

저압설비 플리커 특성평가를 위한 국내 저압계통 기준 임피던스 산정 연구

| |
|--------|
| 논 문 |
| 60-9-3 |

A Study on the Calculation of Reference Impedances in Domestic Low-Voltage Power System

강 문 호* · 송 양 회** · 이 흥 호†
(Moon-Ho Kang · Heung-Ho Lee)

Abstract - The reference impedances which is about 95% supply impedance value of residential consumers' supply impedances was published by IEC in 1980. The reference impedances are the standard values for use in determining the voltage disturbance characteristics of electrical equipment like the flicker. In IEC 60725, the reference impedances for premises having service current capacities less than 100A per phase and for service current capacities more than 100A per phase are recommended. And these reference impedances are targeted for the countries using 50Hz power frequency. Because of the frequency difference, the reactance values of the reference impedances will be increased in 60Hz power system like Korea, And also the reference impedances are different significantly each other according to declared voltage variation, power consumption and service wire length etc. Therefore It is needed to calculate the reference impedances suitable for domestic low-voltage power system. In this paper, the reference impedances for service current capacities less than 100A in 220/380V, 60Hz single-phase two wire and three-phase four wire low-voltage system are calculated, And the equations for service current capacities more than 100A to calculate the modulus value of maximum supply impedances are suggested base on IEC 60725 and the reference impedances for those are calculated on service current of 100A per phase.

Key Words : Reference impedance, Supply network impedance, IEC 60725, Flicker

1. 서 론

IEC(International Electrotechnical Commission)는 1980년 유럽 각국의 저압계통 임피던스를 조사하여 대다수 국가의 약 95% 저압계통 임피던스를 기준 임피던스로 선정하고 이를 IEC 60725에 발표하였다. 기준 임피던스는 개별 고객의 계통 임피던스 조사결과를 바탕으로 개별 고객 부하설비의 플리커 유출규제시험에 동일하게 사용하기 위해 규정한 임피던스를 말한다. 플리커 현상은 고객의 전력 수급점에서의 전압강하에 기인하며, 이러한 전압강하는 고객의 부하특성과 저압계통 임피던스에 직접적인 영향을 받는다. 또한 현 IEC의 플리커 한계 파라메타의 대부분은 상대 전압강하를 중요한 평가기준으로 하고 있어 저압계통 기준 임피던스는 플리커 기준을 적용할 때 그 평가결과를 결정하는 중요한 요소가 된다. 그러나 개별 고객들의 저압계통 임피던스는 변압기 임피던스, 저압선 경간, 인입선 길이 등에 따라 상이하기 때문에 이를 대표하는 기준 임피던스의 마련이 필요하다.

IEC 60725규격에는 상당 공급용량 100A 미만의 전기설비의 플리커 평가에 사용되는 단상 2선식 230V 50Hz 기준 임

피던스를 $0.4 + j0.25\Omega$, 상당 100A 이상 전기설비의 플리커 평가에 사용되는 기준 임피던스를 $0.25 + j0.25\Omega$ 으로 제시하고 있다. 그러나 IEC 60725에 규정된 기준 임피던스는 50Hz 주파수를 사용하는 국가를 대상으로 하고 있어, 국내와 같이 60Hz 주파수를 사용하는 경우 리액턴스 성분의 증가가 예상된다. 또한 각 전력회사는 전압변동 기준에 따라 고객의 전력 사용량 및 변압기에서 고객까지의 거리를 고려하여 전력선을 선정하며, 기준 임피던스는 전압변동 기준, 수용가의 전력 사용량, 수용가와 인입거리 등 저압계통의 특성에 따라 상이한 특성을 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 국내 저압계통의 지역별 특성 및 부하공급용량을 반영하여 국내 저압설비의 플리커 특성평가에 적합한 기준 임피던스를 산정하였다[1].

2. 기준 임피던스 산정

2.1 국내 저압계통 임피던스 측정

저압계통 임피던스는 그림 1과 같이 변압기 2차측 임피던스(Z_2), 저압선 임피던스(Z_c), 서비스 케이블 임피던스(Z_s)를 모두 합한 복소수 값으로 저항 성분과 리액턴스 성분으로 구성된다. 임피던스 측정장비는 여러 제품을 조사한 결과 계통 임피던스를 저항성분과 리액턴스 성분으로 구분하여 표시하고, 0.4% 이내의 오차범위에서 데이터 측정 및 저장 후 통계적 처리를 통해 임피던스 데이터를 제공하는 IMS 2500을 선정하였다.

* 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

** 정 회 원 : 지식경제부 기술표준원 정보통신표준과장

† 교신저자, 종신회원 : 충남대학교 전기공학과 교수

E-mail : leehh@cnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 6월 18일

최종완료 : 2011년 8월 4일

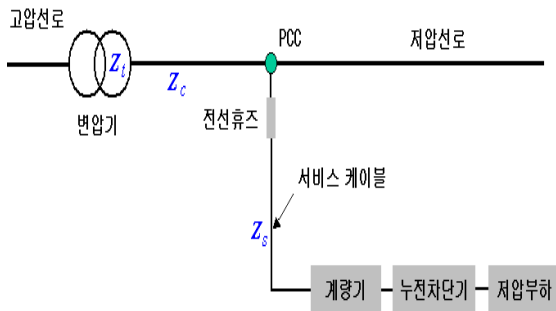


그림 1 저압계통 임피던스 구성도
Fig. 1 Configuration of System Impedance

하고 있어, 본 논문에서는 전압선과 중성선의 임피던스가 동일하다고 가정하고 임피던스를 계산하였다. 따라서 전압선의 임피던스는 식 1과 같이 R-S, S-T, T-R의 2상간의 임피던스를 측정하여 그 값을 평균하고 50%값으로 구하였고, 중성선의 임피던스는 식 2와 같이 R-N, S-N, T-N의 전압선-중성선간의 임피던스 측정 후 그 평균값에 앞에서 구한 전압선의 임피던스를 빼주어 중성선의 임피던스를 구하였다.

$$Z_{voltage} = \frac{Z_{R-S} + Z_{S-T} + Z_{T-R}}{3 \times 2} \tag{1}$$

$$Z_{Neutral} = \frac{Z_{R-N} + Z_{S-N} + Z_{T-N}}{3} - Z_{voltage} \tag{2}$$

저압계통 임피던스를 측정하기 전 수기 계산을 위해 전국 600개소의 데이터를 추출하여 컴퓨터 툴을 이용하여 임피던스를 계산하고, 그 중 경제성과 현장여건을 고려하여 전국 319개소를 측정대상으로 하였다. 지역별 특성과 부하특성을 고려하여 선정된 측정개소를 표 1에 나타내었다.

표 1 저압계통 임피던스 측정 개소
Table 1 Measurement Points for System Impedance

| 지역구분 | 주택용 수용가 (단상 변압기) | | 일반용 수용가 (삼상 변압기) | | 소 계 |
|------|------------------|--------|------------------|--------|-----|
| | 도심 지역 | 농어촌 지역 | 도심 지역 | 농어촌 지역 | |
| 서울지역 | 36 | | 41 | | 77 |
| 경기지역 | | 14 | | | 14 |
| 충남지역 | | 102 | | 33 | 135 |
| 경북지역 | | 11 | | 4 | 15 |
| 강원지역 | | 57 | | 21 | 78 |
| 소 계 | 36 | 184 | 41 | 58 | 319 |



그림 2 임피던스 측정장치
Fig. 2 Impedance Measurement Equipment

실제 고객건물 내부의 각 저압단자에서 본 측정장치를 이용하여 임피던스 측정된 결과 저압단자별로 모두 상이한 값이 나타났으며, 건물 내부 전선의 길이를 정확히 파악할 수 없었다. 따라서 각 수용가별로 독립적인 임피던스를 제공하는 측정위치의 선정이 필요하였으며, 이를 위해 전기수급 계약상 고객과 저압계통을 구분하는 위치로 측정 편의성과 접근성을 고려하여 전력량계 1차측을 측정위치로 선정하였다.

저압계통의 임피던스는 단상 고객의 경우, 전압선과 중성선이 모두 동일 굵기와 구성으로 구성되어 있어 전압선과 중성선의 임피던스가 동일하다고 가정하고 데이터를 취득하였으며, 삼상 고객의 경우에도 불평형 전류와 3차 고조파 전류에 의한 영향으로 중성선을 전압선과 동일한 굵기를 사용

선정된 전국 319개 측정대상에 대해 각각 임피던스를 측정하고, 측정 데이터를 임피던스(Z), 저항성분(R) 및 리액턴스성분(X)에 따라 분류하여 산포도를 구성하고 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

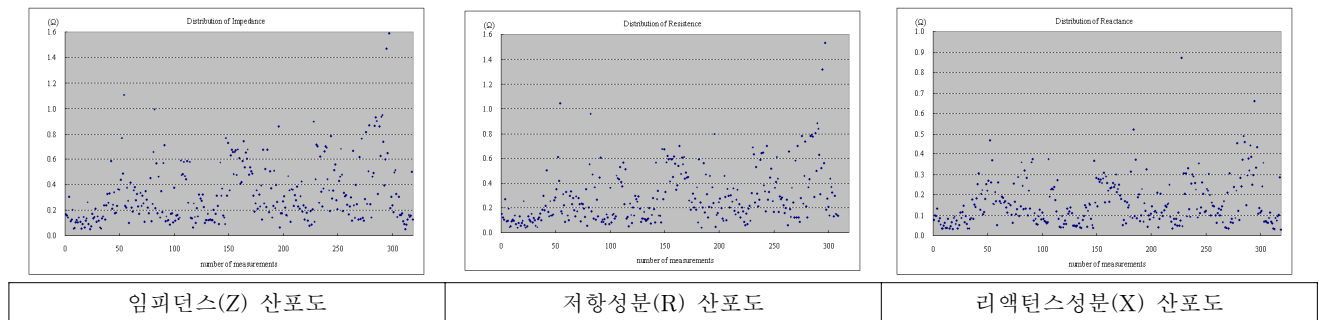


그림 3 측정 임피던스 산포도
Fig. 3 Distribution Map of Impedance, Resistance and Reactance

2.2 국내 저압계통 기준 임피던스 산정

IEC 60725규격에 기준 임피던스는 전체 저압계통 임피던스의 약 95%에 해당하는 계통 임피던스 값으로 규정하고 있다. 따라서 국내 220V, 60Hz 저압계통 기준 임피던스를 산정하기 위해 누적확률분포를 이용하여 95%에 해당하는 기준 임피던스를 산출하였다. 측정된 저압계통 임피던스(Z)를 바탕으로 95% 및 98% 누적 확률값을 산정하는 과정을 그림 4에 나타내었다.

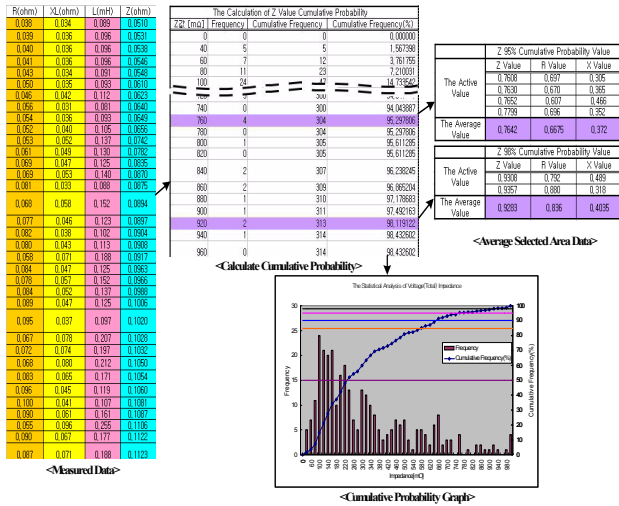


그림 4 기준 임피던스 산출 흐름도
Fig. 4 Calculation Flow for Reference Impedance

국내 저압계통의 임피던스 분포를 확인하기 위해 전체 측정 데이터를 바탕으로 90% 임피던스 값, 95% 임피던스 값 그리고 98% 임피던스 값을 누적 분포도를 이용하여 구하였으며, 각각에 대한 누적 분포도를 그림 5에 나타내었다.

전국 319개소에서 측정한 저압계통 임피던스 누적분포 결과를 바탕으로 단상 2선식 저압계통의 임피던스를 표 2에 나타내었다. 표를 통해 국내 단상 2선식 저압계통의 기준 임피던스는 0.67 + j0.37Ω으로 산정되었다[2].

표 2 국내 저압계통 임피던스

Table 2 System Impedance of LV System

| 구분 | | 90% | 95% | 98% |
|------|-----|--------------|--------------|--------------|
| Z | 전압선 | 0.290+j0.148 | 0.334+j0.186 | 0.418+j0.202 |
| | 중성선 | 0.290+j0.148 | 0.334+j0.186 | 0.418+j0.202 |
| | 소계 | 0.579+j0.596 | 0.668+j0.372 | 0.836+j0.404 |
| R, X | 전압선 | 0.295+j0.148 | 0.335+j0.184 | 0.403+j0.220 |
| | 중성선 | 0.295+j0.148 | 0.335+j0.184 | 0.403+j0.220 |
| | 소계 | 0.589+j0.296 | 0.669+j0.367 | 0.805+j0.440 |

지금까지 실제 측정 데이터를 통해 산출한 저압계통 임피던스는 단상 2선식으로 상당 공급용량 100A미만 전기설비의 플리커 평가에 사용되는 기준 임피던스 값이다. 동일 공급용량에서 3상 4선식 기준 임피던스는 고조파 및 불평형 전류의 증가에 따라 전압선과 중성선이 동일한 굵기로 사용되고 있어, 전압선과 중성선의 임피던스는 동일하다고 가정하고 계산하였다. 또한 변압기 임피던스는 고객 전력공급에 사용되는 일반형 주상변압기 20 ~ 100kVA를 대상으로 계산하고 그 평균값을 사용하였으면 계산 결과는 표 3과 같다.

표 3 변압기 임피던스

Table 3 Transformer Impedance

| 구분 | 변압기 용량[kVA] | | | | | |
|----------|-------------|--------|--------|--------|--------|------|
| | 20 | 30 | 50 | 75 | 100 | 평균값 |
| %Z | 2.8 | 2.8 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | - |
| 임피던스 [Ω] | 0.0678 | 0.0452 | 0.0310 | 0.0207 | 0.0155 | 0.04 |

단상 2선식 기준 임피던스 0.67 + j0.37Ω은 전압선과 중성선 임피던스에 변압기 내부 임피던스를 포함한 값이므로, 3상 4선식 전압선 임피던스는 기준 임피던스의 허수부에서 변압기 리액턴스(j0.04) 부분을 분리한 후 그 50%값으로 구하고, 중성선의 임피던스는 기준 임피던스에서 전압선 임피던스를 차감하여 구하였다. 그 결과는 아래와 같다.

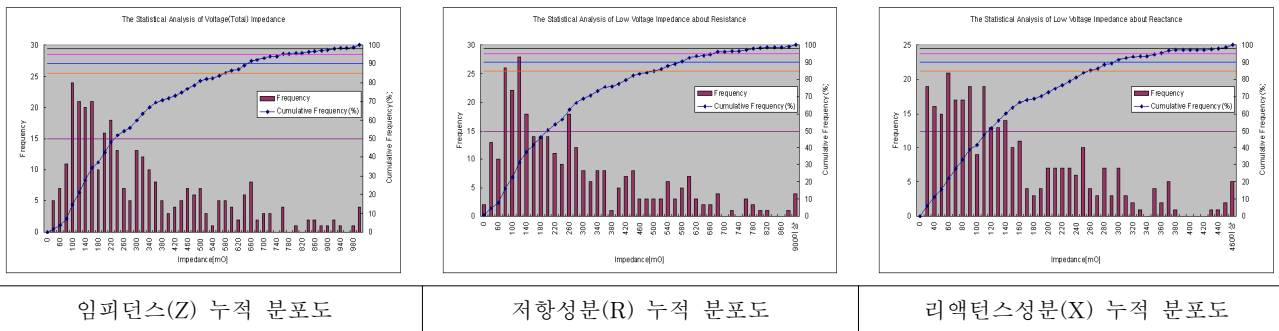


그림 5 저압계통 임피던스 분포도
Fig. 5 Accumulated Distribution Chart of Impedance, Resistance and Reactance

$$\begin{aligned} Z_{ref} &= 0.67 + j0.37 = 0.67 + j0.33 + j0.04 \\ Z_{ref, \text{ 전압선}} &= (0.67+j0.33)/2 + j0.04 = 0.33 + j0.20\Omega \\ Z_{ref, \text{ 중성선}} &= Z_{ref} - Z_{ref, \text{ 전압선}} \\ &= (0.67 - 0.33) + j(0.37 - 0.20) \\ &= 0.34 + j0.17\Omega \end{aligned}$$

또한 IEC 60725의 부속서 A에는 상당 공급용량이 100A 이상 전기설비의 플리커 특성평가에 필요한 단상 및 3상 저압계통 최대 임피던스 계산 방법이 제시되어 있으며, 최대 임피던스 계산에 사용되는 모델은 그림 6과 같다[3].

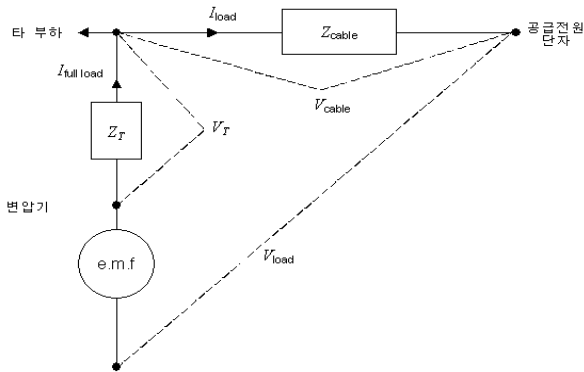


그림 6 IEC 60725 대용량 고객 최대 임피던스 계산 모델
Fig. 6 Model used for determining the impedance of LV System

계산 모델을 바탕으로 IEC에서 제시한 저압계통 상도체 (Z_{cable})의 전압(U_{cable})은 아래의 식 3과 같다.

$$U_{cable} = \frac{U_{dec}}{100} \left[R_{range} - U_{reg} \left(1 + \frac{R_{up}}{100} \right) \right] \quad (3)$$

여기서 U_{dec} 는 공칭전압, R_{range} 는 공칭전압 변동폭, U_{reg} 는 변압기 전압 변동율, R_{up} 은 공칭전압 상향 변동율을 의미한다. 따라서 3상 4선식 전압선의 최대 임피던스는 위의 식 3을 상당 부하전류로 나누고 변압기 임피던스를 더하여 구할 수 있으며, 계산식은 아래의 식 4와 같다.

$$Z_{sys3} = \frac{U_{dec}}{100 \times I_{load}} \times \left[R_{range} - U_{reg} \left(1 + \frac{R_{up}}{100} \right) \right] + Z_T \quad (4)$$

국내 3상 4선식 저압계통 공칭전압 및 전압 변동율은 220V/380V ± 10%이고, 변압기 전압 변동율(U_{reg})은 주상변압기의 최대값 2.0%, 부하전류가 100A인 조건에서 국내 3상 4선식 전압선의 최대 임피던스를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{sys3} &= \frac{220}{100 \times 100} \times \left[20 - 2 \left(1 + \frac{10}{100} \right) \right] + 0.04 \\ &= 0.43 \Omega \end{aligned}$$

95%에 해당하는 기준 임피던스를 산출하기 위해 IEC 60725 부속서 A.5에 기술된 보정계수를 0.95로 가정하여 적

용하면, 상당 공급용량 100A 이상 저압 전기설비의 플리커 특성평가에 적합한 3상 4선식 기준 임피던스를 계산하면 0.41Ω이 된다.

또한 단상 2선식 저압계통 임피던스는 중성선 부분을 포함하기 때문에 기준 임피던스 0.67 + j0.37Ω과 중성선 임피던스 0.34 + j0.17Ω의 비율인 2를 곱하여 구하며, 계산식은 아래 식 5와 같다.

$$Z_{sys1} = \frac{2 \times U_{dec}}{100 \times I_{load}} \times \left[R_{range} - U_{reg} \left(1 + \frac{R_{up}}{100} \right) \right] + Z_T \quad (5)$$

따라서 국내 단상 2선식 220V ± 6%, 변압기 전압 변동율 (U_{reg}) 2.0%, 부하전류가 100A인 조건에서 계산한 단상 2선식 계통 임피던스는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{sys1} &= \frac{2 \times 220}{100 \times 100} \times \left[12 - 2 \left(1 + \frac{6}{100} \right) \right] + 0.04 \\ &= 0.47 [\Omega] \end{aligned}$$

위의 3상 4선식과 동일하게 95%에 해당하는 기준 임피던스를 산출하기 위한 보정계수를 0.95로 가정하여 적용하면, 상당 공급용량이 100A 이상 저압 전기설비의 플리커 특성평가에 적합한 단상 2선식 기준 임피던스를 계산하면 0.45Ω이 된다.

3. 결 론

플리커 현상은 고객의 부하설비에 의해 전원 수급점에서 발생하는 전압강하에 기인하며, 이러한 전압강하는 음의 범칙에 의해 저압계통 임피던스와 부하특성에 직접적인 영향을 받는다. 고객마다 저압계통 임피던스가 상이하기 때문에 저압설비 플리커 영향평가를 위한 공통 기준값인 기준 임피던스의 산정이 필요하다.

IEC에서는 1980년 유럽 각국의 계통 임피던스를 조사하고, 대부분의 국가에서 약 95%의 고객이 갖는 계통 임피던스 값을 기준 임피던스(Reference Impedance)로 제시하였다. IEC 60725규격에는 단상 2선식 230V 50Hz 저압계통에 접속하는 상당 공급용량 100A 미만의 전기설비의 플리커 평가에 0.4 + j0.25Ω의 기준 임피던스, 상당 100A이상 전기설비의 기준 임피던스를 0.25 + j0.25Ω으로 제시하고 있다.

그러나 국내와 같이 60Hz 주파수를 사용하는 국가에 적합한 기준 임피던스는 제시되어 있지 않고 또한 기준 임피던스는 전압변동 기준, 수용가의 전력사용량, 수용가 인입거리 등에 따라 상이하게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 국내 단상 2선식 및 3상 4선식 저압계통에 연결되는 상당 공급용량 100A 미만 전기설비의 플리커 특성평가에 적합한 기준 임피던스를 다음과 같이 산출하였다.

국내 단상 2선식 저압계통 기준 임피던스

$$\begin{aligned} Z_{ref, \text{ 전압선}} &= 0.335 + j0.185\Omega \\ Z_{ref, \text{ 중성선}} &= 0.335 + j0.185\Omega \end{aligned}$$

국내 3상 4선식 저압계통 기준 임피던스

$$Z_{ref, \text{ 전압선}} = 0.33 + j0.20\Omega$$

$$Z_{ref, \text{ 중성선}} = 0.34 + j0.17\Omega$$

또한, 국내 저압계통에 접속되는 공급용량 상당 100A 이상 저압 전기설비의 플리커 특성평가에 적합한 최대 임피던스 산출식을 IEC 기준에 기초하여 도출하였으며, 이 수식을 통해 부하전류 100A인 조건에서 기준 임피던스는 3상 4선식의 경우 0.41 Ω , 단상 2선식의 경우 0.45 Ω 으로 산출되었다.

참 고 문 헌

- [1] IEC 725, "Considerations on reference impedances for use in determining the disturbance characteristics of household appliances and similar electrical equipment", IEC, 1981.
- [2] Yang-Hoi. Song, Moon-Ho Kang, et al., "저압 전기 기기의 고조파 영향 평가 및 방출 한계기준에 관한 연구", 최종보고서, pp. 167~189, 2008.
- [3] IEC 60725, "Considerations on reference impedances and public supply network impedances for use in determining disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current $\leq 75A$ per phase", IEC, 2005.

저 자 소 개

**강 문 호 (姜汶昊)**

1994년 울산대학교 전기공학과 졸업.
1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.

Tel : 042-865-5952

E-mail : mhkang@kepco.co.kr

**송 양 회 (宋良會)**

1981년 숭실대학교 전기공학과 졸업.
1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 지식경제부 기술표준원 정보통신표준과 과장.

E-mail : songyh@mke.go.kr

**이 흥 호 (李興浩)**

1973년 서울대 공업교육과(전기전공) 졸업.
1977년 동 대학원 공업교육과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1979년 ~ 현재 충남대학교 전기공학과 교수.

Tel : 042-821-5656

Fax : 042-821-8895

E-mail : hhlee@cnu.ac.kr