

전원설비에 의한 공간조건별 전위분포 사례 연구

(Case Studies for Potential Distribution due to Power Source by Environmental Condition)

정진수* · 정종욱 · 김선구

(Jin-Soo Jung · Jong-Wook Jung · Sun-Gu Kim)

Abstract

In this paper, potential distribution analysis through the six kinds of case studies examined in the environmental conditions change within a limited space, by the power supply system installed. To interpret the potential distribution using electromagnetic field analysis program and the parameters were state of the ground, the outer wall of the configuration state and the presence of human potential distribution was simulated. Potential distribution analysis, the size of nominal voltage, depending on the impedance of human body to be determined on the impact of surprise decision, but if equipped with appropriate protective equipment can be protected from lightning have been confirmed.

Key Words : Transient Phenomena, Human Body, Electrical Shock

1. 서 론

최근 지구온난화로 인한 전 세계적 이상기후 현상은 결국 재앙에 버금가는 인명·재산상의 피해를 매년 반복적으로 발생시키고 있다. 이 같은 재해 중 가장 빈번하면서도 막대한 피해를 입히는 원인 중 하나가 바로 수해에 의한 재해이다. 우리나라의 경우 6월 하순에서 7월 하순까지 발생하는 장마와 7월에서 9월까지 발생하는 태풍에 의해 매년 침수피해를 입고 있다. 또한 국내의 경우 70년대 종로 지하상가를 시작으로 지하상가의 범위가 확대되고 있다. 그러나 지하상가

의 경우 폐쇄성 및 복잡성 등으로 인해 침수피해가 발생할 경우 커다란 인명피해가 발생을 하며, 이때 침수된 전기설비에 의한 인체의 전격위험과 같은 2차재해가 발생할 수 있다. 이러한 전기설비에 대한 방수 및 침수대책으로는 “전기설비 운전 장소는 습기를 최소화하고, 침수로부터 보호될 수 있도록 시설”하라는 조항이 내선규정 제3220-4절(수전실 등의 시설) 및 IEC 61936-1에만 규정되어 있을 뿐이다. 국내 지하상가에 설치된 수·배전설비는 공간의 활용 등에 관한 이유로 대부분 지하 최하층에 시설되어 있으며, 수·배전설비가 침수될 경우 전원이 차단되지만 수·배전설비가 침수되기 전에 이미 지하상가의 전기설비가 침수를 경험하게 되며, 이로 인해 충전된 전기설비 근처의 인명에 치명적인 감전피해를 입힐 우려가 상존한다.

본 논문에서는 지하상가에서 실제 발생 가능한 침수

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3074, Fax : 031-580-3111
E-mail : mirmir0822@kesco.or.kr
접수일자 : 2010년 8월 18일
1차심사 : 2010년 8월 20일, 2차심사 : 2010년 9월 7일
심사완료 : 2010년 9월 11일

피해와 관련하여 한정된 공간 내 설치된 전원설비에 의한 공간조건별 전위분포 해석을 위해 전계해석프로그램을 이용하여 총 6가지의 사례에 대한 모델링을 통해 전계 및 전위분포를 분석하였다.

2. 공간조건별 전위분포 분석 사례연구를 위한 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 절차

수중에 잔류하는 인원이 경험할 수 있는 전격의 위험은 건조상태에 비해 매우 높으며, 이 조건에서 상정 가능한 전격의 일반적인 2가지 사례에 대해 다음과 같은 플로우에 따라 시뮬레이션하였다.



그림 1. 전위분포 해석 시뮬레이션 절차
Fig. 1. Simulation process for analyzing potential distribution

그림 1에 보인 바와 같이, 우선 수중에 잔류하고 있는 인체가 경험할 수 있는 전격을 시뮬레이션 하기 위한 인체모델을 상정하였다.

인체를 전기적 도체라고 가정했을 경우 피부, 혈액, 근육, 관절 및 기타 세포 등, 인체의 각 부위는 전류에 대해 저항성과 용량성으로 이루어진 임피던스라고 할 수 있으며, 일반적으로 이 임피던스는 전류경로, 접촉 전압, 통전 지속시간, 주파수, 피부의 습윤상태, 접촉 면적, 접촉압력 및 온도에 따라 비선형적으로 달라진다[1-3].

2.2 전위분포 분석

FEMLab은 다양한 형태의 시변 또는 시불변 편미분 방정식을 유한요소법을 기본으로 하는 수치적 기법으로 해결하기 위한 소프트웨어로서, 강력한 그래픽 솔루션 기능을 지원한다. 본 소프트웨어를 활용하여 수중에 존재하는 노출 충전부로 인해 분포되는 전위 및 이로 인해 인체에 인가되는 전위의 크기로 인한 감전의 위험성을 분석하기로 한다.

우선 수중 충전 전원설비에 의한 전위분포를 해석하기 위해, 운영영역을 「도전재 DC」로 설정한 후, 모델링 하였다. 도전재 DC 영역을 지배하는 함수는 다음과 같다.

$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla V - J^e) = Q_j$$

여기서 σ 는 도전율(conductivity)을 의미하고 Q_j 는 전류원을 의미하며 J 는 전류 밀도를 의미한다. 본 시뮬레이션에서는 전 영역에 걸쳐 균일하게 5.99×10^7 으로 지정하였다.

2.3 절연된 수중 전원설비 내 전위분포 시뮬레이션을 위한 모델링(case 1)

일반적으로 수중에서 전기적인 작업을 수행하거나 전원설비가 존재하는 수중을 이동하는 인원에게 미칠 수 있는 전기적인 위험은 전기설비에 축수하거나 벽면에 설치된 콘센트로부터 누설되는 전류에 의해 형성되는 전위가 분포하여 인체에 유기되는 경우라고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 전계해석프로그램을 이용하여 이와 같은 전위분포를 알아보기 위해, 가장 기본적인 경우를 가정하여 모델링 한 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에 보인 바와 같이, 사방이 절연체로 둘러싸인 공간의 한쪽 벽면에 충전된 전원설비가 구비되고 반대쪽 벽면에 누설전류가 방류될 수 있는 접지단자를 설치한 공간을 모의하였다. 이때 이 공간은 침수액이 충전한 상태라는 조건을 부여한 후, 요소분할을 실

시한 결과를 그림 2에 나타내었다. 이 때, 이 공간을 구성하는 각각의 요소에 대해 적용한 파라미터를 정리하여 표 1에 나타내었다.



그림 2. 전위분포 모델링 - 수중, 벽면 전원설비, 반대쪽 접지단자, 사방 절연체(case 1)
 Fig. 2. Potential distribution model - in the water, wall power supply, ground terminal, insulator of 4 wall(case 1)

표 1. 구성요소의 파라미터
 Table 1. parameters of component

구성요소	침수액		콘센트		접지단자		사방벽면
	유전율	도전율	유전율	도전율	유전율	도전율	
재질	순수+도전성이온		동		동		절연체
파라미터	유전율	도전율	유전율	도전율	유전율	도전율	절연저항
value	79			5.9×10^7		5.9×10^7	∞

2.4 접지된 사면 내 존재하는 수중 전원설비에 전위분포 모델링(case 2)

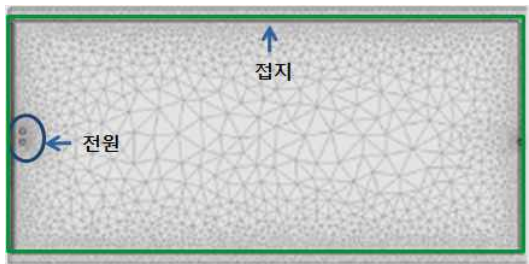


그림 3. 전위분포 모델링 - 수중, 사면 접지(case 2)
 Fig. 3. Potential distribution model - in the water, insulator of 4 wall(case 2)

사면이 접지된 공간이 침수되었을 경우, 한쪽 벽면에 부착된 충전된 전원설비에 의한 전위분포를 해석

하기 위해, 사면만을 접지된 조건으로 설정한 후, 요소분할을 실시하여 그림 3에 나타내었다.

2.5 절연된 사면 내 수중 전원설비만 존재 시 전위분포 모델링(case 3)

실제 전원설비가 설치된 공간에서는 case 1의 모델링 이외에 절연성능이 우수한 절연도료로 바닥면 및 사방이 도포된 공간 내에 충전된 전원설비만이 존재하는 경우도 가정할 수 있으며, 이와 같은 상황을 모의하기 위해 그림 2의 모델링에서 수중 전원설비의 반대쪽에 설치된 접지단자만을 제거한 후, 요소분할을 실시하였으며, 이들 결과를 그림 4에 나타내었다.



그림 4. 전위분포 모델링 - 수중, 벽면 전원설비, 사방 절연체(case 3)
 Fig. 4. Potential distribution model - in the water, wall power supply, insulator of 4 wall (case 3)

2.6 콘크리트 공간 내 수중 전원설비만 존재 시 전위분포 모델링(case 4)

지금까지는 사면의 재질을 절연체나 도전체, 충전된 전원설비의 반대쪽에 접지단자의 설치 유무에 따라 이상적인 조건에서 바닥면에 분포하는 전위를 살펴보았다. 본 절에서는 보다 실제적인 조건으로서, 그림 4와 동일한 환경에서 사면의 재질만을 콘크리트로 변경하여 시뮬레이션하였으며, 이때 콘크리트의 비유전율은 7.6을 적용하였다. 이 결과를 그림 5에 나타내었다.



그림 5. 전위분포 모델링 - 수중, 벽면 전원설비, 사방 콘크리트(case 4)
 Fig. 5. Potential distribution model - in the water, wall power supply, concrete of 4 wall (case 4)

2.7 콘크리트 공간 내 수중 인체 존재 시 전위분포 모델링(case 5)

그림 5와 동일한 환경조건에서 수중에 인체가 존재한다고 가정할 경우, 인체의 양 발간에 인가되는 전위차를 분석하였다. 이때 전자계 해석프로그램 내에 적용할 인체의 비유전율은 표 2와 같이 인체조직의 특성과 점유율에 따라 각 부위별로 상이하지만, 이를 전자계 해석프로그램에 모두 적용하여 모델링하기에는 기술적인 한계가 있으므로, 인체 내로의 통전전류가 발을 통해 유입되어 심장에 이르는 경로가 주로 골질이나 각 장기보다는 근육을 통해 이루어진다고 가정하여 55.8을 적용하였다. 이 모델링 결과 및 요소분할 결과를 그림 6에 나타내었다[4-5].

표 2. 인체 파라미터
 Table 2. Parameters of the human body

조직	비유전율	도전율[S/m]
피부	37.6	1.31
외골격	11.7	0.42
혈액	53.3	2.72
근육	55.8	2.36
신경	31.6	1.12

그림 6에 보인 바와 같이, 사면이 콘크리트로 둘러싸인 공간 내에 수중 충전된 전원설비와 인체가 함께

존재할 경우에 대해 요소분할을 실시한 결과, 충전된 전원설비 및 인체 주위는 요소분할 밀도가 높았으며, 사면 및 이와 인접한 부위에서도 높은 밀도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

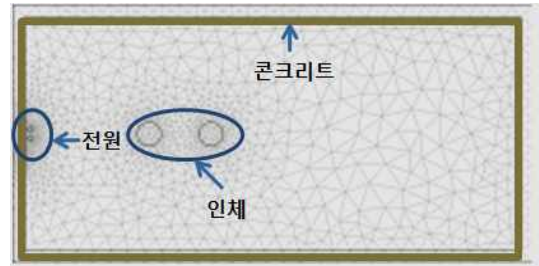


그림 6. 전위분포 모델링 - 수중, 콘크리트 공간, 인체 존재(case 5)
 Fig. 6. Potential distribution model - human in the water, concrete of 4 wall(case 5)

2.8 접지 및 수중 인체 존재 시 전위분포 모델링(case 6)

그림 6과 동일한 환경조건에서 사면을 절연체로 변경하고 수중 충전된 전원설비의 반대쪽에 접지단자를 설치한 후, 수중 인체 존재 시 양발간에 인가되는 전위차를 분석하기 위해, 공간을 모델링하고 이에 대해 요소분할 한 결과를 그림 7에 나타내었다[4-5].

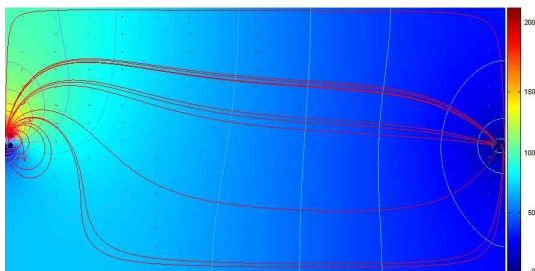


그림 7. 전위분포 모델링 - 수중, 사면 절연 내 접지단자, 인체 존재(case 6)
 Fig. 7. Potential distribution model - human in the water, ground terminal, insulator of 4 wall (case 6)

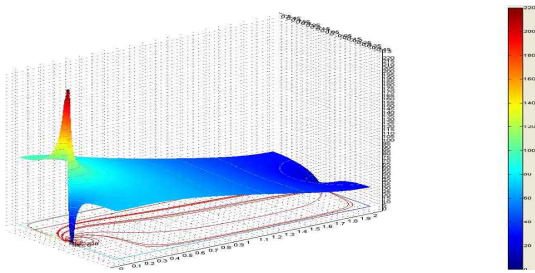
표 2에 보인 바와 같이, 각각의 구성요소에 전기적 파라미터를 적용한 후, 수중에 존재하는 충전된 전원설비로 인해 발생하는 바닥면 전위분포를 계산한 결과를 case 5와 case 6에 대입하여 모의를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

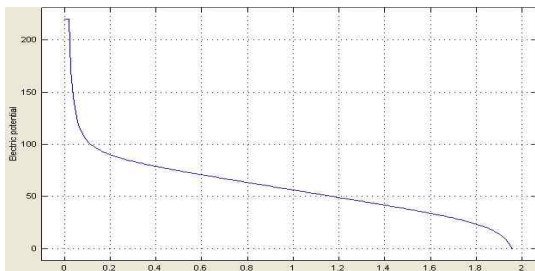
3.1 절연된 수중 전원설비로 인한 전위분포



(a) 바닥면 전위분포



(b) 바닥면 전위의 3차원 해석



(c) 콘센트-접지 최단경로상 바닥면 전위분포

그림 8. 전위분포 분석결과 - 수중, 벽면 전원설비, 반대쪽 접지단자, 사방 절연체(case 1)

Fig. 8. Potential distribution analysis result- in the water, wall power supply, ground terminal, insulator of 4 wall(case 1)

그림 8 (a)에 보인 바와 같이, 수중에 존재하는 충전된 전원설비로 인해 사방이 절연체로 둘러싸인 공간의 바닥면에는 충전된 전원설비에서 가장 높은 전위가 인가되며, 거리가 멀어질수록 감소하여 접지단자에서는 거의 영전위를 나타내는 것을 알 수 있었다. 그림 8 (b)에서 보다 상세히 알 수 있듯이, 전체적인 전위분포는 충전된 전원설비와 동일 설비의 접지단자에서는 최고전위와 최저전위가 동시에 인가되며, 충전단자의 벽면방향으로는 약 110[V] 정도의 전위가 충전단자 바로 옆의 접지단자의 벽면방향으로는 약 60[V] 정도의 전위가 분포하는 양상을 띠는 것을 알 수 있었다. 또한 그림 8 (c)에서 알 수 있듯이, 전원설비로부터 반대쪽의 접지단자에 이르는 전위분포는 전원설비로부터 약 10[cm]까지는 급격하게 감소하는 경향을 보이지만, 이후 선형적으로 감소하다가 접지단자 근처에서 다시 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이는 그림 8 (a)의 충전된 전원설비와 접지단자에서 등전위선의 밀도가 높아 전위의 급격한 감소가 이루어진 것으로 사료된다.

3.2 접지된 사면 내 존재하는 수중 전원설비에 의한 전위분포(case 2)

그림 3에 보인 바와 같이 접지된 사면 내 존재하는 수중 충전된 전원설비를 모델링하여 요소분할을 실시한 결과, 그림 2와는 달리 접지된 사면 근처에서 보다 작은 요소로 분할되어 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 얻은 후 공간 내 각 요소에 대해 전위를 계산한 결과를 그림 9에 나타내었다.

그림 9에 보인 바와 같이, 접지된 사면 내 존재하는 수중 충전된 전원설비로 인해 발생하는 전위분포는 충전된 전원설비에서만 거의 전원설비에 인가된 전원의 크기에 해당하는 전위가 인가되었으며, 공간 내의 다른 영역에서는 거의 영전위에 가까운 값을 나타내었다. 또한 전류의 방향의 거의 사방으로 퍼져 충전된 전원설비로부터의 거리에 따른 등전위면이 비교적 원형에 가까운 형태를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이 경우는 사방의 접지저항이 거의 0[Ω]인 이상적인

상태로서 이 공간 내에서는 침수액의 유무에 무관하게 공간 내 인체에 미치는 영향이 무시할 수 있을 정도로 작은 경우라고 생각된다.

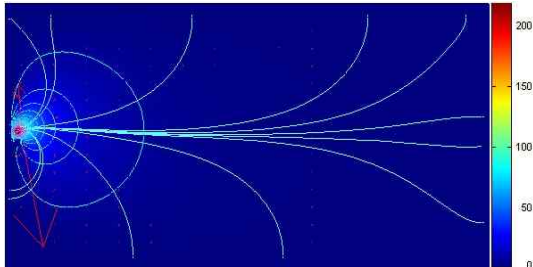


그림 9. 전위분포 분석결과 - 수중, 사면 접지(case 2)
Fig. 9. Potential distribution analysis result - in the water, insulator of 4 wall(case 2)

3.3 절연된 사면 내 수중 전원설비만 존재 시 전위분포(case 3)

사면이 절연된 공간 내에 충전된 전원설비만이 존재할 경우에 대해 요소분할을 실시한 결과, 충전된 전원설비 부근을 제외한 다른 영역에서는 비교적 균등하게 요소분할되어 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과에 대해 각 요소 내의 전위를 계산한 결과를 그림 10에 나타내었다.

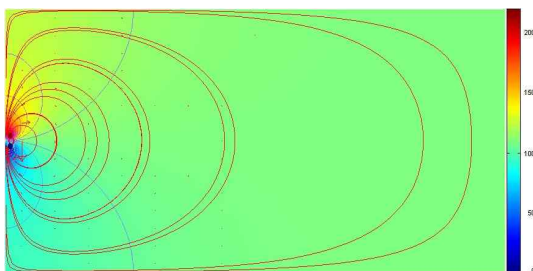


그림 10. 전위분포 분석결과 - 수중, 벽면 전원설비, 사방 절연체(case 3)
Fig. 10. Potential distribution analysis result - in the water, wall power supply, insulator of 4 wall(case 3)

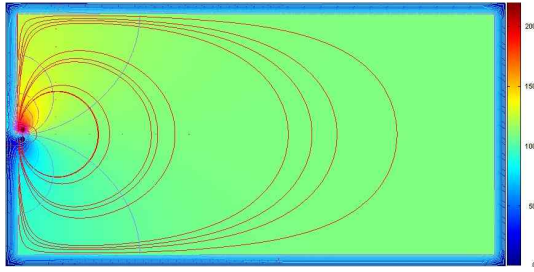
그림 10에 보인 바와 같이, 절연된 사면 내 수중 충전된 전원설비만이 존재할 경우 발생하는 전위분포는 충전된 전원설비 근처에서 거의 전원전압에 이르는

전위가 발생하였으며, 이 부위 이외의 영역에서는 거리에 무관하게 약 110[V] 정도의 전위가 고르게 분포되는 것을 알 수 있었다. 충전된 전원설비를 중심으로 하는 등전위선의 경우에도 거의 원형을 유지한 채 전 영역에 걸쳐 고르게 분산되었으며, 임의의 두 지점에서의 전위차가 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 경우도 case 2와 마찬가지로 공간 내에서는 침수액의 유무에 무관하게 공간 내 인체에 미치는 영향이 무시할 수 있을 정도로 작은 경우라고 생각된다.

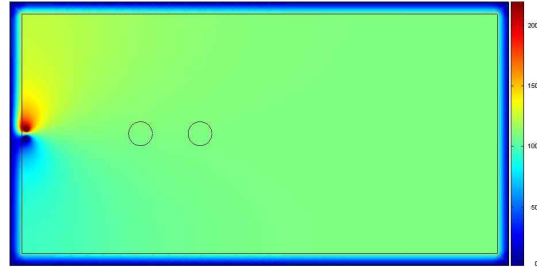
3.4 콘크리트 공간 내 수중 전원설비만 존재 시 전위분포(case 4)

사면이 콘크리트로 둘러싸인 공간 내에 수중 충전된 전원설비만이 존재할 경우에 대해 요소분할을 실시한 결과, 충전된 전원설비 부근은 요소분할 밀도가 높았으며, 사면 및 이와 인접한 부위에서도 높은 밀도를 나타낸 반면, 그 이외의 영역에서는 비교적 낮은 밀도로 균등한 요소분할 밀도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 분할된 각 요소에 대해 그 전위를 계산한 결과를 그림 11에 나타내었다.

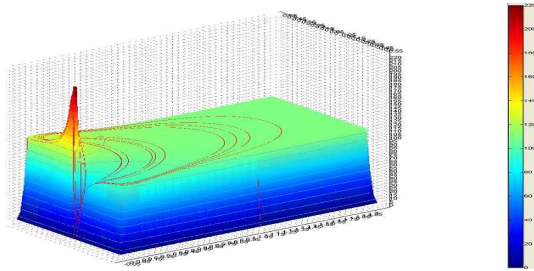
그림 11 (a)에 보인 바와 같이 사면이 콘크리트로 둘러싸인 공간 내 수중 충전된 전원설비만이 존재할 경우에도 바닥면에 분포하는 전위는 충전된 전원설비 외측 콘크리트 벽면 외측에서 전원설비까지는 영전위에서 급증하여 거의 전원전압에 이르는 전위가 발생하였으며, 전원설비로부터 20[cm] 이격된 지점까지는 급격히 감소하여 이후 반대쪽 벽면까지 약 110[V]의 전위를 전 영역에 걸쳐 고르게 유지하였다. 또한 충전된 전원설비를 중심으로 하는 등전위선도 거의 원형을 유지한 채 전 영역에 걸쳐 고르게 분산되어 임의의 두 지점에서의 계산한 전위차가 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 경우도 case 2와 마찬가지로 공간 내에서는 침수액의 유무에 무관하게 공간 내 인체에 미치는 영향이 무시할 수 있을 정도로 작은 경우라고 생각된다.



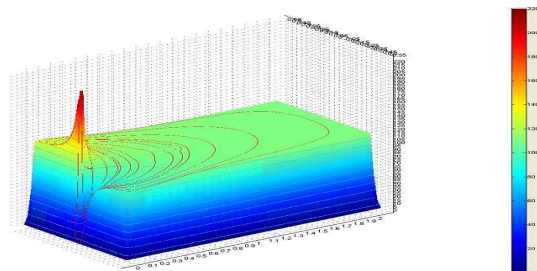
(a) 바닥면 전위(case 4)



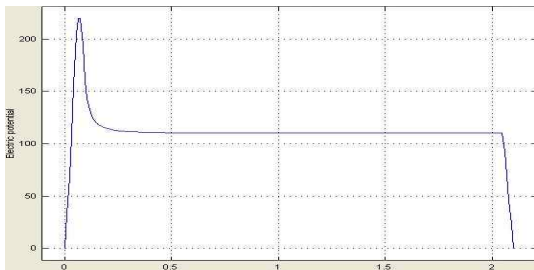
(a) 바닥면 전위



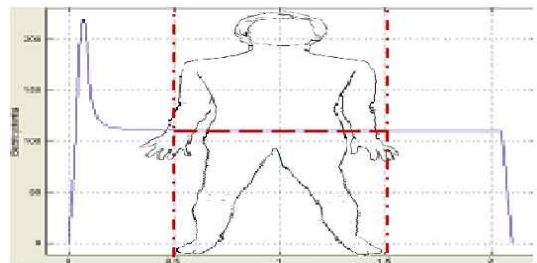
(b) 바닥면 전위의 3차원 해석



(b) 바닥면 전위의 3차원 해석(case 5)



(c) 콘센트에서 접지축까지의 최단경로상 바닥면 전위분포



(c) 콘센트-접지 최단경로상 바닥면 전위분포

그림 11. 전위분포 분석결과 - 수중, 벽면 전원설비, 사방 콘크리트(case 4)
Fig. 11. Potential distribution analysis result - in the water, wall power supply, concrete of 4 wall(case 4)

그림 12. 전위분포 분석결과 - 수중, 콘크리트 공간, 인체 존재(case 5)
Fig. 12. Potential distribution analysis result - human in the water, concrete of 4 wall(case 5)

3.5 콘크리트 공간 내 수중 인체 존재 시 전위분포(case 5)

이와 같이 분할된 각 요소에 대해 그 전위를 계산한 결과를 그림 12에 나타내었다.

그림 12 (a)에 보인 바와 같이, 사면이 콘크리트로 둘러싸인 공간 내 수중 충전된 전원설비와 인체가 동시에 존재할 경우에도 바닥면에 분포하는 전위는 충전된 전원설비 외측 콘크리트 벽면 외측에서 전원설

비까지는 영전위에서 급증하여 거의 전원전압에 이르는 전위가 발생하였으며, 전원설비로부터 20[cm] 이격된 지점까지는 급격히 감소하여 이후 반대쪽 벽면까지 약 110[V]의 전위를 전 영역에 걸쳐 고르게 유지하였다. 또한 충전된 전원설비를 중심으로 하는 전위가 전원설비 근처를 제외하면 전 영역에 걸쳐 고르게 분산되어 그림 12 (b)에서와 같이 임의의 두 지점에서의 계산한 전위차가 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 경우도 case 2와 마찬가지로 공간

내에서는 침수액의 유무에 무관하게 공간 내 인체에 미치는 영향이 무시할 수 있을 정도로 작은 경우라고 생각된다.

3.6 접지단자 및 수중 인체 존재 시 전위 분포(case 6)

사면이 절연체로 둘러싸인 공간 내에 수중 충전된 전원설비와 인체가 함께 존재할 경우에 대해 요소분할을 실시한 결과, 충전된 전원설비, 인체 및 접지단자 주위는 요소분할 밀도가 높았으며, 이를 제외한 영역에서는 비교적 균등하게 요소분할이 이루어짐을 알 수 있었다. 이와 같이 분할된 각 요소에 대해 그 전위를 계산한 결과를 그림 13에 나타내었다.

그림 13 (a)에 보인 바와 같이 사면이 절연체로 둘러싸인 공간 내 수중 충전된 전원설비와 인체가 동시에 존재할 경우에도 바닥면에 분포하는 전위는 충전된 전원설비 근처에서는 거의 전원전압에 이르는 전위가

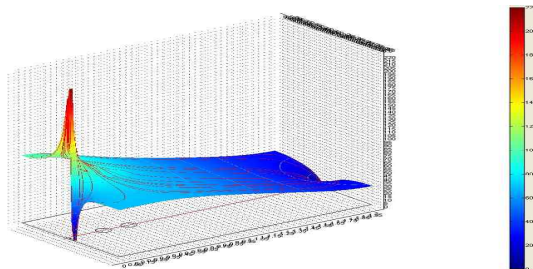
발생하였으며, 전원설비로부터 20[cm] 이격된 지점까지는 급격히 감소하였지만, 이후 반대쪽 벽면까지 거의 선형적으로 감소하여 접지단자 근처에서는 거의 영전위를 나타내었다. 그러나 본 시뮬레이션의 결과는 13 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 case 5의 경우와는 달리 인체의 양발간에 약 50[V]가 넘는 전위차가 발생되었으며, 이는 인체저항이 수중에서 약 800[Ω] 까지 저하될 수 있는 점을 감안하면, 인체에 60[mA] 이상의 전류가 흐르게 된다. 이 전류값은 평균적으로 성인 남자의 경우 약 30[mA] 이상에서 심실세동전류로 인해 사망에 이를 수 있음을 감안하면, 치명적인 결과를 야기할 수도 있을 것으로 사료된다. 이 결과는 충전부로부터 2[m] 지점에 접지설비가 존재할 경우 전원설비로 인한 바닥면 전위분포가 20[cm] 이상의 영역에서 비교적 선형적인 전위감소를 보인다는 점을 감안하면 이 영역 전반에 걸쳐 이와 같은 감전의 위험성이 상존할 것으로 판단되며, 특히 인체가 충전된 전원설비에서 20[cm] 이내로 접근할 경우에는 양발간에 인가되는 전위차는 더욱 증가하여 인체에 미치는 영향이 심각할 것으로 생각된다.

4. 결 론

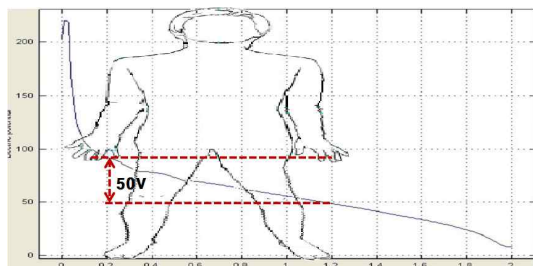
시뮬레이션 결과 수중 노출된 충전부가 4면이 접지가 되어 있을 경우(case 2) 0 전위로 등전위 되고 4면이 절연체로 되어 있을 경우(case 5) 110[V]로 등전위가 되어 인체의 감전위험 요소가 해소되어 감전위험이 미미할 것으로 판단되었다.

그러나 침수된 공간에 접지 및 절연이 시공되어있지 않은 경우(case 6) 일반적으로 보폭전압 1[m]의 구간에서 50[V]의 전위차가 발생하며 이때 약 60[mA]의 전류가 인체로 통전되어 감전으로 인한 사망사고의 위험이 상존할 것으로 판단되었다.

결과적으로 침수의 위험성이 있는 구간에서는 모든 전기설비에 접지시공을 실시하고 바닥 및 벽면은 모두 절연설계를 하였을 경우 감전사고의 위험을 미연에 방지할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 바닥면 전위의 3차원 해석



(b) 콘센트-접지 최단경로 바닥면 전위분포

그림 13. 전위분포 분석결과 - 수중, 사면 절연 내 접지단자, 인체 존재(case 6)

Fig. 13. Potential distribution analysis result - human in the water, ground terminal, insulator of 4 wall(case 6)

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (NO 2010T100100461).

References

- [1] 다카하시 다케히코, 접지·등전위 본딩 설계 실무지식, 성안당, pp.3-12, 2004.
- [2] L.E. Virr, "Increased electric shock risk underwater due to electrode configuration and insulating boundaries", IEE Proceedings, Vol.137, Pt.A, No.5, pp.261-268, Sep. 1990.
- [3] 이형수 외 8명, 전자파 생체영향 및 표준화 연구, 01MR2900-01-2700P, 정보통신부, pp.28-35, 2001.
- [4] 하태현 외 3명, "옥외 전기시설물 침수시 누설전류에 의한 인체영향", 대한전기학회 논문지, 제52B권, 제12호, pp.602-607, 2003.
- [5] 하태현 외 3명, "침수시 옥외 전기시설물의 누전원인 분석", 전기의 세계, 제51권, 제8호, pp.15-17, 2003.

◆ 저자소개 ◆



정진수(鄭鎭洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사, 전력계통 전공). 2008년 동대학원 전기공학과 박사수료. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 정책기준연구부 선임연구원.



정중욱(鄭鍾旭)

1969년 2월 17일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1997년/2003년 동대학원 전기공학과 졸업(석사/박사, 전기전자재료 및 대전력 전공). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 정책기준연구부 선임연구원.



김선구(金善球)

1961년 2월 25일생. 1985년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1991~2002년 한국전기안전공사 재직. 2009년 시립대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 전기안전연구원 정책기준연구부 그룹장(책임연구원). 본 학회 편수위원.