

축소모형을 이용한 접지전극 주변의 위험전압 평가

(Evaluations of Dangerous Voltages around Grounding Electrode using Small-sized Model)

백영환 · 이복희**

(Young-Hwan Baek · Bok-Hee Lee)

요 약

본 논문에서는 접지에 관련된 문제를 실제 현장데이터로부터 해결할 수 있는 유용한 방법을 제안하기 위하여 실규모와 축소모델 접지전극 주변에서 측정된 접촉전압, 보폭전압과 표면전위분포에 대한 실험결과를 기술하였다. 사례연구로서 가로등, 교통신호등과 제어기와 같은 도로시설물의 설치에 사용되는 콘크리트 기초좌대 주변의 대지표면전위분포와 위험전압을 측정하고 검토하였다. 균질의 토양을 모의하기 위하여 직경이 1,160[mm]인 반구형 용기를 사용하였다. 그 결과, 축소모형을 이용하여 측정한 결과는 실규모 설비에서 얻은 결과와 잘 일치하였으며, 축소모델 실험은 산악, 지하, 수중 등과 같이 접근할 수 없는 장소에 설치된 접지전극 주변의 위험전압을 평가하는 유용한 수단으로 이용될 수 있음이 확인되었다.

Abstract

In this paper, to propose a valid method solving a problem relevant to grounding from actual field data, the experimental results relevant to touch and step voltages and surface potential profiles measured around the real-sized and small-sized grounding electrode models were described. The ground surface potential profiles and dangerous voltages around the concrete pedestals employed in street facilities such as street lamps, traffic signal lamp and controllers as a case study were measured and discussed. The hemispherical cell with a diameter of 1,160[mm] was employed to simulate uniform soil. As a result, the results measured with the small-sized model were in reasonably agreement with the data obtained from the real-sized installation. It was found that the small-sized model test could be employed as a useful means evaluating the dangerous voltages around grounding electrodes installed at the inaccessible areas such as mountains, underground, underwater, and so on.

Key Words : Ground rod, Touch voltage, Step voltage, Ground surface potential rise, Real-sized model, Small-sized model test

** 교신저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822, E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2010년 2월 5일, 1차심사 : 2010년 2월 16일, 심사완료 : 2010년 4월 15일

1. 서 론

현대생활에서 전기에너지는 인간의 생활을 윤택하게 할뿐만 아니라 편리함 추구를 위해 없어서는 안 될 아주 중요한 에너지원 중의 하나가 되었다. 그리고 현재 범세계적으로 일고 있는 녹색성장과 관련한 그린 에너지로서 전기에너지는 앞으로 더욱 더 사용량과 점유율이 높아질 것으로 예상된다. 앞으로 전기의 사용량이 많아지면 많아질수록 전기에너지와 접촉할 가능성이 많아져서 그 위험성 또한 더 높아질 것으로 판단되고, 특히 전기에 대한 지식이 많이 부족한 일반인의 경우, 전기에너지를 사용할 때 그 위험성이 더 높을 것이므로 안전확보를 위한 대책이 절실하다고 볼 수 있다. 그 대표적인 예로 2001년 7월 15일 새벽, 경인지방의 집중호우로 서울과 수도권 도심의 가로등 주변에서 21명이 감전으로 사망한 예도 있었고, 매년 7월에서 9월 사이에 누전된 가로등 설비에서 많은 감전재해가 일어나는 것으로 보도된 바 있다[1]. 위의 감전사고 피해자의 대부분이 전기에 대한 전문지식이 없는 일반인이라는 것에서 전기설비의 안전성은 중요하다고 보며, 이는 평상시의 올바른 정비도 중요하지만 설치할 때부터 근원적으로 안전한 조치의 마련이 우선되어야 한다고 본다. 다시 말하면, 전기설비는 설계할 때부터 비상시 대비책(fool-proof) 및 이중 안전장치(fail-safe)를 고려하여야 하며, 이를 위한 근원적인 안전장치가 접지설비이다. 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 감전사고 등을 고려하여 일반적으로 대지표면에서의 값으로 나타내며 접지전극의 형상, 대지구조나 토양의 성분 및 균질성, 접지전류의 크기와 지속시간 등에 의해 영향을 받게 된다[2-3].

그러나 국내에서 접지선 또는 금속구조체의 전위상승에 의한 접촉전압과 보폭전압의 위험성에 대한 인식은 아직 부족한 상태이며, 접지전극을 지표면으로부터 0.5[m] 또는 0.75[m] 이상의 깊이로 시설하도록 규정되어 있으며, 금속제 지지물로부터는 1[m] 이상

이격시키도록 되어 있다[4-5].

접지전극으로 고장전류나 뇌격전류가 유입하였을 때 접지전극 주변에서 대지표면의 전위분포를 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. 그러나 합리적인 접지설계를 위해서 접지전극에 접지전류가 유입할 때 대지저항률과 대지구조가 대지표면의 전위분포에 미치는 영향을 측정하고 분석하는 것은 접촉전압이나 보폭전압과 같은 위험전압의 평가에 기본이 된다[6-7].

접지설비의 성능이나 특성을 실제 접지시스템에 대한 데이터를 바탕으로 해석하기 위한 실규모 실험의 수행은 매우 어려우므로 통상 축소모델 실험을 사용하게 된다. 따라서 본 논문에서는 접지전극 주변의 위험전압의 평가에 대한 축소모델실험의 타당성을 검증하기 위하여 실규모와 축소모델의 가로등용 기초좌대의 접지전극 주변의 위험전압을 실험적으로 분석하였다. 실규모와 축소모델의 접지전극 주변에서의 대지표면전위, 접촉전압과 보폭전압을 측정하여 상호간의 비교에 중점을 두어 축소모델실험의 타당성을 검토하고, 이의 활용성을 제안하였다.

2. 위험전압

인체의 감전에 대한 위험전압을 일률적으로 나타낼 수는 없지만 위험성의 한계 즉, 위험전압은 크게 접촉전압과 보폭전압으로 나타낸다. 이들 위험전압의 도식적 설명을 그림 1에 나타내었다[9]. 사람이 접지를 한 시설물 또는 구조물에 접촉하였을 때 접촉한 구조물의 전위와 사람이 서 있는 대지표면의 사이(통상 1[m]를 기준)의 전위차를 접촉전압이라고 하며, 이 전위차가 크게 되면 감전사고를 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 양발사이의 전위차를 보폭전압이라고 하며 양발사이의

거리(통상 1[m])를 기준)에 나타나는 대지표면에서 전위차로 정의한다[8-9].

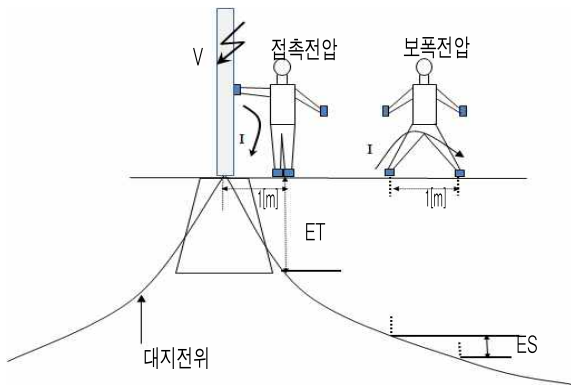


그림 1. 접촉전압과 보폭전압의 개념적 설명
Fig. 1. Conceptual explanation for touch and step voltages

이러한 접촉전압과 보폭전압은 인체와 대지의 접촉 조건, 지표면의 대지저항률 등에 따라 복잡하게 변화한다. 따라서 구조물 주변의 지표면에 형성되는 대지 표면의 전위상승은 접지시설과 직접적으로 연관되어 있으므로 접지시설의 설계 및 시공에 고려해야 할 사항이다.

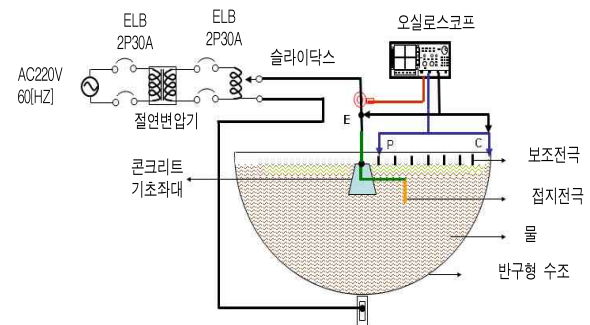
3. 실험장치 및 방법

가로등주와 가로등 제어기와 같은 도로시설물을 견고하게 지지할 수 있는 콘크리트 기초좌대(400×800×1,100[mm])는 등주의 자중과 풍하중을 고려하여 사용되고 있다[10]. 실규모와 1/10축소모델 콘크리트 기초좌대를 제작하여 실험에 적용하였다. 축소모델 실험을 위한 수조는 스테인레스(STS 304)로 직경은 1,160[mm], 반구형 수조의 깊이는 530[mm], 수조 총 높이는 1,200[mm]의 크기로 제작하여 수돗물을 수조에 담아 대지의 특성을 모의하기 위하여 반구형 형태로 제작하였으며, 콘크리트기초좌대와 접지전극을 1/10로 축소하여 거리별, 방향별로 표면의 전위를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 본 실험에 적용한 실규모와 축소모델 가로등용 콘크리트 기초좌대와 접지전극의 크, 형상 및 배치는 표 1과 같다.

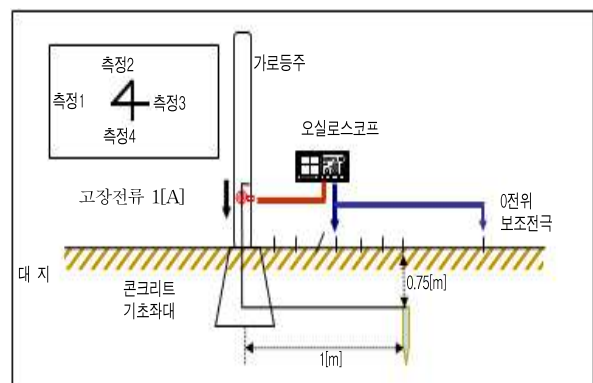
표 1. 접지전극을 구비한 콘크리트 기초좌대의 형상
Table 1. Shapes of the concrete pedestals with ground rod

접지전극	접지전극의 크기	콘크리트 기초좌대
실규모 모델	접지봉 1개 14[mm]×1[m]	
축소 모델	직경 : 1.4[mm] 길이 : 100[mm]	

실험장치의 개략도와 측정위치에 대한 상세도를 각각 그림 2에 나타내었다.



(a) 축소모델 실험계

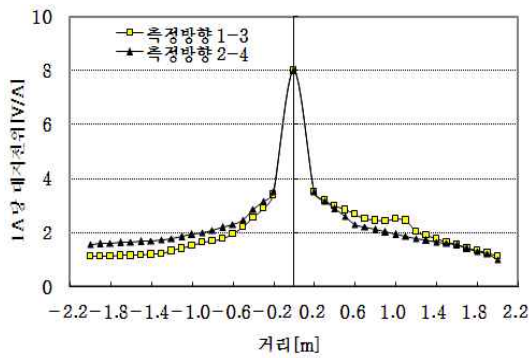


(b) 실규모 실험계

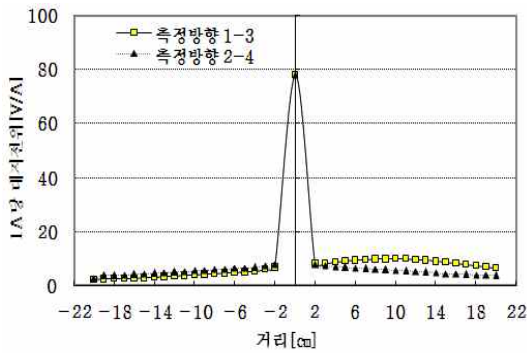
그림 2. 대지표면전위분포 측정을 위한 실험회로도
Fig. 2. Circuit diagram for measuring the ground surface potential profile

지락고장전류를 일정하게 공급하기 위한 교류 전원 공급장치와 측정용 장비로는 오실로스코프, 500 [MHz]의 대역폭에 2.5[GS/s]의 샘플링이 가능한 4채널의 제품을 사용하였고, 전압측정을 위해 대역폭이 DC~100[MHz], 피크값으로 1.3[kV]까지 측정할 수 있는 고전압프로브를 사용하였다, 전류측정에는 대역폭이 DC~100[MHz], 최대 100[A]까지 측정할 수 있는 전류프로브를 이용하였다.

수조 내부의 물의 저항률은 수 저항계(CM-21P)로 측정하였으며, 인가전압, 표면전위, 지락전류를 측정하고 전위분포, 전위경도 및 이에 상응하는 위험전압인 접촉전압과 보폭전압을 산출하였다.



(a) 실규모



(b) 축소모델

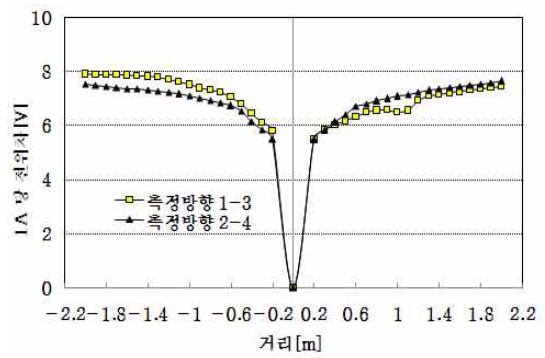
그림 3. 실규모와 축소모델 접지전극을 사용한 실험에서 측정된 대지표면전위분포

Fig. 3. Ground surface potential profiles measured at the experiments using the real-sized and small-sized model ground rods

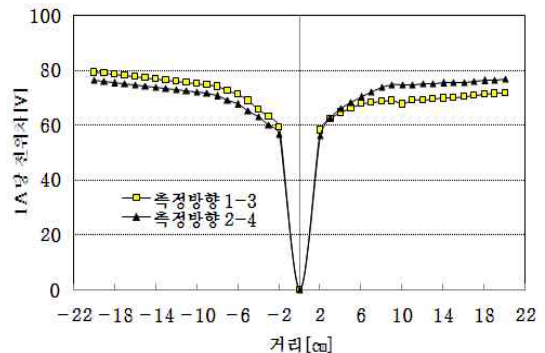
4. 결과 및 고찰

4.1 대지표면전위분포

우리나라의 전기설비기술기준에서는 봉형 접지전극을 수직으로 설치하는 경우 이의 상단이 대지표면으로부터 0.75[m] 이상의 깊이에 위치하도록 규정되어 있으므로 이를 실험조건으로 선정하였다[5]. 본 실험에서는 봉형 접지전극을 구비한 실규모와 축소모델의 콘크리트 기초좌대 주변의 대지표면전위분포의 비교를 연구대상으로 하였다. 측정구간은 측정방향 3이 접지전극이 매설된 방향이며, 시계방향으로 구간을 정하여 거리별로 측정하였으며 접지전류는 1[A]를 흘렸을



(a) 실규모



(b) 축소모델

그림 4. 실규모와 축소모델 접지전극을 사용한 실험에서 측정된 전위차

Fig. 4. Potential difference measured at the experiments using the real-sized and small-sized model ground rods

경우 대지표면에 나타나는 전위분포를 알아보았다.

실규모와 축소모델 접지전극 모두 방향별, 거리별에 따라 측정된 전위분포를 그림 3에 나타내었다. 접지전극이 매설된 측정방향 3의 실규모 모델에서는 1[m]지점, 축소모델에서는 10[cm]지점에서 전위가 가장 높게 나타났다. 그러나 측정방향 1에서 전위는 비교적 낮게 나타났다.

4.2 전위차

본 실험에서 측정된 대지표면의 전위에 대한 실험결과로 접지전극과 대지표면 사이의 전위차를 그림 4에 나타내었다. 접지전극이 매설된 측정방향 3에서 실규모 모델 1[m] 지점에서 전위차는 축소모델은 10cm 지점에서보다 낮게 나타났으며, 반대 방향인 측정방향 1에서는 약간 높게 나타났다.

4.3 대지표면전위의 비율

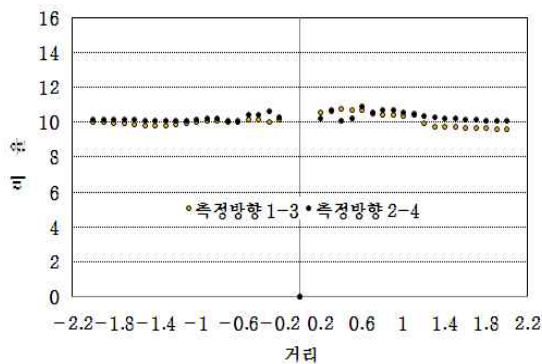


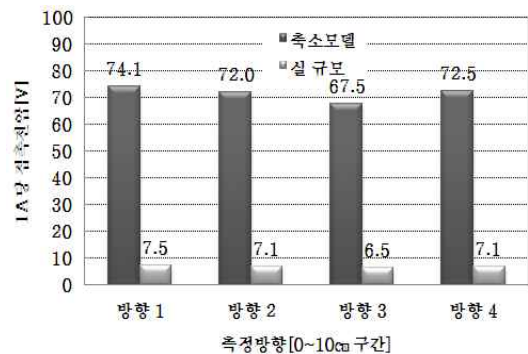
그림 5. 실규모와 축소모델 접지전극을 사용한 실험에서 측정된 대지표면전위의 비율

Fig. 5. Ratio of the ground surface potentials measured at the experiments using the real-sized and small-sized model ground rods

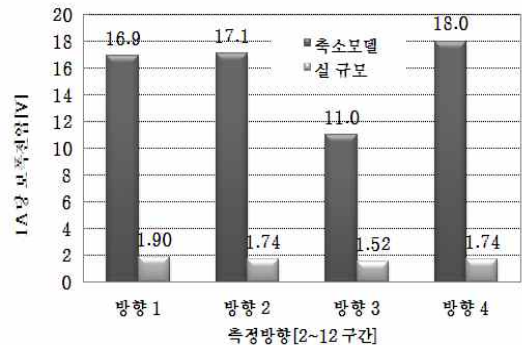
실규모와 축소모델 접지전극을 사용한 실험에서 측정된 전위차를 토대로 방향별, 거리별로 비율의 분포를 그림 5에 나타내었다. 실규모와 축소모델 접지전극에서 측정된 전위차의 방향별 비율의 분포를 살펴보면 측정방향 1, 측정방향 3의 콘크리트 기초좌대 주변

에서는 10배 보다 약간 높은 비율로 나타났으며, 측정방향 4에서 거리가 멀어질수록 10배보다 낮은 비율로 나타났으며, 측정방향별로 약간의 차이가 나타났다. 이는 실제의 대지에 매설된 실규모 접지전극의 경우 토양의 균질이 아니므로 대지표면의 전위가 약간은 다르게 나타난 것으로 생각된다.

4.4 위험전압에 대한 검토



(a) 접촉전압



(b) 보폭전압

그림 6. 실규모와 축소모델 접지전극을 사용한 실험에서 측정된 접촉전압과 보폭전압의 비교

Fig. 6. Comparison of the touch and step voltages measured at the experiments using the real-sized and small-sized model ground rods

실규모와 축소모델 접지전극의 주변에서 측정된 위험전압인 접촉전압과 보폭전압에 대한 비교를 그림 6에 나타내었다. 접촉전압은 실규모와 축소모델 접지전극의 경우 각 방향별 콘크리트 기초좌대 중심에서

각각 1[m], 10[cm] 떨어진 지점의 전위차를 비교한 값이며, 보폭전압은 각 방향별 콘크리트 기초좌대 중심에서 각각 0.2~1.2[m], 2~12[cm] 사이의 전위차를 측정하여 비교한 것이다. 실규모와 축소모델 접지전극에 대한 접촉전압의 차이는 4방향 모두 9.9~10.5배 정도로 나타났다. 보폭전압은 측정방향에 따라서 7.2~10배 정도로 방향별로는 다소 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 축소모델의 수조에서는 토양의 저항률이 균질인 것으로 볼 수 있으나 실규모 실험의 대지에서는 방향별 거리에서 대지구조에 따라 토양의 저항률이 다소 다르므로 대지표면전위가 그림 5에 나타낸 바와 같이 방향에 따라 거리별로 비율이 약간 다른 것으로부터도 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 지락고장전류가 전기설비의 접지전극에 유입되었을 때 대지표면에서의 위험성을 축소모델실험으로 평가하는 기법의 타당성을 확인하기 위하여 실규모와 축소모델 접지전극을 이용하여 측정된 대지전위분포를 기반으로 접촉전압과 보폭전압을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 축소모델 이용하여 측정한 결과는 실규모 실험에서 얻은 결과와 잘 일치하였으며, 접지전극이 매설된 방향에서 대지표면의 전위는 높게 나타났으나 접촉전압과 보폭전압은 낮았다.
- (2) 실규모와 축소모델 실험에서 측정한 전위차는 비율적으로 거의 일치하였으며, 접지전극 주변의 위험전압 평가를 위한 축소실험의 타당성이 입증되었다.
- (3) 대지표면의 전위는 토양의 저항률에 영향을 받으므로 이러한 점을 고려하면 실증실험이 불가능한 장소에 대하여는 축소모델 실험을 하더라도 대지표면전위 및 위험전압에 대한 특성을 파악할 수 있다. 즉, 본 연구결과를 종합하여 볼 때, 축소모델 실험기법은 산악, 지하, 수중 등과 같이 접근할 수 없는 장소에서 접지전극 주변의 위험전압을 평가하는 유용한 수단으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

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

References

- [1] 조선일보 홈페이지, <http://www.chosun.com/w21data/>.
- [2] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 의제, pp.69-70, pp.118-124, 1999.
- [3] 이복희, 백영환, 정현욱, "대지구조에 따른 대지표면전위의 분석", 전기학회 논문지, Vol.56, No.10, pp.1796-1801, 2007.
- [4] KS C IEC 62305-3, "피리시스템 - 제3부 : 구조물의 물리적 손상 및 인명위험", pp.249~268, 2007.
- [5] 대한전기협회, 내선규정, pp.110~111, 2006.
- [6] 이복희, 최충석, 김형준 "반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극 형상에 따른 대지전위상승의 분석", 전기학회 논문지, Vol.54, No.7, pp.319-325, 2005.
- [7] 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.
- [8] IEEE Standard Board, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE Std 80, pp.23-29, 2000.
- [9] IEEE Standard Board, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", IEEE Std 81, pp.24~26, 1983.
- [10] 국토해양부, "도로안전시설 설치 및 관리지침", pp.33-69, 2003.

◇ 저자소개 ◇



백영환(白英煥)

1959년 12월 8일생. 2002년 2월 서울산업대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)효성전기 안전 대표.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822



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

IT공대 전기공학부 교수. 본 학회 회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr