

충전부에 접촉된 인체의 전위특성에 관한 연구

송길목*, 최충석*, 정연하**, 노영수**, 곽희로**, 박종신***

* : 전기안전연구원, ** : 숭실대, *** : 동해대

A Study on the Potential Characteristics of Human-body Contacted the Charging Part

Kil-Mok Shong*, Chung-Seog Choi*, Yeon Ha Jung**, Young Su Roh**, Hee Ro Kwak**, Jung-Shin Park***
KESCO-ESRI*, Soongsil Univ.**, Donghae Univ.***

Abstract - In this paper, we studied on the potential characteristics of human-body contacted the charging part. A charging part of electrical facilities and the earth are simulated by the electrode pole and conductive rubber plates respectively. As the results of these follows, when the potential distribution of the human-body contacted the charging part is far from the electrode pole, a lot of currents flow through the human-body. Besides human-body non-contacted the charging part is affected by step voltage. Therefore, we could find out the causes of the electric shock accidents and be expected to the data for minimization of human error occurred the workspace.

1. 서 론

현대 생활에 있어서 가장 많이 보급된 전기에너지는 과학의 발전에 없어서는 안 될 중요한 역할을 담당하고 있으나 관리의 소홀이나 주의깊은 관심이 없으면 감전이나 화재와 같은 재해로 이어질 수 있다. 전기재해는 전기에너지가 정해진 조건이나 역할에 의하지 않고 예상하지 못했던 통로로 전류가 흘러 회로를 형성하는 것으로 향후 이에 대한 사고예방과 전기안전 설계를 위한 연구 개발이 요구된다. 선진외국의 경우, 국가적 차원의 지원과 교육프로그램 운영, 연구활성화에 힘입어 국민적 인식이 형성되어 있으나 국내의 경우 국가 홍보의 미흡과 수출주도의 국가정책에 의해 전기안전 분야에 대한 연구가 매우 낙후된 실정이다. 그러나 최근, 일부 대학교, 학회, 연구원 및 산업체 등 중심이 되어 연구의 질을 향상시키기 위한 노력이 전개되고 있다. 전기사고 중 감전은 설비에 흐르는 전류가 어떤 원인에 의해 인체와 대지, 인체와 설비 등의 조건으로 회로를 구성하여 영향을 주는 것으로 인간의 생명과 직접관련이 있으므로 매우 중요한 재해라 할 수 있다[1~3].

따라서, 본 연구는 전기설비의 충전부에 접촉되었을 때, 인체에 형성된 전위차에 따른 특성을 연구하였다. 실제 대지와 인체를 실험대상으로 할 수 없기 때문에 대지면과 인체모형을 표준을 정해 제작하여 감전경로를 형성하도록 하고, 보폭의 위치와 접촉 및 비접촉에 따라 인체모형에 가해지는 전위차를 측정하였다. 전위차에 따른 인체의 위험성을 입증하고자 측정자료를 이용하여 유한요소적분법으로 분석하였다. 본 실험으로 감전에 따른 이론해석과 전기설비 및 인체에 미치는 영향을 실험을 통해 입증이 가능하고 향후 전기설비 사고뿐만 아니라 인체와의 상호관계를 연구하는데 매우 중요한 자료로 이

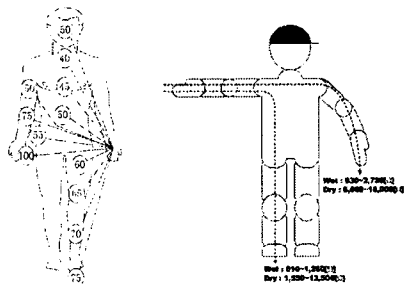
용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이 론

인체의 임피던스는 크게 피부에 흐르는 임피던스와 인체내부에서 흐르는 임피던스로 구분되어진다. 일반적으로 주변환경에 많이 노출되어 습기가 많은 경우 피부를 통해 감전경로를 형성하게 되고 건조한 경우는 인체 내부에 감전전류가 흘러 사고를 유발하게 된다. 인체임피던스는 연령, 성별, 체형의 크기 등 다양한 변수가 있어서 정확한 수치를 표준으로 하기가 어렵다. 또한, 주변온도와 습도에 의해서 피부의 접촉저항도 변화함으로 다양한 조건을 만족하는 인체모형을 만들 수는 없으나 실험적 사실에 근거한 자료를 인용하면 표준체형과 인체 임피던스 비율, 주변환경의 제한 등 변수를 최소화하여 인체저항을 구성할 수 있다.

이는 Dalziel 등 연구자들의 실험을 통해 인체저항의 기준을 정하고 있는 IEC 60479-1은 인체저항 값에 대해 다양한 접근을 제시한다. 그림 1의 (a)는 IEC 60479-1에서 제시한 것으로 손과 손을 100으로 하여 손과 목에서 40, 손과 가슴부위에서 45의 수치로 나타나 있고 손과 발은 75인 것을 알 수 있다[4].

그림 1의 (b)는 미국 화재보험협회시험소에서는 리액턴스 성분이 크지 않다는 가정 하에 인체를 순수저항으로 간주하여 인체저항에 있어서 피부와 내부조직의 저항을 계산하여 어른 40명에 12V의 직류를 이용하여 각각 5mA, 1mA의 전류를 흘려 측정하였다.



(a) 인체내부 저항비 (b) 피부저항
그림 1. 인체임피던스의 구성

인체에 흐르는 전류의 크기와 전위차, 인체의 조건, 대지면의 영향, 습도, 온도 등 주변영향의 다양한 변수 요인에 의해 감전사고가 발생할 수 있으며 일부의 조건만으로 감전사고의 원인을 규명하거나 제시해서는 안된다.

3. 실험 방법

상기한 내용을 분석하여 본 실험은 전기설비에서의 충전부, 인체, 대지면을 모의하고자 하였다. 전기설비의 충전부는 전극주(electrode pole)를 제작하였고, 대지면은 불규칙한 대지저항률을 도전성 고무판 이용하여 일정한 저항률을 갖도록 모의하였다. 충전부를 중심으로 끝부분은 무한 영전위가 되도록 집지하였으며, 고무평면 위에 각각의 검출점(check point)을 두어 인체모형이 바뀔 때마다 전압을 측정하였다. 전원은 100V와 200V를 이용하였으며, 전압을 제어하고 안전한 실험을 할 수 있도록 별도의 제어시스템을 갖추었다.

그림 2는 전기설비와 대지면을 모의한 내용을 개략도로 나타낸 것이다.

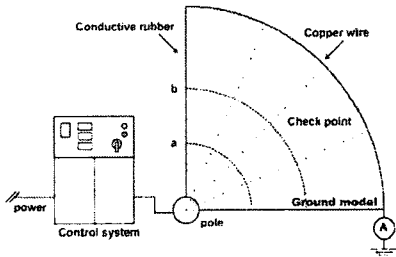
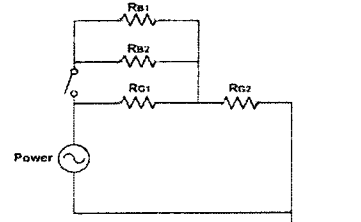


그림 2. 실험 장치 개략도

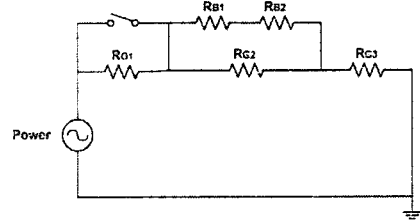
인체의 모델조건은 인체접촉부가 되는 두 부분으로 구분하고, 원통형의 아크릴로 제작되었으며, 내부는 NaCl 1[%]의 수용액을 채웠다. 일반적으로 IEEE Std. 80에 의하면 인체저항을 1,000[Ω]으로 규정하고 있으며 인체를 대상으로 할 경우 수용액을 이용하고 있다.

실험조건은 전기설비 감전모의 대지면에 보폭이 등전위면에 위치하였을 때와 보폭이 30[cm] 위치한 상태에서 보폭전압이 발생할 때를 모의하였다. 또한, 등전위면에 위치한 경우 충전부에서 30[cm] 떨어진 경우와 60[cm] 떨어진 경우를 모의하였다. 인체가 전기설비의 충전부에 접촉되었을 때, 발생하는 임피던스는 우기나 습기가 많은 상태를 고려하여 회로구성에는 제외하였다.

본 실험의 등가회로는 그림 3에서 나타낸 것과 같이 보폭이 있는 경우 접촉과 비접촉에 의한 영향과 보폭이 없는 경우 접촉과 비접촉에 의한 영향 등을 모의하였다. 저항은 크게 인체구성 부분과 대지면에 존재하는 저항으로 구분하였다. 회로에서 R_{B1}, R_{B2} 는 인체모형 각각의 저항이고, R_G 는 대지면의 저항을 나타낸 것이다.



(a) 보폭이 등전위면에 위치한 경우



(b) 보폭이 등전위면에 위치하지 않는 경우
그림 3. 실험구성에 이용된 감전 등가회로

4. 실험결과 및 고찰

4.1 보폭에 의한 전위분포 측정

그림 4는 보폭에 의한 전위차를 분석하기 위해 실험을 통해 측정된 검출점의 전위차를 측정하여 나타낸 것이다.

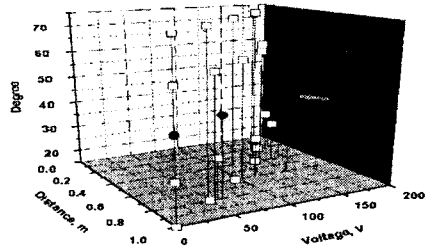


그림 4. 보폭에 의한 전위분포 측정

충전부에 근접하여 인체가 서있는 경우 주변의 전위차와 비교하여 보폭 사이에 발생하는 전위차가 큰 것을 알 수 있다.

4.2 누설전류에 의한 전류밀도 측정 해석

누설전류를 측정하여 그 경로를 전체해석을 통하여 해석하였다. 그림 5는 모의 대지면에 분포한 누설전류를 측정하여 누설전류에 대한 전류밀도를 전기(Electric field)로 나타낸 것이다.

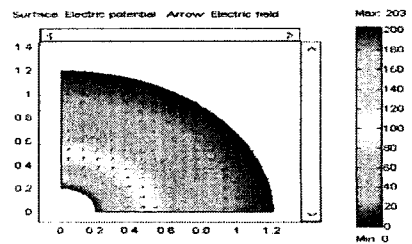
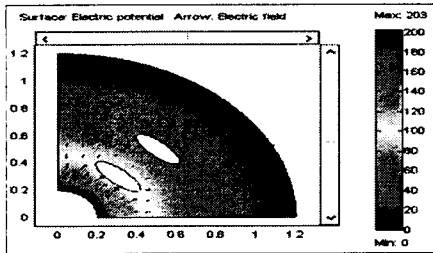
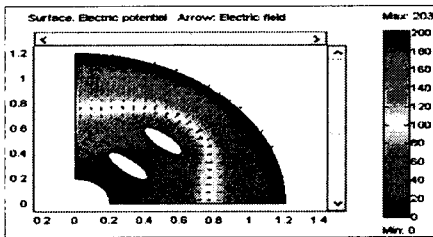


그림 5. 모의 대지면의 전기분포

인체가 모의 대지면에 서 있는 경우 충전부에 접촉한 경우와 접촉하지 않은 경우에 흐르는 누설전류를 측정하여 전류밀도를 전계로 나타내면 그림 6과 같으며 (a)는 접촉하지 않은 경우이고 (b)는 충전부에 인체가 접촉한 경우를 측정하여 분석한 것이다. (a)는 모의 대지면에 인체 모형이 설치되지 않은 상태에서의 전류밀도는 모든 방향에 대해 매우 고르게 나타나고 있다. (b)는 전기설비 충전부에 접촉하지 않은 인체 모형이 모의 대지면 위에 설치된 경우로서 전류밀도는 중앙으로 더 많은 전류가 집중되고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 충전부 비접촉

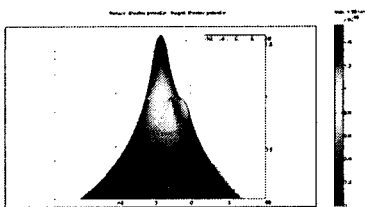


(b) 충전부 접촉

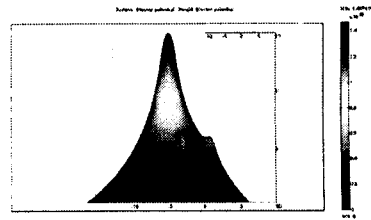
그림 6. 충전부와 인체에서의 전계분포

4.3 충전부 접촉시 전위특성

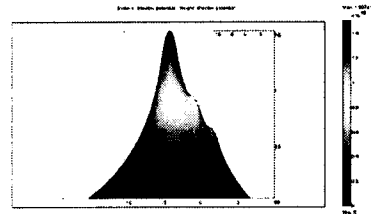
100[V]를 공급하는 저압 충전부에 인체가 접촉하였을 경우 전위특성을 분석하기 위해 취득한 데이터를 FEM Lab을 이용하여 모의하였다. 이때 대지면은 충전부를 중심으로 하여 무한 원점이 되도록 평행하게 분포하도록 하여 전위분포를 해석하였다. (a)는 충전부와 30[cm] 떨어진 곳에서 충전부에 접촉하였을 경우의 측정데이터를 보여주는 것이고 (b)는 충전부와 60[cm] 떨어진 경우 접촉하였을 때 전위차를 보여준다. 또한, (c)는 대지면에 발의 위치가 각각 30[cm]와 60[cm]에 위치하여 보폭에 의한 영향이 있을 경우 접촉하였을 때를 모의하였다.



(a) 충전부와 30[cm] 이격



(b) 충전부와 60[cm] 이격



(c) 대지면에 30[cm]와 60[cm] 보폭이 있을 경우
그림 7. 접촉시 인체 위치에 따른 전위분포 특성 비교

충전부 접촉시 보폭이 있는 경우 인체내부에 전위특성은 감전 위험성이 가장 높은 것으로 나타났으며 근접하여 접촉한 경우보다 원거리에서 접촉한 경우 전위차가 더 큰 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 논문은 전기설비의 충전부, 대지면, 인체를 모의하여 감전 사고를 해석한 것으로 측정데이터를 전자장 프로그램에 의해 감전위험성을 평가할 수 있었다. 실험결과 충전부에 접촉된 경우에는 누설전류에 의한 인체영향이 컸으며, 비접촉시에는 보폭전압에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

따라서, 본 실험의 지속적인 축적을 통해 전기설비와 대지면, 인체에 대한 상관관계를 해석하는데 유용하였으며 향후 전기설비 충전부에서 발생하는 누설전류를 최소화하기 위한 관리와 휴먼에러를 줄이기 위한 연구결과가 나올 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전기재해 통계분석, 한국전기안전공사, 2003
- [2] 한운기, 한기봉, 김형준, 최충석 "도심에 설치된 가로등설비의 현장 실태 분석", 한국조명·전기설비학회 추계학술논문집, 2003
- [3] 최충석 외 5 "전기화재공학", 동화기술, pp73-115, 2001
- [4] International Electrotechnical Commission IEC Report, "Effect Current Passing Through the Human Body, Part 1: General Aspect", 60479-1, IEC, 1984.
- [5] W. Zipse, "Multiple Neutral to Ground Connections", IEEE I&CPS Technica Conference Record, 1972,
- [6] Chien.H.L A Graphical Method for Safety Assessment of Grounding Systemes" IEEE on interantional Conference, pp.2016-2021, Sept/1999
- [7] Lowder.S, "Electrical Contact Accident with a welding machine", IEEE on interantional Conference, pp.127-143, Sept/1999