

가로수의 유형 및 성장을 고려한 보행로 조명환경 개선에 관한 시뮬레이션 연구

이 중 성* · 이 석 준**

*상지대학교 친환경식물학부 · **상지대학교 경영정보학과

A Simulation Study on the Improvement of Lighting Condition on Sidewalks Considering the Type and Growth of Roadside Trees

Jong-Sung Lee* · Seok-Jun Lee**

*Division of Environment-Friendly Plant Science, SANGJI University

**Department of Management Information Systems, SANGJI University

Abstract

In recently, a growing concern for the health of urban residents increased interests in a variety of outdoor activities simply be done in terms of cost and time. They are specially interested in low-impact and safe exercises around residential or working area. Walking is the one of easily doing exercise in daytime or nighttime near residential area. The sidewalks of boulevard near the residential area is the best place for exercise because of easy access and the green space with roadside trees. However, if the nighttime is not guaranteed the proper lighting condition, the possibility of exposure to crime and the threat to pedestrian safety can be increased. Because roadside trees are one of the potential obstacle for lighting condition, supplementary lightings are important to mitigate interruption for safety. To meet such a need, the purpose of this study is to propose a simulation approach which improves lighting condition on sidewalks of boulevard with variety of roadside trees. To do so, the simulation approach is applied for analyzing the interrupted condition by classified five standard types of roadside trees considering the growth of them and finding optimal layout of supplementary luminaires by lighting types. The results of this approach shows that it is useful for assessing the safety of pedestrian in nighttime.

Keywords : Lighting Simulation, Roadway Lighting, Roadside Tree

1. 서 론

최근 도시민의 건강에 대한 관심 증대는 시간과 비용 측면에서 간단히 행할 수 있는 다양한 형태의 야외

활동에 대한 관심을 높이고 있으며 특히 거주지 혹은 직장 주변에서 신체에 무리가 가지 않는 안전한 운동에 대한 관심을 증대시키고 있다.

† 이 논문은 2012년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

† Corresponding Author : Seok-Jun Lee, Management Information Systems, SANGJI UNIVERSITY, 660, Woosan-dong, Won-ju, Gangwon, M·P : 010-5094-6747, E-mail: digitaldesign@sangji.ac.kr

Received July 20, 2013; Revision Received September 17, 2013; Accepted September 16, 2013.

이러한 이유로 개인적 혹은 집단적 형태의 걷기 운동이 여가시간에 많이 이루어지고 있으며 경우에 따라서는 주간 보다 야간에 이루어지는 경우가 많이 있다. 일반적으로 걷기는 대규모 공원이나 하천 주변에 조성된 녹지에서 이루어지는 경우가 많으나 접근성이 낮은 경우 주거지 주변에 잘 정비된 대로변을 이용하는 경우도 많이 있다.

대로변에는 도시의 경관과 도시 내의 소생태계 서식처, 대기오염물질의 정화 및 심미적 안정감을 높여주는 가로수와 주거지와 대로변의 소음 및 오염물질에 대한 차단을 위한 완충녹지가 조성되어 있다. 주간 보행자에게 있어 가로수와 완충녹지는 도심의 녹지공간으로 심미적 안정감을 높이는데 중요한 요소이지만 야간의 경우 적절한 조명 환경이 보장되지 않을 경우 보행 안전에 대한 위협과 범죄에 대한 노출 가능성이 높아질 수 있다. 특히 최근 사회적 약자를 대상으로 한 강력범죄의 발생이 증가함에 따라 공권력 기반의 범죄예방의 한계를 극복하여 안전한 주거환경 확보에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 범죄예방환경설계(CPTED: Crime Prevention Through Environmental Design)를 도입하려는 노력들이 이루어지고 있는 상황에서 적절한 조명환경의 구현은 야간 보행자 안전보장과 범죄예방에 있어 중요한 요인이다[1,2].

본 연구는 경관조명 시뮬레이션 기법을 활용하여 KS A 3701의 도로조명 기준을 만족하는 가로등이 설치되더라도 가로수의 유형과 성장이 대로변 보행로의 야간 조명품질을 악화시키고 있음을 분석하고 이를 개선하기 위한 방안에 대해 논의한다. 최근 가로수에 의해 양호한 조명환경이 구현되지 않는 보행로에 대해 조명기구를 추가로 설치하여 보행자의 야간 안전성을 확보하기 위한 노력이 이루어지고 있으나 가로수의 유형과 성장 정도에 따른 보행로 조명환경 악화에 대한 분석과 이를 해소하기 위한 방안에 대한 논의가 부족하다. 이를 위해 가로수의 수형을 정의하고 10m 이상의 수고를 갖는 성목을 위치시켜 악화된 조명환경 하에서 보조 조명기구의 유형과 설치 위치에 따른 조명효과를 분석하여 야간 보행자의 안전보장과 범죄예방을 위한 조명환경 개선에 대해 논의하고자 한다.

2. 관련연구

야간의 공공안전성과 관련하여 최근 대두되고 있는 범죄예방환경설계는 감시와 접근통제, 공동체 강화를 기본으로 자연감시, 접근통제, 영역성 강화, 활동의 활성화의 실천전략을 제시하고 있으며 실천전략 중 자연

감시는 주차장, 공원, 놀이터 등의 공공장소에서 불량한 조명설계는 이용자의 안전성뿐만 아니라 범죄 유발과 범죄자의 은신처 제공의 요인으로 작용하기 때문에 적절한 조명을 통하여 가시성을 확보하는 것이 안전과 범죄예방 측면에서 중요한 요인임을 밝히고 있다[1,2]. 특히 설계계획의 내용을 물리적, 비 물리적 계획으로 구분하였을 경우 191개의 계획내용 중 76.4%에 해당하는 146개가 물리적 내용으로 구성되어 있으며 조경계획 관련 계획요소에서 ‘조명시설의 설치 및 조도기준’이 과반수 이상을 보이고 있음을 분석하고 있어 조명의 중요성을 강조하고 있다[1]. 또한 KS A 3701의 도로조명 기준에서 제시한 내용보다 상세한 내용을 언급하고 있어 야간 보행자의 안전과 범죄예방에 있어 조명의 중요성이 높음을 보여주고 있다. 그러나 조명시설의 설치와 기준강화에 대한 방안만을 제시하고 있어 구체적으로 계획요소의 실행에서 발생할 수 있는 변수들에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 또한 도로조명과 관련하여 제주시를 대상으로 가로등의 설치 현황과 시뮬레이션을 통한 결과를 비교하여 야간 도로조명 품질과 관련하여 시뮬레이션 기법의 타당성이 제시되었지만 가로수가 식재되지 않은 상황만을 고려하였다[3].

조명시뮬레이션 기법을 활용하여 가로수와 가로등의 이격 거리가 균등하지 않을 경우 야간 조명품질에 미치는 영향을 도로의 차선별로 분석하고 이를 완화하기 위한 방안으로 도로변으로 돌출된 가로수의 수형을 관리하여 개선하는 방안이 제시되었지만 보행로에 대한 분석은 이루어지지 않았으며 수형의 다양성에 대해서도 연구되지 않았다[4]. 또한 시뮬레이션 기법을 활용하여 다양한 가로수 유형을 고려하여 가로수의 성장 정도를 식재 초기와 성장 후로 나누어 도로와 보행로를 구분하여 분석되었으며 결과에서 가로수 식재 초기에 조명품질의 저하가 나타나고 있으나 성장 후의 영향이 식재 초기보다 매우 크게 나타나고 있음이 분석되었다. 또한 가로수 간 이격 거리에 따라 저하된 조명품질이 다소간 완화되고 있음을 보여주었으며 연구결과에서 시뮬레이션 기법을 활용하여 가로수의 식재 초기와 성장 후의 조명환경 변화에 대해 사전 평가의 가능성을 제시하여 도로조명 설계에 반영할 필요가 있음이 제시되었다. 그러나 이를 해결하기 위한 구체적 대안은 제시되지 않았다[5].

3. 도로조명 고려사항

대로변의 야간 조명은 가로등에 의한 도로조명에 의해 이루어지고 있으며 도로조명의 기본 목적은 일정수

준의 노면 수평 휘도와 노면 위 물체의 수평, 수직 조도를 제공하여 운전자 및 보행자가 도로 상 물체의 밝기와 노면이나 주변 배경 밝기, 노면의 상태, 반짝임, 그림자 등의 대비에 의해 물체를 용이하게 인식하도록 쾌적한 시각 환경을 제공하고 야간 운행과 보행의 안전성을 높이는데 있다[6,3]. 그러나 야간 가로등에 의한 조명은 대로변에 식재된 가로수의 유형과 성장 정도에 따라 크게 영향을 받는다[4,5]. 상기 야간 도로조명의 기본 목적을 달성하기 위하여 국내 도로조명은 KS A 3701에서 정한 기준에 따라 도로 노면의 휘도, 종합균제도, 차선축 균제도의 기준에 따라 설계 및 시공되고 있으며 보행로는 조도 기준을 따르고 있다[7]. 휘도 혹은 조도 기준으로 일정 수준의 조명과 균제도를 확보하고 경제성까지 고려하여야 하는 조명설계 과정에서 가로등의 식재와 성장은 충분히 고려되고 있지 않다. 다만 가로등의 설치 위치가 가로수에 영향을 받을 경우 제한할 수 있다는 규정은 일반적으로 신설도로에서 가로수가 식재되기 이전 혹은 성장이 고려되지 않은 상태에서는 파악하기 어려워 크게 의미가 없다.

3.1 보행로 조명

도로조명의 목적은 주로 야간에 도로 이용자의 시 환경을 개선하여 안전하고 원활·쾌적한 도로 교통을 확보하는데 있기 때문에 가로등은 도로와 더불어 보행로에도 조명효과가 미치도록 설계된다. 국내 KS A 3701의 규정에서는 도로조명에 대해서는 휘도 개념으로 규정되어 있지만 보행로에 대해서는 조도 기준으로 정의되어 있다. KS A 3701에서 보행자에 대한 도로조명 요건은 다음과 같다[7].

- 보행자가 보는 노면의 조도가 충분히 밝고, 되도록 일정할 것
- 도로상의 연직면 조도가 충분히 밝고, 서로간에 보행자를 알아볼 수 있을 것
- 조명기구의 눈부심이 보행자에게 불쾌감을 주지 않도록 충분히 제한되어 있을 것
- 광원색이 환경에 적합한 것이며, 그 연색성이 양호한 것일 것
- 조명 시설이 도로 및 그 주변의 경관을 해치지 않는 것일 것

위의 요건에서 노면의 평균 조도를 고려하면 보행자에 대한 도로조명 기준은 다음과 같다.

<Table 1> Illuminance level for pedestrian

Pedestrian traffic volume	Area	Illuminance (lx)
Road with much traffic	Residential	5
	Commercial	20
Road with little traffic	Residential	3
	Commercial	10

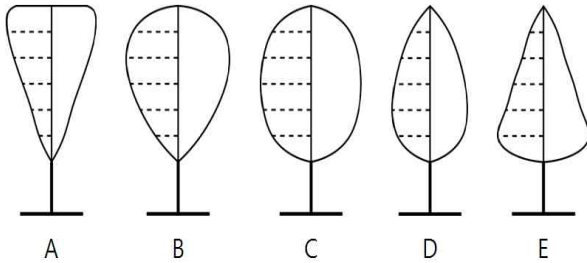
그러나 노면 조도에 대한 기준은 정해져 있지만 균질성에 대한 기준은 정해져 있지 않아 운전자에 대한 도로 조명의 휘도 및 조도 기준에서 최소값과 평균값의 비로 계산되는 종합 균제도 0.4이상의 기준을 이용할 수 있다. 또한 조명기구의 눈부심은 보행자에게 불쾌감과 인식 불능 상태를 야기할 수 있기 때문에 조명기구의 형태 및 설치 높이가 고려되어야만 한다.

3.2 가로수의 유형 및 성장

가로수는 도시의 중요한 녹지공간으로 도심의 열섬 현상 방지를 통한 에너지 절약, 도시민의 심리적 안정 효과, 공기정화 능력 등으로 심리적, 환경적으로 도시 환경 구성에서 중요성이 높다[8,9]. 가로수의 조성관리와 통하여 도시생태계의 건전성 및 도시경관개선 등 녹색네트워크로서의 제 기능 발휘에 기여하기 위한 지방자치단체들은 다양한 가로수 조성계획을 구상하고 있으며 ‘산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률’ 제21조 제2항에 따라 도로를 신설하는 행정기관은 설계단계부터 가로수 식재와 관리를 위한 계획들을 수립하고 있다[8].

성현찬(2003)은 경기 지역을 대상으로 도시지역에 식재된 가로수의 수종이 은행나무, 느티나무, 양버즘나무, 중국단풍, 소나무, 메타세콰이어 등 6종 등이며, 그 중에서도 은행나무, 느티나무가 대부분임을 조사하였고 식재된 가로수의 수종과 수고, 흉고직경, 수관폭 그리고 식재 간격에 대해 조사하여 가로수의 간격이 6m를 넘으며 10m에 이르는 지역까지 있다고 조사하였다[10]. 또한 산림청은 국내에 식재된 가로수의 10대 수종을 선정하여 경관을 평가하였으며 가로수 관리 매뉴얼을 제공하였다[11]. 그러나 일반적으로 가로수의 수형은 수종에 따라 절대적으로 동일하거나 일관적이지 않을 수 있으며 경관계획에 따라 가로수의 수형을 인위적으로 관리하거나 생육조건에 따라 동일 수종에서도 서로 다른 수형이 결정되기도 한다. 최준수(1998) 등은 수목의 수형 및 성장에 따른 형태분류 방법을 연구하여 수관폭과 수관고의 비에 따라 수형을 구성하고 수형의

유형에 따라 형태를 분류하는 방법이 제시하였으며 <Figure 1>과 같이 수목의 수형을 A형에서 E형까지 5가지 유형으로 구분하고 수관폭과 수관고에 따라 세부적으로 5가지의 수형으로 분류하고 있다[12].



<Figure 1> Five standard tree types

가로수 수형관리 매뉴얼(2010)에 제시된 수형 모델의 기본방향은 수형의 고유미를 최대한 유지, 가로수의 기능이 최대한 발휘되도록 조형, 전선과의 경합지에 대한 문제를 해결할 수 있는 수형, 상가·농경지·생육제한지에 대한 문제를 해결할 수 있는 수형, 도로표지판 시계제한 문제를 해결할 수 있는 수형으로 설정되어 있다. 수형 모델의 기본방향에 따라 자연형, 준자연형, 인공형, 비대칭형으로 상황에 따라 관리하도록 되어 있지만 기본적으로 수종의 생태적 특성을 유지하도록 계획되어 있다[11]. <Figure 1>에서 제시된 5가지의 기본 수형에 따라 수종을 분류할 경우 A형: 이팝나무, B: 느티나무 및 중국단풍, C: 왕벚나무 및 양버즘나무, D: 메타세콰이어 및 튜립나무, E: 은행나무로 분류가 가능하며 소나무의 경우 제시된 기본 수형과 일치성이 낮다. 그러나 전술한바와 같이 가로수의 수형은 수종에 따라 절대적으로 동일하거나 일관적이지 않을 수 있으며 경관계획에 따라 가로수의 수형을 인위적으로 관리하거나 생육조건에 따라 동일 수종에서도 서로 다른 수형이 결정될 수도 있다.

4. 시뮬레이션 환경설정

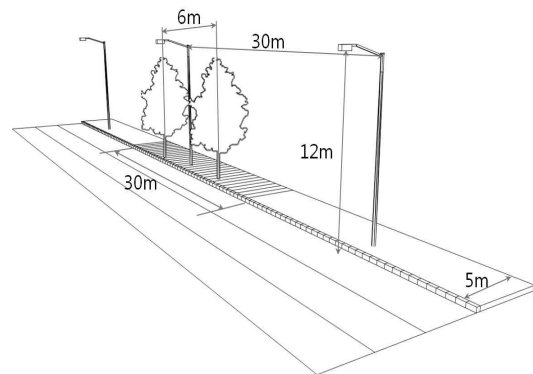
본 연구는 경관조명 시뮬레이션을 통하여 도로조명 기준을 만족하는 상황에서 가로수의 수형과 성장상태가 실제 보행로의 조명환경에 미치는 영향을 분석한다. 경관조명 시뮬레이션은 인공 구조물 혹은 수목의 식재 계획에 대한 가상의 상황분석을 통해서 설계자의 설계 오류에 따른 시행착오를 줄여 시간과 비용을 절감할 수 있으며 설계 요소별 분석과 생산성을 향상 시킬 수 있어 설계 결과의 타당성을 사전에 평가하여 검토할 수 있는 능력을 제공할 수 있다. 본 연구는 Lightscape

를 활용하여 물리적 공간인 분석 대상지, 야간 도로 조명을 위한 조명기구의 배광 및 설치 위치, 가로수의 수형과 성장을 고려한 모델링을 바탕으로 정확한 조명 시뮬레이션 결과를 획득하였으며 분석결과의 시각적 분석도 가능하게 하였다[13].

분석결과를 바탕으로 야간 보행자의 안전을 보장하기 위한 보조 조명기구의 선정과 설치 위치에 따른 개선 정도를 평가하고 이를 바탕으로 조명품질을 개선하기 위한 방법론을 제시한다.

4.1 대상지 모델링

본 연구의 분석을 위해 시뮬레이션을 위한 대상지를 <Figure 2>와 같이 모델링하였으며 가로등은 노폭 12m 이상의 대로를 기준으로 노면에서 12m에 광원을 위치시켰으며 각 가로등 간 거리는 KS A 3701의 기준을 만족하기 위하여 조명기구를 선정한 후 30m로 설정하였다. 보행로의 폭은 도로법 및 도시계획시설기준에 관한 규칙에 따라 여러 가지 기준을 따르나 일반적으로 보행이나 소통에 지장이 없는 정도로 규정하고 있어 도로 상화에 따라 상이하게 설치되지만 본 연구에서는 노면 한계에서 폭 5m로 설정하였으며 각 가로등 간 조명효과를 분석하기 위하여 30m의 공간을 분석 공간으로 설정하였다.

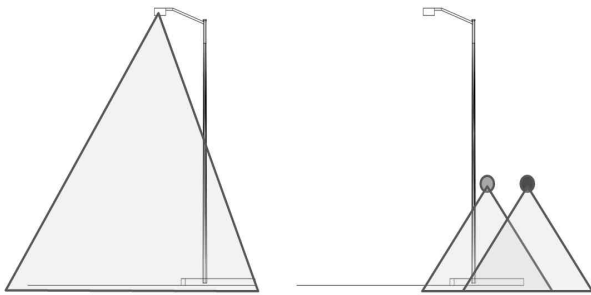


<Figure 2> Analysis area modeling spec and layout of lighting pole

가로수와 가로수의 거리는 등 간격으로 설정하고 가로등을 기준으로 동일한 거리만큼 이격하도록 하였으며 가로수 간 거리는 등 간격으로 설정하고 도심에서 가로수의 이격 거리는 일반적으로 6m 이상이 권장되고 있으며 경우에 따라 10m 이상의 이격 거리를 갖는 곳도 있다. 본 연구에서는 일반적 이격 거리를 적용하기 위하여 6m로 설정하였다

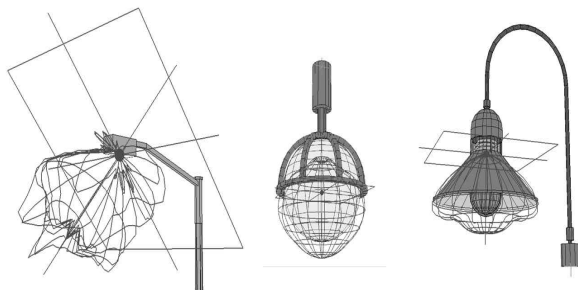
4.2 조명기구 모델링

도로조명을 위한 조명기구는 기본적으로 야간 운전자와 보행자의 안전을 보장하기 위해 설치하며 조명기구에 의한 조명품질은 KS A 3701에서 규정하고 있다 [7]. 일반적으로 도로조명은 <Figure 3>의 왼쪽과 같이 가로등 혹은 보안등에 의해 도로와 보행로를 동시에 조명하도록 설계된다. 그러나 최근 보행자의 안전을 보장하기 위해 오른쪽과 같이 추가 조명기구를 설치하여 조명품질을 높이기 위한 노력이 이루어지고 있다.



<Figure 3> Lighting area of street lighting poles

가로등 및 보안등에 설치된 조명기구는 광원에서 발산하는 광도를 조명 목적에 맞게 조명기구 내의 반사판을 이용하여 제어한다. 광도의 제어에 따라 컷 오프, 세미 컷 오프, 논 컷 오프 형으로 구분하여 운전자 및 보행자의 눈부심을 고려하여 설치한다. 가로등의 경우 컷 오프 조명기구를 사용하며 공원 등에서는 주변의 분위기를 고려하여 논 컷 오프 조명기구를 사용하기도 한다. <Figure 4>의 왼쪽 첫 번째는 분석을 위해 사용한 가로등의 배광을 보여주고 있으며 오른쪽 2개의 조명기구는 조명기구의 유형에 따른 분석을 위해 논 컷 오프 보조 조명기구와 세미 컷 오프 조명기구의 배광을 보여주고 있다.



<Figure 4> Lighting distribution of luminaires

가로등은 대상지 모델링의 위치에서 도로조명 기준을 만족시킬 수 있는 28,000lm의 전광속을 설정하였으

며 보조 조명기구는 최근 입법 예고된 보안등의 최소 광속인 3,000 lm을 초과하는 3,600 lm으로 설정하였다. 조명기구는 설치된 광원의 광도가 정해지기 때문에 설치 위치와 설치 높이에 따라 조명품질이 다르게 측정된다. 그렇기 때문에 <Table 2>와 같이 KS A 3701의 규정의 기준값을 만족하고 노면 조도의 균질성을 도로의 종합 균제도 0.4에 부합하는 높이를 선정하기 위해 10m×10m의 평면 중앙에 조명기구를 위치시켜 설치 높이에 따른 조도분포를 시뮬레이션 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

<Table 2> Optimal uniformity by luminaire types

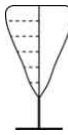
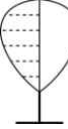

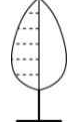

Luminaire type	Height (m)	Avg (lx)	Max (lx)	Min (lx)	Uniformity (Min/Avg)
Non cutoff	5	5.35	9.98	2.19	0.41
	4.5	5.97	12.10	2.20	0.37
	4	6.67	14.98	2.12	0.32
	3.5	7.48	18.99	2.11	0.28
	3	8.38	24.75	1.98	0.24
	2.5	9.39	33.36	1.78	0.19
Semi cutoff	5	8.37	14.47	3.88	0.46
	4.5	9.43	17.47	3.74	0.40
	4	10.62	21.48	3.42	0.32
	3.5	11.92	26.96	2.88	0.24
	3	13.27	34.74	2.18	0.16
	2.5	34.31	109.00	3.35	0.10

설치높이 2.5m에서 5m 사이의 보조 조명기구에 의한 조도분석 결과 논 컷 오프형의 경우 5m 높이에서 그리고 세미 컷 오프형의 경우 4.5m에서 종합 균제도를 만족하고 있다. 그러나 종합 균제도가 높아질수록 평균 노면조도의 경우 감소하고 있기 때문에 세미 컷 오프형을 기준으로 설치 높이를 4.5m로 선정하였다.

4.3 가로수 모델링

가로수는 <Figure 1>에서 정의된 5가지 수형에서 수고 12m일 경우 최대 수관폭이 6m 내외가 되도록 5가지 유형 중 하나를 선정하였다. 본 연구에서는 가로등의 높이와 동일한 12m의 수고와 10m의 수고를 가진 가로수가 보행로 조명품질에 미치는 영향을 분석하기 위해 다음 <Table 3>과 같이 가로수를 모델링하였다.

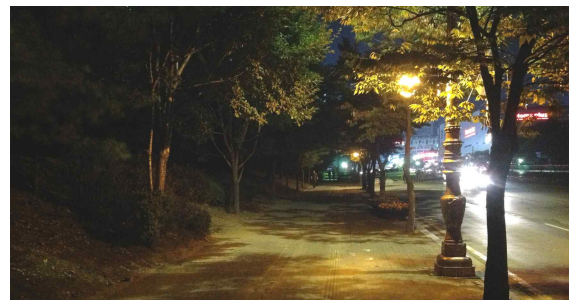
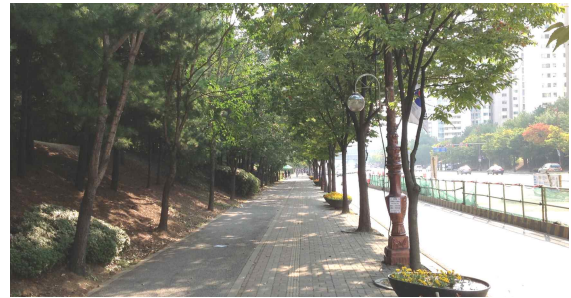
<Table 3> Five types of tree models according to ratio of crown width to crown height

Type	Shape	Crown width	
		H: 12	H: 10
A-5		5.88	4.91
		5.04	4.21
		3.86	3.23
		2.69	2.24
		1.68	1.4
B-5		6.05	5.05
		6.89	5.75
		6.38	5.33
		5.04	4.21
		3.02	2.53
C-4		5.21	4.35
		6.38	5.33
		6.72	5.61
		6.38	5.33
		5.21	4.35
D-5		2.52	2.1
		3.86	3.23
		4.7	3.93
		5.04	4.21
		4.37	3.65
E-3		1.85	1.54
		2.86	2.38
		4.03	3.37
		5.04	4.21
		6.05	5.05

도로설계 시 조명계획과 가로수 식재 계획이 통합되어 반영되지 않기 때문에 가로수의 이격 거리와 가로등의 이격 거리가 균등하지 않지만 본 연구에서는 가로등과 가로수가 중첩되는 지점의 이격 거리가 동일하도록 가로수 간 이격 거리를 6m로 설정하였으며 이에 따라 각 수형들을 대상지 모델링에 배치하여 도로조명 규정에 부합하는 가로등의 조명품질이 가로수의 유형에 따라 저하되는 정도를 분석하고 이를 완화하기 위해 선정한 2가지 보조 조명기구에 의한 효과를 분석하였다.

4.4 조명기구의 위치

최근 보행로의 조명품질 향상을 위해 보조 조명기구의 설치가 활발하게 이루어지고 있다. <Figure 5>는 경기도 지역에 설치된 보조 조명기구의 위치이다.



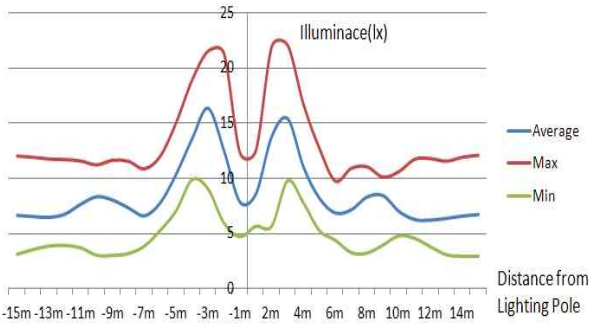
<Figure 5> Roadside on daytime/nighttime

일반적으로 보조 조명기구는 기존의 가로등에 부가적으로 설치하는 경우가 대부분이다. 그러나 <Figure 5>와 같이 가로등에 설치할 경우 본 논문에서 설정한 4.5m의 높이에서 가로수의 유형에 따라서는 보조 조명기구가 가로수 수관폭 내에 위치하는 경우가 발생할 수 있다. 즉, 조명기구를 장애물 내에 설치하게 됨을 의미한다. 이럴 경우 보조 조명기구의 설치 목적을 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라 가로수의 생육에도 문제를 야기할 가능성이 높아진다. 따라서 본 연구에서 보조 조명기구의 위치는 노면에서 4.5m의 높이에 <Figure 5>와 같이 가로등에 추가 조명기구를 설치하는 방법과 보행로 안쪽 방향으로 가로등 사이에 위치시키는 2가지의 위치 선정방법에 의한 결과를 비교하였다.

5. 시뮬레이션 결과

가로수의 유형에 따른 성장을 고려하기 전에 가로수 식재 전 KS A 3701의 도로조명 기준을 만족하는 조명설계 결과를 시뮬레이션 하였다. <Figure 6>은 가로수 식재 전 도로조명 시뮬레이션 결과이다.

결과에서 보행로의 평균 조도는 8.67lx를 보이고 있으며 종합 규제도에 있어서도 매우 양호한 0.72를 보이고 있다.



<Figure 6> Illuminance distribution before planting roadside trees

5.1 가로수의 영향

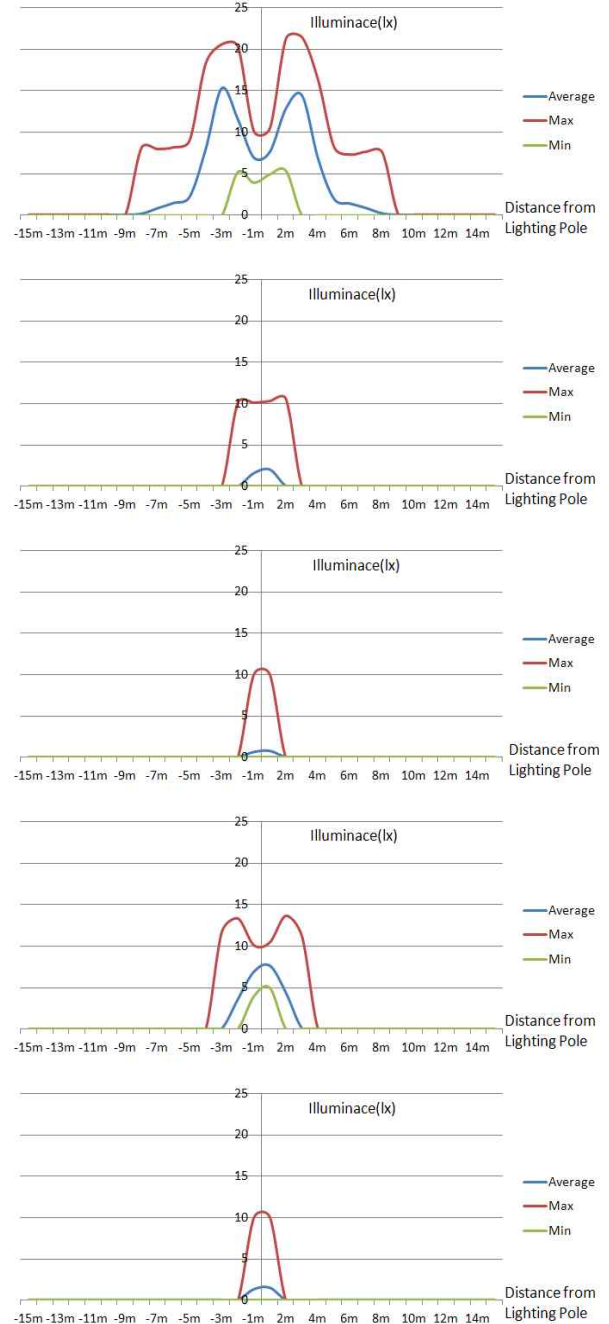
<Table 3>에서 선정된 5가지 유형의 가로수가 10m와 12m로 성장하였을 경우를 가정하여 가로수를 모델링하여 배치한 후 시뮬레이션을 실시한 결과 모든 경우에서 <Figure 6>의 최초 가로수가 식재되기 전 보행로의 조명환경을 크게 침해하는 것으로 분석되었다.

<Table 4> Illuminance analysis by tree types and heights

Tree type	10m		12m	
	Avg	Std	Avg	Std
A-5	2.61	4.60	3.06	4.85
B-5	0.53	1.54	0.12	0.46
C-4	0.38	1.31	0.05	0.18
D-5	1.35	2.92	0.75	2.04
E-3	0.64	1.66	0.09	0.36

<Table 4>에서 A-5 유형의 가로수는 타 유형의 가로수에 비하여 상대적으로 적은 침해 정도를 보이고 있으며 가로수의 수고에 따라서도 12m일 경우가 더 적은 침해를 받는 것으로 나타났으나 나머지 유형의 가로수는 침해 정도가 심각한 것을 알 수 있다. 또한 수고에 따라서도 12m일 경우, 즉 가로수가 성장할 경우 더 많은 침해를 받는 것을 알 수 있다.

다음 <Figure 7>은 A-5에서 E-3까지의 가로수 유형 별로 12m로 성장하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며 10m로 성장하였을 경우도 유사하나 가로등과 가로등 사이 혹은 가로등 주변으로 12m의 경우보다 가로등의 조명효과가 조금 더 나타나고 있다.



<Figure 7> Illuminance distribution each tree type from A-5 to E-3 with 12 meters high.

따라서 가로수의 수형에 따라 차이는 있지만 가로수가 성장함에 따라 보행로의 조명품질은 저하되고 있으며 <Figure 5>와 같이 성장 과정에 있는 가로수의 경우 성목으로 성장하였을 경우 보다 가로수의 흉고 직경이나 가지 수 그리고 잎의 밀도 등이 상대적으로 낮기 때문에 가로수에 의한 영향이 적다. 그러나 결국 가로수가 성장하면 영향의 정도가 점점 증가한다[5].

5.2 보조 조명기구의 효과

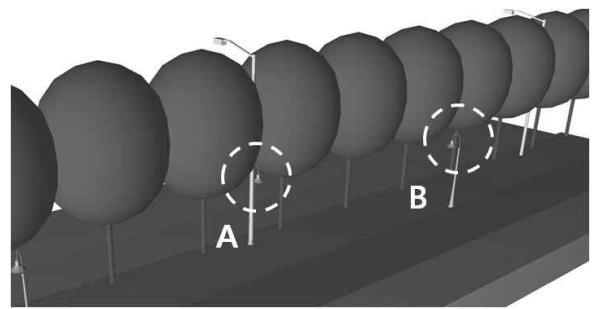
5.1의 결과에서 야간 운전자와 보행자의 안전을 보장하기 위한 도로조명과 도심 지역의 녹지공간으로 다양한 기능을 수행하는 가로수 간에는 주간에는 상호간에 문제가 없지만 야간의 경우 상충관계가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 상충관계는 가로등이나 가로수 하나의 기능을 제한하여 해결할 수 있는 것이 아니기 때문에 야간 도로조명에서 발생할 수 있는 조명품질의 저하를 회복하기 위해서는 필연적으로 추가적인 보조 조명을 설치하여야만 한다. 이를 해소하기 위해 <Figure 5>와 같이 가로등에 추가적으로 보조 조명기구를 설치하고 있는 경우가 대부분이지만 <Table 2>에서와 같이 보조 조명기구의 조명효과를 극대화시키기 위해서는 일정 수준 이상의 높이에 조명기구를 설치하여야만 한다.

일반적으로 보안등의 설치 높이를 지상에서 4.5m의 높이를 권장하고 있기 때문에 가로등에 추가적으로 보조 조명기구를 설치할 경우 가로수의 수관 및 가로등과의 이격 거리 불균등에 따른 상호 근접 상황에서는 각각의 기능을 발휘하기 어려운 경우가 많이 발생할 수 있다. 또한 이를 피하기 위해 보조 조명기구를 낮게 설치할 경우 구체적 수치로 정해지지는 않았지만 KS A 3701의 보행자에 대한 도로조명 요건에서 ‘조명기구

의 눈부심이 보행자에게 불편감을 주지 않도록 충분히 제한되어 있을 것’에 위배되는 경우가 발생할 수 있다. 특히 <Figure 5>의 조명기구 설치 높이는 3~4m 내외로 설치되어 있고 배광이 제어되지 않은 눈 컷 오프형의 조명기구이기 때문에 보행자의 눈부심을 증가시킬 가능성이 높다.

따라서 본 연구에서는 보조 조명기구를 가로등에 직접 설치하는 경우와 보행로 안쪽에 위치하여 가로등과 가로등 사이에 설치하는 2가지 대안을 비교하였다.

<Figure 8>은 가로등에 설치하는 경우를 A, 가로등과 가로등 사이에 위치시키는 경우를 B로 정하고 각 설치 위치를 보여주고 있다.



<Figure 8> Installation position of supplementary luminaires

<Table 5> Illuminance level of each tree type by luminaire type and installation position

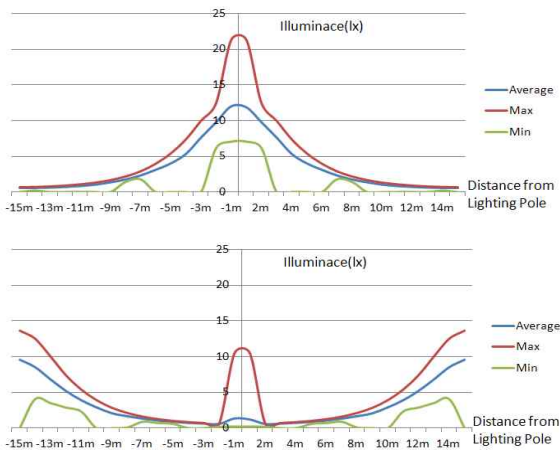
Height of tree		10m				12m			
Installation position		A		B		A		B	
Luminaire type	Tree type	Avg	Std	Avg	Std	Avg	Std	Avg	Std
semi cut off	A-5	7.74	9.94	7.27	4.82	8.20	10.18	7.72	4.67
	B-5	5.68	6.90	5.18	4.82	5.24	6.00	4.78	4.98
	C-4	5.46	6.66	5.04	4.89	5.16	5.82	4.70	5.03
	D-5	6.46	8.16	6.01	4.92	5.87	7.40	5.41	4.79
	E-3	5.30	7.13	5.30	4.87	5.19	5.95	4.75	5.00
non cut off	A-5	6.04	7.81	5.70	4.10	6.48	8.05	6.15	4.13
	B-5	3.95	4.75	3.62	2.92	3.54	3.78	3.22	2.91
	C-4	3.58	4.56	3.47	2.94	3.44	3.58	3.14	2.95
	D-5	4.65	6.09	4.45	3.41	4.17	5.26	3.85	3.02
	E-3	3.52	5.01	3.74	2.98	3.38	3.76	3.21	2.91

<Table 5>는 <Table 4>의 조명품질 침해 정도를 완화시키기 위해 설치한 보조조명의 효과를 분석한 결과이다. 2가지 종류의 보조 조명기구와 가로수의 수형에 따라 10m와 12m의 수고를 반영하였으며 <Figure 8>은 분석을 위한 조명기구의 설치 위치를 나타내고 있다. 결과에서 설치 위치 A의 결과가 설치 위치 B의

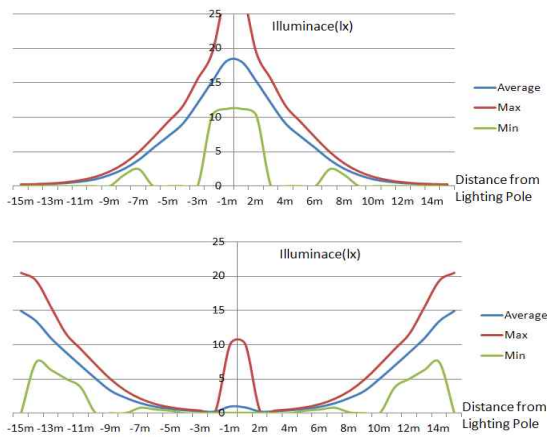
결과보다 평균 노면조도가 높게 나타나지만 조도분포의 표준편차가 B에 비하여 상대적으로 크게 나타나 조도분포의 균질성이 떨어짐을 알 수 있다. 또한 눈 컷 오프형 조명기구의 평균조도는 세미 컷 오프형 조명기구보다 낮게 나타나는 반면 조도분포의 균질성은 상대적으로 높게 나타나고 있다. 따라서 조명기구의 설치

위치는 가로등과 가로등 사이에 위치시키는 B 위치가 평균 노면조도와 조도분포의 균질성 측면에서 우수하다. 조명기구의 경우 눈 컷 오프형도 <Table 1>의 교통량에 따른 보행로 조도 기준에서 교통량이 적은 곳의 기준을 만족시키고는 있지만 조명기구의 설치 후 광속저하 및 조명기구의 오염 등에 따른 조명품질의 저하를 고려하면 세미 컷 오프형이 유리하다.

다음 <Figure 9>는 수고 12m 가로수 수형 C-4의 설치 위치에 따른 눈 컷 오프형의 조도분포이고 <Figure 10>은 세미 컷 오프형의 조도분포이다.

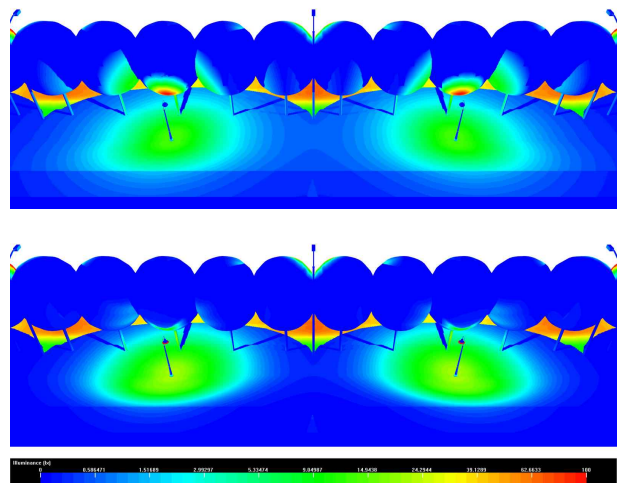


<Figure 9> Illuminance distribution of non cut off luminaire



<Figure 10> Illuminance distribution of semi cut off luminaire

조도분포 결과에서 <Figure 9>의 눈 컷 오프형 조명기구는 광원에서 발산되는 광량을 충분히 제어하지 않기 때문에 노면과 반대로 발산되는 광량이 상대적으로 많아 노면의 조도는 낮게 나타나고 있으며 <Figure 10>의 세미 컷 오프형은 목표 배광이 적절히 제어되어 노면으로 보다 많은 광량을 발산하고 있다.



<Figure 11> Illuminance analysis of non cut off and semi cut off luminaires

<Figure 11>의 윗부분 그림은 눈 컷 오프형 조명기구에 의한 조도분포 이미지 분석결과이고 아래 그림은 세미 컷 오프형 조명기구의 조도분포 이미지 분석결과이다. 결과에서 눈 컷 오프형의 조명기구는 조명기구 설치 맞은편 가로수에 상당히 많은 광량이 방사되어 영향을 주고 있으며 세미 컷 오프형 조명기구는 상대적으로 적은 양이 가로수에 영향을 미치는 반면 조명기구가 설치된 지역의 조도가 조금 더 높게 나타나고 있음을 보이고 있다.

결과를 종합하면 도로조명 기준을 만족하는 가로등 설치가 정상적으로 이루어졌다 하더라도 도심의 환경정화 기능과 녹지공간의 심미적 기능을 추구하는 가로수를 동시에 고려할 경우 시설물이 아닌 가로수는 시간이 지남에 따라 성장하게 되고 성장이 상당히 이루어진 상태에서는 필연적으로 야간 조명환경을 악화시키는 요인으로 작용한다. 이를 해소하기 위해서 보조 조명기구의 설치의 필수적이며 이 보조 조명기구의 종류와 위치에 따라 도로조명에서 보행자에 대한 도로조명 요건을 최대한 만족시키는 조명기구는 배광이 적절히 조절되며 가로등에 직접 설치하는 것 보다 가로등 사이에 보행로 안쪽에 설치하는 것이 최적의 결과를 가져올 수 있다.

6. 결론

야간 보행자의 안전을 보장하고 심리적 안정감을 향상시키기 위해서는 적절한 조명이 필요하다. 특히 도시민들의 건강에 대한 관심의 증대와 이를 거주지 주변에서 가볍게 해결하기 위한 방법으로 걷기의 인기가

높아지고 범죄예방 환경설계에 대한 사회적 관심이 높아지고 있는 상황에서 야간 이용자가 많은 거주지 주변의 대로변에 대한 조명환경 개선은 필수적이다. 그러나 대로변 가로등의 조명 설계기준은 가로수의 유형 및 성장에 대해서는 고려하지 않고 있으며 가로등과 가로수 각각의 목적이 상충관계를 보이고 있는 문제점의 해결이 필요하다. 본 연구에서 제시한 시뮬레이션 접근법을 통하여 제한적이지만 충분한 성장이 이루어진 가로수의 영향을 해결하기 위한 방안을 제시할 수 있으며 그 연구 결과와 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 가로수가 충분히 성장한 도로에서는 도로조명 기준을 충족한 가로등이 설치되었더라도 보행로에 대한 조명품질의 저하를 보이고 있으며 이를 해결하기 위한 가로수 수형관리 등과 같은 방법에는 한계가 있다. 따라서 보조 조명기구를 설치하여 문제점을 해결하는 방법이 필요하다.

둘째, 보조 조명기구를 설치할 경우 조명기구의 설치 위치 선정에 있어 비용 측면을 고려할 경우 가로등에 추가적으로 설치하는 방안을 제안할 수 있으나 조명품질의 균질성 및 조도 향상과 같은 야간 조명기준에 좀 더 부합하고 보행자의 안전을 고려하기 위해서는 보조 조명기구를 가로등과 가로등 사이에 위치시키며 보행로 안쪽으로 독립적으로 설치하는 것이 필요하다. 또한 보다 광범위한 지역의 조명을 위해서는 조명기구의 광량과 조도분포를 고려하여 설치 높이를 설정하는 것이 중요하다.

셋째, 보조 조명기구의 선정에 있어 현재 추가 조명기구의 설치 시 많이 이용되는 눈 컷 오프형은 광원에서 발산되는 광량을 효과적으로 제어하지 못하기 때문에 세미 컷 오프형과 같이 배광 제어가 용이한 조명기구를 선정하는 것이 필요하며 특히 주거지 주변에서 방향성 없이 발산되는 광량은 광공해 문제를 일으킬 수 있다.

넷째, 보조 조명기구의 설치 위치에 따라서는 현재 야간 조명기준 적용에 포함되지 않는 완충녹지의 조명환경 개선과 같은 부가적 개선효과가 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 가로수의 성장 과정, 계절적 변화와 가로수의 밀도 등이 충분히 고려되지 못한 한계점을 가지고 있으나 가로수에 의한 조명품질 저하를 충분히 보여주고 있으며 이를 해결하기 위한 대안제시로 시뮬레이션 접근법을 활용할 수 있다는데 의미가 있다. 향후 본 연구를 바탕으로 조명기구의 종류와 설치 높이에 따라 보행자의 눈부심과 같은 이용자에게 미치는 실질적인 만족도에 대한 연구가 필요하며 추가적으로 과도한 조명으로 인한 조명공해에 대한 연구 역시 필

요하다. 이를 위해 이미지 데이터를 활용한 경관분석 평가 기법 등의 활용에 대해서도 고려하여야 하고 시뮬레이션 결과의 타당성을 입증하기 위한 실증적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

7. 참고 문헌

- [1] Chung, I. H., Yang, J. S. (2010). A Study on Prevention of Urban Crime Using CPTED, Journal The Korean Society of Living Environmental System, 17(2). pp.434-446.
- [2] Kang, S. J., Park, M. R. (2013). A Study on the Safer Parks using CPTED Principles, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section, 29(3), 125-134.
- [3] Oh, S. B., Kim, E. H., Lee, S. G. (2006). Modeling and Actual Investigation of Roadway Lighting in Jeju, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 20(7). pp.1-5.
- [4] Lee, J. S., Lee, S. J. (2011). A Study on the Effect of Roadside Trees' Layout Affecting Lighting Quality on Roadways by Simulation Approach, Journal of the Korea safety management & science, 13(1). pp.51-58.
- [5] Lee, S. J., Lee, J. S. (2012). A Study on the Lighting Distribution on Road Space by Modeling Roadside Tree Types, Journal of the environmental sciences, 21(4). pp.391-399.
- [6] Kwon, K. T., Shin, S. W., Lee, S. H., Rho, J. Y., Choi, S. J., Lee, J. K., Seo, J. J., Lee, G. S., Hwang, M. K. (2009). Lighting Design for Efficient Installation · Operation of Roadway Lighting, Proceeding of the KIIEE Autumn Annual Conference 2009. pp.81-84.
- [7] Korean Standards Association(2007). Lighting for Roads. KS A 3701:2007, Korean Agency of Technology and Standards.
- [8] Choi, J. S. (2003). Roadside Tree Formation and Management Manual. Manual to Korea Forest Service.
- [9] Park, E. J. (2009). Quantification of CO₂ Uptake by Urban Trees and Greenspace Management for C Sequestration, Gyeonggi Research Institute Basic Research Report.

- [10] Sung, H. C. (2003). A Study on the Present Status of Urban Roadside Trees by Major Road Types, Korea Planners Association, 38(2), 245-257.
- [11] Kim, N. G. (2010). Street Tree Form Management Manual. Manual to Korea Forest Service.
- [12] Choi, J. S., Kim, N. C., Moon, S. K. (1988). Study on the Numerical Method of Classifying Treeforms, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 16(2). pp.1-7.
- [13] Yi, S. M., Choi, Y. S., Kim, J. T. (2004). Validation of Lightscape as Outdoor Lighting Simulation with ProMetric, Proceeding of the KIIIE Autumn Annual Conference 2004. pp.43-48.

저자 소개

이 종 성



경희대학교 조경학과 이학박사를 취득하였으며 현재, 상지대학교 친환경 식물학부 원예조경학 전공 교수로 재직 중이다. 관심분야는 경관생태학, GIS 그리고 경관시물레이션 등 이다.

주소: 강원도 원주시 우산동 660 상지대학교 친환경식물학부 원예조경학과

이 석 준



상지대학교에서 산업공학과 학사, 석사를 취득하고 경영학 박사를 취득하였으며 현재 상지대학교 경영정보학과 교수로 재직 중이다. 관심분야는 시물레이션, 데이터마ining, 추천시스템 등 이다.

주소: 강원도 원주시 우산동 660 상지대학교 경영정보학과