

수조모델을 이용한 구조체의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교

(Comparison of Measured Data and Theoretical Results for Potential Rise of Structure
Using Electrolytic Tank Model)

길형준* · 김동우 · 최충석 · 이복희

(Hyoun-Jun Gil · Dong-Woo Kim · Chung-Seog Choi · Bok-Hee Lee)

요 약

본 논문에서는 구조체의 전위상승에 대해 수조실험장치에 의한 측정값과 CDEGS 프로그램에 의한 계산값의 비교를 나타낸다. 시험전류가 구조체 모형을 통해 흐를 때, 실시간으로 수조실험장치를 이용하여 구조체의 유형에 따른 전위상승이 측정 및 분석되었고, CDEGS 프로그램에 의해 계산되었다. 구조체 모형은 160 : 1의 축척으로 4가지 유형에 대해 설계 및 제작되었다. 측정값과 계산값이 비교되었을 때, 유사한 분포를 나타내었으며 이를 통해 측정의 신뢰성을 얻게 되었다. 망상형 철골구조로서 전기적 케이지 방식인 구조체 모형 B에서 가장 낮은 전위상승이 발생하였으며, 전위상승 분포는 구조체에 부착된 콘크리트의 저항률 및 흡수율에 의존하는 특성을 나타내었다.

Abstract

This paper presents a comparison of experimental value by electrolytic tank experimental apparatus and calculated value by CDEGS program for potential rise of structure. When a test current flowed through structure models, potential rise was measured and analyzed for types of structure using the electrolytic tank experimental apparatus in real time, and was computed by means of CDEGS program. The structure models were designed and fabricated with four types on a scale of one-one hundred sixty. When the experimental data were compared with the theoretical values, the similar profile was shown. Therefore, the confidence of measurement was obtained. Potential rise was the lowest value at electric cage type(structure model B). The distributions of potential rise are dependent on the resistivity and absorption percentage in concrete attached to structure.

Key Words : Electrolytic tank experimental apparatus, Potential rise, Structure model

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3034, Fax : 031-580-3045
E-mail : fa523@paran.com
접수일자 : 2006년 2월 14일
1차심사 : 2006년 2월 16일
심사완료 : 2006년 2월 28일

1. 서 론

IT 사회로의 발달과 더불어 전자·통신기기가 전력계통에 광범위하게 설치되면서 산업설비, 금융, 행

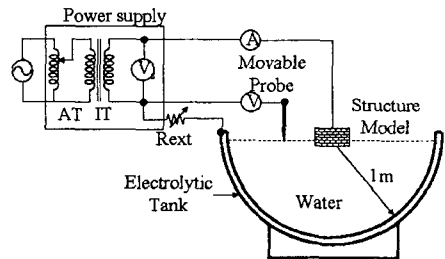
정, 건축물 등 대부분의 사회시스템이 정보통신망과 연계되어 있다. 이와 관련한 접지방식에 대해 외국의 국제규격 등을 보면 중전에 비해 키워드가 상당히 변하고 있음을 알 수 있다. 즉 접지라고 하면 중전의 경우 접지저항이라는 용어를 연상하였으나 최근에는 기준접지, 등전위 접지, GPR, EMI, EMC 등의 용어가 많이 등장하고 있다. 접지에 관한 설계기준은 나라마다 약간의 차이를 보이고 있으나, 근본적으로는 인체에 대한 감전위험을 피하고 설비간의 안정적인 가동이라는 측면에서 차이는 없다. 그러나 국내에서는 아직도 전기설비기술기준에서 접지공사의 종류에 따른 접지저항의 기준을 주로 제시하고 있는데, 과전압에 대한 인체의 감전보호와 전자·통신기기의 오동작이나 파손을 방지하기 위해서는 접지를 시스템적으로 파악하여 접지효과를 최적으로 발휘할 수 있게 하여야 하며 접지시스템의 성능을 단지 접지저항이 아니라 대지전위상승, 접촉전압, 보폭전압 등 위험전압으로 파악할 필요가 있다[1-5].

현재 국내에서도 WTO/TBT 협정에 따른 국제기준과의 조화를 위해 법규로서의 기술기준은 간소화·국제화하고 보완조치로서 국제표준을 활용하도록 전기설비기술기준의 국제화 개편 추진이 활발히 진행중에 있다. 따라서 본 연구에서는 정부의 국제표준화 정책에 부합하여 건축물 구조체의 등전위 접속에 대한 전기적 안정성 평가를 위해 수조실험장치 및 CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada) 접지설계 프로그램을 이용한 전위상승의 해석이 이루어졌으며 향후 분석된 자료는 대지전위상승에 따른 감전사고의 감소뿐만 아니라 설비의 안정적 가동 측면에서도 활용될 수 있을 것이다.

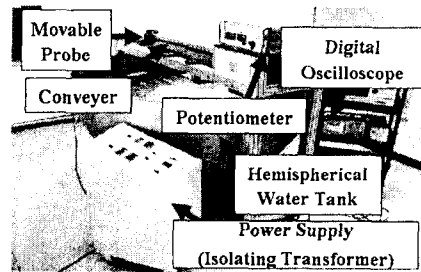
2. 실험장치 및 방법

수조실험장치는 지락전류를 일정하게 발생하기 위한 교류전원공급장치, 측정점의 궤적과 전위상승을 측정하는 이송형 전위계측장치, 준무한 대지를 모의하기 위한 수조, 구조체 모형 등으로 구성하였으며, 수조실험장치의 측정회로 및 외형을 그림 1에 나타내었다.

수조의 재질은 스테인리스이며 직경은 2[m]이고, 수조에는 접지를 시설하였다. 220[V]의 전원계로 고장전류의 분리 및 측정시 안전을 고려하여 절연변압기를 사용하였고, 고장전류의 가변을 위한 전압조정기(AT : Auto-Transformer)가 포함되어 있다. 그림 1 (a)에서 가변저항은 교류전원발생장치에서 지락전류 발생시 전류를 제한하기 위해 설치한 것으로 6.04[Ω]으로 설정하였다. 인가전압을 지시하는 전압계(Vs)는 시험접지전극과 무한원점간의 전압이 얼마인지를 모의하기 위한 것이며 전압계(V)는 프로브와 무한원점간의 대지전위를 나타낸다. 또한 전류계(A)는 시험접지전극과 무한원점 사이에 흐르는 전류를 나타내며, V/I의 비로서 준무한 대지에 매설된 접지전극의 접지저항이 구해진다[6-8].



(a) 측정회로



(b) 외형

그림 1. 수조실험장치의 측정회로 및 외형
Fig. 1. Measuring circuit and shape of electrolytic tank experimental apparatus

전위상승을 측정하기 위한 프로브는 이송형 전위계측장치에 장착되어 있으며 물의 표면 혹은 내부의 전위를 측정하기 위한 것이고 콘베이어를 통해 이송되며, 전위계측장치에서 프로브의 이동궤적이 표시

수조모형을 이용한 구조체의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교

된다. 전위계측장치 모터의 가변속도범위는 0~0.01[m/s]이며 프로브의 재질은 직경 5.1[mm]의 동봉을 사용하였으며 프로브를 지지물로 완전히 고정시켜 이송시 흔들림이나 기울어짐이 발생하지 않도록 하였다. 측정시의 물의 저항률은 36.8[Ω·m]이며 수저항률계(CM-21P, Japan)로 측정하였다.

그림 2는 구조체를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위한 구조체 지지대의 사진이다. 구조체의 무게가 6~8[kg]으로 매우 무거운 상태이므로 이를 지지하여 수조탱크내에 장착하기 위해서는 구조체 지지대가 필요하였다. 구조체를 설치하여 수조탱크내에 장착한 후 지락전류를 인가할 때 전류가 지지대, 제어부 등으로 유입되는 것을 방지하기 위해 지지대 말단부분에 절연재료를 사용하였다.

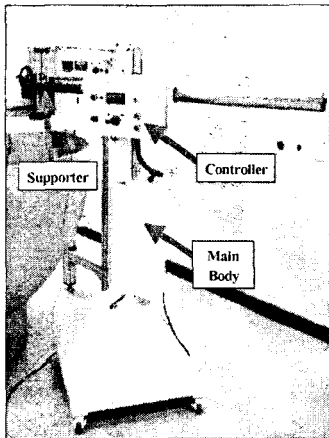


그림 2. 구조체 지지대의 사진
Fig. 2. Photograph of supporter

본 연구에서는 실제 건축물 구조체를 모의하기 위해 가로×세로×높이가 38[m]×19[m]×26[m]인 건축물을 160 : 1로 축소한 240[mm]×120[mm]×160[mm] 구조체의 유형 및 콘크리트 배합비를 달리 하여 4가지 유형으로 설계 및 제작하였으며 지락전류 발생시 전위분포를 분석하고자 하였다. 그림 3은 4가지 유형의 구조체 모형을 나타내며 구조체의 기본 골격은 정사각형 형상의 3[mm] 두께의 스테인리스로 제작되었으며 각 골격사이의 간격은 약 20[mm]이다. 스테인리스로 제작한 이유는 수조실험장치에 장착하여 지락전류를 인가시 전기분해에 의한 부식에 강하

기 때문에 상기 재료를 선택하였다.

또한 산업안전기준에 관한 규칙 제357조(피뢰침의 설치)와 이 규정에 의거한 건축물 등의 피뢰설비 설치에 관한 기술지침에서 철재 기둥을 지표면으로부터 3[m] 이상의 깊이로 매설하도록 규정되어 이를 참조하여 구조체의 매설깊이를 18.8[mm]로 하였으며, 전위상승 측정시 프로브의 이동에 방해가 되지 않도록 프로브로부터 수평방향으로 25[mm] 이격되도록 구조체 모형을 설치하였다.

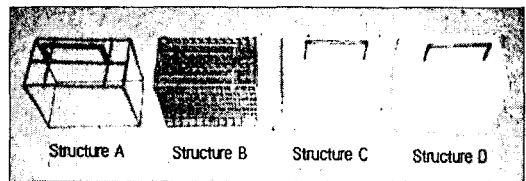


그림 3. 구조체 모형의 사진
Fig. 3. Photographs of structure models

표 1에 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률의 관계를 나타내었다[9]. 콘크리트는 일종의 암석과 같이 생각되지만 특히 콘크리트가 대지에 매입되어 있는 경우 암석에 비해서 흡수율이 크기 때문에 전기 저항률은 상당히 낮은 편으로 대략 40~80[Ω·m] 정도이다.

표 1. 콘크리트의 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률
Table 1. Resistivity by mixture ratio and absorption percentage of concrete

콘크리트의 배합비 (시멘트 : 모래 : 자갈)	흡수율[%]	전기저항률 [Ω·m]
구조체 C(1 : 2 : 0)	16.1	37.9
구조체 D(1 : 2 : 4)	6.2	51.6

3. 결과 및 고찰

3.1 구조체 골격에 따른 전위분포

수조실험장치를 이용한 전위상승 측정과정에 대해 살펴보면, 우선 구조체를 구조체 지지대에 설치하고 이를 수조탱크 중심부까지 이송시킨 후 수면아래에 장착한 후 교류전원공급장치를 이용해 모든 실

험용 구조체 중심부에 1[A]의 지락전류를 동일하게 흘려주었다. 또한 CDEGS 접지설계 프로그램을 이용한 해석에 있어서, 구조체 모형 A 및 B의 경우 제작된 구조체의 바닥면과 동일한 형상의 망상형 접지전극을 모의하였고, 구조체 모형 C 및 D의 경우 망상형 접지전극에 두께 20[mm]의 콘크리트로 마감처리되고 표 3에 나타난 전기저항률을 갖는 모델을 사용하여 전위상승을 해석하였다. CDEGS 접지설계 프로그램은 접지전극 및 대지구조의 해석용으로 대지에 매설되는 접지전극을 모의하기 때문에 망상형 접지전극을 해석 모델로 선정하였다.

구조체 모형 A의 전위상승에 대한 수조실험장치를 이용한 측정값과 CDEGS 접지해석 프로그램을 이용한 계산값의 비교분포를 그림 4에 나타내었다.

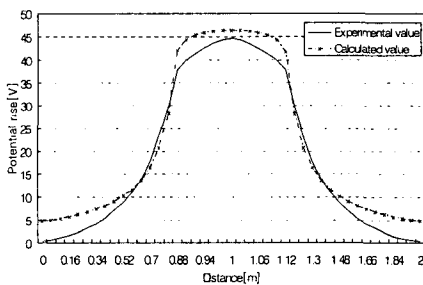


그림 4. 구조체 모형 A의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
 Fig. 4. A comparison of experimental value and calculated value for potential rise of structure model A

구조체 모형 A는 외부 골격만 있는 유형 즉, 직육면체의 각 변만 스테인리스 골격으로 된 형상이다. 측정값의 경우, 최대값은 수조의 중심점인 1[m] 지점에서 발생하였으며 그 값은 1[A]당 44.7[V]이다. 또한 프로그램 해석결과, 최대값은 중심점에서 46.4[V]로 측정값보다 1.7[V] 높게 나타났으며 이를 통해 측정의 신뢰도를 검증하였다. 거리에 따른 전위분포는 수조탱크 중심점을 기준으로 좌우대칭의 \cap 형상을 나타내었다.

구조체 모형 B는 내부 및 외부를 망상형 철골구조의 형상으로 제작한 것이다. 구조체 모형 B의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교를 그림 5에 나

타내었다. 측정값의 최대 전위상승은 40.5[V]이고 계산값의 경우 46.1[V]로 나타났다. 구조체 모형 B가 구조체 모형 A보다 더 낮은 전위상승을 나타냈으며 구조체 모형이 설치된 0.88~1.12[m]에서도 더 완만한 전위경도를 나타내었다. 따라서 건축물 구조체를 설치할 때 인체보호 및 설비안정화를 위해서는 철골 구조 방식이 효과적인 것으로 나타났다.

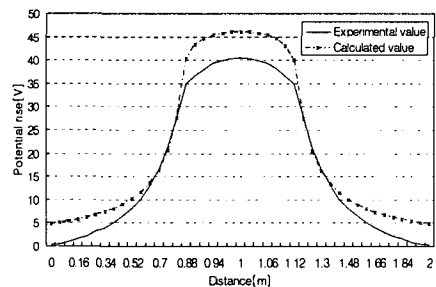


그림 5. 구조체 모형 B의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
 Fig. 5. A comparison of experimental value and calculated value for potential rise of structure model B

3.2 콘크리트 배합비에 따른 전위분포

구조체 모형 C는 구조체 모형 B를 기본 골격으로 하여 시멘트 : 모래 = 1 : 2의 비율로 외부 두께 약 20[mm]의 콘크리트로 둘러 쌓은 구조로 실제 건축물과 유사한 형상이다. 이 모형의 무게는 약 6.65[kg] 정도이다. 그림 6은 구조체 모형 C의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교 분포를 나타내며, 측정값의 경우 최대값은 42.2[V], 계산값의 최대값은 46.8[V]로 나타났다. 실험장치에 의한 구조체 모형의 전위분포와 프로그램에 의한 망상형 접지전극의 전위분포가 약간의 오차는 있지만 상호 유사한 양상을 나타내었으며, 건축물이 철골 구조인 경우는 망상형 접지전극과 유사한 등전위 효과를 나타내므로 건축물의 설계 및 시공시 이를 참조하여 중복된 공사 비용이 발생되지 않도록 하는 것이 바람직하다.

CDEGS 접지설계 프로그램 해석상의 망상형 접지전극에 콘크리트가 시설된 모델은 지락전류가 지중으로 직접 유입되어 접지전극 중심부에서 방사상으

수조모형을 이용한 구조체의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교

로 흐르는 것을 알 수 있으며 수조실험장치를 이용한 구조체의 경우 구조체 상부에서 방사상으로 고르게 지락전류가 흘러 최종적으로 대지로 흘러나가는 분포를 나타낸다고 할 수 있으며 이를 그림 7에 나타내었다.

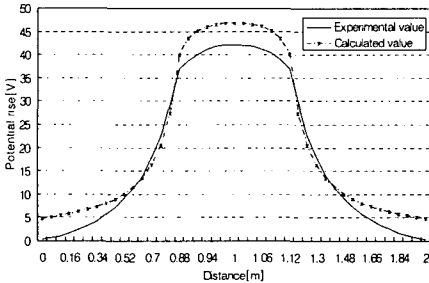


그림 6. 구조체 모형 C의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
 Fig. 6. A comparison of experimental value and calculated value for potential rise of structure model C

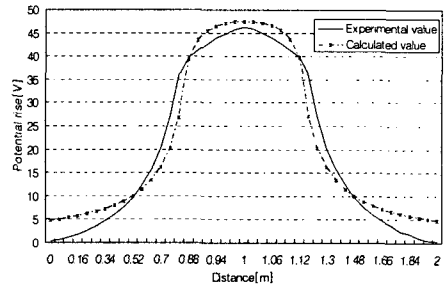


그림 8. 구조체 모형 D의 전위상승에 대한 측정값과 계산값의 비교
 Fig. 8. A comparison of experimental value and calculated value for potential rise of structure model D

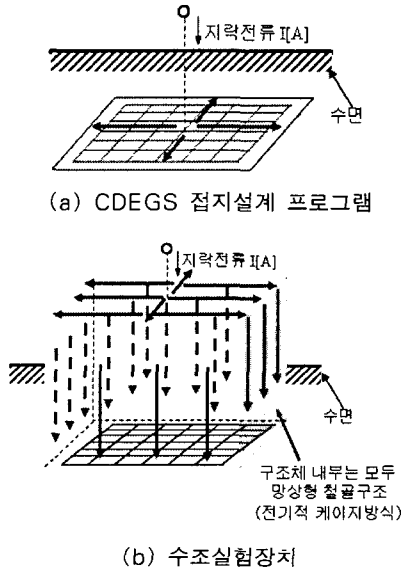


그림 7. 지락전류 분포
 Fig. 7. Distribution of earth leakage current

따라서 그림 6에서 측정값과 계산값 사이에 거의 유사한 분포이지만 분포도 최상부에서 약간의 오차가 발생하는 것은 이러한 지락전류의 흐름에 의해

발생되는 것으로 판단되며 분포도의 하반부에서의 전위상승의 오차는 CDEGS 접지설계 프로그램의 경우 기준전위를 무한대지로 가정하여 평가하는데 반해 수조실험장치의 경우 반구형 수조의 중앙에서 양쪽으로 1[m] 거리까지를 0 전위로 보고 측정하였기 때문에 다소 차이가 나는 것으로 사료된다.

구조체 모형 D는 구조체 모형 B를 기본 골격으로 하여 시멘트 : 모래 : 자갈 = 1 : 2 : 4의 비율로 외부 두께 약 20[mm]의 콘크리트로 둘러 쌓은 구조이며, 구조체 모형 C와 비교할 때 콘크리트에 자갈이 더 포함된 것으로 무게가 약 7.7[kg]으로 구조체 모형 C보다 더 무거운 특성을 나타내었다. 구조체 모형 D의 측정값과 계산값의 비교 분포를 그림 8에 나타내었다. 구조체 모형 D의 측정값의 최대값은 46.2[V], 계산값의 최대값은 47.4[V]로 나타났으며 콘크리트의 흡수율 및 전기저항률에 따라 구조체 모형 C보다 전위상승이 높게 나타났다.

건축물의 구조체를 접지전극으로 적용하는 경우 건축물 구조체의 전기적 특성을 잘 평가한 후에 활용하는 것이 합리적이다. 건축물의 구조체를 접지전극으로 이용하게 되면 건축물 내에 시설되는 모든 전기·전자·통신 기기의 접지를 구조체에 접속하게 되므로 공통접지를 이루게 되어 등전위 접속이 가능해지며, 설비 안정화 및 인체 보호 측면에서 유리할 수 있다[9-10].

4. 결 론

본 논문에서는 수조실험장치와 CDEGS 접지설계 프로그램을 통해 구조체 모형에 대한 전위상승의 비교 및 분석이 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수조실험장치에 의한 전위상승의 측정값과 프로그램에 의한 계산값을 비교하였을 때, 매우 흡사한 양상을 나타내었으며, 망상형 접지전극과 구조체에 흐르는 지락전류 분포, 프로그램과 수조실험장치의 기준전위 설정 등에 의해 전위 분포도의 최상부와 하반부에서 약간의 오차가 발생한 것으로 판단된다.

(2) 구조체의 전위상승은 골격, 콘크리트 배합비 등에 따라 다른 특성을 나타내었으며 구조체 골격이 전기적 케이지 방식인 철골 구조로 이루어졌을 때 등전위화가 이루어져 망상형 접지전극과 유사한 효과를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 건축물의 구조체를 접지전극으로 사용할 때 전기적 측면 및 기계적 측면을 상호 보완하여 적합한 기계적 강도와 전기적 안정성을 얻을 수 있도록 건축물의 설계 및 시공이 이루어져야 할 것이다.

상기한 분석자료는 건축물, 전력설비 등의 접지시스템 설계에 기술자료로 이용될 수 있을 것이며 국내 전기설비기술기준의 국제화 개편에 따른 등전위 접속 구조체 접지에 대한 평가에 활용될 수 있다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Chung-Seog Choi, Hyang-Kon Kim, Hyoung-Jun Gil, Woon-Ki Han, Ki-Yeon Lee, "The Potential Gradient of Ground Surface according to Shapes of Mesh Grid Grounding Electrode Using Reduced Scale Model", IEEJ Trans. PE, Vol. 125, No. 12, pp.1170~1176, 2005.
 [2] 길형준, 최충석, 이복희, "반구형 접지모의시스템을 이용한 접지전극의 형상에 따른 내지전위상승의 분석", 대한전기학회, Vol. 54C, No. 7, pp.319~325, 2005.
 [3] IEC Pub. 1200-413, "Electrical Installations Guide, Part413 : Protection against Indirect Contact Automatic Disconnection of Supply", pp.9~19, 75~84, 1996.
 [4] IEC Pub. 364-413, "Electrical Installations of Building, Part4 : Protection for Safety, Chapter41 : Protection against Electric Shock", pp.25~37, 1999.

[5] F. Dawalibi, D. Mukedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Earth Structure : Part I-Analytical Study", IEEE Trans. PAS., Vol. PAS-94, No. 2, pp.252~261, 1975.
 [6] F. Dawalibi, D. Mukedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Earth Structure : Part II-Comparison between Theoretical and Experimental results", IEEE Trans. PAS., Vol. PAS-94, No. 2, pp.262~266, 1975.
 [7] R. Cadecott, D.G. Kasten, "Scale Model Studies of Station Grounding Grids", IEEE Trans. PAS., Vol. PAS-102, No. 3, pp.558~566, 1975.
 [8] 이복희, "접지의 핵심기초기술", 의제, pp.179~190, 2000.
 [9] Ronald P. O'Riley, "Electrical grounding", Delmar Thomson Learning, pp.1~29, 2002.
 [10] 이복희, 이승철, 엄주홍, 김효진, "보조접지전극의 시설에 의한 내지표면전위경도의 저감", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol. 16, No. 2, pp.121~129, 2002.

◇ 저자소개 ◇

길형준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 선임연구원.
 Tel : (031)580-3034, Fax : (031)580-3045
 E-mail : fa523@paran.com

김동우 (金東佑)

1972년 3월 20일생. 1996년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 연구원.
 Tel : (031)580-3036, Fax : (031)580-3045
 E-mail : kdwtk98@naver.com

최충석 (崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 1997년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 수석연구원.
 Tel : (031)580-3030, Fax : (031)580-3045
 E-mail : enetek@naver.com

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