

반구형 실험모델을 이용한 대지표면 전위상승의 분석

(Analysis of the Ground Surface Potential Rise using a Hemisphere-Shaped Test Model)

유재덕* · 조용승 · 이복희**

(Jae-Duk Yoo · Yong-Seung Cho · Bok-Hee Lee)

Abstract

This paper deal with an analysis of the ground surface potential profiles using a hemispherical scaled-model. 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 ground surface potential profile around the grounding electrodes according to the configuration of grounding electrodes. In this work, a hemispherical vessel with a diameter of 1,100 [mm] was employed to simulate uniform soil and CDEGS program was employed to compare the measured and simulated results. As a result, the ground surface potential around the grounding electrode was significantly raised and the ground surface potential at the just upper point of ground electrode particularly was higher than other points. The ground surface potential of counterpoise was higher than other grounding electrodes such as mesh and grounding rods and the ground surface potential strongly depends on the frequency responses of grounding electrodes. Also the results measured with the small-sized model were in reasonably agreement with the data obtained from simulation.

Key Words : Ground Surface Potential, Grounding Electrode, Model Test, Counterpoise

1. 서 론

전원 계통의 1선 접지고장, 낙뢰, 절연파괴 등에 의해 지락사고가 발생하여 접지전극에 고장전류가 유입하게 되면 접지전극의 전위는 물론이고 접지전극 주변의 대지표면의 전위가 상승하게 된다. 접지전극에

유입된 접지전류에 의해서 대지표면의 전위상승은 접지저항에 의해서 형성되어진다. 지락고장(ground fault)에 기인한 접지전류에 의해서 형성되는 대지표면의 전위분포는 다른 설비에의 영향과 인체에 대한 감전사고 등을 고려하여 일반적으로 대지표면에서의 값으로 나타낸다. 접지전극과 주변의 대지표면의 전위상승은 접지전극의 형상, 대지구조나 토양의 성분과 성질 및 균질성, 접지전류의 크기 및 지속시간 등 이에 영향을 미치는 요소가 많을 뿐만 아니라 그 특성 또한 매우 복잡하고, 불확실하여 정확한 수식에 의한 계산은 대단히 어려운 점이 있다. 또한 접지전극 주변에

* 주저자 : 인하대 대학원 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : jaedok1126@nate.com

접수일자 : 2010년 10월 28일

1차심사 : 2010년 11월 2일

심사완료 : 2010년 11월 16일

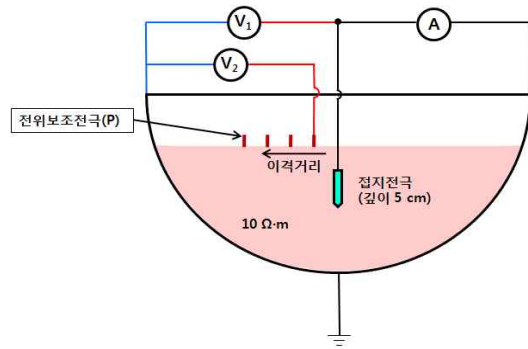
고주파 성분의 서지가 인가되는 경우 접지전극은 다른 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다[1-3].

접지설비의 성능이나 특성을 실제 접지시스템에 대한 데이터를 바탕으로 해석하는 실규모 실험을 대체할 수 있는 기법을 제안할 목적으로 모델실험을 수행하였다. 본 연구에서는 축소형 모델을 사용하여 간단한 형상의 접지전극에 접지전류가 유입된 경우 접지전극의 전위를 비롯하여 주변의 대지표면의 전위상승에 대해서 시뮬레이션하고 실험결과와 비교 검토하여 이를 바탕으로 접지시스템의 설계에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 실험계 구성

균일한 대지토양에서 전극형상에 따른 대지표면 전위를 측정하기 위한 모의실험회로를 그림 1과 같이 구성하였다[4]. 실험에 사용된 토양은 고운모래에 탄소가루를 섞은 것 이며, 겉보기 저항률은 약 $10[\Omega \cdot m]$ 이였으며 H. B. Dwight에 의해 제안된 매설지선의 접지 저항 식을 역산하여 구하였다[5]. 측정대상 접지전극은 토양표면으로부터 5[cm] 깊이에 매설하였으며, 전류보조전극(C)은 인가전류가 측정대상 접지전극에서 방사상으로 균일하게 흐르게 하기 위하여 0.55[m]반경을 지닌 반구형 실험계를 사용하였다[3]. 측정대상 접지전극 주위의 대지표면 전위를 측정하기 위하여 측정대상 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 임펄스전류 또는 상용주파수 전류를 인가하였으며, 접지전극에 인가한 임펄스전류의 크기는 1[A], 교류전류의 크기는 0.1[A]로 하였다. 인가전압은 측정대상 접지전극(E)과 전류보조전극(C)간의 전위차를 측정하였으며, 대지표면 전위는 전위보조전극(C)의 전위를 기준으로 측정하였다. 이때 인가전류는 주파수 대역이 DC-20[MHz]인 전류프로브로 측정하였으며, 접지전극과 대지표면의 전위는 최대 75[MHz]까지 측정할 수 있는 능동형 차동프로브로 측정하였다. 프로브로 검출된 인가전류와 인가전압 그리고 대지표면 전위파형은 디지털 오실로스코프로 관측하였다[4].

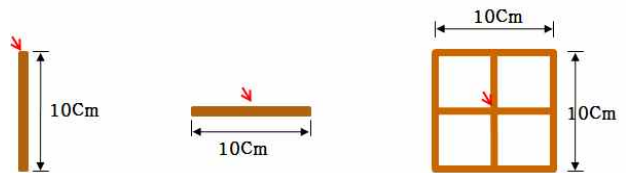


V_1 : 인가전압; V_2 : 대지표면 전위; A: 인가전류

그림 1. 대지표면 전위분포를 측정하기 위한 실험계의 개략도

Fig. 1. A schematic diagram of the experimental setup for measuring the ground surface potential profile

접지전극의 형상에 따른 대지표면 전위상승을 측정하기 위해 사용된 접지전극의 형상과 인가전류의 인가위치를 그림 2에 나타내었다. 매설지선과 수직 접지전극은 직경 2[mm], 길이 10[cm]로 하였으며, 메시전극은 $10 \times 10[\text{cm}^2]$ 로 하였다. 실험에 사용된 수직전극, 매설지선, 메시전극의 재질은 구리도체를 사용하였다. 또한 매설 깊이는 세 전극 모두 지표면으로부터 5[cm]의 깊이로 동일하게 하였다.



(a) 수직접지전극 (b) 매설지선 (c) 메시전극

그림 2. 본 연구에 사용하는 접지전극의 형상

Fig. 2. Configurations of the grounding electrodes used in this work

2.2 측정 조건

접지전극별 대지표면 전위분포의 측정방향을 그림 3에 나타내었다. 그림 2 (a)에서의 수직 접지전극과 그림 2 (c)의 메시전극은 전극의 중앙에서 각 방향으로

의 대지전위분포가 동일한 추세를 나타내기 때문에 x 축 방향으로 대지전위상승을 측정하였으며, 매설지선의 경우에는 대지전위분포가 방향성을 가지고 있으며, 그림 3 (b)와 같이 x축과 y축 방향으로 대지전위분포를 측정하였다. 각 접지전극의 전류인가위치를 중심으로 하여 2[cm] 단위로 이격시키면서 전류인가위치로부터 40[cm] 떨어진 지점까지의 대지표면 전위를 측정하였다[3].

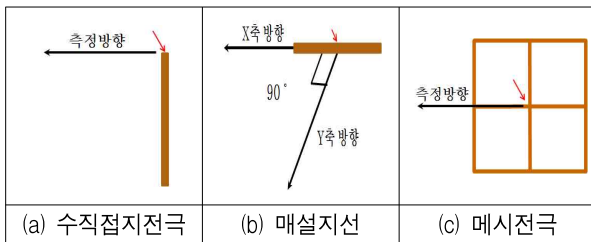


그림 3. 대지표면 전위의 측정방향
Fig. 3. Measuring direction of ground surface potentials

3. 결과 및 고찰

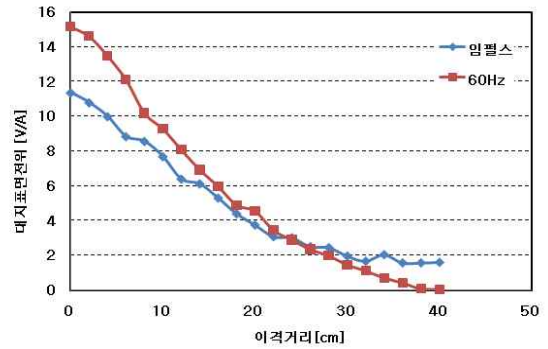
3.1 대지표면 전위분포

상용주파수의 접지전류를 인가하여 전극형상별 접지저항을 측정하였으며, 측정된 교류전류에 대한 접지저항과 8/20[μs] 임펄스전류를 인가할 경우 규약접지 임피던스를 측정하여 표 1에 나타내었다.

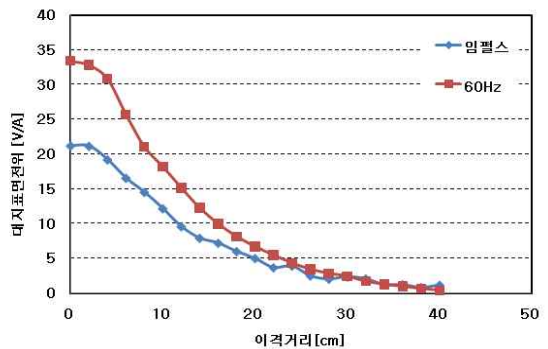
표 1. 접지전극형상별 접지저항과 규약접지임피던스
Table 1. Ground resistance and conventional grounding impedances according to the configuration of the grounding electrodes

접지전극형상	접지저항[Ω]	규약접지 임피던스[Ω]
수직 접지전극	77.0	51.6
매설지선	78.1	52.7
메시전극	35.0	22.5

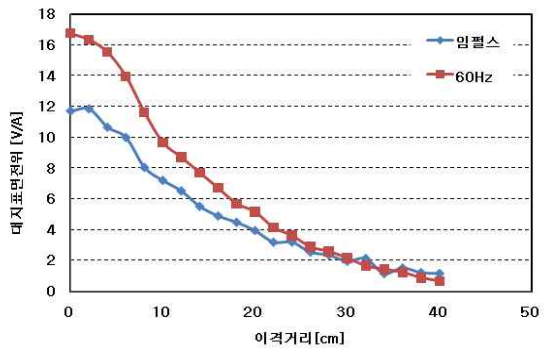
전체적으로 수직접지전극과 매설지선의 접지저항 값과 임피던스 값이 거의 일치하였으며, 분기수가 많



(a) 수직 접지전극



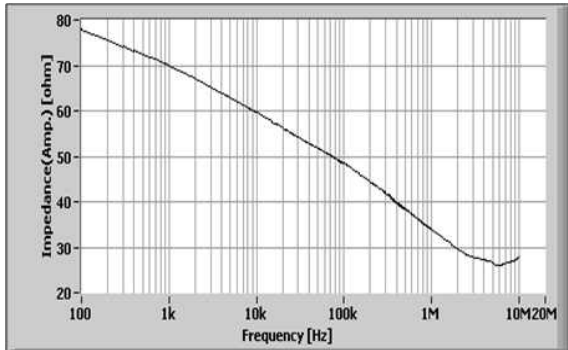
(b) 매설지선



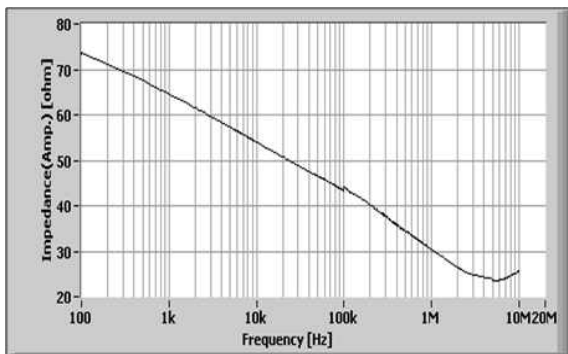
(c) 메시전극

그림 4. 접지전극주변의 대지표면 전위의 분포
Fig. 4. The ground surface potential profiles around the grounding electrode

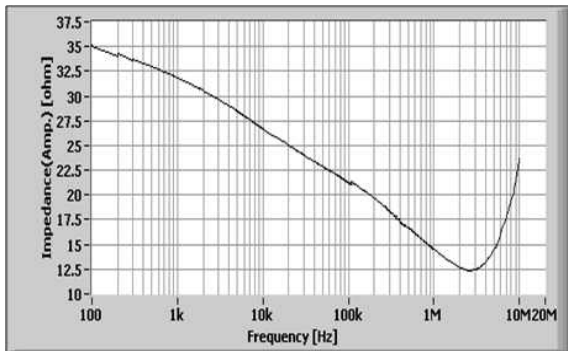
은 메시전극에서 접지저항과 임피던스가 가장 낮게 나타났다. 또한 축소모델실험에 사용된 접지전극의 길이가 매우 짧기 때문에 수직 접지전극, 매설지선, 메시전극에서 모두 용량성 특성을 나타내어 규약접지임



(a) 수직접지전극



(b) 매설지선



(c) 메시전극

그림 5. 접지전극의 형상별 임피던스-주파수 특성
 Fig. 5. Impedance-frequency characteristics according to the configuration of the grounding electrodes

피던스가 접지저항보다 상대적으로 낮게 나타났다[6]. 교류전류와 임펄스전류를 접지전극에 각각 인가하였을 때 인가전류위치를 중심으로 x축 방향으로 측정

된 접지전극별 대지표면 전위를 그림 4에 나타내었다.

접지전극의 형상에 따른 대지표면 전위 특성을 살펴 보면 길이가 10[cm]인 매설지선의 대지표면 전위가 가장 높게 나타났다. 이는 접지전극의 매설깊이에 대한 영향, 전극별 접지저항 값의 차이, 그리고 전극형상에 의한 영향으로 판단된다. 10×10[cm²] 메시전극과 길이가 10[cm]인 수직 접지전극이 각각 그 다음 순으로 대지표면 전위가 높게 나타났다. 또한 접지전극형상별 대지전위분포는 매설된 접지전극과 거리가 멀어질수록 대지표면 전위가 점차 낮게 나타났다[3,7].

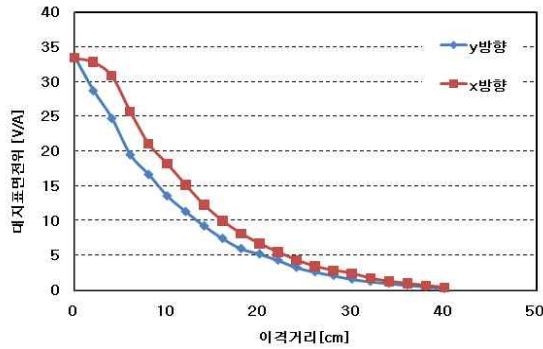
그림 4에서 볼 수 있듯이 각각의 접지전극은 임펄스전류를 인가할 경우가 교류전류를 인가할 경우보다 대지표면 전위가 상대적으로 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 5의 결과에서 알 수 있듯이 100[Hz]에서 측정된 임피던스는 수직 접지전극의 경우 약 78[Ω]인 반면, 8/20[μs]의 임펄스파형에 해당하는 30[kHz]에서는 약 52[Ω]에 해당하는 임피던스를 나타내는 것을 볼 수 있다. 대지표면 전위상승의 크기는 임피던스의 크기에 비례하기 때문에 그림 4의 결과처럼 교류전류에 의한 대지표면 전위상승이 임펄스전류에 의한 대지표면 전위상승에 비해 인가점에서 다소 높게 나타난다고 할 수 있겠다[4,6]. 이와 마찬가지로 매설지선 전극과 메시전극의 경우 모두 접지전극의 임피던스-주파수 특성이 용량성 특성을 보이기 때문에 임펄스전류에 해당하는 주파수에 대한 임피던스의 크기에 비례하여 대지표면 전위분포가 나타나기 때문에 세 전극의 경우 모두 교류전류에 의한 대지표면 전위에 비해 임펄스전류에 의한 대지표면 전위가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 또한 방향성에 대한 영향은 그림 6의 결과에서 알 수 있듯이 x축의 전위가 y축 방향에 비해 상대적으로 높은 전위를 보이는 결과를 확인할 수 있으며, 이는 축 방향을 따라 전류가 흐르기 때문에 전류가 흐르는 방향 쪽으로 보다 높은 전계가 형성되기 때문인 것으로 판단된다[1].

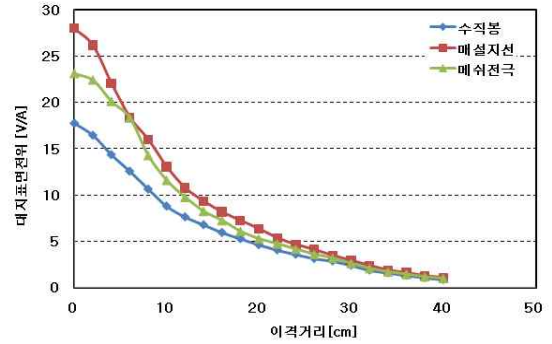
3.2 실측결과와 시뮬레이션 결과의 비교

수직 접지전극, 매설지선과 메시접지극 주변의 전위

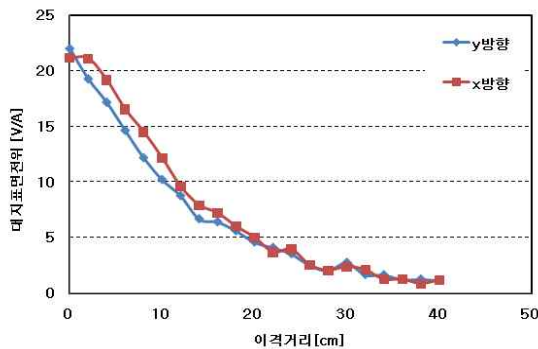
반구형 실험모델을 이용한 대지표면 전위상승의 분석



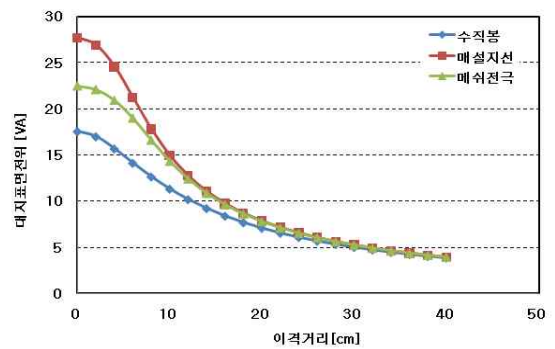
(a) 60[Hz] 교류전류



(a) 실측결과



(b) 8/20[μs] 임펄스 전류



(b) 시뮬레이션 결과

그림 6. 매설지선의 측정방향에 따른 대지전위분포
Fig. 6. The ground surface potential profiles of counterpoise according to the measuring directions

그림 7. 접지전극별 대지표면전위의 비교
Fig. 7. Comparison of ground surface potential rise according to the configuration of the grounding electrodes

분포에 대한 실측결과와 시뮬레이션 결과의 비교를 그림 7에 나타내었다.

실측결과와 시뮬레이션 결과는 대체로 일치하였으며, 매설지선, 메시전극, 수직접지전극 순으로 대지 표면 전위상승이 큰 것으로 나타났다. 또한 매설지선과 메시전극의 경우, 전극의 길이 방향을 따라 측정하였기 때문에, 전극 길이 부분에 해당하는 2~4[cm] 부근까지는 대지표면 전위상승의 정도가 크지 않으나 전극의 길이를 벗어나게 되는 약 6[cm] 부근부터는 전위 정도의 폭이 큰 것으로 나타났다. 이러한 이유는 전류가 전극을 따라 대부분 흐르기 때문에 전류가 흐르는 방향을 따라 대지표면 전위의 분포가 나타나는 것이 주 원인으로 판단되며, 세 가지 전극 모두 전극 주변에

서는 전위경도가 상당히 큰 폭으로 감소하지만, 전극으로부터 거리가 멀어질수록 대지표면 전위경도는 감소하는 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과와 실측 결과와 비교해 볼 때, 시뮬레이션의 경우와 전극 주변부에서의 대지표면 전위상승은 거의 일치하였으며, 실측할 수 없는 장소나 조건에 대하여 시뮬레이션을 통해 대지표면 전위의 예측이 가능하므로 접지설계에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

균일한 토양에 설치된 접지전극 주위의 대지표면 전위분포에 대하여 축소실험모델을 사용하여 실측을 하

고, 동일한 조건에서 시뮬레이션 한 결과를 통해 다음과 같은 결과를 확인하였다.

- (1) 동일 깊이에 묻혔을 경우, 매설지선의 대지표면 전위 상승이 가장 높으며, 메시전극, 수직접지전극의 순으로 나타났으며, 이는 전극의 매설 깊이의 영향과 전극구조에 따른 접지저항의 차이, 그리고 전극형상에 의한 기하학적 구조에 의한 영향으로 판단된다.
- (2) 접지전극형상별 대지표면 전위분포는 매설된 접지전극과 거리가 멀어질수록 대지표면 전위가 점차적으로 낮아지며, 전위 경도 또한 감소하게 된다.
- (3) 매설지선의 경우 전류가 흐르는 축방향을 따라 나타나는 대지표면 전위상승이 수직 방향을 따라 나타나는 대지표면 전위상승보다 높게 나타났다. 이는 전류가 전극의 축 방향을 따라 분포하게 되기 때문이다.
- (4) 대지표면 전위상승은 접지임피던스의 크기에 비례하기 때문에 같은 크기의 전류를 지닌 임펄스 전류의 경우, 본 실험에서는 각 전극의 임피던스-주파수 특성에 의해 대지표면 전위상승이 상용주파수전류에 의한 대지표면 전위상승보다 낮게 나타났다.
- (5) 균일 토양에서 축소형으로 실험해 본 결과, 균일 토양의 경우, 접지임피던스를 예상할 수 있는 경우라면, 시뮬레이션을 통해 전극주변에서의 대지표면 전위상승에 대한 예측이 가능하고, 실측과 유사한 전위경도 값을 예상할 수 있으므로, 시뮬레이션을 통해 적절한 접지 전극 설계가 가능하다고 볼 수 있다.

References

- [1] 이복희, 이승철, 접지의 핵심 기초기술 제 2판, (주)의제전기설비연구원, pp. 69, 1999.
- [2] R Kosztaluk, M. Loboda, D. Mukhedkar, "Experimental Study of Transient Ground Impedances.", IEEE Tras. PAS, Vol.100, No.11, pp.4653~4660, 1981.
- [3] 백영환, 이복희, "축소형 모델 접지전극의 매설깊이에 따른 위험전압의 분석", 한국 조명·전기설비학회논문지 제23권 제4호, p.p 107, 2009.4.

- [4] 배성배, 최종혁, 박건훈, 이복희, "대지저항률에 따른 접지임피던스의 주파수 의존성", 한국조명·전기설비학회 2008 춘계학술대회 논문집, p.p 464, 2008.5.
- [5] H. B. Dwight, "Calculation of Resistance to Ground.", Electrical Eng. Vol. 55, pp.1319, 1936.
- [6] 김태기, 최영철, 최종혁, 이복희, "대지저항률에 따른 매설지선의 접지임피던스의 주파수의존성", 조명·전기설비학회논문지 제24권 제5호, p.p 168, 2010.5.
- [7] 정현욱, "배전용 전주 주변에서 접촉전압과 보폭전압의 분석", 인하대학교 석사 학위논문, 2006.8.

◇ 저자소개 ◇



유재덕(俞在德)

1982년 11월 26일생. 2009년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : jaedok1126@nate.com



조용승(趙鏞承)

1986년 7월 9일생. 2010년 2월 한국교육개발원 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : dreams86@nate.com



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 IT 공대 전기공학부 교수. 본 학회 회장.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr