[m]로 제작하였으며, 강제 프레임 내에 콘크리트로 0.1[m]의 내벽을 조성한 후 도료를 입히고 바닥 역시 에폭시로 마감하여 절연하였다. 수조 하부 한쪽 모서리에는 배수를 위한 집수정을 설치하였으며, 출입문 주위에는 고무롤을 둘러 누수를 억제하였다. 한편 전장이 1.2[m]인 목재 구체관절인 형 위에 도전성 고무롤 입혀 IEC에서 규정한 인체저항비에 최대한 가깝게 제작한 인체모형을 수조 내에 배치하여 양발간 전위경도를 측정하고자 하였으며,

이 인체모형의 각 부위별 저항값을 IEC와 비교하여 표 1에 나타내었다[3].



(a) 모의수조



(b) 인체모형

그림 1. 실험장치 구성
Fig. 1. Experimental setup

표 1. 인체모형 부위별 저항
Table 1. Resistance by each part of dummy

인체 부위	저항[Ω](저항비)	IEC 저항비
손-어깨	180(0.35)	0.37
손-명치	282(0.55)	0.49
양손간	512(1)	0.81
손-발목	515(1)	1
양발간	391(0.76)	1

2.1.2 전원장치

침수된 상용전원을 모의하기 위해 모의수조 출입구의 반대쪽 벽에 바닥에서 0.1[m] 높이로 콘센트를 부착하였으며, 전원으로부터 0°(벽면방향), 45° 및 90°(벽면에 수직방향)으로 구분하여 0.2[m] 간

격으로 전위측정점을 바닥에 표시하여 측정간의 편의를 도모하였다.

2.1.3 측정장치

모의수조 내의 전위분포 및 인체에 인가되는 전위 및 전류를 측정하기 위해 디지털 검전계와 멀티미터 및 전류계를 사용하였으며, 모의수조 내 도전성 수용액의 도전율을 측정하기 위해 도전율계를 사용하였다.

2.2 실험방법

침수환경 하, 전원장치로부터 거리에 따른 전위분포 및 인체에 미치는 감전위험성을 알아보기 위해, 우선 콘크리트 내에 0.1[m] 간격으로 박힌 철골과 전기적으로 접속된 강제 외함의 한쪽 끝을 접지하고 전원장치에 220[V]의 전원을 투입한 후, 거리별 및 방향별로 전위를 측정하였다. 도전성 수용액의 도전율은 적정량의 NH₄Cl과 계면활성제를 혼합·교반하여 실제 우수의 도전율과 유사한 200[μ S/m]부터 200[μ S/m]씩 증가시키고 수위별로는 0.5[m]씩 증가시키면서 거리별, 방향별 측정을 반복하였다. 또한 200[μ S/m]의 도전성 수용액을 0.5[m]의 수위로 채운 후, 모의수조 내부에 양발이 전원과 직선상에 놓인 경우와 양발이 전원과 나란하게 놓인 경우로 나누어 인체모형을 설치하고 양발간의 간격을 보폭전압으로 명시된 1[m]의 약 1/3인 0.3[m] 정도로 고정하여 거리에 따른 양발간의 전위를 측정하여 이 값을 전위경도로 환산하였다[4]. 본 실험에 적용된 측정 파라미터들을 정리하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 실험에 적용된 측정 파라미터
Table 2. Measuring parameters in experiment

측정 파라미터	측정범위
전원으로부터의 거리[m]	0, 0.2, 0.4, 0.6, ..., 1.8, 1.95
수용액 도전율[μ S/m]	200, 400, 600, 800
전원으로부터의 방향[°]	0, 45, 90
수용액 수위[m]	0.5, 1.0, 1.5
인체모형 양발간 전위	전원과 양발간 동일 거리 위치 및 전원과 양발이 직선상 위치 (양발간 0.3[m] 이격)

3. 결과 및 고찰

본 절에서는 침수된 전원장치로 인한 전위분포 및 인체의 감전위험성 실험 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

3.1 전원장치로부터의 거리 및 도전성 수용액의 도전율에 따른 전위분포

본 실험에서는 200[μ S/m]부터 200[μ S/m]씩 도전율을 증가시키면서 800[μ S/m]까지, 전원장치로부터 0.2[m] 간격으로 1.95[m]까지의 전위분포를 측정한 결과, 그림 2와 같은 결과를 얻었다.

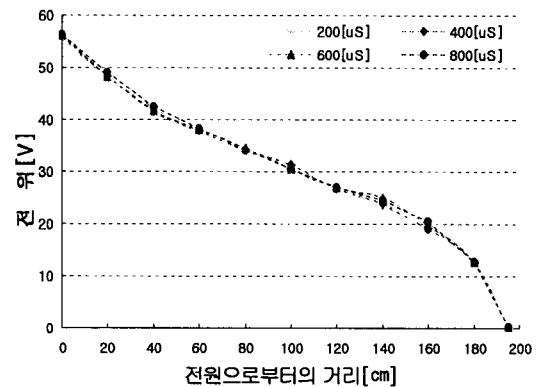


그림 2. 전원으로부터의 거리 및 도전율에 따른 전위분포
Fig. 2. Potential distribution with distance from power source and conductivity of solution

그림 2에 보인 바와 같이, 200[μ S/m]의 수용액에 침수된 전원설비로부터 0.2[m]마다 측정한 전위의 경우, 전원장치의 ABS제 케이스에 접촉하여 측정된 전위가 약 55[V] 정도였으며, 전원으로부터의 거리가 증가함에 따라 약 1.6[m]까지는 비교적 선형적인 경향을 띠며 감소하였으나, 이후 전위가 급격히 감소하여 1.95[m], 즉 모의수조의 내벽과 접촉하여 측정하였을 때는 거의 영전위에 가까운 값을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 이는 다른 위치에서 측정한 전위와 비교할 때 전원측과 접지전극 근처의 전류밀도가 상대적으로 높거나 또는 물저항의 비선형적인 특성에 의한 것으로 생각된다.

침수 수용전원에 의한 감전위험성 검토

한편 본 실험에서는 도전율에 따른 전위도 측정하였으며, 실험 결과 도전율에 의해서는 전위분포가 크게 달라지지 않는 것을 확인하였다.

또한 각 위치에서의 전위 측정 시, 전원선에 흐르는 전류를 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다.

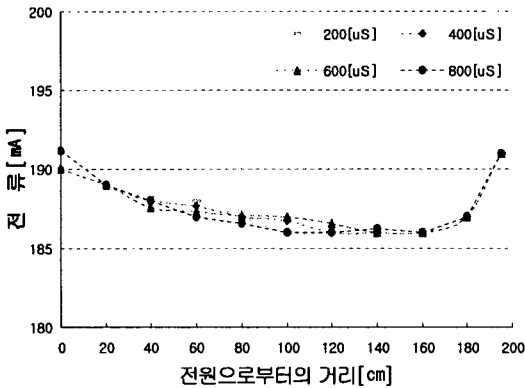


그림 3. 전원으로부터의 거리 및 도전율에 따른 전원선 전류
Fig. 3. Power line current with distance from power source and conductivity of solution

그림 3에 보인 바와 같이, 각 위치에서 전위 측정 시 전원선에 흐르는 전류는 전반적으로 도전율과는 거의 무관한 경향을 나타내었으며, 이는 도전율이 증가가 우수와 거의 비슷한 200[μ S/m] 근처에서 측정되었기 때문이다. 즉 본 실험에서는 최대 800[μ S/m]까지 200[μ S/m] 간격으로 전원선 전류를 측정하였으나, 이 정도의 도전율은 수중에 흐르는 전류의 크기를 눈에 띄만큼 변화시키기에는 매우 낮은 값이었기 때문일 것으로 추정된다. 본 실험에서 전반적인 전류값은 약 0.187[A] 정도로서 거의 일정한 값을 유지하였으나, 전위를 측정하는 센서가 전원이나 접지역할을 하는 출입문에 가까워질수록 0.19[A]를 약간 초과하는 전류값이 측정되었다. 이는 전원에서 누설되는 전류가 수중을 경유하여 사방으로 흐르다가 출입문으로 집중될 뿐만 아니라 센서와 출입문의 간격이 가까워질수록 이 사이에 집중되는 도전성 부유물의 밀도가 높아지는 것도 출입문 근처에서 측정된 전류값을 다소나마 증가시키는 원인으로 작용했을 것으로 사료된다.

3.2 전원으로부터의 측정방향별 전위분포

본 실험에서는 200[μ S/m]의 수용액에 침수된 전원장치를 기준으로 0[°](전원설비가 부착된 벽면 방향), 45[°] 및 90[°](전원장치가 부착된 벽면과 직각 방향)에서의 전위를 전원장치로부터 동일 거리에서 측정하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

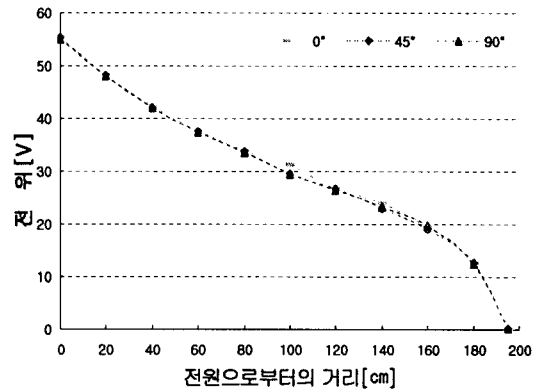


그림 4. 전원으로부터의 측정방향별 전위분포
Fig. 4. Potential distribution with direction from power source

그림 4에 보인 바와 같이, 200[μ S/m]의 수용액에 침수된 전원장치로부터 0[°], 45[°] 및 90[°]의 방향에서 거리별 전위를 측정된 결과, 당초 모의수조 내 전류의 이동경로가 전원설비로부터 출입문을 향할 것으로 가정하여 각 방향별로 어느 정도의 차이를 예상하였으나, 실측 결과 방향별로 거의 차이가 나지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 전류의 이동이 전원을 중심으로 하여 사방 균일하게 이루어지기 때문이라고 사료된다.

3.3 침수 수용액의 수위에 따른 전위분포

모의수조 내부에서 도전율이 200[μ S/m]인 수용액의 수위를 변화시켜가며 거리에 따른 전위분포를 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에 보인 바와 같이, 침수 수용액의 수위를 변화시키면서 전원설비로부터의 거리에 따른 전위를 측정된 결과, 수위별로 거리에 따른 전위분포는

바닥면에서의 전위가 다른 두 지점에서 측정된 전위보다 다소 높은 값을 나타내기는 하였으나, 전반적으로는 수위별로 차이가 거의 나지 않음을 알 수 있었다. 이같은 결과는 전위가 동일 위치에서 측정될 경우, 측정 위치에서의 수용액의 수위에 무관하게 항상 일정한 값을 유지할 것이기 때문이다. 다만 이 공간 내에 인체가 존재하는 실제 상황이라면 인체가 수중에 어느 정도 잠겨있는지가 인체의 전격에 대한 안전성을 결정하는 요소로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

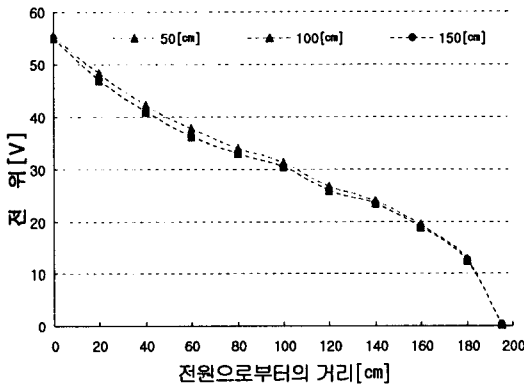


그림 5. 침수 수용액의 수위에 따른 전위분포
Fig. 5. Potential distribution with solution level

3.4 인체모형 양발간 전위경도

우선 200[μ S/m]의 도전성 수용액을 0.5[m]의 수위로 채운 후, 모의수조 내부에 양발이 전원과 직선상에 놓이도록 인체모형을 설치하고 양발간의 간격을 0.3[m]로 고정하여 거리에 따른 양발간 전위를 측정하고 이를 전위경도로 환산하여 이 결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6에 보인 바와 같이 양발이 전원과 직선상에 놓인 경우, 인체모형 양발간 전위경도를 측정된 결과, 전원의 바로 아래에서의 값이 16.3[V/m]로서 최대였으며, 전원으로부터의 거리가 멀어짐에 따라 점차 감소하였으며, 이는 공간 내의 전위가 전원으로부터의 거리에 따라 감소하기 때문이라고 사료된다.

한편 전원으로부터 양발의 거리가 동일하도록 인체모형을 설치한 후 양발간 전위경도를 계산하여 그

림 7에 나타내었다.

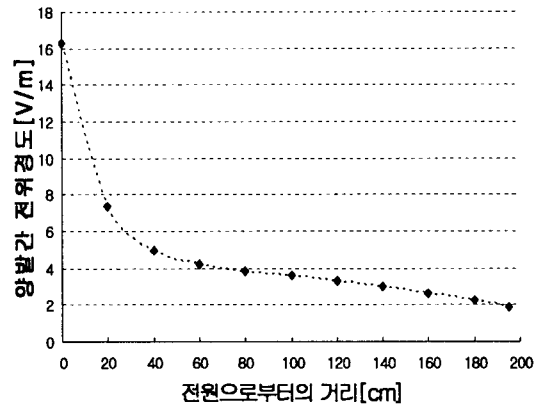


그림 6. 전원과 직선상인 인체모형 양발간 전위경도
Fig. 6. Potential gradient between feet of dummy

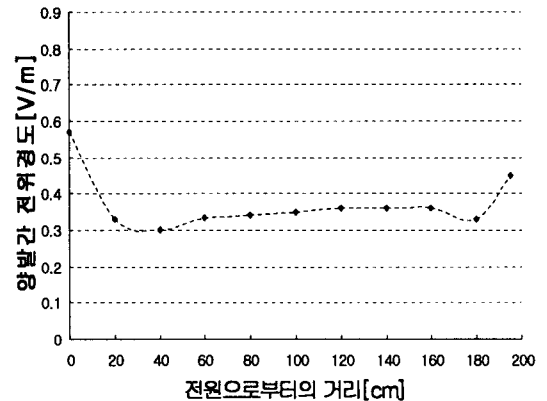


그림 7. 전원과 나란한 인체모형 양발간 전위경도
Fig. 7. Potential gradient between feet of dummy

한편, 그림 7에 보인 바와 같이, 200[μ S/m]의 수용액이 채워진 모의수조 내부에 전원으로부터 양발까지의 거리가 동일하도록 인체모형을 설치하고 양발간 전위를 측정하여 전위경도로 환산한 결과, 양발간에는 거의 모든 구간에서 0.4[V/m] 이하의 전위경도로서 양발간에 거의 영전위가 인가되었음을 확인 하였으나, 전원과 출입문 근처에서는 다른 위치보다 다소 높은 값이 측정되었으며, 이는 실험 상의 오차로 간주되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 지하에 설치된 전기설비가 내수나 외수에 의해 침수되었을 경우, 이 공간에 잔류된 인원이 전기적으로 경험할 수 있는 2차재해로부터의 안전성을 알아보기 위한 직접적인 방법으로서 모의 설비를 구축하여 실증실험을 실시하고 결과를 분석하여 전기적 감전위험성을 검증하고자 하였다.

실증실험으로부터 수중에 침수된 전원장치로부터의 거리에 따라서만 눈에 띄는 전위의 감소가 관찰되었으며, 실험상의 다른 변수, 즉 도전성 수용액의 도전율, 전원으로부터의 측정방향에 의해서는 전위상의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 인체모형을 사용하여 실험한 결과, 전원과 양발이 직선상에 놓여있을 경우에만 거리에 따른 전위의 감소가 발생하며, 전원에서 거리가 가까울수록 양발간의 전위경도가 증가하는 것을 알 수 있었다.

추후에는 보다 다양한 환경 하에서 발생하는 인체 감전의 위험성을 규명하기 위해, 본 연구에서 얻었던 실험 결과를 시뮬레이션으로 검증하여 두 결과의 일치성을 확인하고 여러 환경조건에서 발생하는 결과를 예측하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금 조성 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- (1) 윤용남, 지하공간의 침수방지대책에 관한 연구, 행정자치부, pp. 5-69, 2004.
- (2) 김두연, 강종규, 이종호, “지상과 수중에서 전격에 의한 위험성 평가”, 산업안전학회지, 제19권, 제2호, pp. 26-33, 2004.
- (3) IEC Publication 60479-1 : “Effects of current on human beings and livestock”, 2005.
- (4) 타카하시 타케히코, 집지·등전위 본딩설계의 실무지식, 성안당, pp. 31-32, 2004.

◇ 저자소개 ◇

정종욱 (鄭鍾旭)

1969년 2월 17일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1997~2003년 동대학원 전기공학과 졸업(석사, 박사, 전기전자재료 및 대전력 전공). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹 선임연구원.

정진수 (鄭鎭洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사, 전력계통 전공). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹 연구원.