

축소형 모델 접지전극의 매설깊이에 따른 위험전압의 분석

(Analyses of Hazard Voltages According to the Buried Depth of Small-sized Model Grounding Electrode)

백영환* · 이복희**

(Bok-Hee Lee · Young-Hwan Paek)

요 약

본 논문은 축소형 모델 접지전극이 접속된 금속계 구조물 주변의 대지표면전위분포와 위험전압에 대하여 기술하였다. 접지에 관련된 문제를 실제 현장데이터로부터 적절한 결론을 도출하기는 매우 어려우므로 접지전극 주변의 전위분포와 접촉전압, 보폭전압의 산정에 축소형 모델시험을 사용한다. 본 연구에서는 균질토양을 모의하기 위해 직경이 1,100[mm] 반구형 용기를 사용하였다. 실험결과, 접지전극 주변의 대지표면전위는 매우 높게 나타났으며, 특히 접지전극의 직상부의 대지표면전위는 다른 위치에 비해 높게 나타났다. 접지전극의 매설깊이가 증가함에 따라 대지표면전위와 보폭전압은 낮아지지만 접촉전압은 높아지는 것으로 나타났다.

Abstract

This paper presents the ground surface potential profiles and hazard voltages around the metallic structure connected to a small-sized model ground electrode. Because it is very difficult to draw valid conclusions concerning a general grounding problem from actual field data, scale model tests can be used to determine the touch and step voltages and surface potential profiles around ground electrode. In this work, a hemispherical vessel with a diameter of 1,100[mm] was employed to simulate uniform soil. As a result, the ground surface potential around the ground electrode was significantly raised. In particular the ground surface potential at the just upper point of ground rod was higher than other points. When the buried depth of ground rod is increased, the ground surface potential and step voltage were lowered but the touch voltage was elevated.

Key Words : Ground rod, Touch voltage, Step voltage, Ground surface potential rise, Scale model test

* 주저자 : 인하대학교 전기공학과 박사과정
(주)효성전기안전 대표

** 교신저자 : 인하대학교 전기전자공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2008년 12월 9일

1차심사 : 2009년 12월 17일

심사완료 : 2009년 1월 9일

1. 서 론

현대산업에서 전기에너지는 일상생활에 편리함을 제공하고 있으며 인간에게는 매우 중요한 에너지 요소로 전기 에너지의 사용이 증가되고 있다. 하지만 최근 전기사용의 안전성 조사자료 및 보도자료에 의

하면 전기설비에 의한 감전재해가 증가하고 있어 감전방지에 대한 사회적 관심이 높아졌다. 특히 전기로 인한 감전재해는 일반재해 건수에 비하여 재해비율은 낮으나 감전으로 인한 사망률은 다른 재해보다 높게 나타나고 있어 감전재해가 그 만큼 위험한 재해라고 할 수 있다. 낙뢰서지 또는 개폐서지에 의한 전력기기의 고장이나 절연파괴 등에 의해 지락사고가 발생하면 접지전극으로 고장전류가 유입하게 되어 접지전극은 물론이고 접지전극 주변의 대지표면 전위가 상승하게 된다. 이 때 형성되는 대지표면전위는 다른 설비에의 영향과 인체의 감전사고 등을 고려하여 일반적으로 대지표면에서의 값으로 나타내며 접지전극의 형상, 대지구조나 토양의 성분 및 균질성, 접지전류의 크기와 지속시간 등에 의해 영향을 받게 된다[1-2]. 그러나 국내에서 접지선 또는 금속구조체의 전위상승에 의한 접촉전압과 보폭전압의 위험성에 대한 인식은 부족한 상태이며, 접지전극을 지표면으로부터 0.5[m] 또는 0.75[m] 이상의 깊이에 시설하도록 규정되어 있다[3-4]. 금속체 지지물의 경우, 금속체 지지물로부터 1[m] 이상 이격시키도록 되어 있다[3].

접촉전압은 접지를 한 시설물 또는 구조물에 고장전류가 흘렀을 때, 접촉한 구조물의 전위와 사람이 서 있는 대지표면의 전위차로 정의되며, 보폭전압은 사람 양발사이에 인가되는 전압으로 정의된다. 따라서 접지전극으로 고장전류나 뇌격전류가 유입하였을 때 접지전극 주변의 대지표면전위분포를 평가하는 것은 대단히 중요하다. 이 때 접지전극으로 유입된 접지전류의 경로 및 전류선의 밀도는 대지저항률과 대지의 구조에 의해 변하기 때문에 대지표면의 전위분포의 산출은 그리 간단하지 않다. 접지설계를 위해서 접지전극에 접지전류가 유입할 때 대지저항률과 대지구조가 대지표면전위분포에 미치는 영향을 측정하고 분석하는 것은 접촉전압이나 보폭전압과 같은 위험전압의 평가에 기본이 된다.

접지설비의 성능이나 특성을 실제 접지시스템에 대한 데이터를 바탕으로 해석하기 위한 실규모 실험의 수행은 매우 어려우므로 통상 소규모 모델실험을 사용하고 있다. 소규모 모델실험결과는 실제 접지시스템의 특성과 비교적 잘 일치하기 때문에 접지시스

템의 설계와 성능평가에 참고자료로 활용될 수 있다 [5-6]. 본 연구에서는 가로등 등주에서의 지락고장에 의한 대지표면전위분포와 위험전압을 평가하기 위한 모델실험을 수행하였다. 국내에서 규정하고 있는 접지극의 매설깊이를 기준으로 하여 접지전극 매설 깊이에 따른 대지표면주변의 전위분포를 측정하여 전기시설물의 접지전극 주변에 나타나는 전기적 특성을 분석하였다. 또한 인체가 구조물에 접촉하였을 때 인체에 인가되는 접촉전압과 보폭전압의 실험 결과를 바탕으로 접지시스템의 설계 및 시공에 대한 개선 방향을 제시하였다.

2. 위험전압

인체의 감전에 대한 위험전압을 일률적으로 나타낼 수는 없지만 위험성의 한계 즉, 위험전압은 크게 접촉전압과 보폭전압 2가지로 나누며, 이들 위험전압의 개념적 설명을 그림 2에 나타내었다[7]. 사람이 접지를 한 시설물 또는 구조물에 접촉하였을 때 접촉한 구조물의 전위와 사람이 서있는 대지표면 사이(통상 1[m]를 기준)의 전위차를 접촉전압이라고 하며, 이 전위차가 크게 되면 감전 사고를 일으키게 된다. 또한 구조물 주변에서 인체의 안전에 대한 중요한 척도로서 뇌격전류나 지락전류 등으로 접지전극 부근에 전위차가 발생하였을 때 사람의 양쪽 다리사이에 형성되는 전위차를 생각할 수 있으며 이때의 양발 사이의 전위차를 보폭전압이라고 하며 양발 사이의 거리(통상 1[m]를 기준)에 나타나는 대지표면에서 전위차로 정의한다[7-8].

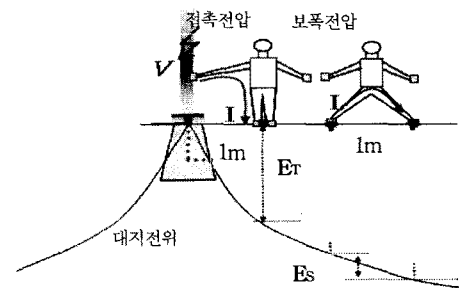


그림 1. 접촉전압과 보폭전압의 개념적 설명
Fig. 1. Conceptual explanation for touch and step voltages

축소형 모델 접지전극의 매설깊이에 따른 위험전압의 분석

이러한 접촉전압과 보폭전압은 인체와 대지의 접촉조건, 지표면 부근의 대지저항률 등에 따라 복잡하게 변화한다. 따라서 구조물 주변의 지표면에 형성되는 대지표면전위상승은 접지시설과 직접적인 연관이 되므로 접지시설을 위한 설계 및 시공에 고려해야 할 사항이다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 도로에 설치하는 가로등 등주를 지지하는 콘크리트 구조물(기초좌대)을 모델로 하여 반구형 용기에 균일한 토양으로 봉형 접지전극의 매설깊이에 따라 대지표면전위 및 전위경도의 측정을 위한 실험을 수행하였다. 실험장치의 개략도와 측정 위치에 대한 상세도를 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

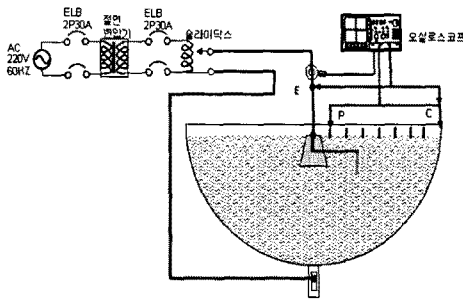


그림 2. 대지표면전위분포를 측정하기 위한 실험계의 개략도

Fig. 2. A schematic diagram of the experimental setup for measuring the ground surface potential profile

대지를 모의하는 직경 1,100[mm] 반구형 스테인리스용기를 사용하였으며, 가로등 등주를 지지하는 콘크리트 구조물을 10분의 1로 축소한 모델을 제작하였다. 접지전극은 직경 1[mm], 길이 10[cm]로 만들어 지지물에서 10[cm] 떨어진 지점에 대지표면으로부터 7.5[cm]와 5[cm]의 깊이에 설치하였으며, 토양의 저항률은 386[Ω·m]이다. 또한 강우 등으로 인하여 구조물이 물에 잠겨 있을 경우를 가정하기 위하여 저항률이 대략 68[Ω·m]인 수돗물을 부어 침수상태로 조건을 만들어 건조상태와 동일한 조건

에서 고장전류를 흘려 대지표면에 나타나는 전위분포와 전위경도를 측정하고 접촉전압 및 보폭전압을 산출하고, 이의결과에 대하여 검토하였다. 접지전류의 측정에는 100[kHz], 0~70[A_{rms}]/100[A_{peak}]까지 측정할 수 있는 전류프로브를 이용하였으며, 인가전압과 대지표면전위는 2.2[kV_{rms}]까지 측정할 수 있는 차등프로브로 검출하여 대역폭이 400[MHz]인 4채널 오실로스코프로 파형을 관측하였다.

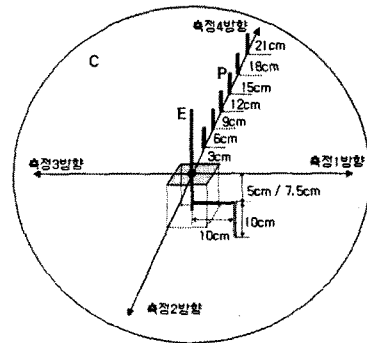


그림 3. 측정위치의 상세도

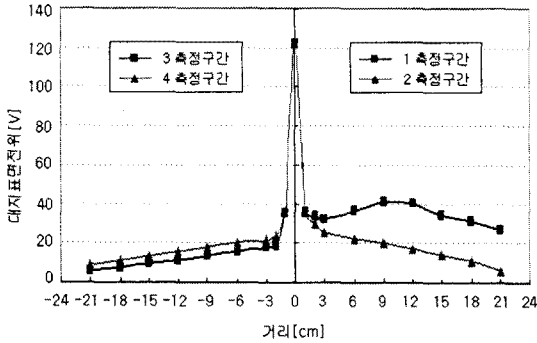
Fig. 3. Detailed diagram of the location to be measured

4. 결과 및 고찰

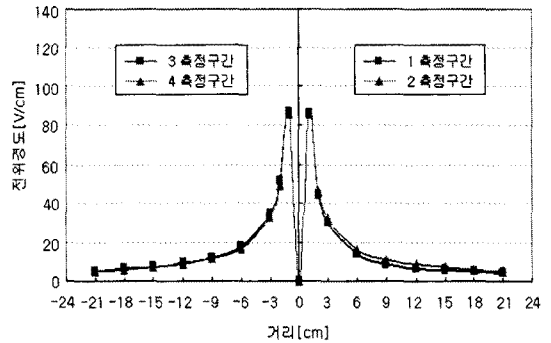
4.1 대지표면전위분포

우리나라의 전기설비기술기준에서는 봉형 접지전극을 수직으로 설치하는 경우 이의 상단이 대지표면으로부터 0.75[m] 이상의 깊이에 설치하도록 규정하고 있으며, KS C IEC 62305 규격에서는 봉형 접지전극의 상단이 대지표면으로부터 0.5[m] 이상의 깊이에 설치하도록 규정하고 있다[3-4].

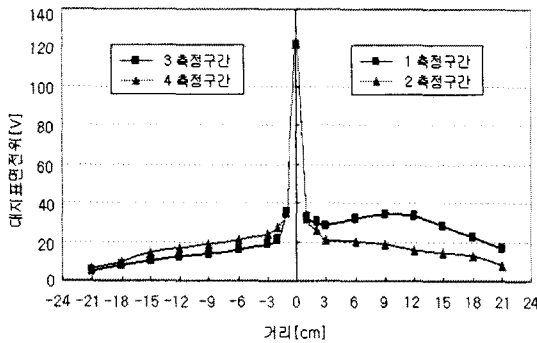
본 실험에서는 봉형 접지전극의 매설깊이에 따른 대지표면전위분포와 위험전압의 평가를 연구대상으로 하였다. 측정구간은 1~4방향으로 1방향이 접지전극이 매설된 방향이며 2, 3, 4방향은 매설된 접지전극의 시계방향으로 구간을 정하여 거리별로 측정하였으며 접지전류는 0.2[A]를 흘렸을 때 대지표면에 나타나는 전위분포를 알아보았다.



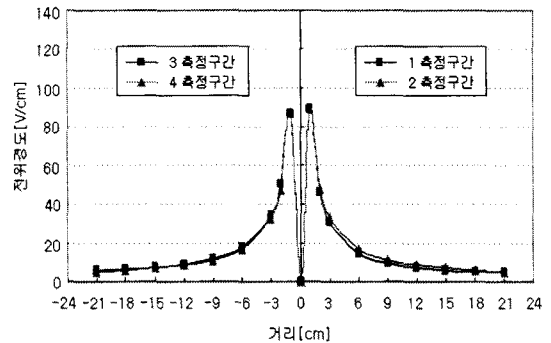
(a) 봉형 접지전극의 매설깊이 : 5(cm)



(a) 봉형 접지전극의 매설깊이 : 5(cm)



(b) 봉형 접지전극의 매설깊이 : 7.5(cm)



(b) 봉형 접지전극의 매설깊이 : 7.5(cm)

그림 4. 접지전극의 매설깊이에 따른 대지표면전위분포
Fig. 4. Ground surface potential profile according to the buried depth of ground electrode

그림 5. 접지전극의 매설깊이에 따른 대지표면전위경도
Fig. 5. Ground surface potential gradient according to the buried depth of ground electrode

그림 4에서 나타낸 깊이별, 방향별, 거리별에 따라 측정된 전위값을 살펴보면, 봉형 접지전극이 매설된 1방향 거리의 10[cm] 지점에서 전위가 가장 높게 나타났으며 봉형 접지전극의 매설깊이에서도 7.5[cm] 보다 5[cm]의 깊이에서 전위가 높게 나타났다. 그러나 2, 3, 4방향에서는 매설깊이에 관계없이 거리별 전위는 비교적 비슷한 값으로 나타났다.

3.2 대지표면전위경도

전위의 기울기를 전위경도라고 하는데 전위경도는 감전보호에 있어 중요한 요소이다. 특히 접촉전압이나 보폭전압을 산출하기 위해서는 전위차를 규명하는 것이 필수적이다.

대지표면전위경도는 대지표면에 거리별로 나타낸 2점의 전위차를 거리로 나눈 것으로 측정결과에 대한 그래프를 그림 5에 나타내었다. 대지표면전위경도의 크기는 0점 위치인 가로등 등주인 철 구조물을 기준으로 하여 거리 3[cm] 범위에서는 매우 가파른 변동의 양상을 나타냈으며, 거리가 멀어질수록 전위경도는 완만한 양상으로 나타났으며, 접지전극의 매설깊이에 따라 약간 차이가 나타났다.

3.3 침수상태의 대지표면전위분포 및 전위경도

봉형 접지전극이 매설된 상태에서 시설물 또는 구조물과 접지전극이 물에 잠김 상태에서 측정한 대지

속소영 모델 접지전극의 매설깊이에 따른 위험전압의 분석

표면전위 및 전위경도를 그림 6에 나타내었다. 건조 상태와는 달리 침수상태의 대지표면전위분포는 접지전극이 매설되어 있는 1방향이나 2, 3, 4방향의 대지표면전위 모두가 거리별로 균일하게 나타났으며, 대지표면전위분포도 건조상태 보다 낮게 나타났다. 전위경도 또한 건조상태보다 1~3[cm] 구간에는 작게 나타났으며, 4[cm] 이상의 범위에서 전위는 균일하면서도 매우 낮게 나타났다.

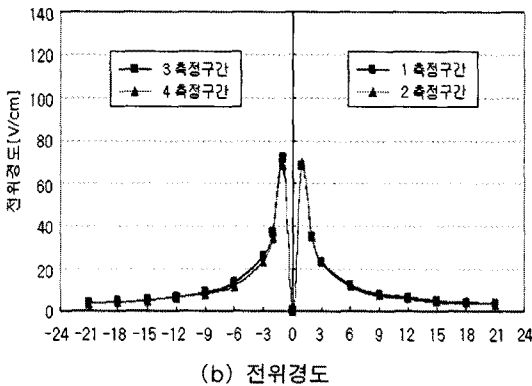
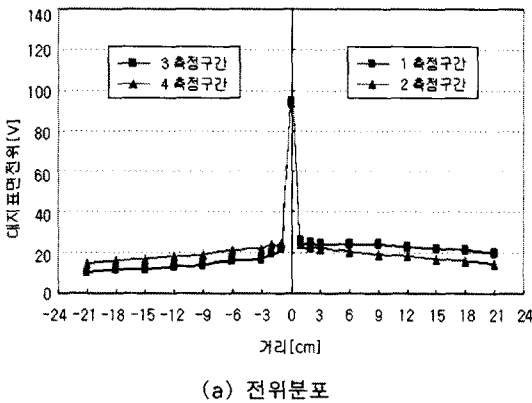


그림 6. 침수상태에서 대지표면전위와 전위경도의 분포
Fig. 6. Ground surface potential and potential gradient profiles in the submerged condition

3.4 위험전압에 대한 검토

3.4.1 접촉전압

각 실험조건에서 1~4방향으로 구조물에서 10 [cm] 떨어진 지점의 대지표면에서 있는 사람에게 유

도되는 전위차 즉, 접촉전압에 대한 측정결과를 그림 7에 나타내었다. 접지전극이 매설되어 있는 1방향에서의 대지표면전위가 높기 때문에 상대적으로 접촉전압은 낮게 나타났다. 2~4방향에서의 접촉전압은 거의 비슷하였으며, 접지전극의 매설깊이가 깊은 경우 접촉전압은 높게 나타났다. 또한 침수상태의 경우 대지표면의 전위가 높아져 접촉전압은 낮아지지만 인체의 전기저항이 더욱 작아지기 때문에 감전사고의 위험성은 커지게 된다.

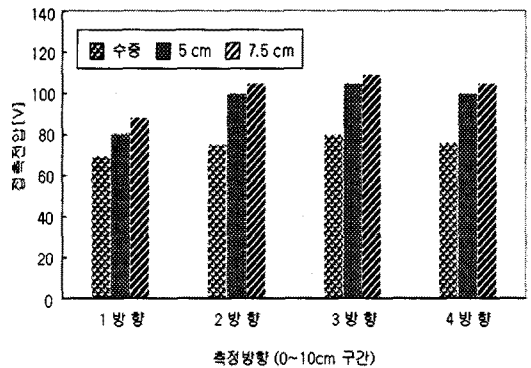


그림 7. 접지전극 주변에서의 접촉전압
Fig. 7. Touch voltages around the ground electrode

3.4.2 보폭전압

보폭전압은 구조물을 기준(0점)으로 하여 거리별 1구간 1~11[cm], 2구간 2~12[cm], 3구간 3~13[cm], 4구간 4~14[cm], 5구간 5~15[cm], 6구간 6~16[cm]으로 구간을 정하여 측정하였으며, 그림 8에 1구간 (1~11[cm])의 측정결과를 그래프로 나타내었다. 접지전극이 매설된 1 방향에서의 보폭전압은 다른 구간에 비하여 낮게 나타났으며, 2, 4 방향에서 약간 높게 나타났다. 따라서 접지전극이 매설된 위치에서 보폭전압이 변동하는 것으로 보아 매설된 철 구조물에 고장전류가 흐를 때 접지전극 주변에 가스관 또는 수도 배관이 설치되어 있을 경우 보폭전압에 영향을 미칠 수 있으므로 접지설계시 고려해야 할 사항으로 판단된다.

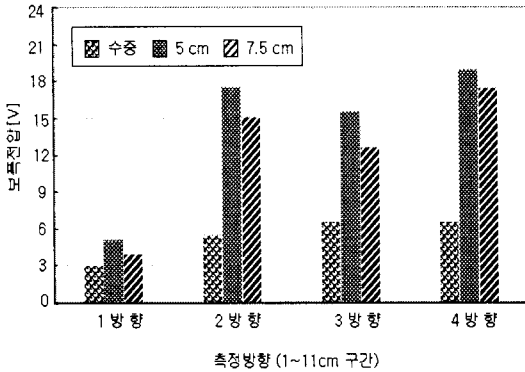


그림 8. 접지전극 주변에서의 보폭전압
Fig. 8. Step voltages around the ground electrode

4. 결 론

가로등 등주와 같은 철 구조물에 지락고장전류가 흐를 때를 모의하는 반구형 용기를 이용한 축소형 모델 접지전극이 접속된 구조물 주변의 대지표면전위분포와 전위경도를 접지전극의 매설깊이에 따라 건조상태와 침수상태에서 측정하고 위험전압을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 접지전극이 매설되어 있는 위치에서 대지표면전위는 높게 나타났다.
- (2) 접지전극 매설깊이의 증가에 따라 대지표면전위와 접촉전압은 낮아지지만 보폭전압은 높아진다.
- (3) 접지전극이 매설된 지역이나 철 구조물이 침수된 경우 접촉전압과 보폭전압은 건조상태에 비하여 낮게 나타났다. 그러나 침수상태에서는 인체가 젖어 있으므로 위험전압이 낮아지는 것에 비하여 인체의 전기저항이 더욱 작아지기 때문에 감전의 위험성은 커지는 것으로 볼 수 있다.

본 연구결과를 종합하여 볼 때 접지시스템을 설계할 때 접촉전압과 보폭전압에 영향을 미치는 접지전극의 매설깊이와 배치 등을 고려하여 대지표면에서 전위차의 발생을 억제하는 것이 바람직하다.

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 한국전기안전공사 (과제번호 : R-2007-1-014)주관으로 수행된 과제임.

References

- (1) 이복희, 이승철, “접지의 핵심 기초기술”,지제, p.69, pp.118-124, 1999.
- (2) 이복희, 백영환, 정현욱, “대지구조에 따른 대지표면전위의 분석”, 전기학회논문지, 제51권, 10호, pp.1796-32, 2003, pp.1796-1800, 2007. 10.
- (3) 대한전기협회, 내선규정, 대한전기협회, pp.113~114, 2006.
- (4) 한국산업규격, “피뢰시스템 - 제3부 : 구조물의 물리적 손상 및 인명위험”, KS C IEC 62305-5: 2007, pp.249~268.
- (5) 이복희, 김형준 “반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극 형상에 따른 대지전위상승의 분석”, 전기학회논문지 제54권,7호 pp.319-325 2005.
- (6) B. Thapar and K. K. Puri, “Mesh Potentials in High-Voltage Grounding Grids”, IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-86, No.2, pp.249~254, 1967.
- (7) IEEE Standard Board, “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”, IEEE Std 81-1983, pp.24~26.
- (8) IEEE. Standard Board, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, IEEE Std 80-2000, pp.23-29.

◆ 저자소개 ◆

백영환 (白英煥)

1959년 12월 8일생. 2002년 서울산업대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 인하대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기전자공학과 박사과정. (주)효성전기안전 대표.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : sky4u6006@hanmail.net

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전기전자공학부 교수. 본 학회 부회장.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr