

서울시 스마트 조명관리사업의 생활환경개선 편익

최효연* · 유승훈**

Economic Benefits of Living Environmental Improvement by Smart Street-lighting Management in Seoul

Hyo Yeon Choi* · Seung Hoon Yoo**

요약 : 서울시 스마트 조명관리사업은 공공조명의 밝기를 조절하여 에너지 효율을 높이고 인공조명의 오·남용으로 발생하는 빛공해 및 야간조명 미점등 방지를 통하여 서울시민의 생활환경을 개선할 수 있는 사업이다. 본 논문에서는 스마트 조명관리사업을 통해 서울시민이 얻게 되는 생활환경개선 편익을 추정하고자 한다. 이를 위해 무작위 추출된 서울시 500 가구를 대상으로 조건부 가치추정법 설문조사를 수행한 후 얻은 자료를 분석하였다. 전체의 43.4%에 해당하는 다수의 응답자가 지불의사가 전혀 없다고 밝혔기에 영의 지불의사액 자료를 다루기 위해 스파이크 모형을 적용하였다. 분석 결과, 서울시 스마트 조명관리사업에 대해 서울시민들은 가구당 연평균 5,096.1원의 지불의사액을 가지는 것으로 추정되었다. 이 값을 서울시 전체로 확장하면 연간 약 182억원에 해당한다. 이러한 연구결과는 서울시 스마트 조명관리사업 및 공공조명관리정책 결정에 있어서 중요한 참고자료로 활용될 수 있다.

주제어 : 서울시 스마트 조명관리사업, 빛공해, 디밍, 에너지효율, 조건부 가치추정법

ABSTRACT : Smart street-lighting management(SSLM) is a central control and monitoring system for the efficient management of public lights in Seoul. SSLM helps to prevent light-pollution by dimming (adjusting the brightness of the light) and off-lights at night by remote control system. So it improves the living environment in Seoul. This study attempts to estimate the economic benefits accruing to citizens of Seoul from SSLM project. To this end, contingent valuation survey was conducted with a random sample of 500 households in Seoul, and a spike model was applied to dealing with a considerable amount of zero willingness-to-pay(WTP) observations(43.3%). The results show that the mean WTP for implementing the SSLM project is estimated to be 5,096.1 Korean won per household per year. Thus total annual benefits of the betterment in life environment with the SSLM in Seoul approximately amount to 18.2 billion Korean won. This information can be utilized in decision-makings related to management of public lights and energy use.

Key Words : smart street-lighting management, light-pollution, dimming, energy efficiency, contingent valuation method

* 고려대학교 경제학과 박사수료생(Ph.D. Candidate, Department of Economics, Korea University)

** 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과 교수(Professor, Department of Energy Policy, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science & Technology), 교신저자(E-mail: shyoo@seoultech.ac.kr, Tel: 02-970-6802)

I. 서론

적절한 빛의 사용은 도시의 야간경관을 아름답게 해주고, 야간생활을 가능하게 해주며, 인도나 골목길을 걷는 시민들의 시야를 확보해줌으로써 안전과 편안함을 제공하여 시민들의 생활환경개선에 크게 기여한다. 그러나 빛의 남용과 불균형한 분배는 빛공해, 에너지문제 및 야간 보행로 빛 부족 등의 문제들을 야기한다.

최근 이슈화되고 있는 빛공해는 빛의 오·남용으로 인해 발생하는 신종환경공해의 일종으로써 수면장해, 생태계 교란 및 도시미관을 해치는 것 등이 이에 속한다. 이러한 빛공해가 미치는 피해는 천문학, 의학, 생태학, 사회학, 경제학 등 다양한 학문 분야에서 연구되고 있다(예를 들어, Kurt, 1973; Anisimov, 2006; Terrel et al., 2010; Jari et al., 2012).

우리나라 야간 빛 지도인 <그림 1>을 살펴보면 서울시가 유난히 밝게 빛나고 있어 서울시가 야간에 빛을 과도하게 사용하고 있다는 것을 한 눈에 확인할 수 있다. 빛의 남용은 빛공해와 더불어 에너지 낭비문제를 야기하며, 이와 같은 에너지낭비는 국내의 전력수급 불안정성을 고려할 때 반드시 해결해야 할 문제이다. 한편, 서울시의 빛공해 관련 민원이 2009년에는 약 330건이었는데, 2013년에는 약 700건으로 두 배 이상 증가하였다. 이는 서울시민들의 야간 생활환경에 대한 개선요구가 증가한 것으로, 서울시가 빛공해 방지에 대한 적절한 대책을 마련해야 할 필요성을 보여주고 있는 것이다.

이와 같은 빛의 남용과는 반대로 빛이 필요한 곳에 적절히 공급되지 못하는 경우도 존재한다. 예를 들어, 야간 보행로에서 빛의 부족은 보행자

들을 범죄나 안전사고에 노출시킨다. 이러한 사고를 방지하고자 조명을 적절하게 활용하는 연구가 수행된 바 있다(예를 들면, 김대진 외, 2009; 이효창 외, 2011).



출처: NASA, 2012

<그림 1> 야간 빛 지도

미국, 영국과 일본 등의 여러 국가 및 다국적기업들은 이러한 빛의 오·남용으로 야기되는 문제에 대한 대응정책을 마련하고 있다(안내영 외, 2008; 홍진표 외, 2012). 우리나라에서도 빛공해로 인한 생활환경피해 대책의 일환으로 2010년 「인공조명에 의한 빛공해 방지법」을 제정하였고, 2014년 2월에는 환경부가 '인공조명으로 인한 빛공해 수인한도 및 배상액 산정기준'을 신설하여 빛공해에 대한 구체적인 기준 및 제재방안을 마련하였다. 정부의 움직임에 맞춰 서울시에서도 2011년에 「서울특별시 빛공해 방지 및 도시조명관리조례」를 마련하고, '서울의 밤 빛공해 해소 종합대책'을 수립한 바 있다.

한편, 조명사용 효율화 기술 및 시스템 개발연구 등을 통해 빛의 남용을 줄이고 조명에너지를 효율적으로 사용하기 위한 노력도 계속되어 왔다(예를 들어, Huynh et al., 2011; Tahkamo et al., 2012; 홍진표 외, 2012). 특히, 필립스(Phillips), 오스람(Osram) 및 루트론(Lutron) 등 다국적기업들은 효율적 광원 및 조명제어 시스템 개발 등을 통하여 조명사용 효율화에 대한 연구를 적극적으로 진행하고 있다(홍진표 외, 2012). 또한 네트워크기술과 교통량 및 보행량을 반영하는 소프트웨어기술 등이 접목된 공공조명관리 시스템이 개발되고 있으며, 특히 공공조명에 스마트 조명관리를 통한 공공조명관리 시범연구사례들은 에너지 절약과 보행자 또는 야간 운전자에게 안전과 편안함을 제공하는 조명사용수준의 균형점을 찾는 노력을 기울이고 있다(Collins et al., 2002; Paravati et al., 2012; Carreira et al., 2013). 한편 LED조명을 활용한 도시 공간연출의 가능성을 평가한 연구사례도 있다(조성환, 2008). 산학부문의 이러한 노력과 더불어 정부도 「에너지이용 합리화법」에 합리적인 조명에너지 사용방안을 제시하고 있다. 서울시 또한 2012년 ‘원전하나 줄이기’ 종합대책을 세웠으며, 대책의 10대 핵심사업 중 하나가 ‘스마트 조명 및 LED 보급의 획기적 확대’이다.

이러한 빛공해 대응 및 에너지효율화 등의 목표를 달성하기 위한 방안으로 서울시 차원에서 제시되고 있는 것이 스마트 조명관리사업이다. 스마트 조명관리사업의 기본골자는 가로등, 보안등 등의 공공조명 단말기에 제어기를 부착하여 중앙관제센터에서 서울 곳곳에 위치한 공공조명의 밝기를 직접 조절(디밍, dimming)하고 단말기의 상태를 실시간으로 확인하는 것이다. 디밍 및 제어시스템을 이용한다면, 시간과 장소별로 적절한 밝기

의 조명을 제공할 수 있어 빛공해로 인한 수면장해를 방지할 수 있고, 야간경관을 보다 아름답게 유지할 수 있으며, 공공조명의 미점등을 조기에 발견하고 조치할 수 있게 되어 야간 범죄 및 안전사고를 방지할 수 있는 등 다양한 생활환경의 개선을 꾀할 수 있다. 또한 스마트 조명관리는 통행이 없는 곳에서 심야에 같은 밝기로 계속 점등되어 있는 공공조명의 밝기를 제어할 수 있어 에너지효율화에 일조할 수 있다. 따라서 서울시에서 스마트 조명관리사업을 시행하여 야간 조명사용을 적절히 제어한다면 인공조명이 야기하는 빛공해 및 에너지낭비 문제를 비롯하여 야간 사고 방지 등에도 도움이 될 것으로 기대된다.

그러나 스마트 조명관리를 하기 위해서는 단말기 부착 및 중앙관제센터 건립 등 상당한 비용이 소요된다. 따라서 시민들이 스마트 조명관리사업을 통하여 어느 정도의 편익을 얻을 수 있는지를 엄밀하게 분석하여 관련 정책결정 근거자료로 활용할 필요가 있다.

스마트 조명관리사업의 시행으로 얻을 수 있는 경제적 편익 중 우선적으로 생각할 수 있는 것은 에너지 효율화를 통한 전력사용량 감소편익과 이와 관련된 대기오염물질 배출저감편익 및 온실가스 저감편익이다. 다음으로 생각할 수 있는 것이 앞서 설명한 빛공해 방지, 야간 범죄 및 안전사고 예방 및 야간경관개선 등을 통한 생활환경개선 편익이다. 전자의 경우 스마트 조명관리사업의 기술 분석 등을 통하여 감소되는 전력사용량 및 전력단가, 각종 배출계수, 대기오염물질별 원단위 환경비용 정보를 가지고 비교적 쉽게 구할 수 있다. 하지만 후자는 생활환경이라는 시장에서 거래되지 않는 비시장재화(non-market goods)의 개선으로 발생하는 편익이기에 통상적인 시장관측 자료를

통해서는 측정이 어렵다.

생활환경개선과 같은 비시장재화의 경제적 편익 내지는 경제적 가치를 평가할 수 있는 방법론으로는 대표적으로 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method)을 들 수 있다(예, Arrow et al., 1993; 박승준, 1994; Carson, 2011; Wang et al., 2013; Merchan et al., 2014; Meyerhoff et al., 2014). CVM은 시장에서 거래가 불가능한 환경재를 비롯하여 새로운 기술, 공공재 등의 가치를 측정할 수 있는 방법으로 국내외에서 공공사업의 경제적 타당성을 평가하거나 사업의 경제적 가치 또는 피해를 평가할 때 가장 널리 사용되는 방법 중 하나이다(한국개발연구원, 2008).

스마트 조명관리에 관한 연구는 조명기술 및 관리 시스템 개발에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 이러한 기술 및 관리 시스템은 에너지 절약, 야간안전 및 보행자의 편안함, 야간 운전자의 빛에 대한 스트레스 감소 등을 목적으로 적용되었다(Collins et al., 2002; Paravati et al., 2012; Carreira et al., 2013; 신대식·김훈, 2013). 한편 조성환(2008)은 LED 광원의 무한한 색 연출의 가능성을 통한 도시 공간 조명연출의 가능성을 높이 평가하고 있었다.

이와 같이 대부분의 스마트 조명관리 연구는 관련 기술개발 및 적용을 에너지효율화, 야간 안전 및 디자인 측면에서 진행되었다. 반면에 스마트 조명관리사업의 편익을 측정하는 연구는 없었다. 다만 유사한 연구사례로 조명 교체사업을 통해 얻게 되는 거리조명관리 개선에 대한 경제적 편익을 추정한 연구(Willis et al., 2005)가 있다. Willis et al.(2005)에서는 거리조명관리 개선 편익으로 가로등 조명 밝기 개선에 따른 야간 범죄 및 안전사고 감소, 경관개선, 눈부심 방지와 같은 빛

공해 감소편익을 제시하고 있으며, 이러한 편익들을 포괄하는 거리조명관리 개선에 따른 경제적 가치를 CVM으로 추정하여 제시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내외에서 환경질 개선의 경제적 편익을 추정하는 데 가장 널리 적용되고 있는 CVM을 적용하여 스마트 조명관리에서 얻게 되는 생활환경개선 편익을 추정하고자 한다. 서울시민들이 평가하는 스마트 조명관리사업의 생활환경개선에 대한 경제적 편익 정보는 사업의 직접적인 수혜자가 서울시민이라는 점에서 관련 정책결정자들에게 중요한 정보가 될 것이다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. II절에서는 해외의 스마트 조명관리 운영사례, 현재 서울시의 공공조명 관리상황 및 스마트 조명관리사업을 통해 얻을 수 있는 편익항목에 대해 자세히 살펴볼 것이다. III절에서는 이러한 경제적 편익 추정을 위한 연구방법론을 설명한다. IV절에서 CVM을 적용한 분석결과를 제시한다. 마지막으로 V절은 결론으로 할애한다.

II. 공공조명 관리

1. 스마트 조명관리 해외사례

미국, 일본, 영국, 이탈리아 등 해외 선진국에서는 빚공해 방지를 위해 지역별 용도를 도시중심부, 교외형주택지, 자연지역 등으로 구분하여 빛의 세기, 전등갯, 점등 시간, 전등 종류를 규제하는 등의 다양한 대책을 마련하고 있다(안내영 외 2008). 아울러 일부국가에서는 단순한 규제에서 벗어나 LED등 교체 또는 디밍을 활용한 스마트 조명관리를 시범사업 차원에서 시행하고 있다.

몇 가지 사례를 구체적으로 살펴보면, 네덜란드

에 위치한 TVILIGHT(社)는 디밍 센서를 개발하여 스마트 조명관리를 시험해보고 있다. 네덜란드 그로닝겐(Groningen)시에서는 외곽 주차장에 시범사업으로 'Dynamic dimming system'을 구축하였고, 누에넨(Nuenen)시에서는 주거지역에 디밍 시스템을 구축하였다. 두 시범사업 모두 가로등에 센서를 설치하여 보행자가 없을 때는 조명의 밝기를 20%로 유지하고 보행자가 센서의 인식범위에 들어오면 가로등의 밝기를 100%로 조절하는 것이다. TVILIGHT(社)는 이 시범사업을 통해 보행여부에 따른 조명밝기 조절로 에너지효율화에 따른 에너지절약 정도 및 야경경관 연출을 파악하고 있다(www.tvilight.com).

스페인의 바르셀로나(Barcelona)는 도시계획, 생태학 및 IT를 결합하여 'Smart City'를 추구하고 있는데, 그 일환으로 스마트 조명관리 프로그램을 추진하고 있다. 50개 거리에서 1,155개의 가로등을 LED등으로 전환하고, 거리조명을 원격제어 할 수 있는 시스템을 갖추려하고 있으며, 이미 절반 정도의 거리조명은 원격통제가 가능한 시스템을 갖추었다(도시기후리더십그룹 홈페이지).

캐나다는 'LightSaver' 사업을 통해 다양한 디밍 관련 시범 사업을 행하고 있다. 주로 가로등과 주차장을 대상으로 적용하였으며, 각 시범 사업의 내용과 에너지 절약 결과를 홈페이지를 통해 제공하고 있다(www.lightsavers.ca). 이 외에도 영국 버밍엄(Birmingham), 폴란드 크라코프(Krakow) 등에서도 LED등 교체 및 조명제어사업 등을 실시하여 에너지 절감효과 및 안전사고 예방 등의 효과를 보고 있었다.

종합적으로 살펴보면, 스마트 조명관리는 여러 도시에서 다양한 형태로 실험되고 있는데, 전반적으로 디밍과 LED등 교체를 통해 에너지 낭비를 줄

이고, 범죄 및 안전사고를 예방하며, 아름다운 야경경관을 연출하는 효과를 얻는 것으로 나타났다.

2. 우리나라 및 서울시 공공조명 관리현황

선행연구들을 종합하여 보면 향후 조명관리는 LED 광원 교체와 스마트 조명관리 시스템 개발 및 적용이 될 것이다. 이를 통하여 에너지 절약과 함께 최적 야간조명 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 LED 조명의 무한한 색 연출 기능을 활용한 야간 도시경관 연출 및 디자인에 대한 개선도 관심을 받을 것으로 보인다.

현재 우리나라의 야간 조명관리는 조명기구에 관한 설치기준 및 경관이나 이미지 제고를 위한 기준 정도만 제시하는 수준이다. 구체적으로 몇몇 관련 규정을 살펴보면, 2013년에 환경부에서는 '빛공해방지계획'을 수립하고 조명환경 관리 구역을 지정하였다. 국토교통부에서는 「도로안전시설 설치 및 관리지침」(2012년 11월), 「경관법」 및 시행령(2013년 3월)을 지정하여 도로 및 교통 등급에 따른 조도조명 등급관리 및 경관조명을 관리하고 있다. 안전행정부에서는 「옥외광고물 등 관리법」(2013년 3월) 지정을 통해 야간 옥외광고물을 정비하고 있다. 산업통상자원부에서는 「에너지 이용 합리화법」(2013년 3월)에 조명의 효율적 이용을 통한 에너지 절감방안을 제시하고 있다.

한편 조명관리 관련 상위계획에서는 선행연구에서 살펴본 향후 조명관리와 같이 LED 광원 교체 및 스마트 조명관리 시스템 구축의 목표가 포함되어 있다. 구체적으로 산업통상자원부에서는 지능형 통합관제시스템 설치 및 지능형 디밍시스템 설치를 중장기 계획으로 세우고 있으며("가로등 운영에 관한가이드라인", 2012년 3월), 서울시

에서는 도로조명을 LED 광원으로 교체하고(“LED 도로조명 개선 중장기 계획”, 2012년 1월), 스마트 조명도시 종합제어센터 구축 및 시범사업을 추진할 계획(“친환경 스마트 조명도시 구축”, 2012년 3월)을 수립하였다.

현재 서울시에서는 가로등, 보안등, 공원등 등 약 52만개의 공공조명이 시민의 보행길, 도로 및 공원 등을 밝히고 있지만, 디밍을 통한 조명의 효율적 사용 및 조명상태 감시에 대한 통합적이고 체계적인 관리는 이루어지지 않고 있다. 구체적으로 살펴보면 가로등은 남산 가로등통제소에서 송출한 전파신호를 통해 점·소등되며 가로등의 약 20% 정도는 관제시스템으로 점·소등 상태가 감시되지만, 고장 등에 의한 상태 파악은 주로 민원에 의해 파악되고 있다. 보안등의 경우 개별등주에 자체 타이머를 부착하여 점·소등이 이루어지며, 원격 점·소등 상태 감시는 시행되지 않고 있고, 고장 및 미점등에 대한 상태 역시 민원에 의해 파악되고 있다. 공원등은 자치구에 따라 남산의 신호를 통해 제어되거나 타이머를 통해 제어된다. 고장 등의 상태는 주로 민원과 순찰을 통해 파악되고 있어 스마트 조명관리는 이뤄지지 않고 있다.

3. 서울시 스마트 조명관리의 편익

서울시의 조명관리시스템은 남산 통제센터의 전파신호 송출과 개별 등주의 타이머 부착을 통하여 정해진 시간에 점·소등하는 형태이며, 각 공공조명의 미점등 여부, 고장여부, 누전여부 등에 대한 확인은 대부분 민원과 순찰인력을 통해서 확인이 되고 있어 공공조명의 상태를 체계적으로 파악하지 못하고 있는 실정이다. 또한 통행량 정도 및 보행자 이동과 관계없이 소등시까지 같은 밝기

로 점등되고 있어 에너지가 낭비되고 있다.

현재의 공공조명 관리에서 스마트 조명관리로 전환한다면, 중앙관제센터에서 서울 곳곳에 위치한 공공조명의 상태를 실시간으로 파악하여 조치를 취하고 시간·장소 및 통행상황에 맞는 조명의 밝기를 제공하여 에너지 효율화 및 생활환경개선을 꾀할 수 있다. 에너지 효율화를 통해서 얻을 수 있는 편익으로는 전력사용량 저감 및 전력생산 과정에서 발생하는 대기오염물질이나 온실가스의 배출 저감을 들 수 있다. 이러한 편익항목은 스마트 조명관리사업에 대한 기술 분석을 통하여 실질적인 전력사용 저감량 정보를 구하고, 전력생산 단위 당 대기오염물질 배출량, 온실가스 배출량, 전력단가, 온실가스 배출권 가격 등의 정보를 이용한다면 추정이 그리 어렵지 않다.

에너지 효율화 외에도 스마트 조명관리를 통해 서울시민들이 얻게 되는 다양한 생활환경개선 편익이 존재한다. 스마트 조명관리 사업은 개별 공공조명에 센서 및 무선제어장치를 설치하여 중앙관제센터에서 점·소등을 제어하고 조명의 밝기를 원격으로 통제할 수 있는 새로운 조명관리사업이다. 이 사업이 시행된다면 디밍과 원격관리기능을 활용하여 집밖의 가로등 및 보안등의 빛 때문에 겪게 되는 인근주민들의 수면장해 방지에 도움을 줄 수 있다. 또한 토지이용용도 및 시간대를 반영한 조명밝기조절을 통해 야간의 과도한 빛에 의한 동·식물 생장 저해, 생태계 교란 및 천체관측 방해 등의 빛공해 피해도 방지할 수 있다.¹⁾

이 외에도 중앙관리센터에서 각 공공조명상태를 실시간으로 파악하는 모니터링 기능을 활용한다면 미점등 및 고장 조명을 조기 발견하여 신속한 조치를 취할 수 있어 야간에 일어날 수 있는 범죄 및 사고 등을 예방할 수 있고, 보행자에게 시야

를 확보해 줌으로써 편안함을 제공할 수 있다. 또한 가로등 누전감시 및 조치로 감전사고도 방지할 수 있어 서울시민의 야간 생활환경개선에 일조할 수 있다. 또한 적절한 밝기의 조명관리 및 활용은 어지럽고 인공적인 도시 경관에서 탈피하여 정온한 야경을 연출할 수 있게 해준다. 네덜란드 누에넨시의 ‘반고흐마을’과 같이 디밍과 원격 감시·관리를 활용하여 적절한 밝기의 조명으로 시간과 장소에 맞는 정온한 야경경관을 연출한다면 도시 경관을 아름답게 만들어 국가 및 서울시의 이미지를 개선시킬 수 있다. 이를 통하여 서울시의 품격이 향상된다면 관광객이 증가하는 효과 등을 기대해 볼 수 있다.

이러한 생활환경개선 편익은 에너지 효율화를 통한 편익과는 달리 특별하게 고안된 경제학적 기법을 적용해야 평가가 가능하다. 이는 생활환경이라는 것이 시장에서 일반 물건처럼 거래가 되는 재화가 아니라 시장에서 거래되지 않는 비시장재화이기 때문이다. 앞서 언급하였듯이, 본 연구에서는 연구대상 재화의 성격 및 관련 연구사례 등을 종합적으로 고려하여 이 편익의 추정을 위해 CVM을 적용할 것이다. 따라서 본 논문의 이후 부분은 CVM에 대해 설명하면서 분석모형 및 분석결과를 제시할 것이다.

III. 연구방법

1. CVM

공공투자사업과 같은 비시장재의 경제적 편익을 추정하는 데 있어서 CVM이나 컨조인트 분석

법이 가장 널리 적용되고 있다. 다만 스마트 조명관리사업의 경우 컨조인트 분석법을 적용하기에는 몇 가지 어려움이 있다. 첫째, 컨조인트 분석 적용에 필수적인 다양한 속성에 대한 정의가 간단하지 않다. 둘째, 속성집합을 잘 정의할 수 있다 하더라도 실제 설문조사 과정에서 응답자를 충분히 이해시키기에 어려움이 있다. 왜냐하면 다양한 속성에 대해 효과적으로 설명해야 하기 때문이다. 이러한 이유 때문에 컨조인트 분석 적용시 응답자의 인식상의 부담은 매우 큰 편이다. 셋째, 기획재정부가 주관하는 공공투자사업에 대한 예비타당성조사 및 서울연구원이 주관하고 있는 서울시 투용자사업 심사에서 보면 컨조인트 분석은 거의 적용되지 않았으며 CVM이 주로 적용되고 있다. 따라서 본 논문에서도 상기 3가지 이유 때문에 CVM을 적용하여 생활환경개선 편익을 추정하고자 한다.

통상 CVM 실증연구는 1) 평가대상재화 선정, 2) 스마트 조명관리사업에 대한 시나리오 작성, 3) 지불의사액(willingness-to-pay, WTP) 질문 등을 포함하는 설문지 작성, 4) 설문을 시행하여 데이터 구축, 5) 데이터를 분석하여 WTP 등의 필요한 정보를 얻는 다섯 단계로 진행되며, 본 연구도 이러한 절차를 따랐다.

2. 설문 설계

1) 지불수단의 선택

현실성 있는 지불수단을 제시하는 것은 가상적 상황을 좀 더 현실화시켜 의향과 행동 간의 관계를 보다 일치(incentive compatibility)시킬 수 있

1) 디밍 및 원격관리기능과 더불어 상업지구, 주택지구, 농업지구, 자연지구 등으로 용도구역을 나누어 조명기기를 달리 선정하고 침입광 등을 관리한다면 보다 효과적으로 빛공해를 방지할 수 있다.

으므로 WTP 응답의 편의를 줄일 수 있다. 스마트 조명관리사업의 시행을 위한 재원확보 차원과 응답자의 지불수단에 대한 친숙성을 고려하여 가구당 추가 재산세를 지불수단으로 제시하였으며, 지불기간 및 지불횟수는 향후 5년 동안 연 1회씩 지불하는 것으로 설정하였다.

2) 지불의사유도 방법의 결정

주어진 제시금액을 지불할 의향이 있는지에 대해 “예”, “아니오”로 묻는 양분선택형(DC, dichotomous choice) 질문법은 시장에서의 물건 구매 행위와 유사한 의사결정이 가능하며 국민투표 방식과도 유사하여 응답자의 응답이 용이한 장점을 가지고 있으며 유인일치적이다. 특히 개방형 질문법을 사용하게 되면 응답자의 인식상 부담이 크며 저항적 지불의사가(protest bids)가 크게 늘어나는 문제가 있기에 양분선택형 질문법이 가장 널리 사용되고 있다.

DC 질문법은 질문 횟수 및 방식에 따라 크게 2가지로 구분된다. 첫째, 단 한 번의 질문만 하는 단일경계(SBDC, single-bounded DC) 모형이다. 둘째, 단일경계 질문 이후에 후속질문을 한 번 더 하는 이중경계(DBDC, double-bounded DC) 모형이 있다. 이중경계 모형은 추가질문을 통하여 WTP 응답의 정보량을 늘려 통계적 효율성을 제고할 수 있다는 점에서 바람직하다. 하지만 두 개의 응답 사이에서 발생할 수 있는 반응효과(response effect)로 인해 편위의 발생 가능성이 커지는 문제가 있다(McFadden, 1994; Cameron and Quiggin, 1994).

본 논문에서는 두 가지 지불의사 유형 중에서 단일경계 모형을 적용한다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 앞서 언급하였듯이 이중경계 모형은 통

계적 효율성을 제고할 수 있지만 반응효과로 인한 편위가 크게 늘어나는 문제점을 안고 있는 반면에 단일경계 모형을 적용하면 통계적 효율성은 좀 줄어들지만 편위의 문제는 발생하지 않는다. CVM 적용결과는 단순한 연구결과물이라기보다는 정책 평가에 직접 사용될 수 있으므로 효율성의 제고보다는 편위의 저감이 매우 중요할 수 있다. 둘째, 미국 해양대기청 및 기획재정부/한국개발연구원 CVM 적용 가이드라인에서도 이중경계 모형이 아닌 단일경계 모형에 근거하여 분석할 것을 지침으로 제시하고 있다(Arrow et al., 1993; 한국개발연구원, 2008).

3) 자료 수집

여론조사 전문기관의 주관으로 2014년 1월 한 달 동안 스마트 조명관리사업에 대한 서울시 500 가구 설문조사를 수행했다. 스마트 조명관리사업의 수혜자가 서울시민이라는 점과 가구 내 의사결정자의 의견을 반영하기 위해 서울시에 거주하는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 및 배우자를 설문대상으로 하였다.

또한 <표 1>과 같이 서울시 25개 자치구의 인구 구성비와 서울시민의 남녀비율(남자 49.3%, 여자 50.7%, 2013년 기준)에 맞춰 표본수(남자 50.5%, 여자 49.6%)를 할당하여 총 500 가구를 대상으로 한 설문조사 자료를 얻을 수 있었다. 응답자의 사업에 대한 이해를 도와 신뢰성 있는 응답 자료를 얻기 위하여 일대일 개별면접 설문을 하였으며, 설문조사 시 사업이 서울시민에게 미치는 영향에 대한 시각적 보조 자료를 사업 시행 전후로 비교 제시하여 응답자가 설문에 보다 몰입할 수 있도록 도왔다.

〈표 1〉 서울시 자치구별 인구구성과 표본구성

구분	표본		모집단	
	표본수	비율 (%)	인구수*	비율 (%)
강남구	28	5.6	574,226	5.5
강동구	24	4.8	485,422	4.7
강북구	17	3.4	340,167	3.3
강서구	27	5.4	577,254	5.6
관악구	29	5.8	534,617	5.1
광진구	19	3.8	380,146	3.7
구로구	20	4	457,516	4.4
금천구	12	2.4	258,532	2.5
노원구	27	5.4	589,878	5.7
도봉구	17	3.4	358,590	3.5
동대문구	19	3.8	374,664	3.6
동작구	20	4	422,234	4.1
마포구	20	4	390,712	3.8
서대문구	16	3.2	323,449	3.1
서초구	20	4	448,511	4.3
성동구	15	3	306,692	3.0
성북구	24	4.8	482,095	4.6
송파구	30	6	677,460	6.5
양천구	22	4.4	494,583	4.8
영등포구	20	4	423,518	4.1
용산구	13	2.6	250,922	2.4
은평구	24	4.8	505,935	4.9
종로구	9	1.8	166,665	1.6
중 구	7	1.4	137,122	1.3
중랑구	21	4.2	422,741	4.1
합계	500	100	10,383,651	100

주: *서울시 인구수는 2013년 기준(서울통계).

4) 설문지의 구성

설문지는 1) 배경질문, 2) 시나리오 제시, 3) WTP에 대한 질문, 4) 사회경제적 변수에 대한 질문으로 구성하였다. 응답자의 가상시장에 대한 물입을 돕고 관련 현황에 대한 인식이 어느 정도인지에 대해 알아보기 위해 빗공해 관련 수면 장애나 운전시 도로조명으로 인한 사고위험 경험 여부, 공공조명관리에 대한 평소 인식 등에 대한 질문을 먼저 실시한 후 스마트 조명관리사업에 대한 시나리오를 제시하였다. 시나리오에서는 현재 서

울시 공공조명관리 상황과 스마트 조명관리사업 시행 후에 얻게 되는 빗공해 방지, 야간 범죄 및 사고 예방, 누전 사고예방, 정온한 야경연출 등의 생활환경개선편익들에 대해 설명하였으며, 보기 카드를 제시하여(〈부록〉 참조) 평가대상 사업이 서울시민들에게 미치는 영향에 대한 설문 대상자들의 이해를 도왔다. 이후에 다양한 생활환경개선 편익을 제공하는 서울시 스마트 조명관리사업에 대한 지불의사액이 있는지에 대한 질문을 하였다.

3. 분석모형

Hanemann(1984)이 제안한 효용격차모형(utility difference model)이 평균 WTP 값의 추정을 위한 실증연구에서 가장 널리 사용되고 있다. 이론적 모형은 다음과 같다. N 명의 응답자가 있을 때, 단일경계 모형의 로그-우도함수(log-likelihood function)는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N (I_i^Y \ln [1 - G_C(A_i)] + I_i^N \ln G_C(A_i)) \quad (1)$$

여기서 C 는 최대 WTP를 의미하며, $G_C(\cdot)$ 는 응답자 i 의 WTP에 대한 누적분포함수(CDF, cumulative distribution function)이다. $G_C(A_i)$ 는 제시된 금액 A_i 보다 개인의 진실된 WTP가 더 낮을 확률, 즉 “아니오”라고 대답할 확률이며, $1 - G_C(A_i)$ 은 제시금액 A_i 에 대하여 “예”라고 대답할 확률이다. I_i^Y 및 I_i^N 은 식 (2)와 같이 정의되는데, $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수로서 괄호 안의 내용이 참이면 1의 값을 가지며 거짓이면 0의 값을 가진다.

$$\begin{cases} I_i^Y = 1(i \text{의 응답이 "예"}) \\ I_i^N = 1(i \text{의 응답이 "아니오"}) \end{cases} \quad (2)$$

한편 효용격차모형에 따르면 개인의 효용은 관측가능한 부분인 간접효용함수($v(s, m; x)$, s : 스마트 조명관리사업 시행 여부, m : 소득, x : 관측되는 개인의 특성)와 관측 불가능한 확률적 부분(ϵ_s)으로 구성된다. 응답자가 “스마트 조명관리사업을 위해 A 금액을 지불할 의사가 있는가?”는 질문에 “예”라고 응답하는 경우, 다음의 식이 성립한다.

$$v(1, m - A; x) + \epsilon_1 - v(0, m; x) - \epsilon_0 \geq 0$$

이를 효용격차함수로 정리하면 식 (3)과 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta v \equiv v(1, m - A; x) - v(0, m; x) : \eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1 \quad (3)$$

ϵ 이 타입 I 극치분포(type-I extreme value distribution)를 따르는 것으로 정형화하고, 제시 금액 A 에 대한 선형함수형태인 효용격차함수($\Delta v = a + bA$)와 결합하면 WTP의 CDF는 식 (4)의 형태를 취하게 된다.

$$G_C(A) = [1 + \exp(a + bA)]^{-1} \quad (4)$$

본 연구에서 설계한 설문지에서는 제시금액 A 를 지불할 의사가 없다고 응답한 응답자들을 대상으로 “조금이라도 지불할 의사가 있는가”에 대하여 추가질문을 하였다. 추가질문에 대해 “지불할 의사가 있다”고 응답한다면 응답자는 양의 WTP를 가지며, “지불할 의사가 없다”고 응답한다면 영(0)의 WTP를 가지게 된다. 분석결과 응답자의

43.4%가 0의 WTP를 가지는 것으로 집계되었다. 이러한 영의 WTP 자료를 다루기 위해 본 연구에서는 Kriström(1997)이 제안하고 Yoo and Kwak(2002) 등에서 적용된 바 있는 스파이크 모형(spike model)을 적용하였다.

식 (4)의 I_i^N 에 해당하는 개별 응답자는 영의 WTP를 구분하는 추가질문에 대한 응답에 따라 식 (5)와 같이 I_i^{NY} 및 I_i^{NN} 로 구분할 수 있다.

$$\begin{cases} I_i^Y = 1(i \text{의 응답이 "예"}) \\ I_i^{NY} = 1(i \text{의 응답이 "아니오-예"}) \\ I_i^{NN} = 1(i \text{의 응답이 "아니오-아니오"}) \end{cases} \quad (5)$$

식(4)에 제시된 WTP의 CDF를 스파이크 모형에 맞게 변형하면 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} G_C(A) &= \begin{cases} [1 + \exp(a + bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)을 결합하여 스파이크 모형의 로그-우도함수를 구성하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \ln L = \sum_{i=1}^N & (I_i^Y \ln[1 - G_C(A_i)] \\ & + I_i^{NY} \ln[G_C(A_i) - G_C(0)] \\ & + I_i^{NN} \ln[G_C(0)]) \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서 영의 WTP를 갖는 응답자 비율을 의미하는 스파이크는 $G_C(0) = [1 + \exp(a)]^{-1}$ 으로 계산된다. 식 (6)으로부터 WTP의 평균값을 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{C} = (1/b) \ln [1 + \exp(a)] \quad (8)$$

또한, 각 응답자의 사회·경제적 특성과 공공조명 정책에 대한 의견이 WTP 질문에 대한 응답에 어떤 영향을 주는지 확인하기 위하여 공변량(covariate)을 포함한 모형을 분석할 필요가 있다. CVM 응용연구에서는 WTP 모형 내에 공변량을 포함하여 추정함으로써 모형의 이론적 타당성과 내적 일관성을 검증하는 것이 일반적이다. 공변량을 포함할 경우, 효용격차함수의 a 를 $a + x_i' \beta$ 로 대체한다. 여기서 x_i 는 응답자의 사회·경제적 특성과 공공조명 정책에 대한 의견을 반영하는 공변량 벡터이고, β 는 추정해야 할 모수로 이루어진 벡터이다.

IV. 분석결과

〈표 2〉는 제시금액에 따른 WTP 응답의 분포를 보여주고 있다. 제시금액이 높아질수록 “예”라고 응답하는 비율은 줄어들고 “아니오”라고 응답하는 비율은 커지는 경향을 보이고 있다.

〈표 2〉 제시금액별 WTP 응답의 분포

제시금액 (원)	“예”		“아니오- 예”		“아니오- 아니오”		합계	
	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)
1,000	49	58.3	6	7.1	29	34.5	84	100
2,000	37	44.6	13	15.7	33	39.8	83	100
3,000	43	51.8	6	7.2	34	41.0	83	100
5,000	31	36.9	15	17.9	38	45.2	84	100
7,000	16	19.3	23	27.7	44	53.0	83	100
10,000	20	24.1	24	28.9	39	47.0	83	100
계	196	39.2	87	17.4	217	43.4	500	100

〈표 3〉은 응답자들의 사회·경제적 특성과 공공조명과 관련된 태도를 보여준다. 응답가구의 월평균 소득은 약 480만원이었으며, 응답자의 평균 교육년수는 14.45년으로 고등학교졸업(12년)과 대학졸업(16년) 사이 수준이었다. 응답자의 성비는 남녀가 거의 동일하였고, 응답자의 평균나이는 45세였다. 한편, 지난 1년 동안 집밖 조명으로 인한 수면을 방해받은 경험이 있는 응답자는 100명으로 전체응답자의 20%였으며, 이중 67명은 가로등과 보안등의 빛에 의해 수면을 방해받았다고 응답하였다. 응답자의 23%는 현재 공공조명관리에 대해 불만족하는 것으로 나타났으며, 응답자의 42%가 서울시가 추후 야간경관개선을 위해 공공조명밝기를 관리하는 것을 중점적으로 추진해야 한다고 응답하였다.

〈표 3〉 응답자들의 사회·경제적 변수 및 공공조명정책에 대한 태도의 표본통계

변수	정의	평균	표준 편차
소득	월평균 가구소득(단위: 백만원)	4.78	4.99
교육	응답자의 교육년수(단위: 년)	14.45	2.37
여성	여성응답자(0=남성, 1=여성)	0.496	0.50
나이	응답자의 연령(단위: 세)	45.07	9.08
수면방해	응답자의 지난 1년간 집밖 조명의 빛으로 인한 수면방해 경험 여부(0=없다, 1=있다)	0.2	0.04
공공조명 관리	공공조명관리에 대한 만족도(0=보통 또는 만족, 1=불만족)	0.23	0.42
공공조명 밝기	야간경관개선을 위한 중점 추진사항(0=그 외, 1=공공조명밝기관리)	0.42	0.49

〈표 4〉는 식 (7)의 로그-우도함수식에 최우추정법(maximum likelihood estimation)을 적용하여 단일경계 스파이크모형의 모수인 공변량 없이 a 와 b 를 추정한 결과와 공변량을 포함한 추정결

〈표 4〉 단일경계 스파이크 모형의 추정결과

구분	추정계수 (t -값)	
	공변량이 없는 모형	공변량을 포함한 모형
상수항	0.2501** (2.83)	-1.8545* (-1.72)
제시금액	-0.1627** (-10.53)	-0.1646** (-10.21)
소득	-	0.3466* (1.81)
교육	-	0.1402** (2.52)
소득×교육	-	-0.0211* (-1.91)
여성	-	-0.0377 (-0.22)
나이	-	-0.0031 (-0.30)
수면방해	-	-0.0521 (-0.24)
공공조명관리	-	0.3079 (1.55)
공공조명받기	-	0.0738 (0.42)
spike	0.4263** (18.79)	0.4357** (19.56)
표본의 크기	500	500
로그우도값	-499.88	-495.55
Wald 통계량 (p -value)	391.6 (0.000)	385.7 (0.000)

주: *와 **는 각각 유의수준 10%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함. 제시금액의 단위는 추정의 편의상 1,000원으로 하였음.

과를 제시하고 있다.

공변량이 없는 단일경계 스파이크 모형의 추정 결과를 살펴보면, 제시금액의 추정계수가 음수로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다. 이는 제시금액이 커질수록 응답자들이 스마트 조명관리 사업의 시행을 위한 제시금액에 “예”라고 응답할 확률이 감소함을 의미한다. 따라서 부호는 합리적으로 추정된 것이다. 한편, 스파이크 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하며, 0.4263으로 추정되어 〈표 2〉의 영의 WTP를 밝힌 비율 43.4%와 유사함을 확인할 수 있었다. 따라서 스파이크도 적절하게 추정되었다.

응답자 또는 가구의 특성이 서울시 스마트 조명관리사업에 대한 지불의사확률에 어떠한 영향을 주는지 확인하기 위하여 분석한 공변량이 포함된 모형의 경우, 가구소득수준이 높고 응답자의 교육수준이 높을수록 지불의사확률이 높았으며,

그 외 사회·경제적 특성과 공공조명 정책에 대한 의견 변수들은 지불의사 확률에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

〈표 5〉는 〈표 4〉의 추정결과와 식 (8)을 이용하여 스마트 조명관리사업에 대한 서울시 가구의 연평균 WTP를 추정한 결과를 담고 있다. 서울의 평균적인 가구는 스마트 조명관리사업의 성공적 시행을 위해 향후 5년 동안 재산세의 인상을 통해 매년 5,096.1원을 추가적으로 부담할 의사를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 또한 CVM 설문 설계, CVM 모형 분석과정, 평균값 WTP 추정 과정에서 발생할 수 있는 불확실성을 반영하기 위해 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap)기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하여 신뢰구간을 계산하였다.

〈표 5〉 가구당 연간 WTP 추정 결과

구분	WTP (원)
추정값	5,096.1**
t -값	10.41
95% 신뢰구간	[4,255.9~6,269.0]

주: **는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미

이제 마지막 단계로 스마트 조명관리사업의 시행으로 인한 생활환경개선 편익의 모집단에 대한 추정치를 구할 필요가 있다. 이를 위해서는 서울시민들의 가구당 연평균 WTP 산정에 활용된 표본이 모집단(서울시민 전체)의 특성을 대표해야 한다. 즉 본 연구에서 활용한 서울시민의 500가구라는 표본이 모집단의 특성을 잘 반영하고 있는지 확인해 보아야 한다.

분석에 사용된 표본은 대표성을 확보하기 위하

여 여론조사 전문기관에 의뢰하여 과학적인 샘플링에 근거한 조사를 통해 수집된 것이다. <표 1>에 제시된 바와 같이 서울시 내의 자치구 인구비율과 서울시민의 남녀비율에 맞춰 층화무작위표본추출(stratified random sampling) 조사를 실시하였다. 또한 가구 내 의사결정자인 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 배우자를 대상으로 조사를 실시하였다. 아울러 숙련된 전문조사원을 활용함으로써 응답률에 문제가 없도록 조사를 수행하였다.

표본의 대표성이 확인되고 무응답으로 인한 문제가 심각하지 않다면, 추정된 평균 WTP 값에 서울시 전체의 가구수를 곱하여 스마트 조명관리사업을 통해 서울시민이 얻는 연간 총 생활환경개선 편익을 산정할 수 있다. 통계청에서 산정한 2013년도 서울시의 추계가구 수인 3,567,727가구와 서울시민들의 가구당 연평균 WTP인 5,096.1원을 곱하여 연간 약 182억원의 생활환경개선 편익값을 산정하였다.

<표 6> 서울시 연간 후생증가편익산정 결과

구분	가구수	WTP 결과 (원/가구당)	연간 총편익 (백만원)
서울시	3,567,727	5,096.1원/가구	18,181.4

주: 통계포탈시스템(<http://kosis.kr>), 서울시 가구수는 2013년 기준

스마트 조명관리사업의 시행으로 인한 서울시민의 생활환경개선 편익과 기타 에너지 효율화 편익, 대기오염 개선편익, 온실가스 저감편익 등도 구하여 모두 합한 값과 사업에 소요되는 비용을 비교한다면 사업의 경제적 타당성에 대해 판단할 수 있다. 특히 스마트 조명관리사업의 혜택을 직접적으로 받게 되는 서울시민들이 직접 평

가한 생활환경개선 편익에 대한 정보는 관련 정책결정자들이 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 또한 스마트 조명관리에 대한 경제적 가치를 추정한 연구가 없었다는 점에서 본 연구 결과는 유사사업을 수행하는데 있어서 참고할 만한 근거자료가 될 수 있다.

V. 결론

빛을 오·남용하는 것이 아니라 스마트 조명관리를 통해 적절히 사용한다면 쾌적하고 아름다운 도시환경을 구축하여 시민들의 생활의 질을 한 단계 높여줄 수 있다. 동시에 에너지 효율을 높여 전력사용량을 절감한다면 최근 문제가 되고 있는 전력수급 불안정성과 온실가스 배출량 증가에 효과적으로 대처할 수 있다. 이러한 배경에서 서울시는 빔공해 대응 및 에너지 효율화의 수단으로서 스마트 조명관리를 핵심사업으로 선정한 바 있다.

이에 본 연구는 스마트 조명관리사업이 제공하는 경제적 편익 항목을 살펴보고, 특히 이 중에서 시장자료를 이용하여 편익을 직접 평가하기 어려운 생활환경개선 편익을 추정하고자 하였다. 이를 위해 비시장재화의 경제적 편익 추정에 가장 널리 활용되고 있는 CVM을 적용하였다. 아울러 미국 해양대기청, 기획재정부/한국개발연구원, 서울연구원 등에서 작성한 CVM 적용 가이드라인을 준수하면서 연구를 진행하였다.

더 나아가 전체 응답자의 43.4%는 본 사업에 대해 지불의사액이 0임을 확인한 후 이러한 상황에 맞게 분석할 수 있는 모형인 스파이크 모형을 적용함으로써 서울시 가구의 연간 WTP 평균값 추정하고자 하였다. 추정결과 스마트 조명관리사업이 제공하는 생활환경개선에 대한 서울시민들

의 가구당 연평균 WTP는 연간 5,096.1원으로 분석되었다. 이를 이용하여 스마트 조명관리사업의 서울시 전체 생활환경개선 편익은 향후 5년간 연간 약 182억원으로 추정되었다.

스마트 조명관리사업의 생활환경개선 편익은 이 사업의 직접적인 수혜자인 서울시민들이 평가한 정량적인 정보로서 차후 이 사업을 구체적으로 수립 및 시행하고자 할 때와 유사 정책을 평가하고자 할 때 유용한 정책결정 근거자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 직접 평가하지는 않았지만 사업의 기술 분석 등을 통해 에너지 효율제고 편익 등을 구한다면 생활환경개선 편익과 합하여 스마트 조명관리사업의 총 편익을 산정할 수 있다. 이 총 편익과 사업비용을 비교하면 경제적 타당성도 평가할 수 있다.

본 연구에서 살펴본 스마트 조명관리사업은 공공조명을 대상으로 하고 있는데, 보다 높은 실효성을 거두기 위해서는 스마트 조명관리 대상을 공공조명에서 민간조명으로까지 확대할 필요가 있다. 안내영 외(2008)를 따르면 미국, 일본, 영국, 이탈리아 및 호주 등 여러 국가에서 빗공해 방지를 위한 다양한 법규를 정하고 조명사용을 규제하고 있는데, 특히 영국과 호주의 경우 개인 주택의 옥외등까지 규제범위로 포함하여 민간조명까지 넓게 규제하고 있다. 그러나 우리나라는 현재 민간조명제어에 대해서는 근거법이 마련되어 있지 않아 이를 스마트 조명관리에 포함시키기 불가능한 상황이다. 보다 효과적인 스마트 조명관리를 위해서는 근거법을 영국과 호주와 같이 마련하여 민간조명까지도 관리를 하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 더 나아가 공공조명 및 민간조명 전체를 스마트하게 관리하는 정책을 마련한 후 이에 대해 평가하는 후속 연구가 추진될 필요가 있다.

참고문헌

- 곽승준, 1994, "조건부가치측정방법을 이용한 수질개선의 편익추정 : 서울지역 수도물 개선의 비용-편익분석 중심으로", 「국토연구」, 21: 23~40, 국토개발연구원.
- 김대진 · 이효창 · 김나연 · 하미경, 2009, "아파트 단지 외부공간의 범죄불안감과 조명계획에 관한 연구", 「대한건축학회논문집 계획계」, 25(1): 113~144.
- 이효창 · 이제화 · 김대진 · 하미경, 2011, "상업지역 보행로의 범죄안전 환경을 위한 조명계획 방향에 관한 연구", 「서울도시연구」, 12(1): 73~89.
- 심대식 · 김훈, 2013, "사용자 요구조도 만족 스마트 조명관리시스템", 「조명 · 전기설비학회논문지」, 27(6): 1~8.
- 안내영 · 심교언 · 안건혁, 2008, "야간 도시 조명 관리 방안에 관한 연구-빛공해 방지법에 관한 해외 사례를 중심으로", 「도시행정학보」, 21(1): 203~225, 한국도시행정학회
- 조성환, 2008, "에너지 위기 시대 LED(Light Emitting Diode) 사용 확대를 위한 디자인사례 연구", 「디지털디자인학연구」, 8(4): 11~22.
- 홍진표 · 박정욱 · 송상빈, 2012, "에너지절감을 위한 LED 융복합 시스템 조명 기술", 「조명 · 전기설비학회논문지」, 26(1): 4~14.
- 한국개발연구원, 2008, 「예비타당성조사 수행을 위한 일 반지침 수정 · 보완 연구(제5판)」, 한국개발연구원 공공투자관리센터.
- Anisimov, V. N., 2006, "Light pollution, reproductive function and cancer risk", *Neuro Endocrinology Letters*, 27(1-2): 35~52.
- Arrow, K., Solow, R., Portney, P., Leamer, E., Radner, R., and Schuman, H., 1993, "Report of NOAA panel on contingent valuation", *Federal Register*, 58: 4602~4614.
- Cameron, T. A. and Quiggin, J., 1994, "Estimation using contingent valuation data from a dichotomous choice with follow-up questionnaire", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2): 218~234.

- Carreira, P. J. G., Esteves, P. J. C., Samora, C. A., and De Almeida, A. T., 2013, "Efficient and Adaptive Led Public Lighting Integrated in Smart Grid." in *Electricity Distribution (CIRED 2013)*, 22nd International Conference and Exhibition on, 1~4.
- Carson, R. T., 2011, *Contingent valuation: a comprehensive bibliography and history*, Edward Elgar.
- Collins, A., Thurrell, T., Pink, R., and Feather, J., 2002, "Dynamic dimming: the future of motorway lighting?", *The Lighting Journal*, 25~33.
- Hanemann, W. M., 1984, "Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses", *American Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 332~341.
- Huynh, T. P., Tan, Y. K., and Tseng, K. J., 2011, "Energy-Aware Wireless Sensor Network with Ambient Intelligence for Smart Led Lighting System Control," in *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2923~2928.
- Jari, L., Petri, T., and Timo, A., 2012, "Unawareness in environmental protection: The case of light pollution from traffic", *Land Use Policy*, 29(3): 598~604.
- Krinsky, I. and Robb, A. L., 1986, "On approximating the statistical properties of elasticities", *Review of Economics and Statistics*, 68(4): 715~719.
- Kriström, B., 1997, "Spike models in contingent valuation," *American Journal of Agricultural Economics*, 79(3): 1013~1023.
- Kurt, W. R., 1973, "Light pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy", *Science*, 179(4080): 1285~1291.
- McFadden, D., 1994, "Contingent valuation and social choice", *American Journal of Agricultural Economics*, 76(4): 689~708.
- Merchan, C. I., Diaz-Balteiro, L., and Soliño, M., 2014 "Noise pollution in national parks: Soundscape and economic valuation", *Landscape and Urban Planning*, 123: 1~9.
- Meyerhoff, J., Boeri, M., and Hartje, V., 2014, "The value of water quality improvements in the region Berlin - Brandenburg as a function of distance and state residency", *Water Resources and Economics*, 5: 49~66.
- Paravati, G., Lamberti, F., Sanna, A., Ramirez, E. A. H., and Demartini, C., 2012, "An immersive visualization framework for monitoring, simulating and controlling smart street lighting networks", in *Proceedings of SimuTools*, 17~26.
- Tähkämö, L., Ylinen, A., Puolaka, M., and Halonen, L., 2012, "Life Cycle Cost Analysis of Three Renewed Street Lighting Installations in Finland." *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(2): 154~164.
- Terrel, G., Reed, N., and David, M. M., 2010, "The economics of global light pollution", *Ecological Economics*, 69(3): 658~665.
- Yoo, S.-H. and Kwak, S.-J., 2002, "Using a spike model to deal with zero response data from double bounded dichotomous choice contingent valuation surveys", *Applied Economics Letters*, 9(14): 929~932.
- Wang, H., He, J., Kim, Y., and Kamata, T., 2013, "Willingness-to-pay for water quality improvements in Chinese rivers: An empirical test on the ordering effects of multiple-bounded discrete choices", *Journal of Environmental Management*, 131: 256~269.
- Willis, K. G., Powe, N. A., and Garrod, G. D., 2005, "Estimating the value of improved street lighting: A factor analytical discrete choice approach", *Urban Studies*, 42(12): 2289~2303.
- <http://kosis.kr> (통계청)
- <http://www.tvilight.com> (TVILIGHT(社) 홈페이지)
- <http://cityclimateleadershipawards.com/barcelona-barcelona-smart-city/> (도시기후그룹 리더십 홈페이지)
- <http://www.lightsavers.ca> (캐나다 LightSaver 홈페이지)

원 고 접 수 일 : 2014년 7월 11일
1차심사완료일 : 2014년 9월 26일
최종원고채택일 : 2014년 10월 28일

<부록> 보기카드 예시



