

옥외 전기시설물 침수시 누설전류에 의한 인체영향(II)

하태현*, 이현구, 김대경, 배정호, 이지인, 김석원
한국전기연구원

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

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 other outdoor electrical facility which is disconnected 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 접지가 되어 있지 않은 기타 옥외 전기시설물이 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 실험조사에서 추정된 누설전류원을 토대로 누전경로가 형성되도록 간이 실험장을 설계·시공하였다.

- ① 실험장의 크기는 12[m]×6[m]×1.5[m](가로×세로×높이)이며, 옥외 전기시설물과 기타 옥외 전기시설물 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 유통성 있게 하였다.
- ⑥ 누설전류의 분포를 모의하고 분석하기 위하여 옥외 전기시설물과 기타 옥외 전기시설물 사이에서 ELP 30 [mm] 전선관과 600V CV 1×5.5[mm²] 케이블의 3개소에 피복을 노출(전선관: 3[cm]×3[cm] 노출, 케이블: 1[cm]길이 노출)시켰으며, 옥외 전기

시설물의 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 및 보조용으로 2군데, 그리고 실험장에서 약 20[m] 떨어진 곳에 중성선 접지용으로 1군데에 제 3종 접지공사를 하였다.

그림 1은 전위분포측정 지점을 나타낸 실험장 평면도를 나타낸 것이다.

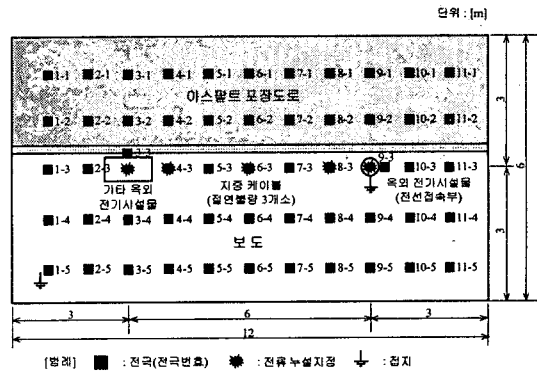


그림 1 실험장 평면도

2.2 실험장의 대지저항률

실험장 바닥에 대해 굴착 후의 대지저항률을 측정할 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

주) 측정일 : 2002년 5월 24일, 날씨: 맑음

2.3 실험장내 접지저항

실험장내에 물을 기타 옥외 전기 시설물이 침수되는 위치(보도 위 약 150[cm]높이)까지 채우고 실험장내의 물의 전기저항률을 측정할 결과 170[Ω·m]이었다. 이때 물을 채운상태로 각 부위의 접지저항률 측정할 결과

는 표 2와 같다.

표 2 접지저항 측정값

구분	접지 저항[Ω]
옥외 전기시설물	21.1
중성선 접지	44.5

*) 측정일 : 2002년 8월 9일, 날씨 : 비

3. 전위분포 특성 실험

3.1 실험 조건

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

- ① 기타 옥외 전기시설물의 전원공급은 배선용차단기에 공급하고 외함은 접지하지 않음, 전원측에서 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

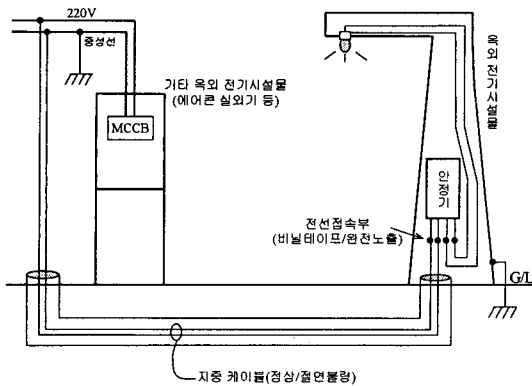


그림 2 실험 결선도

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 전자접촉기를 사용하여 설정치 이상의 과도한 전류는 차단할 수 있도록 하였다.

3.3 전위분포도 작성

실험조건에서 전위차를 측정한 결과, 옥외 전기시설물 부근에 외함접지를 하지 않은 기타 옥외 전기시설물이 있고 기타 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우, 기타 옥외 전기시설물 주변의 전위차가 옥외 전기시설물 주변의 전위차보다 컸으며, 옥외 전기시설물내의 전선접속부

가 완전 노출인 경우의 최대전위차가 비닐테이프를 시공했을 경우보다 컸다.

그림 3과 그림 4는 옥외 전기시설물과 기타 옥외 전기시설물이 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 횡단면도예를 각각 나타낸 것이다.[1]

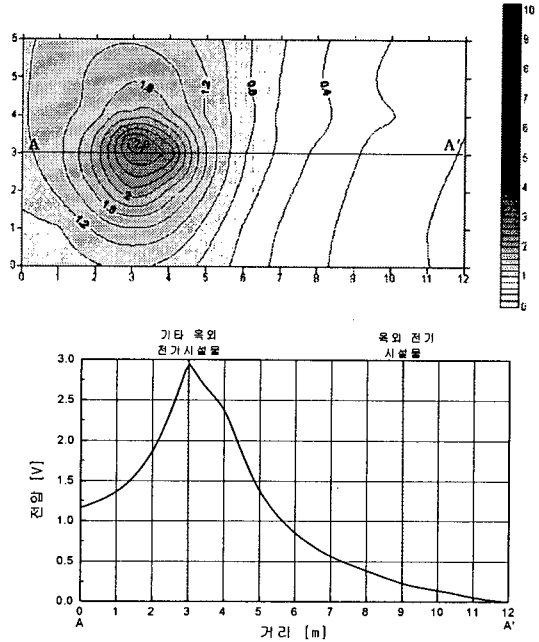


그림 3 전선접속부에 비닐테이프 시공시 전위분포도

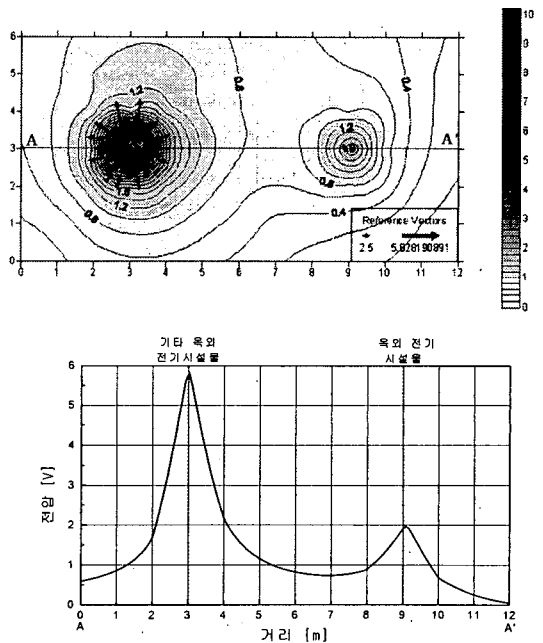



그림 4 전선접속부가 완전 노출시 전위분포도

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.

표 3 수중에서의 접촉전압과 전위경도값

실험조건	측정높이 (cm)	수중에서의 최대접촉전압 (V)	최대전위경도 (V/m)
지중케이블 정상, 전선접속부 비닐테이프 시공 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	2.9228	1.7623
	30	4.4906	3.4789
	60	4.2169	2.8586
	90	3.5721	1.8484
	120	3.3330	1.4719
	수면	3.2566	1.3750
지중케이블 절연불량 #1 전선접속부 비닐테이프 시공 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	3.0333	2.0066
	30	4.4322	3.4270
	60	4.2244	2.8429
	90	3.5651	1.8212
	120	4.2244	2.8429
	수면	3.3080	1.4078
지중케이블 절연불량 #2 전선접속부 비닐테이프 시공 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	2.9069	1.6216
	30	4.4598	3.3887
	60	4.1617	2.7790
	90	3.6074	1.8395
	120	3.3783	1.5019
	수면	3.3590	1.4560
지중케이블 절연불량 #3 전선접속부 비닐테이프 시공 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	2.9413	1.6457
	30	4.4166	3.3717
	60	4.2304	2.8755
	90	3.6427	1.8557
	120	3.3722	1.4834
	수면	3.3938	1.4660
지중케이블 정상 전선접속부 완전노출 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	2.7750	1.7435
	30	5.4727	4.8143
	60	5.7863	2.4305
	90	3.2256	1.7122
	120	3.0469	1.4653
	수면	3.0926	1.4971
지중케이블 절연불량 #1 전선접속부 완전노출 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	2.6971	1.6500
	30	5.3044	4.6067
	60	4.0595	2.8375
	90	3.1124	1.6371
	120	2.9251	1.3867
	수면	2.9182	1.3623
지중케이블 절연불량 #2 전선접속부 완전노출 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	5.7879	5.7831
	30	4.6021	4.4155
	60	3.6652	3.0899
	90	2.6374	1.7228
	120	2.4828	1.5202
	수면	2.5315	1.7227
지중케이블 절연불량 #3 전선접속부 완전노출 기타 옥외 전기시설물 완전 침수	바닥	5.8169	5.6282
	30	5.1849	4.4279
	60	4.1814	2.9868
	90	3.2303	1.6951
	120	3.0934	1.5066
	수면	3.2303	1.6951

주) 수중 전압값은 전극(1-5)를 기준으로 하여 각 지점의 상대전압을 나타낸 것이다. 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 저압전리차보호지침에 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 기타 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우에 있어서 도가가 침수되지 않은 상태에서는 인

체에 위해를 주지 않는 것으로 나타났다.

- ② 침수시 기타 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우의 실험조건에서 옥외 전기시설물내 전선접속부를 비닐테이프 시공할 경우에는 인체에 안전한 것으로 나타났으나, 전선접속부가 완전히 노출될 경우에는 인체에 위해를 줄 수 있는 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 기타 옥외 전기시설물이 누설전류원인 경우에는 전선접속부가 완전히 노출될 경우 기타 전기사용 도로시설물로부터 인체의 감전에 대한 안전 이격거리는 1.4~1.5[m] 정도로 나타났다.
- ② 상기의 모든 측정결과는 대지저항률, 물의 전기저항률 및 시설물의 접지저항에 따라 달라질 수 있다.

5. 결 론

실험 조건에서 지중케이블의 손상 여부, 전선접속부의 처리상태(비닐테이프 시공 또는 완전노출) 및 접지저항의 크기에 따라 누설전류에 의한 인체에 미치는 영향이 다르게 나타났다. 지중케이블이 정상이거나 전선접속부의 비닐테이프 시공이 정상적으로 처리되면 설비에 직접적으로 접촉하지 않는 한 안전한 것으로 나타났으며, 지중케이블이 손상되거나 비닐테이프 시공이 부실하게 되면 인체에 위험한 것으로 나타났다.

따라서 옥외 전기시설물에서는 전선접속부의 처리, 지중케이블의 손상 및 접지시스템의 관리 등 누설전류가 발생하지 않도록 시공 및 유지관리 측면에서 적절한 대책을 세워야 한다.

[참 고 문 헌]

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