

수중에서의 인체감전에 관한 연구

김찬오 · 김종훈 · 이흥주

서울산업대학교 안전공학과

1. 서론

최근에 들어와서 가로등에 의한 감전사가 매년 지속적으로 발생하고 있다. 2001년에는 집중호우로 인해 가로등이 물에 침수되어 가로등 옆을 지나가던 행인이 감전사하는 사고도 발생하였다. 특히 가로등 사용전압은 220V로 사람이 쉽게 접촉할 수 있는 곳에 시설되기 때문에 감전사고의 위험성이 높은 도로시설물로 주의가 요구되지만 이에 대한 인식부족과 현재 가로등의 접지저항값에 대한 실효성 문제 등이 제기되는 등 관리가 어려운 실정이다.

이에 본 실험에서는 접촉저항값(R_c)을 측정한 상태에서 접지저항값의 변화, 동봉과 가로등 외함과의 거리변화, 인체저항값에 따른 인체통전전류값을 실험을 통하여 측정하여 현재 규정되어 있는 접지저항값의 문제점에 대하여 연구하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1 실험장치의 구성

폭 30cm, 높이 30cm, 너비 88cm인 수조속에 들어가있는 가로등 외함(지름 11cm)속으로 변압기로부터 나온 H선과 N선을 집어넣는데 H선은 외함내부에서 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm를 이격시키면서 측정하고 이때 N선은 내부중심에 고정시킨다.

인체저항은 수중에서 동봉에 인체저항 최소값 500 Ω (가변저항 200W)을 연결하고, 대지에 서있는 상태를 가정하기 위하여 E_2 선과 접속시킨다. 대지로 가정되는 동판(가로 30cm×세로 35cm)도 E_2 선과 접속시킨다.

2-2 흙탕물과 소금물의 고유저항 측정

수조안에 흙탕물을 집어넣고 수조의 양벽에 가로 30cm, 세로 35cm의 동판을 집어넣어 H선과 N선을 각각 접속시킨 후 220V의 전압을 가한 상태에서 수조에서 양극단간에 흐르는 전류값을 측정하였다. 흙탕물의 고유저항율은 77.8 [$\Omega \cdot m$]이었으나 장시간의 실험에 의한 흙의 침전으로 인한 전도도변화를 방지하기 위하여 소금물으로써 흙탕물과 같은 고유저항율을 제작하여 실험하였다.

2-3 접촉저항값(Rc)의 측정

저압설비인 가로등의 접지저항을 Rg, 인체저항을 Rh, 접촉저항을 Rc, 접지로 흐르는 전류를 Ie, 인체로 흐르는 전류를 Ih라고 할 때, 감전회로는 아래의 그림과 같고, 접지저항값은 $R_g = \frac{I_h R_c R_h}{220 - I_h R_c - I_h R_h}$ 가 된다.

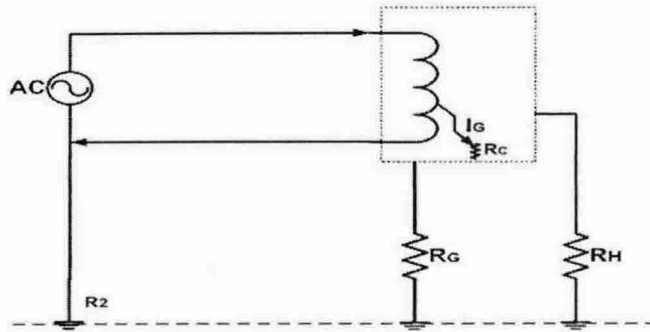


Fig. 1 감전회로

실험을 통하여 Rc값을 측정하기 위하여 N선을 중앙에 위치시킨 후 외함과 H선 사이의 간격을 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm로 변화시킬 때 각각 접지저항(Rg)을 1000Ω, 500Ω, 100Ω으로 하고 이때의 전압을 측정하면 접지저항 Rg에 걸리는 접압 Ve가 나오고, $R_g : R_c = V_e : V_c = V_e : (220 - V_e)$ 와 같은 비례식이 성립하므로 대입을 하여 접촉저항 Rc를 구한다.

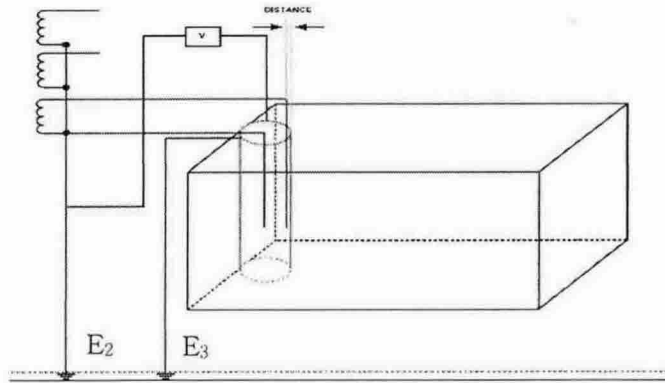


Fig. 2 Rc값의 측정

2-4 총전류, 접지누설전류, 인체통전전류의 측정

전원이 공급되는 전선에 클램프메타를 걸어서 전체 회로에 걸리는 총 전류를 측정하고, 가로등 외함을 접지한 전선에 클램프메타를 걸어서 접지선으로 흘러나가는 접지누설전류를 측정하며 동봉으로부터 인체저항을 통해서 흘러나가는 인체통전전류를 측정

한다.

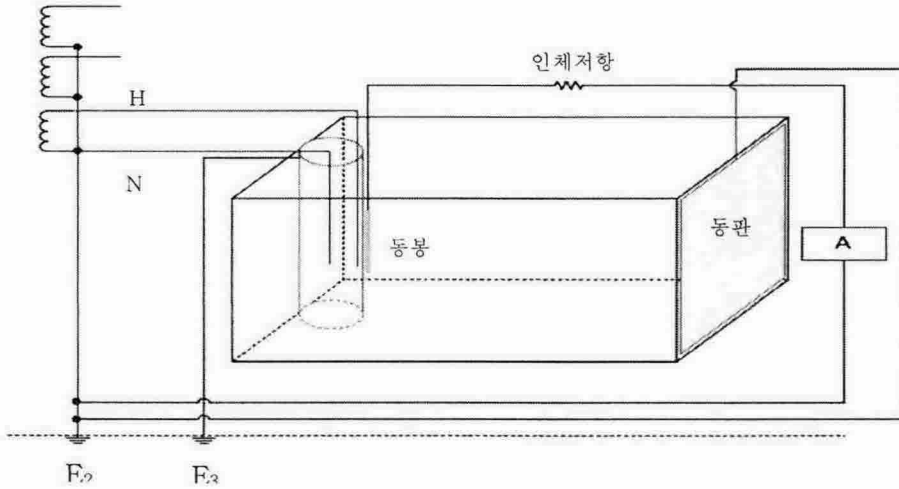


Fig. 3 총전류, 접지누설전류, 인체통전전류의 측정

3. 실험결과 및 분석

Rc값은 Table 1에서 보듯이 0.1mm에서 0.3mm까지는 적은 변화가 보이지만 0.3mm을 지나면서 0.5mm까지는 값 차이가 많이 난다. 또 0.5mm에서 1mm까지는 거의 비슷한 값을 나타내었다.

Table 1. 접지저항값 변화와 거리에 따른 접촉저항값(Rc)

D(mm)	Rg	Ve	Vc	Rc	D(mm)	Rg	Ve	Vc	Rc
0.1	100	160	60	37.5	0.5	100	24	196	816.7
	500	189	31	82		500	97	123	634
	1000	200	20	100		1000	107	113	1056
0.3	100	70	150	214.3	1	100	24	196	816.7
	500	150	70	233.3		500	84	136	809.5
	1000	175	45	257.1		1000	110	110	1000

인체저항을 500Ω으로 고정시키고 접지저항값과 가로등 외함에서 H선까지의 거리를 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm로 변화시켜가면서 가로등 접촉시를 가정하여 실험한 측정값은 Table 2와 같다. 이때 0.1mm에서는 Rc값이 30Ω, 0.3mm에서는 200Ω, 0.5mm에서는 840Ω일때 측정값에 계산값이 일치하였다.

Table 2. 가로등 접촉시 인체통전전류의 계산값과 실측값비교

0.1mm, 500Ω				
Rg[Ω]	Rh[Ω]	Rc[Ω]	Ih[mA]	실측정값[mA]
100	500	30	323.5	321
80	500	30	306.6	306
60	500	30	282	283
40	500	30	243	246
20	500	30	171.9	176
10	500	30	108.4	113
0.3mm, 500Ω				
Rg[Ω]	Rh[Ω]	Rc[Ω]	Ih[mA]	실측정값[mA]
100	500	200	129.4	116
80	500	200	112.8	103
60	500	200	93	88.5
40	500	200	68.8	66
20	500	200	38.6	39.6
10	500	200	20.6	20.7
0.5mm, 500Ω				
Rg[Ω]	Rh[Ω]	Rc[Ω]	Ih[mA]	실측정값[mA]
100	500	840	39.7	38.7
80	500	840	33.4	33.4
60	500	840	26.4	26.8
40	500	840	18.6	19.5
20	500	840	9.8	12.8
10	500	840	5	5.9

Table 3을 보면 0.1mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 30Ω일 때는 10Ω, 70cm에서만 가수 전류로서 안전한 상태이고 나머지 조건에서는 수중에서 접지만으로 인체를 보호하기는 힘들고, 0.3mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 200Ω일 때는 100Ω에서 60Ω일 때까지는 70cm, 40Ω일 때 60~70cm, 20Ω일 때 50~70cm, 10Ω일 때 20~70cm까지, 10Ω일 때 0cm와 10cm에서 각각 17Ω, 10.7Ω이 나왔는데 불수전류값이지만 그 값이 낮기 때문에 10Ω의 접지로서 인체를 보호할 수 있다고 볼 수 있고, 0.5mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 840Ω

일 때는 1000Ω에서 70cm 일 때 안전한 상태이며, 녹색으로 칠해진 셀에서 보이듯이 안전상태가 많은 부분에 분포하고 있다. 이 조건에선 접지저항값이 20Ω일 때에도 수중에 서 인체를 충분히 보호할 수 있다.

Table 3. 접지저항값의 변화에 따른 거리별 인체통전전류

단위: mA

0.1mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 30Ω							
접지저항 거리	1000Ω	100Ω	80Ω	60Ω	40Ω	20Ω	10Ω
0 cm	391	305	289	270	240	160	91
10 cm	235	182	172	166	136	93	52
20 cm	188	138	135	128	109	72	41
30 cm	148	110	110	98	89	56	32
40 cm	119	88	84	77	69	43	28
50 cm	86.5	62	60	57	49	32	21
60 cm	54	43	41	34	32	19	13
70 cm	28	19	17	15	13	10	6
0.3mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 200Ω							
접지저항 거리	1000Ω	100Ω	80Ω	60Ω	40Ω	20Ω	10Ω
0 cm	218	100	93	74	56	32	17
10 cm	156	69	59	43	32	19	10.7
20 cm	124	54	45	34	25	14.5	8
30 cm	99	44	35	27.5	20	11.4	6.5
40 cm	78	34	27	22	15	9	5
50 cm	61	25	20	16	11.5	7	3.7
60 cm	42	17	13	10	7.5	4.5	2.3
70 cm	14	8	4.5	4.5	3	1.5	1
0.5mm, 인체저항 500Ω, 접촉저항 840Ω							
접지저항값 거리	1000Ω	100Ω	80Ω	60Ω	40Ω	20Ω	10Ω
0 cm	83	40	33	26	21	11	5
10 cm	58	26	21	18	13	7	3.7
20 cm	49	20	17	14	10	5.6	3
30 cm	40	17	14	11	8.4	4.5	2.4
40 cm	33	13	11	9	6	3.5	1.7
50 cm	26	10	8	6.5	4.8	2.5	1.4
60 cm	17	6.5	5	4	3	1.6	0.9
70 cm	6	3	2	2	1	0.7	0.4
심실세동이 일어나거나 호흡곤란 및 심실세동 확률높음							
불수전류로서 2차 사고(근육경직으로 인한 익사사고)로 인한 사망확률 있음							
안전상태							

4. 결 론

(1) 0.1mm에서 인체저항이 500 Ω 인 상황에서는 접지저항이 10 Ω 까지 떨어지더라도 인체통전전류가 최악의 조건인 인체가 외함에 접촉시인 0cm일 때 91mA가 흐르기 때문에 심실세동으로 인한 감전사가 일어나며 10 Ω 의 접지만으로는 인체를 수중에서 보호할 수 없다.

(2) 0.3mm, 인체저항이 500 Ω 인 상황에서는 접지저항이 10 Ω 일 때 0cm에서 인체통전전류가 17mA로서 낮은 값의 불수전류이나, 인체저항이 500 Ω 보다 작을 때는 누설전류로 인하여 관절이 꺾이면서 물속으로 빠져 익사하는 2차 사고의 위험성이 있다.

(3) 0.5mm, 500 Ω 인 상황에서는 접지저항값이 10 Ω 인 경우에 0cm에서 인체통전전류가 5mA로서 가수전류이므로 안전하다.

따라서 최악의 조건인 하트선(H)이 외함에 직접 접촉하는 것과 수중에서 외함과 0.1mm 간격의 이격상태에서 인체가 외함에 접촉시에는 10 Ω 의 접지만으로는 감전사고를 방지할 수 없다. 그러나 거리가 멀어질수록 인체통전전류는 급격히 감소하지만 불수전류값이기 때문에 위험성이 크다. 0.5mm의 이격상태에서 접지저항을 10 Ω 으로 했을 경우 인체저항 500 Ω , 300 Ω 일 때 5mA, 8mA로서 접지만으로 충분히 수중에서 인체감전보호가 가능하다. 그러므로 현행법적기준인 접지저항값 100 Ω 이하를 10 Ω 이하로 낮춤으로서 완전히 위험을 제거할 수는 없지만 최대한의 안전을 확보해야한다.

참고문헌

1. Biegelmeier, "New experiments with regard to basic safety measures for electrical equipment and installations", 1985, pp. 169~172
2. IEC. Publication 60479-1, Third Edition, "Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects", 1994, pp. 19,31
3. 김찬오외 5인 "전기안전공학" 동화기술, 1996, pp. 38~39
4. Institute of Electrical & Electronics Engineers Inc, IEEE Std. 80-2000
5. Dalziel, CF. : "Electric shock hazard", IEEE Spectrum 9(2), 1972, pp. 41~50