

형상이 다른 접지전극에 접속된 심매설 봉상 접지전극의 임펄스접지임피던스 특성

(Impulse Ground Impedances of a Deeply Driven Ground Rod Combined with Different Shape Grounding Electrodes)

이복희* · 이수봉 · 장근철

(Bok-Hee Lee · Su-Bong Lee · Keun-Chul Chang)

요 약

본 논문은 메쉬 접지전극이나 침부 매설지선이 연결된 심매설 봉상 접지전극의 실효임펄스접지임피던스의 특성을 다루었다. 시험용 접지전극의 전위상승은 인가된 임펄스 전류의 상승시간의 함수로 측정되었고, 실효임펄스접지임피던스는 산출되었다. 심매설 봉상 접지전극의 임펄스접지임피던스는 임펄스 전류의 상승시간에 강하게 의존하며 메쉬 접지전극과의 병렬연결에 의해 확연히 감소하였다.

Abstract

This paper describes the characteristics of effective impulse ground impedance of deeply driven ground rods combined with grounding grid or counterpoises with needles. The potential rises of the test ground electrodes were measured as a function of the rise time of applied impulse currents and the effective impulse ground impedances were calculated. The impulse ground impedances of deeply driven ground rods strongly depend on the rise time of impulse currents and significantly reduced by the connection of grounding grids in parallel.

Key Words : Potential rise, Effective impulse impedance, Rise time, Deeply driven ground rod, Grounding grids, Counterpoises

1. 서 론

접지저항이 낮을수록 대지와 접속이 양호한 경우를 접지가 잘 이루어진 것으로 보며, 대지에 전기적

으로 단자를 접속하는 것으로 상용주파수 영역의 감전보호용 접지는 접지저항으로 성능평가가 이루어진다. 그러나 고주파수 영역의 컴퓨터용 접지나 뇌임펄스, 개폐임펄스전압에 대한 보호를 목적으로 하는 접지에 대해서는 접지임피던스로의 평가가 필요하다. 대형 건축물 등에서 시설하는 심매설 봉상 접지전극은 대지저항률이 높거나 전극시설 면적이 협소한 곳에 사용하며, 낮은 접지 저항값을 얻기 위해 설치깊이, 접지전극의 형상 및 충전물 등에서 보다

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2004년 11월 24일
1차심사 : 2004년 11월 26일
심사완료 : 2004년 12월 3일

형상이 다른 접지전극에 접속된 심매설 봉상 접지전극의 임펄스접지임피던스 특성

다양화되고 있다.

접지시스템의 임펄스접지임피던스는 낙뢰에 대한 전기설비의 보호에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 낙뢰보호시스템과 정보통신설비용 접지시스템의 성능을 임펄스접지임피던스로 분석하는 연구가 이루어지고 있다. 뇌격전류에 주안점을 둔 접지시스템에서의 임펄스접지임피던스 특성은 대지저항률 및 접지전극의 형상과 치수 및 뇌격전류의 특성에 따라 매우 다양하다. 접지시스템의 임펄스접지임피던스 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 뇌서지 보호기의 성능은 접지시스템의 임펄스접지임피던스의 영향을 받는다. 접지시스템의 과도임피던스가 너무 높으면 뇌보호 설비의 효과는 저감될 것이다. 그러므로 접지시스템의 과도임피던스 특성에 대한 보다 면밀한 검토가 요구되며, 임펄스접지임피던스로 평가할 필요가 있다[1~4].

본 논문에서는 뇌보호 설비용 접지시스템의 임펄스접지임피던스 특성을 분석하기 위해서 뇌격전류가 접지시스템으로 유입될 때 발생할 수 있는 전위상승과 접지전극의 실효임펄스접지임피던스의 특성에 대한 실험적 연구결과를 기술하였다. 특히, 심매설 봉상 접지전극 및 이와 다른 형상의 접지전극이 병렬로 접속된 경우에 임펄스전류를 인가하여 접지전극의 전위상승을 측정하고, 실효임펄스접지임피던스를 산출하였다. 각 실험조건에 대한 실효임펄스접지임피던스-상승시간 특성곡선을 기초로 임펄스전류에 대한 과도적 접지임피던스의 특성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험계 구성

피측정접지전극-전위보조전극-전류보조전극이 일직선상에 배치되는 전형적인 전위강하법은 대형 접지시스템의 접지임피던스를 측정하는 기본적인 방법이지만 임펄스전류와 같이 고주파수를 포함하는 전류를 측정전류로 하는 경우에는 적절하지 않다. 즉, 측정대상의 접지전극으로부터 전류보조전극을 연결하는 도선과 전위보조극 사이에 발생하는 전자

유도결합에 의해서 오차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 IEEE 81.2-1991에서 권고하고 있는 그림 1과 같이 전류보조전극을 전위보조극과 90° 각도를 이루게 배치하는 수정된 전위강하법을 적용하였다[5].

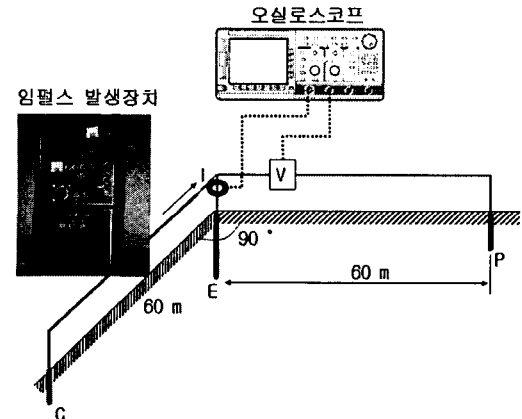


그림 1. 접지임피던스의 측정회로

Fig. 1. Circuit diagram for measuring the ground impedance

심매설 봉상 접지전극 및 이와 다른 형상의 접지전극과의 병렬접속에 대한 임펄스 특성 평가를 위해 대지저항률이 65~75[Ω·m]의 분포인 대지에 직경 150[mm] 크기로 천공하여 길이 48[m], 30[m]의 봉상 접지전극을 시설하였다. 천공 후 생긴 빈 공간은 충전재의 영향을 받지 않도록 흙으로 되메움을 하였으며, 측정대상의 접지전극 E와 전류보조전극 C 또는 전위보조전극 P사이의 거리는 각각 60[m]로 하였다. 전류보조전극은 1.2[m] 봉상 접지전극 5개를 병렬로 설치하여 합성접지저항이 40[Ω]이 되도록 설치하였으며, 전위보조전극으로는 1.2[m] 봉상 접지전극을 설치하였다. 또한 임펄스전류를 인가시키는 전류보조선으로 38[mm] GV전선을 사용하였으며, 측정회로를 그림 1에 나타내었다.

2.2 실효임펄스접지임피던스의 정의

실효임펄스접지임피던스는 인가전류와 접지전극의 전위로부터 얻을 수 있으며, 임펄스전류의 인가에 대한 과도임피던스의 개략도를 그림 2에 나타내

었다. 접지시스템의 근본 목적이 계통의 고장전류 및 뇌격전류에 의해 나타나는 전위의 크기를 제한하는 것이므로 접지전극의 전위가 최대값인 상태에서의 접지임피던스는 중요한 의미를 가진다. 그러므로 실효임펄스접지임피던스 Z_{eff} 는 전위가 최대인 점에서의 임피던스로 정의되며, 다음의 수식으로 계산된다[6~8].

$$Z_{eff} = \frac{V_{max}}{I} \quad (1)$$

그림 2에서 V_{max} 는 접지전극의 전위 파형의 최대값이며, I 는 전위가 최대인 순간의 전류이다.

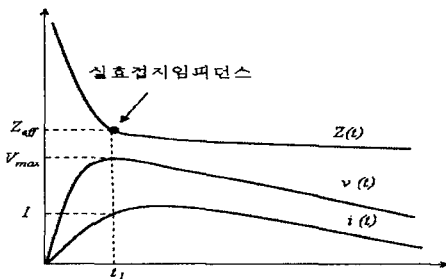


그림 2. 실효임펄스접지임피던스의 정의
Fig. 2. Definition of the effective impulse ground impedance

접지시스템의 과도임피던스를 결정하는 중요한 요소들은 접지저항, 접지전극 자체의 저항 및 인덕턴스 그리고 토양의 정전용량 등이다[9]. 특히 과도 접지임피던스는 접지전극의 자기인덕턴스와 상호인덕턴스의 영향을 받으므로 동봉을 접지전극으로 사용한 경우 저항과 인덕턴스의 조합으로 전기적 등가 회로를 구성할 수 있다. 특히 낮은 대지저항률을 가지는 토양에 접지전극을 시설하는 경우 대지의 커패시턴스성분은 무시되기도 한다. 임펄스전류에 대한 접지전극의 전위는 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (2)$$

R 은 접지저항과 접지전극의 저항의 합이고, L 은 접지전극의 인덕턴스이다. 접지전극의 길이가 길어

지면 접지저항 R 은 감소하고 인덕턴스 L 은 증가한다. 즉 심매설 봉상 접지전극의 경우 접지전극의 전위 파형에서 리액티브성분이 지배적이며, 저항성분은 비교적 미소하다. 접지저항은 기본적으로 대지저항률과 접지전극의 치수에 의해 결정된다. 접지전극의 길이가 길어지면 접지저항은 감소하지만 과도접지임피던스는 접지전극의 인덕턴스의 영향으로 감소하는 것은 아니며 인가하는 임펄스전류의 파형에 의존하게 된다. 즉 임펄스전류의 변화율에 의한 전위강하 때문에 접지임피던스는 접지저항보다 크게 된다.

3. 결과 및 검토

3.1 48[m] 봉상 접지전극과 메쉬 접지전극이 병렬 접속된 경우

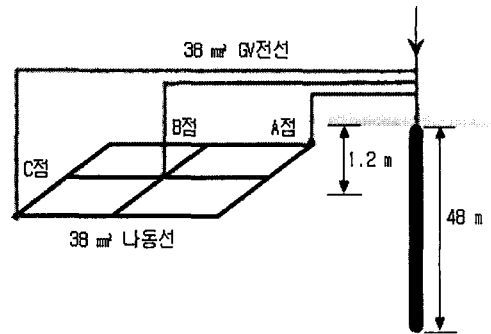


그림 3. 실험대상 접지전극의 구조
Fig. 3. Configuration of the test ground rods

접지 시공시 매설부지가 좁은 경우 낮은 접지저항을 얻기 위해서는 매설지선보다는 메쉬 접지가 유리하며, 특히 건물바닥의 접지나 등전위화 접지 시공시에 많이 쓰이는 접지형태가 메쉬 접지전극이다. 48[m] 봉상 접지전극 및 이와 메쉬 접지전극의 병렬 연결시 메쉬 접지전극의 접속점을 3가지로 나누어 실험한 접지전극의 개요를 그림 3에 나타내었다. 메쉬 접지전극의 경우 뇌격전류의 인가점에 따라 실효임펄스접지임피던스의 크기 및 지속시간이 다르므로, 봉상 접지전극과 병렬 연결시 임피던스에 어떠한 변화를 보이는지 알아보았다. 임펄스 전류의 인가점은 봉상 접지전극의 직상부이며, 메쉬 접지전극

형상이 다른 접지전극에 접속된 심매설 봉상 접지전극의 임펄스접지임피던스 특성

은 지표면으로부터 1.2[m] 깊이에 매설되었다.

표 1. 48(m) 봉상 접지전극과 매쉬 접지전극의 접지저항
Table 1. Ground resistances of the 48(m) ground rod combined with ground grids

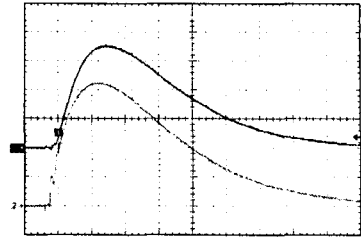
접지전극의 종류	정상상태 접지저항
48[m] 봉상 접지전극	4.62[Ω]
매쉬 접지전극 (깊이 1.2[m] 시설)	3.23[Ω]
봉상 + 매쉬 접지전극	2.71[Ω]

48[m] 봉상 접지전극과 1[m] 거리에 위치한 매쉬 접지전극의 접지저항의 측정값을 표 1에 나타내었다. 접지저항의 경우 48[m] 봉상 접지전극보다 매쉬 접지전극의 경우가 더 낮게 측정되었다. 또한 두 전극을 병렬 연결할 때 접지저항은 더 낮아졌다.

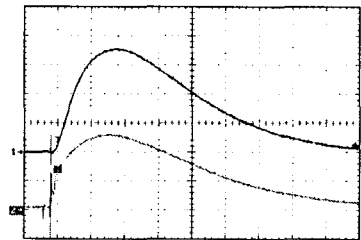
그림 4는 48[m] 봉상 접지전극만을 설치한 경우 및 이와 1.2[m] 깊이에 시공된 매쉬 접지전극을 병렬 연결한 경우 인가전류와 전극의 전위 파형을 나타내고 있다.

인가한 임펄스전류의 피크값과 상승시간은 각각 180[A]와 약 8[μs]이다. 그림 4(a)에서 접지전극에 나타난 전위 파형의 상승시간은 인가전류의 상승시간보다 약간 빠르게 나타났다. 이러한 인가전류와 전위 파형의 상승시간의 차이는 심매설 봉상 접지전극의 임피던스가 저항성분과 인덕턴스성분으로 이루어졌기 때문이며, 인덕턴스 성분이 크게 작용하게 되면 위상차는 더욱 커지게 된다. 즉 인가전류와 전위의 상승시간 및 크기는 접지전극의 길이에 따라 달라지므로 동일한 파형의 임펄스전류에 대한 접지 임피던스의 평가는 매우 어렵다. 조합형 임펄스전압/전류발생기의 출력인 임펄스전류는 충전용 커패시터의 정전용량, 접지저항과 측정대상 접지전극의 인덕턴스에 따라 약간 변동하게 된다[10].

일반적으로 접지전극의 길이가 길어지면 접지저항은 작아지고 인덕턴스가 증가하므로 전위의 최대값은 감소하고, 최대값까지의 소요시간은 인가전류의 상승시간 보다 짧아진다. 또한 그림 4(b)의 전압 파형은 파두부분이 비교적 완만하고 전류와의 위상차가 크지 않아 병렬전극 전체의 리액턴스 성분이 줄어 대부분 저항성분으로 나타나는 것을 알 수 있다.



(a) 48(m) 봉상 접지전극



(b) 48(m) 봉상 접지전극 + 매쉬 접지전극

1 : 접지전극의 전위상승 500(V/div), 10(μs/div)
2 : 인가전류 50(A/div), 10(μs/div)

그림 4. 48(m) 봉상 접지전극과 매쉬 접지전극의 인가전류와 접지전극의 전위 파형의 예

Fig. 4. Typical waveforms of the applied current and potential of 48(m) ground rod combined with ground grids

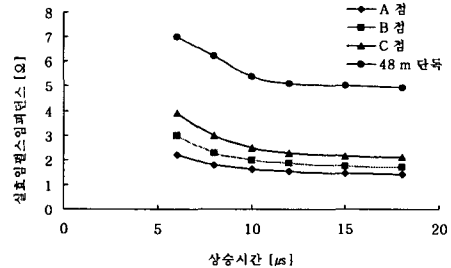


그림 5. 인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스접지임피던스

Fig. 5. Effective impulse ground impedances according to the rise time of incident current

임펄스전류의 상승시간에 따른 접지전극의 실효 임펄스접지임피던스를 측정하여 접지전극의 길이를 파라미터로 도시한 결과를 그림 5에 나타내었다. 접지시스템의 근본목적은 계통의 고장전류나 뇌격전류가 유입시 접지전극의 전위를 최대한 낮게 유지하

는 것이다. 따라서 이상전류의 유입시 전위상승이 낮은 것일수록 우수한 특성의 접지시스템이며, 접지전위가 가장 높았을 때가 가장 위험한 조건이며, 검토의 대상으로 된다. 측정용 임펄스전류의 상승시간은 접지전극의 길이와 전류보조전극까지의 접속선의 인덕턴스에 의하여 제한된다. 접지시스템의 임펄스전류에 대한 실효임펄스접지임피던스는 인가전류의 상승시간과 접지전극의 길이에 따라 변화하며, 고주파 성분을 주로 포함하는 전류 인가시 실효임펄스접지임피던스는 증가하였지만, 상승폭은 48[m] 봉상 접지전극의 경우보다 크지 않음을 알 수 있다. 매쉬 접지전극의 접속점 C의 경우는 접속도선의 인덕턴스 영향으로 상승폭이 가장 컸으며, 봉상 접지전극과 가장 가까운 거리에 있는 A점의 경우 변화율이 적은 것을 알 수 있다.

3.2 30[m] 봉상 접지전극 및 이와 침부 매설지선이 병렬 접속된 경우

심매설 봉상 접지전극과 침부 매설지선을 병렬로 접속할 경우 그 형태에 따라 나타나는 실효임펄스접지임피던스 특성을 알아보기 위해 침부 매설지선을 방사상으로 시설하였다. 침부 매설지선의 본체는 스테인레스 스틸의 재질의 중공봉이며, 내측에는 알루미늄으로 내장되고 그 안에는 폴리에틸렌으로 충전되어 있다. 접지봉을 중심으로 측면에 바늘 모양의 침전극이 추가된 형태이며, 실험용 접지전극의 배치도를 그림 6에 나타내었다.

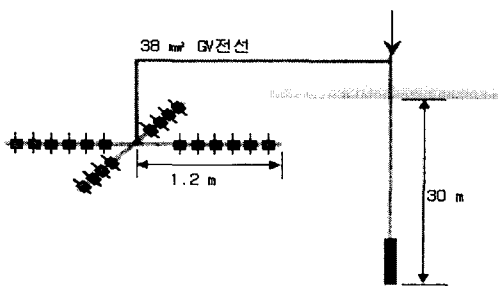


그림 6. 실험대상 접지전극의 배치
Fig. 6. Arrangement of the test ground rods

실험용 접지전극의 접지저항을 표 2에 나타내었으며, 일반적인 매설지선과 비교했을 때 큰 차이가

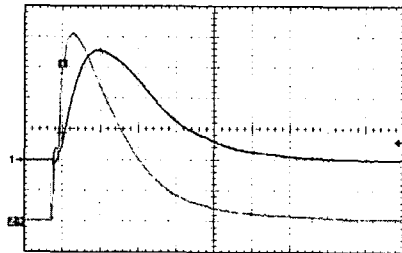
없었으며, 병렬 연결된 접지전극에서도 침극의 영향은 나타나지 않았다.

침부 매설지선과 30[m] 봉상 접지전극의 병렬 연결시 측정된 인가전류와 전극의 전위상승 파형을 그림 7에 나타내었다.

표 2. 30[m] 봉상 접지전극과 침부 매설지선의 정상상태 접지저항
Table 2. Ground resistance of the test ground rod combined with counterpoise having needles

접지전극의 종류	정상상태 접지저항
30[m] 봉상 접지전극	3.1[Ω]
침부 매설지선	24.6[Ω]
봉상 + 매설지선	2.8[Ω]

인가전류의 상승시간에 따른 실효임펄스접지임피던스의 분포를 그림 8에 나타내었다. 매설지선의 설치 수에 따라 전위상승도 다르게 나타나기 때문에 매설지선의 설치 수의 증가에 따라 실효임펄스접지임피던스의 좋은 과도특성을 얻기 위한 방법으로는 그다지 커다란 효과가 나타나지는 않았다. 침부 매설지선을 접속하는 접속선(lead wire)의 영향 때문에 상승시간이 짧은 영역에서는 임펄스접지임피던스의 감쇠는 거의 나타나지 않았다. 그러나 인가전류의 상승시간이 10[μs] 이상의 범위에서는 접지임피던스가 다소 감쇠하는 결과로 나타났다.



1 : 인가전류 50(A/div), 10(μs/div)
2 : 전위상승 100(V/div), 10(μs/div)

그림 7. 30[m] 봉상 접지전극과 침부 매설지선이 접속된 경우 인가전류와 접지전극의 전위 파형
Fig. 7. Typical waveforms of the applied current and potential in the case of 30[m] ground rod combined with counterpoises having needles

형상이 다른 접지전극에 접속된 심매설 봉상 접지전극의 임펄스접지임피던스 특성

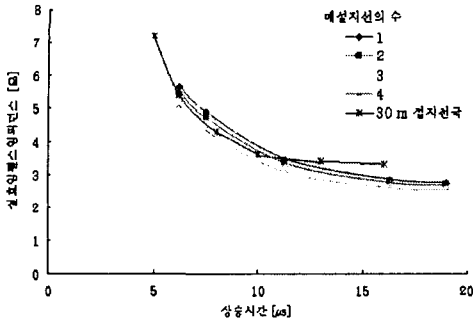


그림 8. 인가전류의 상승시간에 따른
실효임펄스접지임피던스

Fig. 8. Distribution of effective impulse ground impedance as a function of the rise time of incident current

4. 결 론

본 연구에서는 도심이나 협소한 장소에서 주로 사용되는 심매설 봉상 접지전극에 임펄스전류가 인가된 경우 접지전극에 나타나는 전위상승과 실효임펄스접지임피던스의 특성을 측정하고 분석하였다. 특히 심매설 봉상 접지전극에 메쉬 접지전극을 병행해서 설치하는 것이 임펄스접지임피던스의 저감에 매우 효과적이었다. 병렬로 조합하는 매설지선의 수를 늘리면 실효임펄스접지임피던스는 감소하였으나 그다지 현저한 효과가 나타나지는 않았다. 특히 뇌보 호용 접지전극으로 심매설 봉상 접지전극을 사용하는 경우 메쉬형의 보조접지전극을 병렬로 최단거리 에 설치하는 것이 바람직한 것으로 판명되었다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 지원·육성사업에 의해 작성되었습니다.

References

[1] N.Fujimoto, E. P. Dick, S. A. Boggs and G. L. Ford, "Transient Ground Potential Rise in Gas-Insulated Substations-Experimental Studies", IEEE Trans., Vol.PAS-101, No.10, pp.3603~3609, 1982.
 [2] S. Karaki, et al, "Transient Impedance of GIS Grounding Grid", IEEE Trans., Vol.PD-10, No.2, pp.723~738, 1995.
 [3] T. Takahashi, "A Part of Grounding for Lightning Protection Technique", J. of the Institute of Electrical

Installation Engineers of Japan, Vol.9, pp.671~676, 1989.9.
 [4] J. H. Bogensperger, J. Frei and S. Pack, "Resistance of Grounding Systems Stationary and Transient Behavior", Proc. 9th international Symposium on High Voltage Engineering, pp.6715-1~4, 1995.9.
 [5] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp.1731, 1991.
 [6] Z. Stojkovic, M.S. Savic, J.M. Nahman, D. Salamon and B. Bukorovic, "Sensitivity Analysis of Experimentally Determined Grounding Grid Impulse Characteristics", IEEE Trans., Vol. PD-13, No. 4, pp.1136~1141, 1998.
 [7] B. H. Lee, J. S. Park and S. C. Lee, "Experimental Investigations of Transient Impedances of Some Grounding Systems", 1997 Japan-Korea Joint Syms. ED & HVE, pp.237~240, 1997.
 [8] B. R. Gupta and B. Thapar, "Impulse Impedance of Grounding Grids", IEEE Trans. Vol.PAS-99, No.6, pp.214~218, 1980.
 [9] M. Ramamoorthy, M. M. Babu Narayanan, S. Parameswaran and D. Mukhedkar, "Transient Performance of Grounding Grids", IEEE Trans. Vol.PD-4, pp.2053~2058, No.4, 1989.
 [10] 이복희 외, "조항형 써지전압·전류발생기의 제작과 특성", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문지, Vol.C, pp1876~1878, 1996.7.

◇ 저자소개 ◇

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기 컴퓨터공학부 교수. Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : bhlee@inha.ac.kr

이수봉 (李守偉)

1979년 4월 13일생. 2002년 경남대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. Tel. (032) 860-8847, Fax. (032) 863-5822, e-mail : lsbong1@naver.com

장근철 (張根喆)

1976년 10월 12일생. 2002년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 근무. Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : dothebest95@hotmail.net