

옥외 전기시설물 침수시 누설전류에 의한 인체영향(I)

하태현\*, 이현구, 김대경, 배정호, 이지인, 김석원  
한국전기연구원

Effects of Human Safety due to Leakage Current by Outdoor Electrical Facility in the Submerged Condition(I)

Ha Tae-Hyun\*, Lee Hyun-Goo, Kim Dae-Kyeong, Bae Jeong-Hyo, Lee Ji-In, Kim Suk-Won  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - In this paper, We studied about effects of human safety due to leakage current on the point of cable connection for outdoor electrical facility in the submerged condition and conducted its evaluation in the testing field. In this case, the reason of leakage on the point of cable connection is caused by formation of electrical pass between the grounded outdoor electrical facility and the enclosure of electrical facility which is connected to grounding system.

1. 서 론

도시화가 활발히 진행됨에 따라 가로등, 신호등, 입간판 등과 같은 옥외 전기시설물이 급증하고 있으며, 폭우나 홍수에 의해 옥외 전기시설물이 침수되어 누설전류가 유출될 경우 인근의 사람에게 위해를 줄 수 있다.

본 연구에서는 옥외 전기시설물이 침수되었을 때 옥외 전기시설물의 전선접속부에서 발생하는 누설전류로 인해 옥외전기시설물과 주변의 외함접지 시설물이 누전경로를 형성하는 경우에 대하여 실증 실험을 통해 인체의 영향을 검토하였다.

2. 실증 실험장

2.1 실험장 구성

침수시 옥외 전기시설물의 누설전류에 의한 인체의 영향을 분석하기 위하여 실험장에서 추정한 누설전류원을 토대로 누전경로가 형성되도록 간이 실험장을 설계·시공하였다.

- ① 실험장의 크기는 12[m]×6[m]×1.5[m](가로×세로×높이)이며, 옥외 전기시설물과 외함접지 시설물 사이의 거리는 6[m]로 하였다.
- ② 실험장의 벽면은 절연을 위하여 목재를 사용하고 수조 내면에는 천막을 이용하여 방수가 되도록 하였다.
- ③ 실험장 바닥은 도로의 상황을 모의하기 위하여 아스팔트포장의 도로와 보도블록의 보도로 구분하였다.
- ④ 전위측정용 전극은 1[m]간격의 격자구조로 틀에 고정하고, 침수 높이별 전위분포를 측정하기 위하여 틀 전체를 바닥에서 1.5[m]까지 상하로 조절할 수 있도록 하였다.
- ⑤ 전위측정용 전극이 바닥면 전위를 측정할 때는 높이차가 있는 도로와 보도에 동시에 닿도록 하고, 수중의 전위를 측정하기 위해 틀을 들어올렸을 때는 전극의 끝부분이 같아지도록 유동성 있게 하였다.
- ⑥ 누설전류의 분포를 모의하고 분석하기 위하여 옥외 전기시설물과 외함접지 시설물 사이에서 ELP 30 [mm] 전선관과 600V CV 1×5.5[mm<sup>2</sup>] 케이블의 3개소에 피복을 노출(전선관: 3[cm]×3[cm] 노출, 케이블: 1[cm]길이 노출)시켰으며, 옥외 전기시설

물의 전선접속부는 비닐절연테이프를 감는 방법과 단자대를 이용한 완전 노출형의 두 가지로 시공하였다. 여기서 완전노출부로 모의한 단자대는 60(A)용을 사용하였다.

⑦ 회로의 결선은 모두 외부에서 조작할 수 있도록 하고, 실증 실험을 위해 시공한 임의의 절연불량 전선, 비닐테이프 시공부분 및 전원노출부분을 제외하고는 침수되는 부분에 전선접속부가 없도록 하여 확실하게 절연하였다.

⑧ 실험장내 접지는 옥외 전기시설물, 외함접지 시설물 그리고 보조용으로 3군데에 제 3종 접지공사를 하였다.

그림 1은 전위분포측정 지점을 나타낸 실험장 평면도 를 나타낸 것이다.

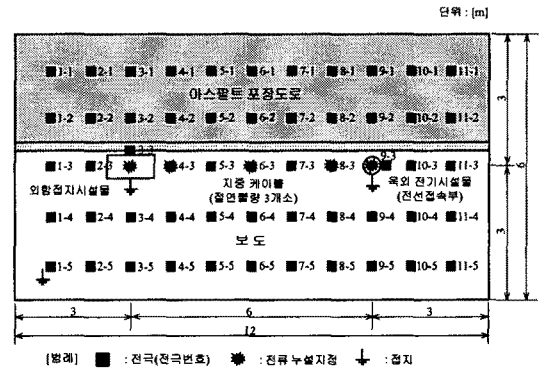


그림 1 실험장 평면도

2.2 실험장의 대지저항률

실험장 바닥에 대해 굴착 후의 대지저항률을 측정 한 결과는 표 1과 같다. 여기서 굴착 깊이는 약 2[m]이다.

표 1 실험장 바닥의 대지저항률 측정값

Pin 간격	측정저항값	대지저항률[Ω·m]
1	17.00	106.76
2	11.50	144.44
3	8.85	166.73
4	6.90	173.32

\* 측정일 : 2002년 5월 24일, 날씨: 맑음

2.3 실험장내 접지저항

실험장내에 물을 외함접지 시설물이 침수되는 위치(보도 위 약 150[cm]높이)까지 채우고 실험장내의 물의 전기저항률을 측정 한 결과 170[Ω·m]이었다. 이 때 물을 채운상태로 각 부위의 접지저항을 측정 한 결과는 표 2와 같다.

표 2 실험장내 접지저항 측정값

구 분	접지 저항[Ω]
옥외 전기시설물	21.1
외함접지 시설물	18.0

\*) 측정일 : 2002년 8월 9일, 날씨 : 비

### 3. 전위분포 특성 실험

#### 3.1 실험 조건

침수시 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우에 대해 그림 2와 같이 회로를 구성하고 아래의 실험조건에서 1[m] 격자간의 전위차를 측정하였다.

- ① 외함접지 시설물은 1선(중성선)접지
- ② 지중케이블 : 정상일 때와 절연 불량일 때(3개소) 고려
- ③ 전선접속부 : 비닐테이프 시공일 때와 완전노출일 때 고려
- ④ 침수 수위 : 바닥일 때와 외함접지 시설물 침수일 때 고려
- ⑤ 측정 높이 : 바닥→30[cm]→60[cm]→90[cm]→120[cm]→수면

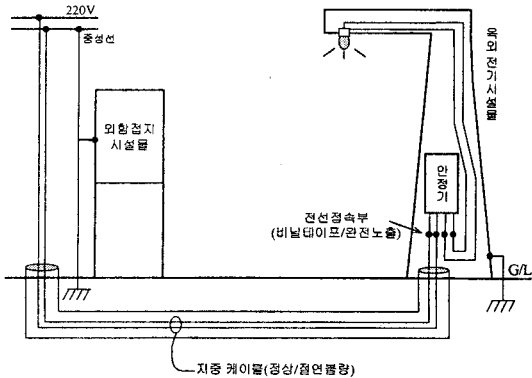


그림 2 실험 결선도

#### 3.2 측정 장비

누설전류 및 전위분포 측정에 사용된 주요장비는 디지털 오실로스코프(TDS 3032, Tektronix사)와 멀티메타/스위치 시스템(2750, KEITHLEY사)이다. 여기서 멀티메타/스위치 시스템에 사용되는 다중 모듈(7702)은 40채널/모듈로서 2개 모듈을 사용하여 55개의 전위값을 동시에 측정하였다.

실험장의 전원공급장치는 절연변압기를 이용하여 2차측에서 전원접지를 용이하게 하였고, 디지털 판넬메타와 전자접속기를 사용하여 설정치 이상의 과도한 전류는 차단할 수 있도록 하였다.

#### 3.3 전위분포도 작성

실험조건에서 전위차를 측정한 결과, 옥외 전기시설물 부근에 외함접지 시설물이 있고 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우 옥외 전기시설물 주변의 전위차가 외함접지 시설물 주변의 전위차보다 컸으며, 옥외 전기시설물 부근의 최대전위차는 옥외 전기시설물내 전선접속부가 완전노출인 경우가 비닐테이프 시공인 경우보다 컸다.

그림 3과 그림 4는 옥외 전기시설물과 외함접지 시설물이 완전 침수되었을 때 옥외 전기시설물 주변에 지중케이블 절연불량 개소가 있고 전선접속부에 비닐테이프

시공과 완전노출시의 경우에 대하여 실험장에서 1[m] 간격의 격자로 구성된 55개의 전극에서 측정된 전압값을 토대로 Grid-based 그래픽 프로그램을 이용하여 10[cm] 간격의 격자로 작성한 전위분포도의 평면도와 횡단면도를 각각 나타낸 것이다.[1]

또한 실험조건에 따라 전위분포도에서 계산한 수중에서의 접촉 전압의 최대값과 최대전위경도값을 표 3에 나타내었다. 여기서 수중에서의 접촉 전압값은 전극(1-5)를 기준으로 하여 각 지점의 상대전압을 나타낸 것이다.

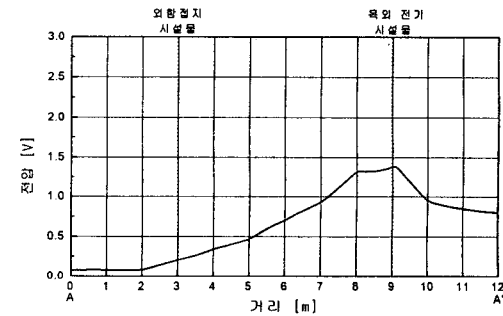
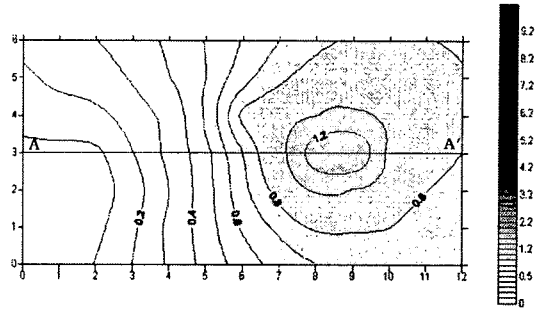


그림 3 전선접속부에 비닐테이프 시공시 전위분포도

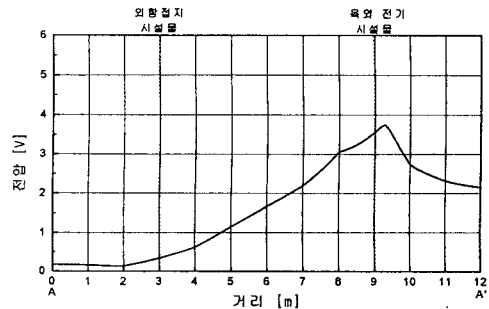
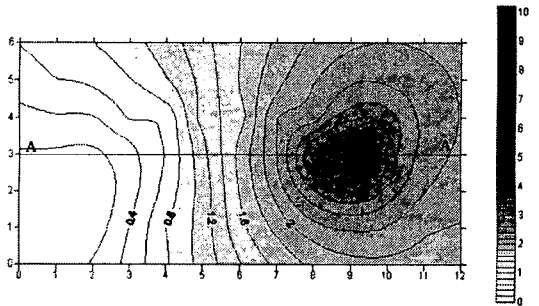



그림 4 전선접속부가 완전 노출시 전위분포도

표 3 수중에서의 접촉전압과 전위경도값

실험조건	측정높이 [cm]	수중에서의 최대접촉전압 [V]	최대전위경도 [V/m]
지중케이블 정상 전선접속부 비닐테이프 시공 외합접지 시설물 완전 침수	바닥	0.6144	0.3503
	30	0.5022	0.2330
	60	0.5055	0.2424
	90	0.5271	0.2878
	120	0.4665	0.2002
지중케이블 절연불량 #1 전선접속부 비닐테이프 시공 외합접지 시설물 완전 침수	바닥	0.4544	0.1884
	30	0.7410	0.2978
	60	0.6809	0.2725
	90	0.6542	0.2585
	120	0.6696	0.2485
지중케이블 절연불량 #2 전선접속부 비닐테이프 시공 외합접지 시설물 완전 침수	수면	0.6243	0.2080
	바닥	1.0790	0.2080
	30	0.9073	0.4456
	60	0.9042	0.2547
	90	0.8772	0.2755
지중케이블 절연불량 #3 전선접속부 비닐테이프 시공 외합접지 시설물 완전 침수	120	0.8486	0.2634
	수면	0.8204	0.2330
	바닥	1.3912	0.5618
	30	1.2242	0.3705
	60	1.2210	0.3823
지중케이블 정상 전선접속부 비닐테이프 시공 외합접지 시설물 완전 침수	90	1.1764	0.3534
	120	1.1726	0.3201
	수면	1.1429	0.2919
	바닥	4.3181	2.2992
	30	3.8356	1.7319
지중케이블 정상 전선접속부 완전노출 외합접지 시설물 완전 침수	60	3.9117	1.8706
	90	3.8535	1.8115
	120	3.7510	1.7104
	수면	3.5724	1.4846
	바닥	4.3128	2.0389
지중케이블 절연불량 #1 전선접속부 완전노출 외합접지 시설물 완전 침수	30	3.9794	1.7212
	60	3.9547	1.7590
	90	3.8889	1.7126
	120	3.7783	1.5515
	수면	3.6782	1.4398
지중케이블 절연불량 #2 전선접속부 완전노출 외합접지 시설물 완전 침수	바닥	3.2100	1.1958
	30	3.1571	1.1999
	60	3.0729	1.1177
	90	3.0272	1.0492
	120	2.9576	0.9404
지중케이블 절연불량 #3 전선접속부 완전노출 외합접지 시설물 완전 침수	수면	2.8841	0.8385
	바닥	3.7479	1.5645
	30	3.4754	1.2955
	60	3.4623	1.1906
	90	3.3804	1.1472
지중케이블 정상 전선접속부 완전노출 외합접지 시설물 완전 침수	120	3.2358	0.9852
	수면	3.1626	0.8632

주) 수중 전압값은 전극(1-5)를 기준으로 하여 각 지점의 상대전압을 나타낸 것임.  는 그림 3과 그림 4의 경우에 해당

#### 4 침수시 누설전류가 인체에 미치는 영향

##### 4.1 침수시 인체의 안전 기준

우리나라에서는 접촉전압에 대한 안전전압의 허용값을 규정하고 있지는 않지만 일반적으로 일본의 기준을 사용하고 있다. 일본전기협회의 저압전로지락보호지침에 의하면 접촉조건에 따른 허용접촉전압의 크기에 있어서 인체의 대부분이 수중에 있는 상태(제1종)인 경우의 허용접촉전압은 2.5[V]이다.[2]

##### 4.2 침수수위에 따른 인체의 영향

- ① 실험 조건에서 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우에 있어서 도로가 침수되지 않은 상태에서는 인체에 위해를 주지 않는 것으로 나타났다.
- ② 침수시 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우의 모든 실험조건(지중케이블의 손상 상태 및 전선접속부의 처리 상태)에서 인체의 접촉전압은 안전기준치인 2.5[V] 미만이므로 인체에 안전한 것으로 나타났다.

- ③ 실험 조건에서 측정시 옥외 전기시설물과 전극의 접촉저항에 따른 오차를 고려하면 옥외 전기시설물에 인체가 직접 접촉할 경우에는 인체의 접촉전압이 측정값보다 더 높게 나타날 수 있으므로 인체에 위해를 줄 수도 있다고 판단된다.

#### 4.3 이격거리에 따른 인체의 영향

- ① 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우에는 인체에 위협한 영역이 없는 것으로 나타났다.
- ② 상기의 모든 측정결과는 대지저항률, 물의 전기저항률 및 시설물의 접지저항에 따라 달라질 수 있다.

### 5. 결 론

옥외 전기시설물 침수시 옥외 전기시설물의 전선접속부에서 누설전류가 발생하고 옥외 전기시설물 주변에 외합접지 시설물이 있는 경우에 대하여 실증 실험장에서의 주어진 실험 조건에서 실험한 결과 옥외 전기시설물에 직접적으로 접촉하지 않는 한 인체에는 위해를 주지 않는 것으로 나타났다.

그러나 이 실험 결과는 측정시 전극의 접촉저항, 대지저항률, 물의 전기저항률, 시설물의 접지저항 그리고 누전경로 내에 웬스 등의 철구조물 시설 여부에 따라 달라지므로 향후 이러한 조건에 대해 컴퓨터 모의 해석을 포함한 다양한 사례 연구를 통해 인체에 대한 안전대책 뿐만 아니라 안전한 전기이용기술을 확보해야할 것으로 사료된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] John C. DAVIS, "Statistics and Data Analysis in Geology", 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1986
- [2] 저압전로지락보호지침, 일본전기협회