

도로종류에 따른 조명전력 허용기준([W/m²]) 제안

(Proposal of Lighting Power Density for Road Lighting)

이상진* · 이민욱 · 김 훈**

(Sang-Jin Lee · Min-Wook Lee · Hoon Kim)

Abstract

The design of road lighting is aiming illuminance and luminance requirements for road lighting. In the process, various factors associated with luminaires such as luminous efficacy, light distribution, mounting height, spacing and maintenance factor are considered. However, there has been no restriction on lighting power density. In this study, lighting power density has been comparatively analyzed through a study of related data and a result of measurements on domestic roads. And, it has been analyzed by simulation results for road in which lighting conditions are variable. In terms of the limitation on power density for road lighting, road lighting can be designed using high efficacy lighting systems for energy saving.

Key Words : Road Lighting Power Density, Energy Saving, Efficacy Lighting

1. 서 론

도로조명의 설계는 대상 도로의 조도/휘도, 균제도, 글레어 기준을 달성하는 것을 목표로 이루어지며, 이 과정에서 조명기구 효율 및 배광, 높이, 간격 등 조명 요소와 도로 형태 및 특성, 그리고 보수율이 종합적으로 고려되어야 한다. 에너지 절감을 고려하여 조명 시스템이 갖추어야 할 기본 요구 조건으로 다음과 같은 사항들이 있다.

- 램프가 빛 에너지로 변환되는 효율이 높을 것

- 조명기구의 광학적 기구효율이 높을 것
 - 적절한 조명기구 배광·배치로 빛의 이용률(조명률)이 높을 것
 - 적절한 조명기구 배광으로 노면에서의 조도, 휘도가 높고 균제도 및 글레어 조건을 만족할 것
- 조명기구의 효율과 배광 성능을 고려하지 않은 조명 설계는 과도한 조명, 새어나가는 빛의 발생으로 에너지 낭비를 초래하며, 균제도 저하 등의 조명품질에 영향을 미칠 수 있기 때문에 조명 설계 및 조명기구 선정의 단계에서 에너지 절감과 조명품질을 동시에 고려할 수 있도록 하는 설계 지침이 필요하다.

도로 조명시스템이 전체적으로 우수하려면 기구효율, 배광특성, 발광효율 등이 모두 높으면서 도로 특성에도 적합한 제품을 사용하여야 하나, 현실적으로 전체적인 항목을 모두 평가 후 실제 적용하기에는 어려

* 주저자 : 가람 ENG 대표
** 교신저자 : 강원대학교 IT대학 전기전자공학전공 교수
Tel : 033-250-7320, Fax : 033-250-7321
E-mail : sjlee2144@naver.com
접수일자 : 2011년 10월 11일
1차심사 : 2011년 10월 20일
심사완료 : 2011년 11월 20일

움이 있고, 선택한 조명시스템이 전체적으로 우수한 효율을 갖는 것인지 판단하기 어렵다. 도로조명기준을 만족하는 조명시스템에 대하여 단위 면적당 전력의 평가는 이런 측면에서 좋은 평가방법의 하나로 사용할 수 있다.

실제도로에서 국내외 조명기구의 측정결과 및 시뮬레이션 결과를 바탕으로 단위면적당 도로조명전력의 상한치를 제안하고자 한다.

2. 해외의 조명에너지 절감 정책

독일의 경우 도로조명시설의 우수성을 평가하기 위하여 지방자치단체와 조명기구 제조사들에 대한 기술경진대회를 실시한다. 사용에너지가 주어진 최대치를 초과하지 않는 제품에 대해 여러 항목을 평가한 후, 각 기준에 대한 평점의 합이 최소 14점 이상이 되는 제품은 기술총람에 수록하고 있다.

조명시스템의 여러 평가 항목으로는 램프, 빛, 조명기구, 효율, 환경보호, 비용 등 많은 항목이 있으며, 에너지에 대한 부분은 두 가지 관점에서 평가한다. 하나는 [km]당 연간에너지 사용량으로 램프, 안정기, 조절장치 등의 모든 사용 에너지를 포함하여 평가하고, 다른 하나는 연간 산출되는 광량에 대한 에너지 사용량을 제한하는 것으로 연간 광량에 대한 연간에너지 사용치를 메가 루멘 시간(megalumenhours)당 킬로와트 시간(kilowatthour)으로 평가한다[1].

3. 국내 도로조명전력 사용실태

3.1 국내도로의 조명전력 측정 및 분석

본 연구에서의 조명전력(Lighting Power Density)은 점등장치, 전력손실, 역률, 효율 등을 고려하지 않고, 램프의 용량만을 조명기구 설치간격과 조명하고자 하는 도로 폭(도로의 경계석과 경계석사이의 거리)의 곱으로 나누어 계산한 단위 면적당 조명에너지[W/m²]를 의미하고 LED의 경우는 전원장치 용량을 포함한다.

국내 도로조명에서 조명전력 사용 실태를 파악하기 위하여 서울시 강남구를 포함하여, 경기도, 강원도 일

원의 도로 25개소에 대한 실제 조명측정 자료와 전기설계 사무소에서 작성한 17개소의 실시설계 도서를 분석한 결과 아래 표 1과 같다.

표 1. 측정 및 설계자료의 평균 조명전력
Table 1. Average lighting power density of measurement and design data

구분	조명전력 평균값[W/m ²]	비고
신형 조명기구	0.545	
구형 조명기구	0.862	
설계자료 분석	0.770	
주 1) 신형조명기구란 조명기구 업체에서 특정도로에 적합한 배광특성을 갖도록 공모전을 실시하여 설치된 장소의 조명기구를 의미함. 2) 구형조명기구란 설치된지 오래된 조명기구로 배광특성을 고려하지 않은 조명기구를 의미함.		

측정 대상 도로에서 램프 및 배광특성이 좋지 못한 구형 조명기구에 고압나트륨 램프 250[W]를 주로 사용한 장소의 조명전력 평균치가 0.862[W/m²]로 나타났다[2].

분석대상 중 일부 도로들은 해당 도로의 폭, 조명기구 간격에 적합한 배광을 갖는 도로조명기구와 고효율 램프가 적용된 곳으로, LED 조명기구를 제외한 평균은 0.545[W/m²]로 램프 및 배광특성이 좋지 못한 구형 조명기구를 사용한 도로보다 0.317[W/m²] 정도 낮게 나타나, 에너지절감을 위해서는 도로에 적합한 조명등기구 사용이 중요함을 알 수 있다[3].

도로조명 실시설계 도서상의 조도계산서 분석결과 전체적인 평균은 0.770[W/m²]이며, 최저는 0.5[W/m²]부터 최고 1.333[W/m²]까지의 편차가 크게 나타났다.

편차가 크게 나타난 요인은 도로조명 설계시 일부 지자체에서 담당자가 자체기준에 의한 일률적으로 설계하는 경우나 설계사무소의 설계자가 조명률과 보수율을 결정하는 과정에서 조명기구의 측광데이터에 근거한 정확한 조명률을 적용하지 않고, 임의로 적용하는 등 설계과정에서 오류가 있기 때문이다[4].

실시 설계도서의 경우 광속법으로 계산이 이루어지므로 설계자의 주관이 개입하는 것을 경계하여야 하고, KS A 3701의 적합여부 확인을 위해서는 필히 조

도로종류에 따른 조명전력 허용기준($[W/m^2]$) 제안

명 프로그램을 이용하여 정확한 예측을 하여야 오류를 줄일 수 있다.

3.2 조명시뮬레이션 프로그램을 이용한 분석

도로조명의 측정 및 설계사례 분석 결과에 의한 도로조명 에너지 사용량과 함께 도로조명의 적정 에너지 사용량 도출을 위한 근거로 활용하기 위하여 도로종류별, 조명기구 및 램프 종류별로 조명계산 시뮬레이션을 수행하여 단위 면적당 조명전력을 계산하였다. 조명 계산 시뮬레이션에 사용된 Relux 2011은 현재 많이 사용되고 있는 실내·외 조명계산 소프트웨어이다[5].

3.2.1 시뮬레이션을 위한 기본사항 선정

프로그램에서 도로에 관한 기본 입력사항으로는 도로의 폭, 차선 수, 중앙분리대 유무가 있으며, 조명기구 입력사항으로는 조명기구의 측광 데이터 파일, 조명방식, 조명 폴의 높이, 오버행, 경사각, 보수율 등의 기초자료를 입력한 후 KS A 조명기준에 만족하는 조명 폴 간의 거리를 결정하는 순으로 진행하였다.

시뮬레이션을 위한 도로 폭은 도로의 구조·시설기준에서 정한 최소값을 규정하고 있으나, 실제 도로는 설계자가 최소 기준보다 높게 설계하므로, 실제 도로와 유사한 도로 폭을 선정하기 위해 도로조명 측정 및 실시설계 자료에 근거한 평균값 3.4[m]를 차도 폭으로 동일하게 적용하였다[5].

또한 분석의 편의상 도로 폭은 보행로는 제외하고, 도로의 경계석과 경계석 사이의 거리를 기준으로 하여 조명전력을 분석하였다.

시뮬레이션을 위한 조명기준의 평균조도는 KS A 3701과 서울특별시의 기준에 부합하도록 소로(2차로) 15([lx]), 중로(4차로) 22([lx]), 대로(6차로) 30([lx])를 만족하도록 등주간 거리를 결정하였다[6].

프로그램에서 입력하여야 하는 기본적인 조명 데이터 중 조명등주 높이는 10[m], 암 길이는 도로 폭에 따라 0.75~2.5[m], 보수율은 조명 설계자가 여러 상황을 고려하여 최종적으로 결정하는 것이 타당하나, 본 시뮬레이션에서는 일반적인 값 0.65를 일괄 적용하였다.

조명기준은 조도기준만을 만족하는 것을 목표로 하여 조명기구 간격을 산정한 후, 단위면적당 조명전력($[W/m^2]$)를 계산하였다. KS A 3701의 여러 조명기준 중 조도기준만을 목표로 한 것은 조도 기준을 만족하는 조명기구는 당연히 균제도, 휘도, 임계치 증분(TI) 등도 만족하도록 제조자가 공급할 의무가 있기 때문이다.

3.2.2 시뮬레이션에 사용한 도로조명기구 선정

표 2. 시뮬레이션에 사용된 도로조명기구
Table 2. Applied luminaire in simulation

구분	고압나트륨	메탈헬라이드	콤팩트 메탈헬라이드	LED
기구명	A-H-100-1 A-H-150-1	A-M-150-1	C-C-150-2 C-C-250-2.2	A-L-114-2.1
조명기구 의형				
광속 [lm]	100W : 8,800 150W : 13,000	13,000	100W : 9,500 150W : 14,500 250W : 25,800	7,800
기구명	P-H-100-1.1 P-H-150-1.1 P-H-250-2	P-M-150-3 P-M-250-3.1	P-C-150-1 P-C-250-1.1	P-L-131-2.2 P-L-172-4.2
조명기구 의형				
광속 [lm]	100W : 10,700 150W : 17,500 250W : 33,200	150W : 13,500 250W : 22,500	150W : 14,000 210W : 24,200	131W : 8,352 172W : 14,208
기구명	S-H-100-1 S-H-150-2.3 S-H-250-1.3	S-M-150-2.1 S-M-250-5.2	T-C-150-1	A-L-114-2.2
조명기구 의형				
광속 [lm]	100W : 10,000 150W : 17,000 250W : 33,200	150W : 13,500 250W : 25,000	14,000	7,800

조명기구는 현재 시판중인 제품을 대상으로 하였으며, 조명기구 제조사 홈페이지와 시뮬레이션 Tool의 라이브러리 등에 측광데이터 파일(IES File 또는 LDT

File)을 공개하여 데이터 확보가 비교적 쉬운 해외 유명 도로조명기구 제조사의 조명기구를 표 2와 같이 램프별(고압나트륨(HPS), 메탈헬라이드(MH), 콤팩트 메탈헬라이드(CMH), LED), 용량별(150[W], 250[W])로 구분하여 시물레이션에 적용하였다.

고압나트륨과 메탈헬라이드 램프를 사용한 조명기구의 경우 하나의 조명기구에 여러 종류의 램프를 혼용(고압나트륨, 메탈헬라이드 램프/Tubular형, Ellipse형)하거나 램프용량을 설계 목적에 적합하도록 선택할 수 있는 경우가 많았으며, 시물레이션에서는 이러한 램프와 소비전력의 여러 조합들을 하나의 조명기구로 표 2와 같이 각각 적용하였다.

3.2.3 시물레이션 결과 분석

고압나트륨 램프 150[W]의 조명기구를 제조사별 각기 다른 모델 23개, 250[W]의 경우는 20개 제품을 선정하여 시물레이션 한 결과 그림 1과 같이 분석되었다.

고압나트륨 램프 150[W] 시물레이션 결과, 단위 면적당 평균 조명전력은 소로(2차로)가 0.477[W/m²], 중로(4차로)가 0.655[W/m²], 대로(6차로)가 0.763[W/m²]로 분석되었다.

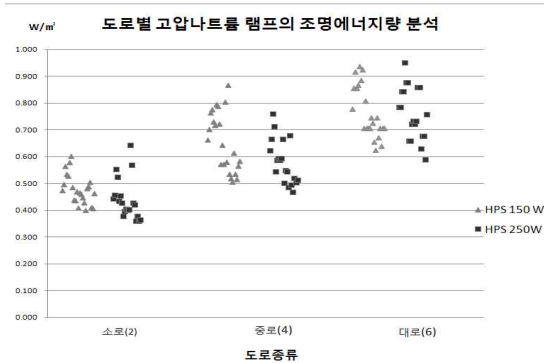


그림 1. 도로별 고압나트륨 램프의 조명전력 분석
Fig. 1. Power density for road lighting in HPS lamp-based luminaire

고압나트륨 램프 150[W]는 현재 많이 사용하지는 않지만, 만약 도로 폭이 넓은 곳에 사용하게 되는 경우, 조명기구의 광속이 낮아 조명 전력의 증가를 가져오게 되므로 주의하여야 한다.

고압나트륨 램프 250[W]는 단위면적당 평균 조명전력은 소로(2차로)는 0.439[W/m²], 중로(4차로)는 0.579[W/m²], 대로(6차로)는 0.761[W/m²]로 분석되었다. 시물레이션 결과에서 알 수 있듯이 고압 나트륨램프 250[W]의 경우는 중로(4차로)이상에 적용하는 경우 에너지 절감효과를 꾀할 수 있다.

메탈헬라이드 램프 150[W]의 조명기구를 제조사별 각기 다른 제품 8개, 250[W]의 경우는 5개 제품을 대상으로 도로종류별로 시물레이션 한 결과 그림 2와 같다.

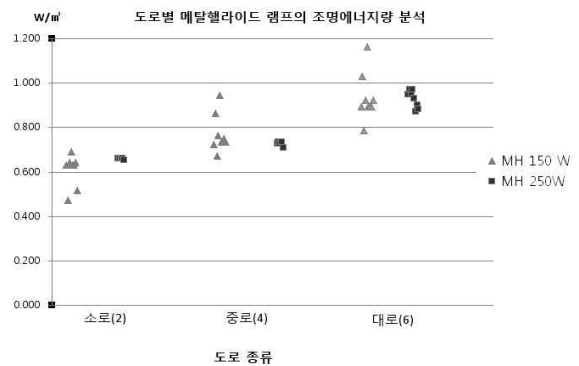


그림 2. 도로별 메탈헬라이드 램프의 조명전력 분석
Fig. 2. Power density for road lighting in MH lamp-based luminaire

메탈헬라이드 램프 150[W] 시물레이션 결과, 단위 면적당 평균 조명전력은 소로(2차로)가 0.607[W/m²], 중로(4차로)가 0.770[W/m²], 대로(6차로)가 0.993[W/m²]로 분석되었다.

메탈헬라이드 램프 150[W]가 도로 폭이 넓은 경우에 적용시 조명전력의 분포도가 위아래로 크게 변하는 모습에서 도로 특성에 알맞은 조명등기구 선정의 중요함을 알 수 있었다. 메탈헬라이드 램프 250[W]의 시물레이션 결과, 단위면적당 조명전력은 소로(2차로)는 0.661[W/m²], 중로(4차로)는 0.726[W/m²], 대로(6차로)는 0.954[W/m²]로 분석되었다.

콤팩트 메탈헬라이드 램프 150[W]의 조명기구를 제조사별 각기 다른 모델 9개, 250[W]의 경우는 6개 제품을 선정하여 시물레이션한 결과는 그림 3과 같다.

도로종류에 따른 조명전력 허용기준($[W/m^2]$) 제안

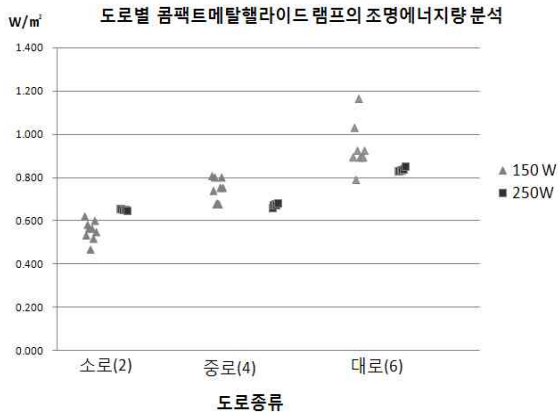


그림 3. 도로별 콤팩트 메탈할라이드 램프의 조명전력 분석
Fig. 3. Power density for road lighting in CMH lamp-based luminaire

콤팩트 메탈할라이드 램프 150[W] 시뮬레이션 결과, 단위면적당 평균 조명전력은 소로(2차로)가 $0.555 [W/m^2]$, 중로(4차로)가 $0.743 [W/m^2]$, 대로(6차로)가 $0.923 [W/m^2]$ 로 분석되었다.

250[W]의 단위면적당 조명전력은 소로(2차로)는 $0.651 [W/m^2]$, 중로(4차로)는 $0.673 [W/m^2]$, 대로(6차로)는 $0.835 [W/m^2]$ 로 분석되었다.

콤팩트 메탈할라이드 램프 250[W]는 실제로 많이 사용하는 광원은 아니지만 혹시 도로 폭이 좁은 곳에 사용하게 되는 경우는 배광특성을 잘 확인하여야 조명전력을 줄일 수 있다.

LED 등기구는 용량이 획일적이지 않아 서로 다른 용량의 제품을 선정하여 시뮬레이션 한 결과를 그림 4와 같다.

LED 조명기구의 경우 해외의 배광특성이 아주 우수한 제품을 기준으로 시뮬레이션한 결과 평균 조명전력은 소로(2차로)가 $0.526 [W/m^2]$, 중로(4차로) $0.704 [W/m^2]$ 으로 나타났다.

도로 폭이 좁은 장소에서 LED는 조명전력 소비량이 다른 방전등에 비해 낮으나, 도로 폭이 넓어질수록 배광제한 문제로 에너지 소모량이 크게 나타났다.

시뮬레이션을 실시한 방전등 3종류의 평균 조명전력을 비교한 결과, 소로(2차로)는 $0.565 [W/m^2]$, 중로(4차로)는 $0.691 [W/m^2]$, 대로(6차로)는 $0.862 [W/m^2]$ 로 나타났다.

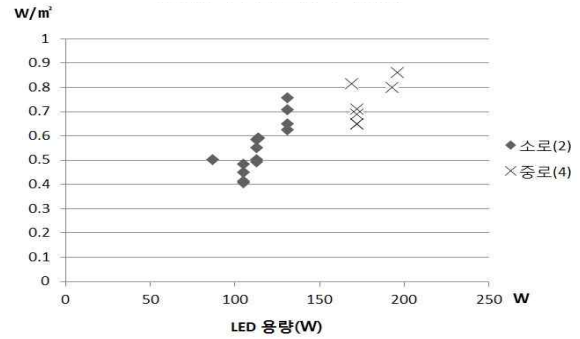
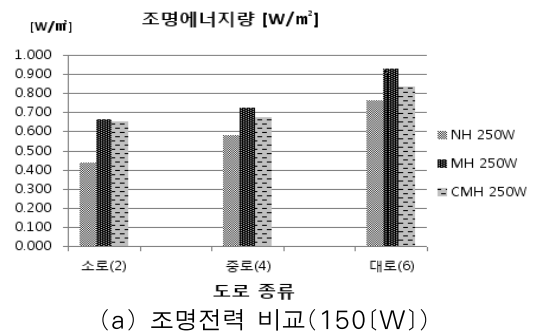
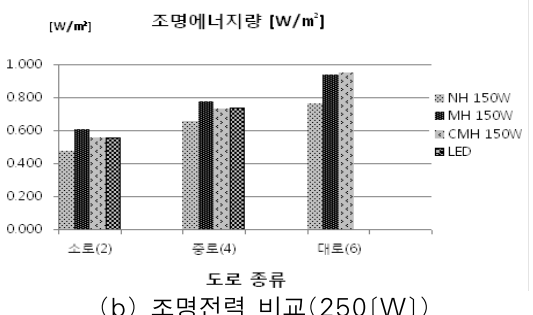


그림 4. 도로별 LED의 조명전력 분석
Fig. 4. Power density for road lighting in LED luminaire

시뮬레이션한 모든 조명등기구의 조명전력은 그림 5로 소로(2차로)에는 고압나트륨 램프, LED램프, 콤팩트 메탈할라이드램프 순으로의 조명전력이 증가하였다. 중로(4차로) 및 대로(6차로)에서는 조명전력은 고압나트륨 램프, 콤팩트 메탈할라이드 램프 순으로 증가하였다.



(a) 조명전력 비교(150(W))



(b) 조명전력 비교(250(W))

그림 5. 램프와 도로종류에 따른 조명전력
Fig. 5. Lighting power density by lamp and road types

4. 결 론

시뮬레이션 결과는 대로(6차로)의 경우는 고압나트륨램프, 콤팩트 메탈헬라이드램프, 메탈헬라이드램프 순으로 단위면적당 조명전력이 증가하였다.

소로(2차로)의 경우는 전원장치를 포함하게 되면 LED 램프, 고압나트륨 램프, 콤팩트 메탈헬라이드 램프 순으로 단위면적당 조명전력 사용량이 증가 하였다. 도로 폭이 좁은 경우에는 배광 특성이 도로에 적합한 LED 램프 사용시 에너지 량의 절감 효과가 있었다. 고압나트륨 램프는 조명 전력은 적으나, 연색성이 좋지 않고 박명시를 고려하여 최근에는 많이 사용하지 않는다. 측정 및 설계자료 분석결과와 시뮬레이션 자료를 바탕으로, 단위면적당 조명전력 상한치는 소로의 경우는 0.55([W/m²]), 중로의 경우에는 0.7([W/m²]) 이 적정하다(표 1).

표 3. 조명전력 제시

Table 3. Proposal of lighting power density 단위([W/m²])

구분	용량 [W]	소로 (2차로)	중로 (4차로)	대로 (6차로)	비고
HPS	150	0.477	0.655	0.763	
	250	0.439	0.579	0.761	
MH	150	0.607	0.770	0.993	
	250	0.661	0.726	0.954	
CMH	150	0.555	0.743	0.923	
	250	0.651	0.673	0.835	
LED		0.526	0.704		
상한치		0.55	0.70	0.80	

연구결과 도로의 종류에 따라 혹은 조명등기구의 종류에 따라 평균 조명전력의 편차는 있었으나, 조명업계의 발전 및 LED등기구의 발전을 고려한다면 상한치는 달성 가능한 값이다.

향후에도 조명기술 발달에 능동적으로 대응할 수 있는 상한치를 지속적으로 제시하고, 제조사가 자발적으로 도로종류에 따른 조명전력([W/m²] 혹은 [VA/m²])을 계산 후 표기하도록 유도하여야 한다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

References

- [1] "Sammlung energieeffizienter Techniken für die Stadtbeleuchtung" stand : 11. Februar 2009.
- [2] 이민옥,이창모,석대일,정승균,오석식, 김기남, 최주용, 김훈 "조명기구 종류에 따른 도로조명 실태 조사" 한국조명·전기설비학회 2009년도 추계학술대회 논문집(p.173~175).
- [3] 한중성,조덕수,이민옥,오혜영,황병도,이준희,김훈 "수도권 시내도로 조명현황 측정 및 분석" 한국조명·전기설비학회 2006년도 추계학술대회 논문집(p.109~111).
- [4] 설계도서분석 - 2009년도 전기설계사무소 자료.
- [5] 이민옥,이웅걸,김훈"도로조명 시뮬레이션 소프트웨어 비교" 한국조명·전기설비학회 2010년도추계학술대회 논문집(p.140~142).
- [6] "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙" 2010. 국토해양부.
- [7] KSA 3701 도로조명기준.

◇ 저자소개 ◇



이상진 (李相鎭)

1972년 1월 1일생. 1999년 2월 강원대학교 전기공학과 졸업. 2003년 2월 강원대학교 전기전자공학과 졸업(석사). 2010년 강원대학교 전기전자공학전공 박사수료. 현재 가람 ENG 대표.



이민옥 (李相鎭)

1980년 8월 24일생. 2007년 2월 강원대학교 전기공학과 졸업. 2009년 2월 강원대학교 전기전자공학과 졸업(석사). 2011년 강원대학교 전기전자공학전공 박사과정.



김 훈 (金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업(박사). 현재 강원대 IT대학 전기전자공학전공 교수. 본 학회 부회장.