

물놀이·입욕시설에서의 수중 감전 위험성 연구

김종민, 김한상, 김기현  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

Study of the Electric Shock Risk in Water at the Waterpark, Public Bath

Chong-Min Kim, Han-Sang Kim, Gi-Hyun Kim  
Electrical Safety Research Institute KESCO

**Abstract** - This paper presents the evaluation electric shock risk in water so that we made and designed a bathtub which is the same size in real public bath. and then we did an experiment, provided of electric leakage in various conditions so, we measured how to form an electric gradient and knew the electric gradient is formed variously under exposed conductor in water. also we made certain that electric shock risk is down if we insert an insulated pipe in bathtub pipe which is prevent from being formed the electric field sharply.

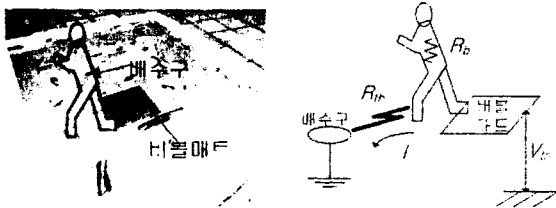
1. 서 론

예전과는 달리 입욕시설 등의 장소에서도 전기의 사용이 증가하고 있으며, 이러한 장소에서는 인체의 피부저항이 다른 어느 장소보다도 현저히 낮은 상태에 있게 되어 미약한 전압에도 인체에 치명적인 감전해가 유발된다[1][2]. 특히, 욕실 내의 욕조에는 전기사용기계기구인 전동기 등과 배관을 통해 연결되어 있으며 자칫 잘못하면 감전에 의하여 사망에까지 이어질 수 있다는 문제점을 지니고 있다. 욕조는 노출도전부로 된 배수관, 급수관, 압축공기 급기관(일명:버블매트), 물마사지용 급수관이 욕조의 표면과 연결되어 있으며 일부 노출도전부는 전기사용기계기구인 전동기 등과 전기적으로 연결되어 누전시의 누설전류의 경로를 형성할 수 있으며 이러한 경우 욕조 내의 입욕자는 감전 및 2차재해인 익사에 노출될 우려가 있다. 본 연구에서는 물놀이·입욕시설에 있는 욕조에 가장 근접한 설치환경조건을 적용한 모의시험설비를 구축하고 이에 대하여 버블매트 등의 노출도전부와 연결된 전기사용기계기구의 다양한 누전형태를 가정하여 시험전압을 인가한 후 노출도전부인 각종 금속제 상호간의 영향 평가 및 전위발생점과 유출경로인 배관접속점 및 수중 이격거리별 전위분포를 측정하여 전격해 위험성을 평가하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 수중에서의 감전사고

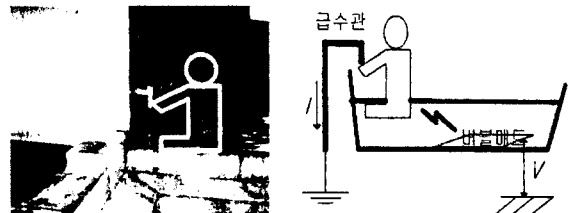
공기중에서의 전격현상은 노출된 충전부 또는 누전 등의 원인으로 비충전 금속부가 충전된 상태에서 인체의 일부가 접촉함으로써 발생한다. 이와 같이 공기중에서는 보폭전압에 의한 감전사고를 제외하고 충전부나 충전상태의 물체에 접촉하지 않는 한 감전사고를 막을 수 있다. 그러나 수중에서의 감전현상은 인체와 충전부 사이에 매질로서 도전성 액체인 담수 또는 염수로 인해 항상 전기적으로 연결되고 있기 때문에 충전부에 직접 접촉하지 않아도 전격을 당할 수가 있다. 이때 통전점로의 저항은 인체저항과 매질의 저항으로 구성이 되는데, 매질의 저항도 비교적 작고 인체도 젖어있기 때문에 인체저항은 매우 낮아 건조한 상태인 공기중의 감전에 비하여 심한 전격해해를 입을 수 있는 가능성이 높은 것으로 추정하고 있다. 국내에서는 제 1종 상태라고 일컫는 인체의 대부분이 수중에 있는 경우에 대해 인체의 허용전류는 이탈전류의 최저치 즉, 5[mA]를 이용해 물 속에서의 인체저항을 500[Ω]으로 가정하여 오음의 법칙에 의해 허용접촉전압을 2.5[V]로 규정하고 있다. 전극이 수중과 같은 3차원의 매질속에 놓여 있을 때 전압이 가해져 전류가 흐름으로써 수중에 전위분포가 생긴다. 무한원점에 접지점이 있다고 가정할 수 있을 정도로 매질의 규모가 큰 경우에는 등전위 곡면은 전극을 중심으로 한 동심구형으로 나타난다.



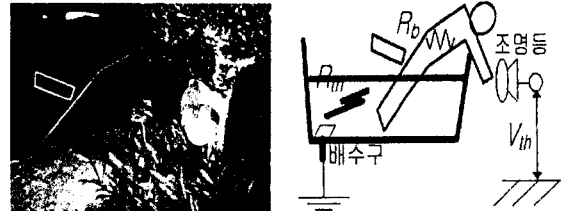
<그림 1> 수중에 누설된 전류에 의해 발생한 전계중에 인체가 놓여진 경우

전위분포가 나타나는 수중에 인체가 들어가는 경우 인체를 흐르는 전류는 인체 말단점 간의 전위차에 비례하며 아울러 이질의 저항을 갖는 인체가 위치하는 지점의 전계가 변화한다. 담수중의 인체와 같이 매질보다 작은 저항을 갖는 물체에서는 전류밀도를 집중시키고, 해수중의 인체와 같이

매질보다 큰 저항을 갖는 인체에서는 전류밀도를 감소시킨다고 한다. 미국 화재보험협회시험소(UL)에서는 풀장에서 발생하는 전격현상을 수중에 누설된 전류에 의해 발생한 전계중에 인체가 놓여진 경우, 전위가 존재하는 수중에서 인체가 접지된 물체에 접촉한 경우, 충전된 금속에 인체가 접촉하는 경우와 같이 분류하여 해석하고 있다.



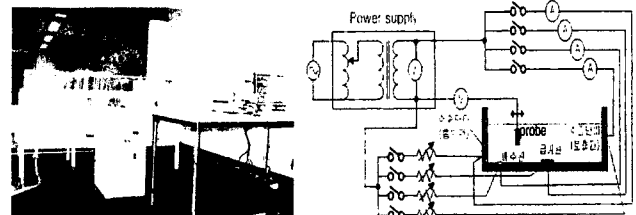
<그림 2> 전위가 존재하는 수중에서 인체가 접지된 물체에 접촉한 경우



<그림 3> 충전된 금속에 인체가 접촉하는 경우

2.2 실험장치 및 방법

실제적인 물놀이·입욕시설에서의 욕조의 환경을 묘사하기 위하여 욕조의 크기를 실제 대중목욕탕의 욕조 크기와 근사화시키고 배수 및 물의 순환이 이루어질 수 있도록 모의 시험설비를 구축하였다. 전체적인 탕의 크기는 가로 1.8m, 세로 1.2m, 물의 높이 0.8m가 될 수 있도록 설계하였다. 욕조의 두께는 2.5cm인 아크릴로 제작하였으며 그림4와 같이 수중안마, 급기관(버블매트), 급수구, 배수구를 설치하였다. 욕조는 금속앵글을 이용하여 바닥에서 40cm 높이에 설치하여 욕조 바닥의 배관의 형태를 확인가능하며 변형 가능토록 설계하였다. 욕조내 바닥면의 노출도전부는 금속성의 배관을 통하여 급·배수, 순환설비인 전동기 펌프와 전기적으로 연결함으로써 전기설비의 누전시 누설전류의 경로로 형성될 수 있도록 제작하였다. 모의시험설비의 버블장치는 급수관을 이용하여 전동기와 전기적으로 연결되게 제작하였으며 욕조의 바닥 중앙에 지름 20cm인 원형으로 모의욕조 바닥 중앙에 스테인레스를 이용하여 노출도전부를 형성하게 하였다.



<그림 4> 모의욕조 실험장치

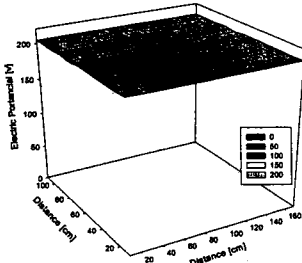
실제적인 입욕시설의 배관들은 다양한 형태로 서로 연결되어 있으며 각각의 형태 및 저항률이 달라 이를 모의하기는 쉽지 않다. 그래서 본 실험에서는 그림 4처럼 노출도전부와 배관들을 상호연결 및 분리를 할 수 있게 하였으며 다양한 형태의 누전형태가 가능하도록 설계하였다. 측정은 다채널 스코프를 통해 동시에 16개 포인트씩 측정하였다. 전원계로는 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 전연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT : Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 이와 같

이 다양한 형태의 누전을 모의하고 각각의 전위분포를 물의 깊이에 따라 측정하고 반복하여 실험하였다. 물의 저항률은 도전율계(CC-411)로 측정하였고, 일반 공중 목욕탕에서 사용하는 지하수를 사용하였으며 저항률은  $39.3[\Omega \cdot m]$ 로 측정되었다.

### 2.3 결과 및 고찰

#### 2.3.1 1차 실험

먼저 본 실험에서는 일반 가정용 욕조와 같이 전류가 유출되는 접지체가 없는 경우를 가정하여 욕조의 바닥 환관의 누전을 가정하고 욕조의 전위분포 형성을 측정해 보았다. 그림 5는 욕조 바닥면의 전위를 측정된 결과이다. 이 경우 욕조 전체에서 전위차의 변화를 확인할 수 없었으며 전위전압인 220[V]가 욕조의 전체에 형성되었다. 이런 경우 욕조의 전체 지점에서 전위차가 발생되지 않는다고 해서 욕조가 안전하다는 의미는 아니다. 이 경우에도 입욕자가 금속제나 기타 접지점을 형성하는 회로와 접촉한다면 220[V]가 인체에 인가됨에 따라 전위차에 따른 감전회로가 구성되어 전격 재해를 당한다.

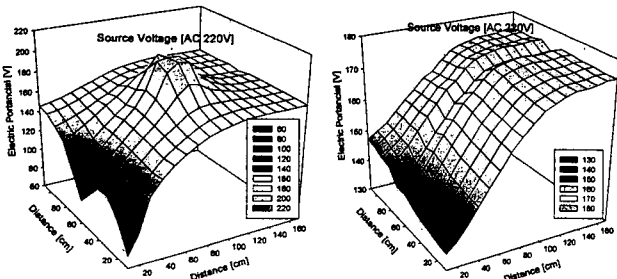


〈그림 5〉 욕조 바닥면의 전위경도(유출점이 없는 경우)

#### 2.3.2 2차 실험

실험 2는 바닥의 급기관(버블매트)에서의 누전을 가정하여 급기관에 전압을 인가한후 접지체인 배수구 및 수중안마(급수관)에 의한 전위경도의 영향을 평가하고자 하는 실험이다. 수중안마(흡입관)의 왼쪽은 급수관을 통하여 전동기와 직접 연결되어 있으며, 오른쪽은 절연관을 통하여 전동기와 연결되어 있다.

그림 6에서 보는 것처럼 누전점인 버블매트에서 접지점인 배수구 및 수중안마(흡입관)의 방향으로 전위경도가 나타나며 접지점으로 전류경로를 형성하고 있으나 누전점에서 절연관이 삽입되어 있는 수중안마(토출관) 방향으로 전위차의 변화가 매우 적음을 알 수 있다. 특히 전위경도, 즉 전계가 형성되는 누전점과 접지점 사이에 인체가 욕조에 들어가 있으면 감전사고로 인한 전격재해를 당하게 된다. 반면에 전계가 미약하게 형성되는 반대측에서는 인체가 욕조에 들어있어도 감전사고가 발생할 확률이 적다. 그러나 전위차가 적을뿐이지 전체적인 전위값이 접지면보다 높게 형성되어 있어 욕조의 영역으로 인체가 들어가거나 나오기 위해 한쪽 발이나 손이 수중에 접촉하고 다른 한손이나 발이 욕조 외부의 접지된 금속으로 된 배수관, 철재용 기구와 접촉하거나 지면의 물기와 접촉했을 때는 감전회로를 형성하여 전격재해를 당할 수 있다.

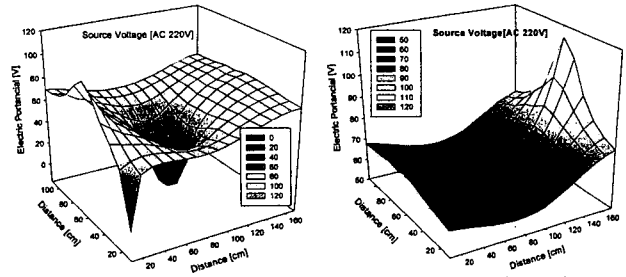


〈그림 6〉 욕조내의 전위경도 : 바닥면(왼쪽), 물표면(오른쪽)

#### 2.3.3 3차 실험

실험 3은 수중안마(흡입관, 토출관)에서의 누전을 가정하여 양쪽의 수중안마에 동시에 같은 전압을 인가한후 접지체인 급기관(버블매트), 배수구에 의한 전위경도의 영향을 평가하고자 하는 실험이다.

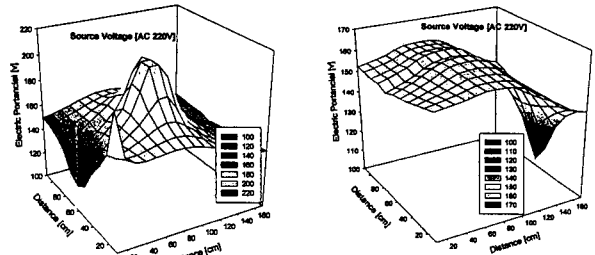
왼쪽의 수중안마 흡입관의 위치는 왼쪽 측벽 중앙에 높이 10[cm]이며, 오른쪽의 수중안마 토출관의 위치는 오른쪽 측벽 중앙 높이 45[cm]이다. 그림 6에서 보는 것처럼 양쪽의 수중안마에서 접지체인 배수구 및 버블매트 쪽으로 전위의 차가 급격히 형성됨을 확인할 수 있다. 앞선 실험2에서는 수중안마의 오른쪽(토출관)에는 절연관을 삽입하여 전계의 형성이 왼쪽보다 힘들을 확인했지만 이번 실험은 양쪽 모두를 급수관에 직접 연결하여 누전을 동시에 시켰다. 예상했던 것처럼 욕조의 전위분포는 접지체인 버블매트와 배수구로 급격한 전위감소가 발생되었으며 욕조의 전체에 전계가 형성되고 있음을 확인하였다.



〈그림 7〉 욕조내의 전위경도 : 바닥면(왼쪽), 물표면(오른쪽)

#### 2.3.4 4차 실험

실험 4는 급기관(버블매트)의 누전을 가정하고 급기관(버블매트)의 배관이 배수관과 연결되어 있을 경우 주변의 접지체인 수중안마에 의한 전위경도의 영향을 평가하고자 하는 실험이다. 수중안마의 경우 양쪽 배관 모든 급수체로 접지체와 연결되어 있다. 실제 입욕시설의 배관들은 각각 따로 설치되어 있는 경우도 있지만 서로 배관들의 지지를 위하여 급수체로 상호 연결되어 있어 한 쪽이라도 전기설비의 고장에 발생되면 누전경로를 형성할 수 있게 된다. 이번 실험에서는 이처럼 급기관(버블매트)의 누전을 가정했지만 이의 영향에 의해 배수관에 누전이 발생할 경우의 욕조의 전위분포를 측정하고자 하는 실험이다. 그림 5에서 보는 것처럼 양쪽의 접지체인 수중안마쪽으로 전위차가 급속히 발생됨을 알 수 있고 욕조의 어느 쪽에 있어도 인체는 감전사고의 위험성에서 안전할 수 없는 전계가 형성되어 있다.



〈그림 8〉 욕조내의 전위경도 : 바닥면(왼쪽), 물표면(오른쪽)

### 3. 결 론

본 연구에서는 일반대중목욕탕 및 물놀이 시설 등에 설치되어 있는 욕조내의 전기설비가 접지 및 등전위가 설비가 되어 있지 않았을 경우의 욕조에서의 감전위험성을 실험하였다. 실험실 조건의 환경이다 보니 실제 입욕 시설에 설치되어 있는 배관들의 접지조건 및 누전의 상황을 정확히 모의할 수 없었지만 노출도전부에서의 누전에 의해 욕조안에 있는 접지체들이 어떻게 영향을 미치는지를 확인하였으며, 욕조의 전위분포가 각기 다르게 형성됨을 측정 할 수 있었다.

그리고 입욕시설의 배관에 절연관을 삽입하여 급수관만으로 연결되어 있을때와의 욕조내의 전위분포의 차이를 비교하였다. 실제 입욕시설에 이처럼 절연관을 삽입하여 누전경로의 형성을 차단하면 욕조내에서의 감전사고의 위험성은 조금이나마 줄일 수 있을 것으로 추측된다.

후후 계속되는 연구에서는 실제 입욕시설의 접지조건을 체현하고, 현장에서 여러 가지 파라메타들 특히 수면이 젖은 상태인 바닥 및 외부의 접지체들과의 접촉으로 인한 감전회로의 구성 가능성 및 전격재해 가능성에 대해 지속적으로 연구가 실시될 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전기안전공사, 감전·화재사고 취약장소의 전기설비 시설지침, 1999
- [2] 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원, "배선기구의 감전위험성 연구", 한국전기안전공사, 1999
- [3] 김두현 외, 전기안전공학(최신), 신광문화사
- [4] 전기설비 기술기준, 산업자원부 고시 제2003-24호.
- [5] 대한전기협회, 내선규정, 2000
- [6] J.E. Bridges, "New Developments in Electrical Shock Safety", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 22~25, 1994.
- [7] L. E. Virr, BSc, PhD, CEng, FIEE, "Increased electric shock risk underwater due to electrode configuration and insulating boundaries", IEE Proceedings, Vol.5, No.5, 1990.