

Countermeasures for Preventing Electric Shock in Low-Voltage Handhole

金鍾旻[†] · 韓雲基^{*} · 方善培^{**} · 金翰相^{***}
 (Chong-Min Kim · Woon-Ki Han · Sun-Bae Bang · Han-Sang Kim)

Abstract - This paper describes the countermeasures for preventing the electric shock which can be occurred in the low-voltage handhole underwater. Low-voltage handholes were designed and made for the test in the testing field. Which were installed 4 cases. a metal handhole cover was employed in case 1; FRP(Fiber glass Reinforced Plastic) handhole cover in case 2; an insulated rubber was put on the joint of the cables in case 3; the exposed conductors(cover, frame etc) were commoned and grounded in case 4. Thus, an ground potential near the low-voltage handhole was measured and evaluated quantitatively for the 4 cases. The measured results show that the potential of case 2,3 were lower than that of case 1 because the insulated rubber and the FRP cover prevented direct contact to the fault point. The case 4 is the lowest among the 4 cases because the common and grounding helps the fault current release into the ground, which makes the ground potential rise lower. As a result, although each case has the defects, these ways can effectively lower the electric shock risk in the low-voltage handhole.

Key Words : Low-voltage handholes, Electric shock, Ground potential, Fault current, FRP

1. 서 론

저압 지중함은 저압케이블의 공장이 긴 경우 지중케이블을 상호 연결하는데 필요한 전기설비로서 배전선로의 지중화에 따라 설치장소는 계속해서 늘어나는 추세이다. 저압 지중함 내에는 케이블 접속점이 설치되어 있으며 경년변화에 따른 절연열화, 외피손상 등으로 인하여 설비사고의 가능성은 항상 존재하며 더욱이 내부에서 누전에 의한 지락이 발생할 경우 금속의 재질인 저압 지중함의 뚜껑에 전압이 유길될 우려가 있다.[1,2] 또한, 최근에는 기상이변에 의한 국지성 호우로 인해 도심지에서의 침수피해가 빈번히 발생하고 있기 때문에 도로나 보도에 시설된 저압 지중함에서 누전될 경우에는 불특정다수에 대한 위험이 항상 도사리고 있다. 본 연구에서는 저압 지중함에서 발생할 수 있는 전격 사고에 대한 위험성을 평가하기 위하여 저압 지중함 실증실험장을 구축하였으며, 일반적으로 설치되어 있는 철재 지중함 뚜껑의 경우와 감전 예방을 위해 일부지역에 설치된 FRP 뚜껑의 경우, 지중함 내의 절연고무판을 설치한 경우, 지중함의 노출도전부를 접지시공한 경우(틀 접지)에 대해 지중함 주변에서의 대지전위를 측정하고 지중함에서의 감전

사고 위험성을 정량적으로 평가하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험환경 및 방법

모의실험설비는 도심의 보도블록 위에 시설된 저압 지중함의 설치환경과 유사한 조건을 구축하였다. 대지저항률 750~800[Ω·m] 정도의 대지에 크기 4×15[m], 울타리 높이 : 600[mm], 울타리 두께 : 150[mm]로 실증실험장을 구축하였으며, 저압 지중함(500×1,100×1,100[mm³])을 설치하고 저압 지중함 주변에 보도블록을 설치하였다. 실험장은 건조 및 침수 상태, 설비의 접지 및 현장 설치조건에 따른 실험이 가능하도록 하였으며, 설비의 고장상태를 모의하기 위하여 지중배선의 절연열화, 피복손상 등에 의한 지락사고가 가능토록 하였다.

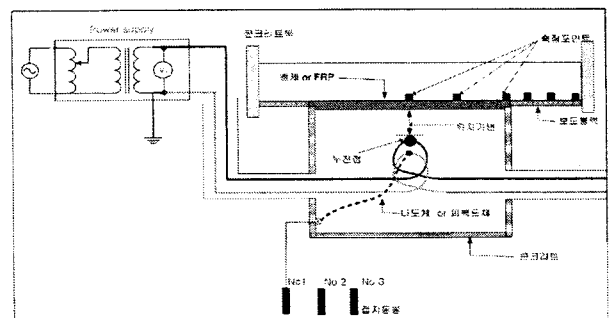


그림 1 실험결선도
 Fig. 1 Circuit configurations for the test field

[†] 교신저자, 正會員 : 電氣安全研究院 研究員
 E-mail : cmkim@kesco.or.kr
^{*} 正會員 : 電氣安全研究院
^{**} 正會員 : 電氣安全研究院
^{***} 正會員 : 電氣安全研究院
 接受日字 : 2007年 8月 13日
 最終完了 : 2007年 10月 1日

측정시스템(DAQS)은 저압 지중함으로부터의 모든 지점에서 다채널오실로스코프(NI PXI-6251)로 동시측정이 가능하도록 그림 1과 같이 구성하였다. 전위측정을 위한 기준접지극은 실증시험장에서 100m 이격된 지점에 시설하였으며, 접지저항값은 47[Ω]이다. 지중함 내 접지단자의 저항값은 단자함을 통해 다양한 접지값을 갖도록 구현하였으며 38 [mm]×1C의 굵기로 된 접지용 전선을 이용하여 시공하였다. 실험에 사용된 물은 저항률은 35.7[Ω·m]인 지하수를 이용하였으며 도전율계(CC-411)로 측정하였다. 지중함의 침수 수위는 0.3[m]이며, 실험시 주변 온도는 15.7[℃]이었다.

2.1.1 case 1(철재 뚜껑)

전국에 걸친 실태조사결과[3] 국내의 저압 지중함은 금속 재질의 뚜껑을 사용하고, 크기는 (가로:500×세로:1,100[m²])이며, 3상4선의 배전방식 중 다중접지방식을 채택하여 지중함 내의 접지단자에 중성선을 접지시킨 형태가 가장 많이 시설되어 있다. case 1에서는 이와 같은 저압 지중함에서 다양한 환경조건을 변화시켜가면서 실험을 진행하였다. 케이블접속 개소 중 1개상의 접속점에 대한 절연을 손상시켜 누전을 모의하였다. 그리고 접속함 내부에서 누전점의 위치를 변경하면서 대지전위를 측정하였다. 이번 실험에서는 중성선에 접지단자를 접지시켰으며 접지선은 피복선을 이용하였으며 누전점의 위치를 지중함 철재뚜껑에서의 완전접촉, 10[cm], 30[cm], 50[cm]의 거리의 변화를 주면서 지중함 주변의 대지전위를 측정하였다. 대지전위 측정을 위해 총 21개의 전극을 설치하였으며 저압 지중함의 틀 위의 전극을 위치하게 두고 나머지 전극은 일정한 간격으로 설치하였다.

2.1.2 case 2(FRP)

저압 지중함에서의 감전사고 이후에 정부는 금속체인 형태의 지중함의 뚜껑을 2007년까지 전기가 통하지 않는 고강도 플라스틱(FRP)로 전면 교체하는 계획을 추진하고 있어 이에 대한 실증실험이 필요하게 되었다. case 2에서는 case 1과 동일한 환경하에서 저압 지중함의 뚜껑을 FRP로 교체하여 실험을 실시하였다. 또한 이번 실험에서는 저압 지중함의 접지단자의 접지 저항값을 4.3[Ω], 43[Ω]의 두가지 경우에 대해 동일한 실험을 실시하여 접지저항값에 따른 전위경도의 차이를 보고자 하였다. 대지전위 측정을 위해 총 15개의 전극을 설치하였으며 저압 지중함의 내의 누전위치의 FRP뚜껑위 직상방에 전극을 위치하게 두고 나머지 전극은 일정한 간격으로 설치하였다.

2.1.3 case 3(고무판)

저압 지중함에서의 감전사고 이후에 철재 재질의 뚜껑이 설치되어 있는 곳에는 지중함내 케이블 접속부를 절연고무판으로 덮어두고 있어 이에 대한 실증실험이 필요하게 되었다. 저압 지중함내에 보호대책으로 고무판을 사용한 경우의 함내를 접지선이 나전선으로 설치되어 있는 경우와 접지선이 없는 경우를 가정하여 실증실험을 실시하였다. 누전점의 위치는 철판뚜껑에서 직하방향으로 깊이 20[cm]에 두고 실험을 실시하였다. 그림 2는 저압 지중함 내부의 누전모의 및 전위 측정을 위한 구성도를 나타내었다. 총 15개의 대지전위 측정용 전극을 설치하였으며 저압 지중함의 뚜껑의 틀부

터 전극을 위치하게 두고 나머지 전극은 일정한 간격으로 설치하였다.

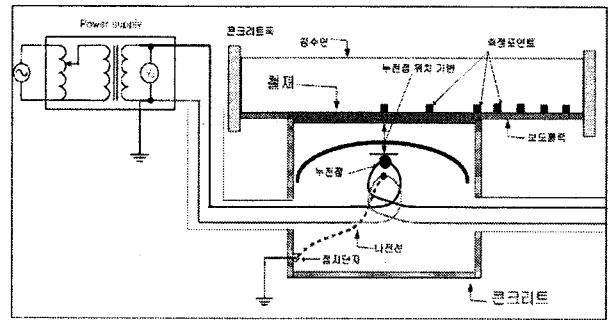


그림 2 실험결선도(case 3)
Fig. 2 Circuit configurations for the test field(case 3)

2.1.4 case 4(틀접지)

이번 실험은 접지단자와 저압 지중함의 틀을 접지선을 통해 본딩처리하였을 경우 지중함에서의 케이블 접속부분에 사고가 발생한 경우를 모의한 실험이며 접지저항값에 따른 저압지중함 주변의 전위분포를 측정하였다. 그림 3은 저압 지중함 내부의 누전모의 및 전위 측정을 위한 구성도를 나타내었다. 접속함 내부에서 누전점은 철재 뚜껑의 틀에 완전접촉시켰을 경우 완전지락사고가 되어 실험을 할 수 없어 누전점은 철재 뚜껑에 완전 접촉시키지 않고 하부에서 10[cm] 이격시킨 상태로 실험을 실시하였다.

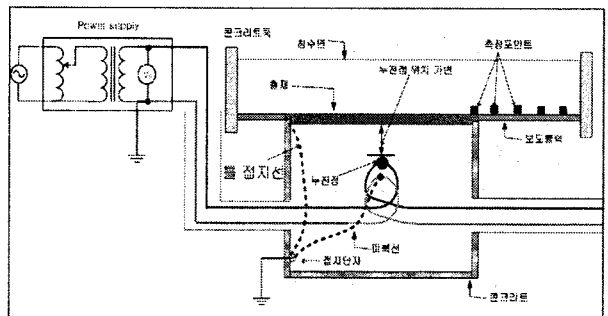


그림 3 실험결선도(case 4)
Fig. 3 Circuit configurations for test the field(case 4)

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 case 1(철재 뚜껑)

지중함에 있는 접지단자의 저항값은 7.1[Ω]으로 측정되었으며 실험시 인가전압은 217[V]이었다. 누전점이 저압 지중함의 뚜껑에 완전 접촉시는 저압 지중함에는 케이블에 충전되는 전압이 그대로 철재 뚜껑에 유기되고 거리가 멀어질수록 전위가 급격히 줄어들고 있음을 알 수 있었다. 그림 4는 case 1에 대한 실험결과 값이다. 뚜껑에는 207[V]의 전압이 측정되었으며 지중함과 2[m] 이상 떨어진 곳에서도 50.7[V]의 전압이 측정됨을 확인하였다. 전위분포가 선행 연구[2]에 비해 완만한 경사를 띄는 것은 보도블럭에 의해 대지로의 전류경로 형성이 잘되지 않기 때문이다. 전격위험에

대한 허용전압을 언급할 때는 접촉전압과 보폭전압을 말하며 보폭전압의 허용값은 인체 각부의 대지접촉조건, 지표면 부근의 대지저항률 등에 의해 복잡하게 변화한다. 지락이 생긴 경우의 접촉전압은 사람이 접촉하는 상태에 따라서 인체저항이 변화하고 통전전류도 변화하므로 접촉상태에 따라 접촉전압을 제한할 필요가 있다. 인체의 접촉상태에 따른 허용접촉전압을 우리나라에서는 규정하고 있지는 않지만 인체의 대부분이 수중에 있는 상태를 제1종 상태라 하여 2.5[V], 인체가 현저하게 젖어 있는 상태를 제2종 상태라 하여 25[V]으로[4] 하였을 경우 저압 지중함의 뚜껑에 누전점이 완전접촉되었을 경우 저압지중함 2[m] 반경 모두는 위험한 상태라 할 수 있다.

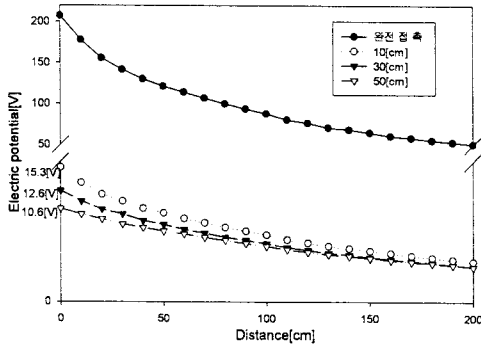


그림 4 대지전위 분포도(case 1)
Fig. 4 Ground potential distribution(case 1)

저압 지중함에서 누전위치가 철재 뚜껑에 완전접촉되어 있으며 사람의 한쪽 발이 지중함 뚜껑에 접촉된 경우의 등가회로는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.[5]

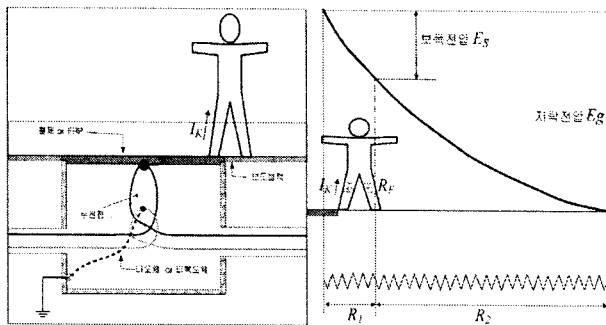


그림 5 지중함에서의 보폭전압(case 1)
Fig. 5 Step voltage in the handhole(case 1)

이런 경우 보폭전압의 의미보다는 접촉전압으로 표현이 가능하며 뚜껑에 유기되는 전압이 인체가 직접 접촉되어 매우 위험할 수 있다. 이와 같은 상태의 인체에 대한 감전 전류는 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 누전위치가 지중함의 뚜껑에 직접접촉되어 있지 않는 상태에는 표현상 보폭전압으로 인체의 위험성을 평가할 수 있으며 물에 의한 전기적 연속성을 가지므로 수중상태에 있는 인체는 위험하다고 할 수 있다. 이때의 인체에 대한 감전전류는 식(2)과 같이 표현할 수 있다.

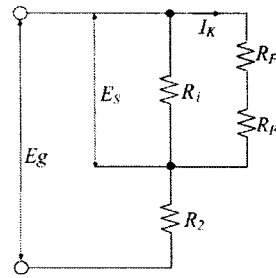


그림 6 등가회로
Fig. 6 Equivalent circuit

$$I_k = \frac{E_g}{\frac{R_i \cdot 2R_F}{R_i + 2R_F} + R_2} \times \frac{R_i}{R_i + 2R_F} \quad (1)$$

2.2.2 case 2(FRP)

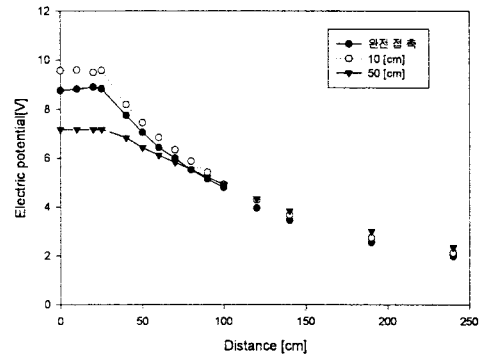


그림 7 대지전위 분포도(4.3Ω, case 2)
Fig. 7 Ground potential distribution(4.3Ω, case 2)

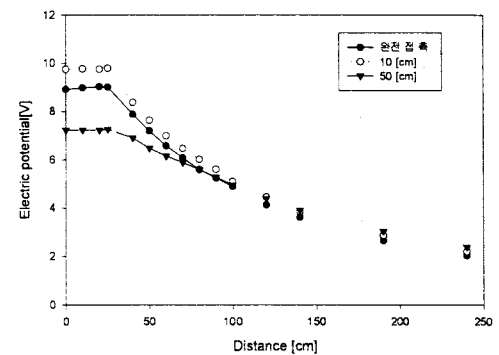


그림 8 대지전위 분포도(43Ω, case 2)
Fig. 8 Ground potential distribution(43Ω, case 2)

그림 7과 그림 8은 지중함 뚜껑을 절연성 재질인 FRP로 교체하고 지중함내의 접지단자의 저항값은 다르게 한 후 지중함 주변의 대지전위값을 측정된 결과이다. 실험결과 접지단자의 저항값에 따라 지중함 주변의 전위경도는 거의 영향이 없음을 확인 할 수 있었다. 이와 같이 절연체 뚜껑인 FRP로 시공을 할 경우 주변의 전위경도는 앞선 실험 case 1

에 비해 현저히 감소됨을 볼 수 있었다. 등가회로를 통해 보면 절연성 재질에 의한 R_1 값이 커지게 되어 보폭전압이 감소하게 되고 인체에 흐르게 되는 통전전류가 감소되어 감전위험성은 감소할 것이다. 하지만 지중함의 뚜껑을 절연성의 재질로 사용하는 경우 완전한 감전예방의 대책은 될 수 있는지에 대한 검토는 여러 가지 경우를 감안하여 결정되어야 할 것이다. 도로 중에 노출되어 있는 지중함 뚜껑은 우선 기계적 강도나 유지관리 및 수명 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히 장마철 등 지중함의 침수 상황에 따라서 사고의 요인이 각각 달라지기 때문이다. 즉 완전히 물에 잠긴 상태라면 절연성 재질을 사용했다 하더라도 위험할 수 있다. 실험결과를 보더라도 지중함 반경 2[m] 내에서의 전위분포는 수중상태에서 안전전압의 범위를 넘어서기 때문이다.

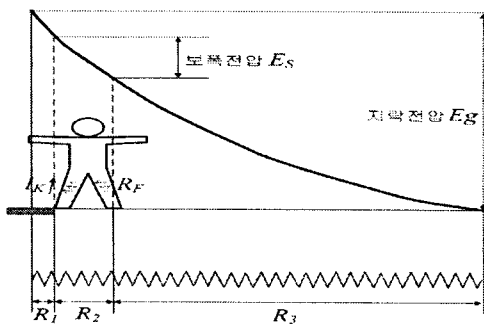


그림 9 지중함에서의 보폭전압(case 2)
Fig. 9 Step voltage in the manhole (case 2)

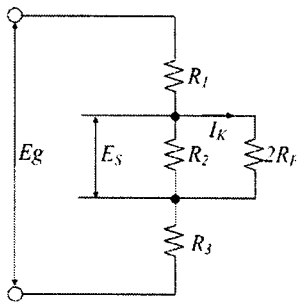


그림 10 등가회로
Fig. 10 Equivalent circuit

$$I_k = \frac{E_g}{R_1 + \frac{R_2 \cdot 2R_f}{R_2 + 2R_f} + R_3} \times \frac{R_2}{R_2 + 2R_f} \quad (2)$$

2.2.3 case 3(고무판)

그림 11은 지중함 내부의 누전위치에 고무판을 넣어놓고 지중함내의 접지단자의 접지선의 유무에 따른 지중함 주변의 대지전위값을 측정된 결과이다. 접지저항 4.3[Ω]과 연결되어 있는 접지선이 있는 경우 지중함의 뚜껑위에는 7.57[V]의 전압이 측정되었으며, 지중함과 180[cm] 떨어져 있는 전극에서는 2.02[V]가 측정되었다. 접지저항과 연결되어 있는 접지선이 없는 경우는 지중함의 뚜껑위에는 8.86[V]의 전압이 측정되었으며, 지중함과 180[cm] 떨어져 있는 전극에서는 2.54[V]가 측정되었다. 저압 지중함이 완전침수되어 있을

경우는 기존의 접지단자의 접지선에 의한 전위경도는 접지선이 없는 경우와 거의 흡사한 결과가 측정됨을 확인하였다. 또한 case 1의 실험에 비해 case 3의 경우는 지중함 주변의 전위경도가 현저히 감소됨을 볼 수 있었다.

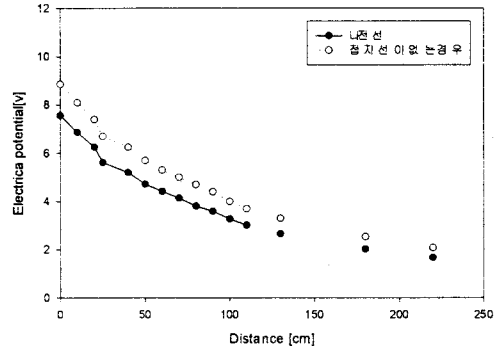


그림 11 대지전위 분포도(case 3)
Fig. 11 Ground potential distribution(case 3)

이처럼 절연판인 고무판을 금속재질의 뚜껑 사이에 시공하는 것은 간단하면서 저렴하게 감전위험성을 효과적으로 줄일 수 있는 방안으로 볼 수 있다. 등가회로를 통해 보면 절연성 재질에 의한 R_1 값이 커지게 되어 보폭전압이 감소하게 되고 인체에 흐르게 되는 통전전류가 감소되어 감전위험성은 줄어들 것이다. 하지만 case 2의 경우처럼 지중함이 완전히 물에 잠긴 상태라면 지중함 주변은 수중에서의 안전전압 이상이 되어 위험할 수 있다.

2.2.4 case 4(틀접지)

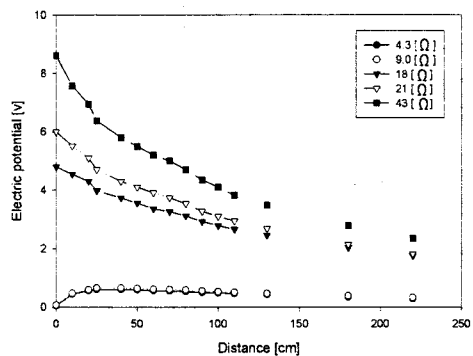


그림 12 대지전위 분포도(case 4)
Fig. 12 Ground potential distribution(case 4)

그림 12는 접지단자와 저압 지중함의 틀을 접지선을 통해 분당처리하고 접지단자의 접지저항값에 따른 지중함 주변의 대지전위값을 측정된 결과이다. 접지저항값이 10[Ω] 이하 일때는 거의 전위경도가 형성되지 않고 있었으며 10[Ω] 이상인 경우 전위경도가 조금 형성되는 것을 확인하였다. 이처럼 지중함 내의 금속재질의 뚜껑이나 기타 노출도전부를 분당하도록 하여 전기적 연속성과 사고전류를 안전하게 대지로 흘릴 수 있도록 시공하면 대지전위의 상승이 거의 일어나지 않아 감전사고를 효과적으로 예방할 수 있을

것으로 본다.

그림 13과 그림 14는 지중함의 노출 도전부를 접지시공한 경우(틀 접지)를 철제 지중함 뚜껑, FRP 뚜껑, 지중함 내의 절연고무판을 설치한 경우를 비교한 실험값이다. 틀 접지를 시공한 경우가 지중함 내의 누전사고시 지중함 주변의 대지전위 상승이 가장 적음을 알 수 있다.

표 1 실험조건

Table 1 Test conditions

조 건	(A)		(B)	
	누전위치 [cm]	접지저항 [Ω]	누전위치 [cm]	접지저항 [Ω]
철판재질 뚜껑	10	7.1	10	7.1
FRP 뚜껑	10	4.3	10	4.3
고무판 시공	20	4.3	20	4.3
틀접지 시공	10	4.3	10	4.3

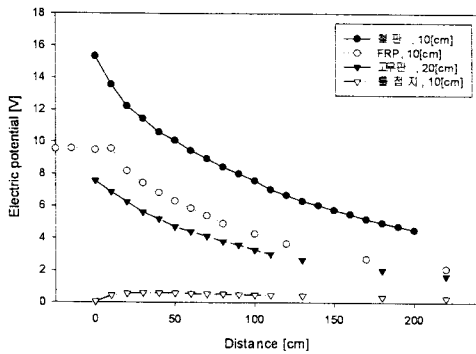


그림 13 대지전위 분포도 (A)

Fig. 13 Ground potential distribution (A)

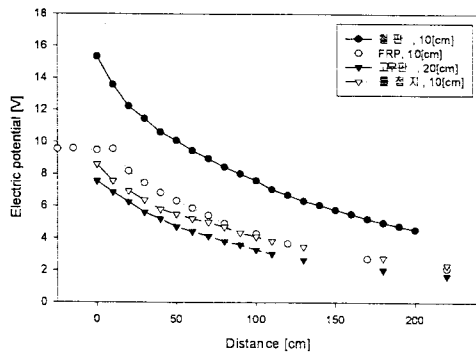


그림 14 대지전위 분포도 (B)

Fig. 14 Ground potential distribution (B)

3. 결 론

도심에 설치되어 있는 저압 지중함이 침수되었을 경우 지중접속함의 함 내에는 발생할 수 있는 누전사고시 대지전위 분포가 지중함 내의 조건에 따라 어떻게 변화하는가에 대해 고찰하였다.

(1) case 1의 실험을 통해 기존 저압 지중함 내 접지선은 지중함내의 누전에 의한 사고전류의 귀로에 영향을 크게 미

치지 못함을 확인하였으며, 누전점이 철재뚜껑에 완전 접촉 되었을 경우 지중함 주변 2[m]내에서 매우 위험함을 실험을 통해 확인하였다.

(2) 절연재인 FRP 뚜껑 및 고무판을 이용하여 누전점의 직접접촉을 방지하여 case 1에 비해 지중함 주변의 대지전위 상승이 현저히 감소됨을 볼 수 있었다. 따라서 지중함에 서의 감전위험성을 줄일 수 있을 것으로 본다. 하지만 완전히 물에 잠긴 상태라면 절연성 재질을 사용했다 하더라도 물에 의한 전기적 연속성으로 지중함 주변이 수중에서의 안전전압 이상이 됨을 확인하였다.

(3) 지중함 내의 금속재질의 뚜껑이나 기타 노출 도전부를 분당하도록 하여 전기적 연속성과 사고전류를 안전하게 대지로 흘릴 수 있도록 시공하면 대지전위의 상승이 거의 일어나지 않아 혹시 발생할 수 있는 지중함의 누전사고에 의한 감전사고를 매우 효과적으로 방지할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] 심건보, "시뮬레이션에 의한 저압 지중함의 안전성 평가", 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, p373~376, 2006
- [2] 정종만, "저압 저압접속함의 침수조건에 따른 전위 분석", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, p284~287, 2006
- [3] 김한상, "국내외 저압지중함의 감전사고 및 점검결과 분석", 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, p91~94, 2007
- [4] 하태현 외 3명, "옥외 전기시설물 침수시 누설전류에 의한 인체영향", 대한전기학회 논문지, 제52B권, 제12호, pp.602-607, 2003.
- [5] C.H. Lee, and A.P. S. Meliopoulos, "Comparison of Touch and Step Voltages Between IEEE Std 80 and IEC 479-1", IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, No. 6, pp. 593~601, 1999.

저 자 소 개



김종민 (金鍾旻)

1972년 7월 18일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 연구원.

Tel : 031-580-3077

Fax : 031-580-3070

E-mail : cmkim@kesco.or.kr



한운기 (韓雲基)

1973년 6월 20일생. 1997년 목포대 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 전기안전연구원 연구원.

Tel : 031-580-3078

Fax : 031-580-3070

E-mail : power@kesco.or.kr



방선배 (方善培)

1968년 5월 18일생. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 박사수료. 2003년~현재 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : 031-580-3074

Fax : 031-580-3070

E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



김한상 (金翰相)

1966년 2월 14일생. 1994년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2004년 강원대학교 산업대학원 전기공학과(석사). 1989~1996년 한국전기안전공사. 1996년~현재 전기안전연구원 책임연구원.

Tel : 031-580-3073

Fax : 031-580-3070

E-mail : onephase@kesco.or.kr