

# 수중에서의 감전 메카니즘 특성에 관한 연구

김성진 · 김찬오 · 이흥주 · 송찬유\*

서울산업대학교 안전공학과 · \*서울산업대학교 에너지 안전 공학과

## 1. 서 론

최근에 들어와 가로등에 의한 감전사가 매년 지속적으로 발생하고 있다 특히 2001년에는 집중호우로 인해 가로등이 침수되었으나 누전차단기가 작동을 하지 않았거나 미부착 등으로 인하여 가로등에서 누전이 발생하여 가로등 옆을 지나가던 도로 보행자들이 숨지는 등의 사고도 발생하였다.

특히 가로등 사용전압 220V는 일반인이 쉽게 접촉할 수 있는 도로변에 시설되기 때문에 감전사고의 위험성이 높은 도로시설물로 주의가 요구되지만 감전위험성에 대한 인식부족과 가로등 침수시 누전이 발생하였을 경우 도로 보행자의 안전성의 실효성 문제 등이 제기되는 등 감전사고의 발생위험성이 매우 크다.

일반적으로 인체를 보호하기 위한 가로등 시설로 누전차단기 설치와 접지를 시공하는 2가지의 방법이 있으나 기존의 가로등 시설물 중에 누전차단기가 시설되지 않거나 접지가 시공되지 않은 상태의 것도 있었으며 접지가 시설되어있어도 형식승인시에만 3종접지(100 $\Omega$ 이하)를 검사하기 때문에 사후 발생하는 계절이나 접지봉의 부식 등에 의한 접지저항값 변화에 대해서는 속수무책이었다. 특히 가로등이 침수되어 누전이 발생했을 경우 수중전위분포를 모르기 때문에 누전체로 부터 거리변화와 수중깊이에 따른 전위 변화가 인체에 미치는 감전 위험성을 알 수가 없었다.

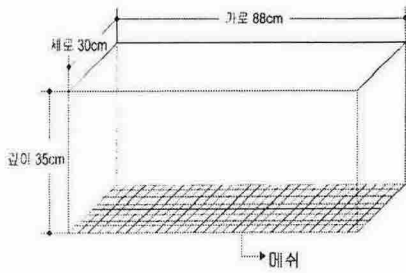
본 연구에서는 수중에서의 누전이 발생한 감전 상황을 실험을 통하여 인체에 미치는 감전위험성을 분석함으로써 누전체와의 거리와 수중깊이의 변화에 따른 인체에 미치는 감전 메카니즘을 파악하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

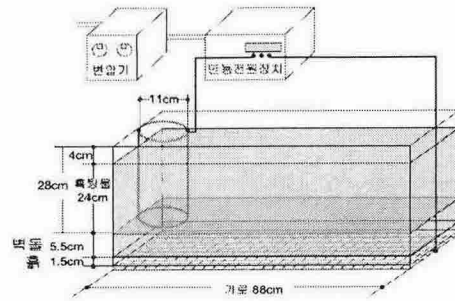
### 2-1. 실험장치

#### 2-1-1. 수조와 가로등 제작

폭우로 인해 가로등이 침수되는 상황을 재현하기 위하여 가로 30cm, 세로 35cm, 길이 88cm인 수조를 제작하였고, 가로등 외함은 직경 11cm, 높이 62cm의 연통을 사용하였으며 외함에 하트선(H)을 연결하였고, 바닥으로부터 메쉬, 흙, 벽돌의 순서로 일반적인 인도를 가정하여 실험조건을 구성하였고, 메쉬에는 중성선(N)을 연결한다.



[Fig. 2-1] 수조 바닥 메쉬 구성도



[Fig. 2-2] 실험장치 구성도

### 2-1-2. 시액 제작

가로등 침수시 시액 고유저항이 주변 환경적 조건에 따라 다르기 때문에 비온 뒤 자연적으로 형성된 시액을 가지고 고유저항을 측정하여 시액을 제작하였고 장시간의 실험으로 인하여 전도성물질 등의 침전으로 인한 전도도의 변화를 방지하기 위해 시액을 수시로 저어주면서 실험한다.

### 2-1-3. 실험장치 구성

수조에 설치된 가로등 외함에 만능전원장치로 부터 나온 H선을 연결하고 이때 N선은 수조 바닥에 설치된 메쉬와 연결한다.

수조 바닥에는 수조바닥 크기만 한 메쉬를 [Fig. 2-1]과 같이 설치하고 그 위에 흙을 1.5cm 깔고 다시 그 위에 높이 5.5cm인 벽돌을 설치한다.

이때 가로등 외함으로부터 가로 1cm, 세로 4cm, 깊이 4cm 간격으로 수중전위를 측정하였고, 지름 8cm, 높이 24cm 시편을 가로등 외함으로부터 가로방향 5cm 간격으로 거리를 이격시키며 수중전위 변화를 측정한다. 실험장치 구성도는 [Fig. 2-2]와 같다.

## 2-2. 실험방법

### 2-2-1. 시액 고유저항 측정

수조에 시액을 붓고 수조 양단 끝에 가로 30cm, 세로 24cm의 동판을 집어넣고 H선과 N선을 양극단에 접속시킨 후 220V(A.C)의 전압을 가한 상태에서 수조에서 양극단 간에 흐르는 전류를 측정한다.

양극동판에 인가한 전압을 측정 전류 값으로 나누어 시액 저항 값을 구하고, 고유저항 값을 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{시액의 저항 } R = \frac{220}{\text{측정 전류값}} [\Omega] = \frac{220 V}{0.695 A} = 316.5 [\Omega] \text{ -----(1)}$$

(1)의 값을 R에 적용시키고 고유저항을 구하기 위해서 다음공식에 대입하였다.

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \Rightarrow \text{시액의 고유저항 } \rho = \frac{A}{l} \times R [\Omega \cdot m]$$

$$= \frac{0.072}{0.88} \times 316.5 = 25.9[\Omega \cdot m]$$

위의 실험을 통하여 시액 고유저항율은 25.9[Ω·m]임을 확인하였다.

### 2-2-2. 시편 고유저항 측정

지름 8cm, 높이 24cm 원통형 시편의 양단에 동판을 연결하고, H선과 N선을 접속시킨 후 220V를 인가한 시편의 양극단간에 흐르는 전류 값을 측정하였다.

양극동판에 인가한 전압을 측정 전류 값으로 나누어 시편 저항 값을 나타내었고, 고유저항율을 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{시편의 저항 } R = \frac{220 V}{\text{측정 전류값 } A} [\Omega] = \frac{220 V}{2.2 A} = 100[\Omega] \text{ -----(1)}$$

(1)의 값을 R에 적용시키고 고유저항율을 구하기 위해서 다음공식에 대입하였다.

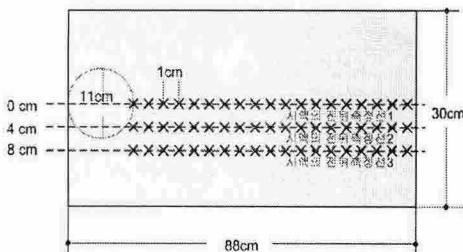
$$R = \rho \times \frac{l}{A} \Rightarrow \text{시편의 저항율 } \rho = \frac{A}{l} \times R [\Omega \cdot m]$$

$$= \frac{0.005}{0.24} \times 100 = 2.08[\Omega \cdot m]$$

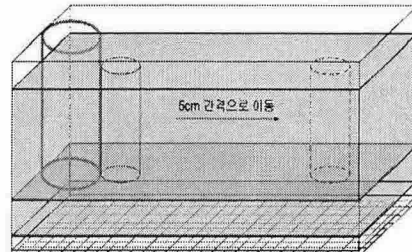
위의 실험을 통하여 시편 고유저항율은 2.08[Ω·m]임을 확인하였다.

### 2-2-3. 수중전위와 총 전류 측정

누전체인 연통으로부터 [Fig. 2-3]과 같이 가로 1cm, 세로 4cm, 수면으로 부터의 깊이 4cm씩 측정거리에 변화를 주면서 시편을 시액에 미침가시 수중전위 측정 점 1491개, 시편을 시액에 침가시 수중전위 측정 점 1281개를 측정한다.



[Fig. 2-3] 수중전위 측정점 평면도

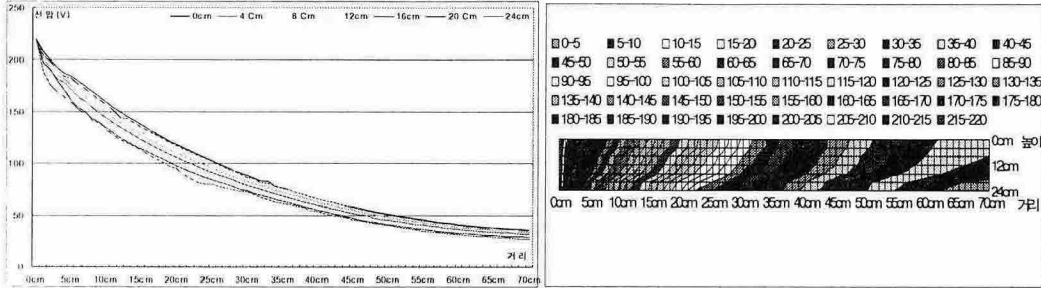


[Fig. 2-4] 시편 이동경로

[Fig. 2-4]와 같이 누전체인 연통으로부터 가로 5cm씩 거리변화를 주면서 시편 전위 측정 점 294개를 측정하였다. 그리고 전원이 공급되는 전선에 클램프메타를 걸어서 전체 회로에 걸리는 총 전류를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

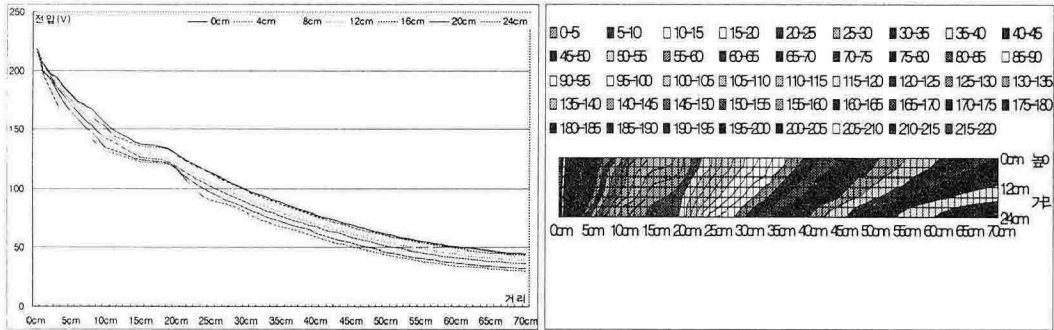
#### 3-1. 시편 미첨가시 수중전위 측정결과



[Fig. 3-1] 시편 미첨가시 전위측정선 1의 깊이변화에 따른 수중전위

[Fig. 3-2] 시편 미첨가시 전위측정선 1의 깊이변화에 따른 등전위선

#### 3-2. 시편 첨가시 수중전위 측정결과



[Fig. 3-3] 시편 첨가시 전위측정선 1의 깊이변화에 따른 수중전위

[Fig. 3-4] 시편 첨가시 전위측정선 1의 깊이변화에 따른 등전위선

#### 3-3. 시편 첨가시와 미첨가시 전위비교

[Table 3-1] 시편 첨가시와 미첨가시 전위차

단위 : V

깊이	0cm	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm
0cm	-4.6	-3.3	-2	-1.4	0.4	3.9	7.4	9.7	12
4cm	-7.4	-2.07	-3.11	-1.43	0.76	4.26	7.36	10.09	12.5
8cm	-4.4	-1.81	-1.13	0.26	1.77	4.93	8.2	10.77	12.9
12cm	-2	-1.12	-0.14	0.11	1.46	4.29	7.12	9.54	11.2
16cm	0.6	1.61	1.93	2.23	3.13	6.05	9.26	11.77	13.3
20cm	2.9	5.12	6.71	8.06	9.77	12.55	15.73	18.04	20.3
24cm	2.3	4.93	6.12	7.39	9.61	13.58	16.95	20.16	22.8

### 3-4. 누전체에서 거리 변화에 따른 시편 전위측정

[Table 3-2] 누전체와 시편의 거리와 시편의 위치에 따른 전위차

단위 : V

	수직(앞)	수직(뒤)	수평(위)	수평(아래)	대각선
0cm	0	16.4	29.6	46	46
5cm	10	13.7	14.5	18.2	28.2
10cm	19.8	13.8	15.6	9.6	29.4
15cm	11.2	12.6	7	8.4	19.6
20cm	10.4	7.4	5.6	2.6	13
25cm	9.4	7.6	6.2	4.4	13.8
30cm	7.8	8.5	6.7	7.4	15.2
35cm	7.6	9.7	4.1	6.2	13.8
40cm	6.2	9.5	3.4	6.7	12.9
45cm	6.9	8.3	1.8	3.2	10.1
50cm	6.6	7.6	1.8	2.8	9.4
55cm	6.7	6.98	1.4	1.68	8.38
60cm	7.2	6.8	1.3	0.9	8.1
65cm	6.7	6.1	1	0.4	7.1

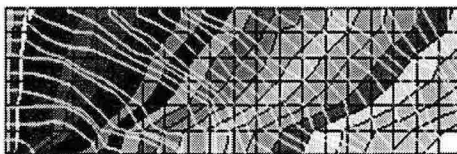
### 3-5. 통전전류

[Table 3-3] 시액과 시편의 통전전류

단위 : mA

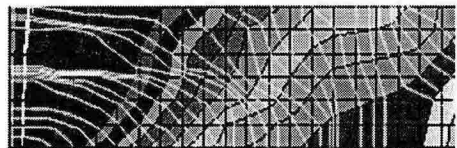
이격거리	시액의 통전전류	시편의 통전전류
0cm	11.0	82.1
5cm	31.8	118.6
10cm	20.6	168.2
15cm	20.8	119.1
20cm	17.3	89.1
25cm	16.16	85.1
30cm	11.5	81.6
35cm	10.6	86.6
40cm	9.7	78.6
45cm	9.8	76.1
50cm	8.6	71.1
55cm	8.3	68.5
60cm	7.6	70.1

### 3-6. 시편 첨가시와 미첨가시 수중전력선 비교



0cm 5cm 10cm 15cm 20

[Fig. 3-5] 시편 미첨가시 수중전력선



0cm 5cm 10cm 15cm 20c

[Fig. 3-6] 시편 첨가시 수중전력선

#### 4. 결 론

폭우로 인하여 가로등과 같은 저압 시설물이 침수되어 누전이 발생하였을 경우 인체가 직접적으로 누전체에 접촉하여 감전되어 사망하는 것을 제외하면, 보통 누전체에 의하여 형성된 수중 전위분포에 의하여 1차적으로 쇼크를 받아 물속으로 쓰러지게 되고, 2차적으로 일반적인 감전사고 메카니즘에 의하여 피재자가 사망에 이를 가능성이 많다.

즉, 수중에서는 인체의 다리 부위에 전류가 흘러 근육 경직으로 인해 인체가 물속으로 쓰러져 익사하게 되거나 또는 수중에 잠긴 상태에서 심실세동이 발생하여 혈액순환 기능이 상실되어 사망하게 되는 감전 메카니즘을 가정할 수 있다.

측정된 수중전위 값과 전력선의 모양으로부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 누전체에 근접할수록 거리변화에 대한 전위강하율이 크게 나타났다.
- (2) 전위측정 위치가 수중으로 깊어질수록 전위가 감소하는 것으로 나타났다.
- (3) 시편 첨가시에는 시편이 없는 경우보다 시편 앞부분에서 전위가 감소하는 경향으로 나타나고, 또한 흙탕물보다 도전도가 높은 시편의 영향으로 시편에는 전위감소가 적게 나타나 시편 뒤에서는 시편이 없는 경우보다 수중전위가 상승하는 것으로 나타났다.
- (4) 시편 첨가시에는 전력선의 분포가 시편이 없는 경우보다 시편 쪽으로 많이 집중되는 현상을 확인할 수 있었다.
- (5) 시편을 통과하는 전력선이 수직에 더 가까운 모양으로 형성되어 인체가 물에 잠긴 경우는 전력선이 인체 쪽으로 집중하게 된다는 것을 유추할 수 있다.
- (6) 시편이 없는 경우 동일한 부위를 흐르는 전류는 20.6mA로 계산되었으나, 누전체로부터 11cm 떨어진 위치에 시편을 첨가한 경우 시편을 통과하는 전류는 168.2mA로 계산되어 인체가 물속에 있는 경우는 심실세동의 가능성이 충분한 큰 값의 전류가 흐르는 것으로 유추할 수 있다.
- (7) 모든 시편에 걸리는 전압은 허용접촉전압 2.5V 보다 크고, 통전전류도 심실세동 전류인 50mA 보다 크므로 감전위험성이 매우 컸다.

이상에서와 같은 실험결과를 통하여 수중에서 전격 위험을 결정하는 인자로 일반적 전격의 위험인자 외에 다음과 같은 것을 추가로 들 수가 있다.

- (1) 시편의 침수정도 및 단면적
- (2) 시편의 저항율
- (3) 누전체와 시편의 접근거리
- (4) 시액 고유저항율
- (5) 누전체 형상