

공연장 LED 조명시스템 구성의 경제성 평가에 관한 연구

A study on Economic Evaluation of the Theater Stage Lighting System Using LED

이광모*, 안경석**, 구승환***, 한학수****, 최성진*****
서울과학기술대학교 IT정책전문대학원*, 한국예술종합학교**,
국방기술품질원***, 청운대학교****, 서울과학기술대학교*****

Kwang-Mo Lee(kevinlee@cj.net)*, Kyong-Sok An(stagejob@gmail.com)**,
Seung-Hwan Gu(gsh999@hanmail.net)***, Hak-Soo Han(hanhaksoo1@daum.net)****,
Sung-Jin Choi(ssjchoi@snut.ac.kr)*****

요약

본 연구는 할로겐 조명설비 대비 LED 조명시스템 구성의 경제성을 분석하였다. LED기구의 조명 경제성 평가를 위해 WEELS 2011를 사용하여 공연장 무대조명 시스템을 LED로 설계했을 경우, 공연장의 크기와 조명기구의 종류별 현재 가치와 연간비용, 면적별 연간비용을 분석하였다. 또한 소비에너지의 비교를 위해 면적당 소비 전력, 면적당 소비 전력량, 이산화탄소 배출량을 비교 분석하였다. 분석결과, 할로겐 조명기에 비해 LED 조명기의 연간비용이 매우 저렴하며 현재가치는 매우 높은 것을 알 수 있다. 하지만 LED 조명기의 초기 설비비가 약 200% 가까이 큰 것을 알 수 있다. LED 조명기구는 할로겐 조명기구에 비해 초기 시설비가 비싸지만 조명물의 값이 크고, LED의 상각년수(30년)가 할로겐의 상각년수(2년)보다 길기 때문에 연간비용에서 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 향후 LED 조명기의 단가가 낮아지는 추세를 감안하면 할로겐 조명기보다 연간비용이 더 낮아 질 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리하여 3차년도에 진입할 경우 비용 지출이 역전되는 것을 알 수 있었다.

■ 중심어 : | 공연장 조명 | 조명시스템 | 경제성 |

Abstract

This study analyzes economic feasibility of the LED lighting system compare to the halogen. To evaluate economic feasibility of the LED devices, we analyzed the size of theater, current value of the lighting devices in kinds, annual cost and annual cost according to the surface in case of designing stage lighting system with LED using WEELS 2011. Also, to compare energy consumption, we analyzed consumption and amount of electric energy by the surface and the amount of CO2 emission. Data showed that annual cost of the LED devices are highly inexpensive than halogen and now the value is of great. However initial cost of the equipment 200% higher than halogen. Though LED devices are expensive in startup setting, the value of utilization factor is large and depreciation years of LED(30years) are longer than halogen(2years). Therefore, annual cost of LED can make up the minus. Consider the tendency of reducing price of LED devices, we can assume that annual cost of the LED will be lower than halogen devices. Further, in 3years the expense of LED and halogen is reversed.

■ keyword : | Stage Lighting | Lighting System | Economic Evaluation |

* 본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었음.

접수일자 : 2015년 02월 25일

심사완료일 : 2015년 03월 30일

수정일자 : 2015년 03월 24일

교신저자 : 최성진, e-mail : ssjchoi@snut.ac.kr

I. 서론

경제가 윤택해지고, 사람들의 여가수준이 높아지는 등 복합적인 환경으로 인해 사람들은 문화생활에 많은 관심을 가지게 되었다. 최근 들어 국내 대중문화의 소비가 증가하고, 기술이 발전함에 따라 대중의 요구사항을 극장 및 콘서트 등의 공연에 반영하는 움직임이 일어나고 있다. 공연을 관람함에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나가 조명이라고 할 수 있는데, 조명에는 전통적인 형태의 할로겐 조명에서부터 신광원 형태인 LED 조명이 공연 조명의 큰 축을 이루고 있다.

특히 미국의 브로드웨이 대형 뮤지컬 조명에서 무빙라이트와 LED가 주로 사용되고 있는 추세이다. 이처럼 과거에 대규모 뮤지컬 등에서 사용한 할로겐 조명 등 전통 조명은 에너지 문제, 비용문제, 부족한 색 표현력 등의 문제들을 가지고 있다. 최근 공연장에는 에너지 절감이라는 사회적 문제로 인하여 기존 할로겐 조명기에서 LED 조명기의 대체를 논하는 여건이 이루어지고 있는 상황이다. 할로겐 조명기에서 LED 조명기로 교체시 전력에 따른 차이는 대략 10배정도 차이가 나며, 수명 또한 기존 할로겐 조명기에 비해 4~5배로 길어 유지보수 등 많은 효과를 준다는 사실이 많은 연구로 발표되고 있다[1].

최근 LED가 도입됨에 따라 예술가들은 보다 적은 비용과 에너지 부담, 색의 표현력 증가로 자신의 작품을 보다 잘 표현할 수 있게 되었고, 대중은 더욱 고품질의 작품을 감상할 수 있게 되었다. 이와 같이 LED가 공연 조명의 한 축이 되는 과정에서 공연장 무대조명 시스템의 설계 역시 많은 변화를 보이고 있다. 가장 큰 변화는 전력의 소모비용이 줄어든다는 것과 기존 시스템인 고가의 장비인 디머(dimmer)가 극장이나 방송 스튜디오 또는 각종 전시장에서 무대나 관람석의 빛 밝기를 조절하는 장치가 불필요해진다는 것이다. 따라서 본 연구는 변화하는 조명의 표현방법에 따라 LED를 활용한 공연장 무대조명 시스템의 효율적인 설계방법을 제시하고자 한다.

지금까지 조명의 효율에 대한 연구들은 비용과 편익이라는 경제적인 접근 보다는 광원이 가진 특징에 대한 문제점 및 개선사항 등을 중심으로 진행되어 왔다[2].

이는 예술가나 기술자가 경영적인 측면을 고려하지 않았기 때문이라 할 수 있다. 하지만 공연을 설계함에 있어서 비용을 고려하는 부분이 명확히 존재하기 때문에 조명을 변화시켰을 경우의 경제성 분석과 관련된 연구가 필요하다. 따라서 경제성 분석이라는 연구관점에서 접근할 필요가 있다.

본 연구는 기존의 연구에서 고려하지 못했었던 조명 시스템의 구성에 있어서 경제성을 고려하고, LED 광원의 특징을 비용으로 계상하여 공연장 무대조명 시스템의 효율적인 설계방법을 제시하고자 한다. 즉, 본 연구에서는 공연장 LED 조명시스템을 구성함에 있어서 할로겐에 비하여 어느 정도의 경제성이 존재하는지를 분석하고자 한다. 이를 위해 실제 공연장을 대상으로 직접 비용을 추산하고 손익분기점까지 도출하고자 한다. 이를 토대로 공연장의 LED 조명시스템을 효과적으로 구축할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 경제성 측정 방법

경제성 분석은 대상의 비용 효과를 분석하여, 투자가 최적의 효과를 나타내는지에 대한 객관적인 기준이며, 이를 바탕으로 의사결정이 이루어지게 된다. 경제성 분석은 해당 사업이나 장비의 교체 등을 위한 것에 있어 어떠한 기술과 산업적 특성이 적용되는지, 환경과 상황은 어떠한지 등이 잘 반영되어야 한다. 적합한 평가 체계에 의해 경제성을 측정하고자 하는 대상의 유형 · 무형적 효과와 소요되는 비용을 정확하게 추정하여 투자되는 비용과 사업으로 얻게 되는 편익이 돈으로 표현되는바 돈의 효율에 대한 관점을 분석해야 한다.

경제성을 분석하는 방법에 있어 상식적인 기준으로 대안을 선택하는 방법인 일반적 대안선택방법이 있다. 이는 수익을 최대화하거나 비용을 최소화하는 방법이 있다. 여기에는 설계, 재료선택, 크기, 규모, 위치, 표준화, 단순화 등과 같은 다양한 요인들이 감안되어야 한다.

다음으로 전통적인 대안선택 방법인 회수기간법(Payback Period)과 회계적 수익률법이 있는데, 회수기

간법은 투자로부터 얻는 수입을 통해 투자액 전액을 회수하는 데 소요되는 기간이 짧은 대안을 선정하는 것을 말한다. 이 방법은 사용이 간편하나 정확성이 다소 떨어진다는 특징이 있다. 회계적 수익률법은 납세 후 수익에서 감가상각을 제외한 연평균 순수익과 연평균 투자액의 비율로 계산하는 방법과, 연평균 순수익과 전체 투자액의 비율로 계산하는 방법이 있다. 이 방법은 간단하고 이해하기 쉬우며, 세후 수익이나 감가상각 같은 자료를 회계장부에서 쉽게 구하여 사용하는 장점이 있다. 하지만 이자를 고려하지 않아 잔존가치가 커지면 수익률이 감소하는 등 논리적 타당성이 부족하다는 단점이 존재한다[3].

마지막으로 전통적 현금할인법이 있다. 이는 대부분의 사업이나 프로젝트 등의 투자와 운영에 소요되는 비용이 현재 시점에 발생되지 않기 때문에 이를 정당하게 평가하기 위해서는 사업기간 중에 발생하는 모든 비용을 고려해야 한다는 수명주기비용의 개념과 각 비용에 대하여 비용이 발생하는 시기에 대한 적절한 고려가 반영되어야 한다는 점을 접목시킨 기법이다[3]. 이를 현금흐름할인법(DCF : Discounted Cash Flow)이라 하며 가장 널리 활용된다. 대표적인 분석방법으로는 순현재가치법(NPV : Net Present Value), 편익-비용비율(BCR : Benefit-Cost Ratio), 내부수익률(IRR : Internal Rate of Return), 할인된 회수기간법(DPP : Discounted Payback Period) 등이 있다[4].

2. 선행연구 검토

본 연구의 배경이 되는 선행연구에 대해 검토하기 위해 무대조명 시스템 설계, LED를 활용한 무대조명 설계, 할로겐과 LED 광원의 비교 연구를 중심으로 살펴 보았다.

2.1 무대조명 시스템 설계에 관한 연구

무대조명 시스템 설계에 관한 국내 연구를 살펴보면, 김재인, 황부현(2010)[5]은 DMX512 프로토콜을 사용하여 경관 조명 및 무대 연출을 위한 조명 시스템 제어 방법을 제시하고 모듈을 개발하였다. 이는 DMX512 프로토콜이 갖는 문제점을 해결하며, 넓은 범위의 조명 장

치를 효과적으로 제어할 수 있고 ZDMX 모듈을 이용한 LED 조명 시스템을 구현함으로써 실제 환경에 대한 제안 기법이 적합하다고 주장하였다.

이장원, 이진우(2009)[6]는 극장의 무대조명시스템 개선 방안을 마련하기 위해 건축적인 성능과 전기적인 성능, 극적인 성능을 고려해야 한다고 주장하였다. 또한 무대조명 설비의 구성으로 전원과 조광장치, 부하회로, 무대조명기구를 들었으며, 무대조명기의 배치별 기준을 분석하였다. 또한 이러한 기준을 토대로 엑스포 아트홀의 문제점 및 개선방안을 제시하였다.

오승원, 한민수(2012)[7]는 공연에서 사용하기 위한 무대 의상에 LED 기술을 융합시키고자 하였다. 그는 공연 환경의 요구 조건들을 충족시키기 위해서 무선 네트워크, 임베디드 시스템, 컨트롤 제킷, 디지털 스킨, 패턴저작도구로 구성된 디지털 의상 플랫폼을 제안하였으며, LED 조명 효과를 가진 디지털 의상을 만드는데 활용하였다. 디지털 의상은 새로운 형식의 움직이는 조명으로 활용되며 무대 표현 기술의 확장을 가능하게 하기 때문에 디지털 의상 플랫폼을 적용한 디지털 의상을 제작하여 실제 공연에서 사용함으로써 디지털 의상 플랫폼의 안정적인 사용성과 활용 가능성을 검증하였다.

2.2 LED를 활용한 무대조명 설계에 관한 연구

이규민(2011)[8]은 무대조명용 LED 구동회로의 특징들을 만족하도록 무대조명에 적합한 조도제어 기법을 제안하였으며, LED 바(Bar) 시스템에 적용도록 회로를 설계하였다. 또한 실험을 통하여 조도제어시의 색의 변화, 저전력에서의 동작, CMOS 방식의 카메라를 이용하여 플리커 현상 여부를 확인하였다.

이장원(2010)[9]은 무대 방송용 LED 스폿 조명기구를 자체적으로 설계, 제작하여 조도, 배광 및 색온도를 측정하였으며, 동일한 피사체를 LED 조명과 텡스텐 할로겐 조명을 번갈아 설치하여 인물의 영상을 카메라로 촬영한 영상을 비교하여 LED 조명기구의 대체 가능성을 연구하였다. 촬영한 피사체를 분석한 결과 LED 144W 조명기구가 텡스텐 할로겐 1kw 조명기구보다 더 영상이 밝기와 색감 면에서 더 우수하였다. 144W LED 조명기구와 텡스텐 할로겐 1kw 조명기구의 사용 에너지

지를 측정할 결과 동일 조도기준으로 LED가 80% 이상의 에너지 절약효과가 있는 것으로 나타났다. 할로겐 텅스텐 1kw 조명기구와 LED 144W 조명기구의 배광과 조도 분포를 비교 검토한 결과 피사체를 집중적으로 조명하는 경우, 피조면의 조도가 높아 효과적인 조명이 가능하다. 6[m]정도 천고의 공연장이나, 스튜디오에서는 LED144W 조명기구는 조도 문제가 없어, 기존의 텅스텐 할로겐 1kw 조명기구를 1:1로 대체하는 것이 가능하다고 주장하였다.

2.3 할로겐 조명과 LED 조명의 비교연구

할로겐 조명과 LED 조명의 비교 연구를 살펴보면, 이장원, 한석우, 임지원(2011)[10]은 방송 촬영용 LED Spot 조명기구를 두 가지 형태로 개발하여, 현재 방송용 스튜디오 조명기구가 설치되어 있는 공간에서 다수 사용되고 있는 영국의 Arri사 650W와 1000W Fresnel Spot 조명기구와 조도, 색온도, 연색성 등의 비교 데이터 측정과 피사체의 촬영 시 영상 및 연색성에 따른 색상을 비교 측정하였다. 실험평가에서 할로겐 조명기구의 대체용으로 LED Spot 조명기구의 가능성을 확인하였다.

손민우, 이덕희, 서정철(2013)[11]은 할로겐 램프와 조명용 LED 램프에 60[Hz], 220[V]의 전압을 인가하여 1000 시간 동안 에이징 작업을 진행하고 연색지수를 측정하였다. 연구결과 시간이 지남에 따라 할로겐 램프와 조명용 LED 램프 모두 효율은 지속적으로 감소하는 추세를 보였다. 연색지수의 경우, 할로겐 램프는 일정한 값을 보였고 조명용 LED 램프는 일정시간 증가하다가 600 시간 이후로 안정화 추세를 보였다. 시간이 지날수록 조명용 LED 램프의 형광체 쪽 스펙트럼의 강도가 감소하였는데, 이것이 스펙트럼의 분포 비율을 조정하여 연색지수를 높인 요인이라 주장하였다.

박창용, 서정현(2014)[12]은 KSC 7651의 표준 개정으로 처음 도입된 확산형 타입에 대해 각도별 기준, 대체될 백열램프의 정격전력 및 정확한 최소 광속기준 설정을 위한 가이드라인을 제시하였다. 둘째, 60W급 불투명 백열램프에 대해 각도별 광속 및 영역별(C의 영역, D의 영역) 각도의 특성을 분석하였다. 셋째, 확산형

LED램프와 불투명 백열램프의 각도별 광속 및 배광 분포 측정·분석을 통해 영역별(C의 영역, D의 영역)차이를 파악하였다. 이는 KSC7651에서 제시하고 있는 확산형 LED램프의 확산형 기준과 백열램프의 각도별 광속에 대한 광 특성의 비교 분석으로 정확한 확산형 LED램프의 대체 광원을 안내하고 이러한 광 특성의 분석과 차이점 등 데이터 제공을 통해 백열램프와 같은 형태의 확산형 LED램프 개발의 어려움과 개발 비용을 줄이고, 백열램프 퇴출 프로그램으로 인한 확산형 LED 램프의 보급 확대가 필요하다고 주장했다.

이상에서 살펴본바와 같이 공연장의 조명시스템을 구성함에 있어서 경제성을 평가한 연구는 부족한 실정이라 할 수 있다. 또한 평가과정에서 주관적인 요소를 배제할 수 없는 한계점이 존재한다. 본 연구에서는 기존연구에서의 이러한 미비점을 체계적으로 보완하여 경제성 평가를 실시하고자 한다.

III. 연구 방법

1. 연구 대상

공연장의 LED 시스템을 적용하기 위해 실제 N공연장의 소공연장을 대상으로 삼았다. 소공연장은 300석 미만으로 “공연예술진흥기본법”에 기준하여 산정하였다. 소공연장에서는 주로 소규모 연극이나 뮤지컬 등의 행사가 이루어지며, 조명 배치도는 [그림 1]과 같다.

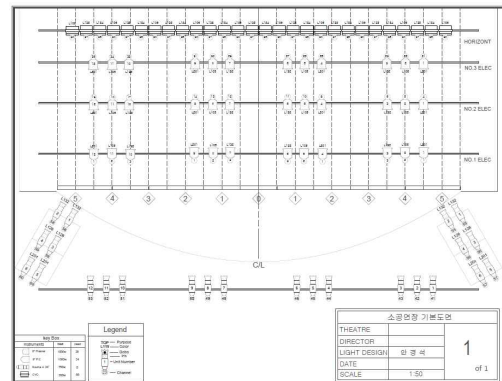


그림 1. 소공연장 조명배치도

2. 분석 방법

경제성 분석을 위해서는 환경 분석, 현행 프로세스 분석, 적용 대상 선정 및 LED 기반의 새로운 조명 시스템 설계 등이 선행되어야 한다[13]. 새롭게 도출된 LED 조명 기반의 시스템 구현을 위한 비용 요소와 LED 적용을 통해 개선이 기대되는 혜택 요소를 도출하는 것이 LED를 도입한 무대조명 시스템 경제성 분석의 가장 핵심적인 부분이라 할 수 있다. 본 절에서는 비용 및 혜택 요소의 구조화를 통해 활용성을 제고하고, 이후 분석의 구체적인 틀을 제시하고자 한다. 경제성 분석은 주로 프로토타입이나 파일럿 프로젝트 이전의 타당성 검토 단계에서 수행되므로, 비용 요소나 혜택 요소의 산정 및 결과 해석에 있어 모호한 부분이 존재한다[7]. 이러한 모호한 부분에 따른 의사결정의 신뢰도를 제고하기 위해, 비용 요소의 민감도 분석이나 예상 혜택에 대한 기술적 신뢰 수준에 따른 분석으로 LED 도입 전략을 제시하고자 한다. 즉, 기술 성숙에 초점을 맞춘 검토가 필요한지, 비용 이슈에 대한 고려가 필요한 경우인지를 판단하기 쉽도록 하고자 한다. 이를 위해 서울특별시 [14].에서 발표한 에너지 절감형 LED 실내조명 설계 가이드라인의 WEELS 2011을 참고하여 경제성을 계산하였다. WEELS 2011은 Worksheet for Economics Evaluation of Lighting Systems의 약자로 기존에 일반적으로 사용되던 방법인 단순 단가 차이만을 고려한 것에서 확장하여 현재가치, 연간비용, 면적당 연간비용을 비교하는 방법이라 할 수 있다. WEELS 2011을 적용하여 분석할 경우 LED 조명이 갖는 특성을 반영한 경제성 평가가 가능해진다. 따라서 면적당 소비전력(IW/m^2), 면적당 소비 전력량(Wh/m^2), 이산화탄소배출량(TCO2)에 대한 계산이 가능하며, 조명설계시 경제성평가에 의해 에너지절감 및 환경 친화적 제품인지의 여부까지 파악이 가능한 장점이 있다.

3. 각 항목별 비용 계산 방법

서울특별시(2011)[14]의 가이드라인에 의하면 조명의 경제성 평가 시 조명 시설에 대한 비용을 계산해야 하는데 그 비용은 직접비용과 간접비용으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 서울시의 조명 경제성 평가방법을

따르며, 각 비용에 대한 구성은 식(3.1)과 같다.

$$\text{총비용계산식} : TC = I + O + M - S \dots\dots (3.1)$$

여기서, TC : 기간 동안의 총비용, I : 투자비, O : 운전비, M : 유지 및 보수비용, S : 수명기간 이후의 잔존가치

3.1 초기투자비

초기투자비는 조명기구비와 설치비용, 배선 공사비로 구성되며, 조명기구비는 조명기구의 총비용으로 초기 투자비의 40%~70%까지 차지 할 수 있다. 고정비용과 광원비용이 있으며, 조명기구비용은 조명기구의 종류, 조명기구의 가격, 적용 장소에 따른 조명기구의 수에 의하여 다르다.

$$\text{조명기구비용} = N \times \{ (C_F + C_B) + C_L \times n \} \dots(3.2)$$

여기서 N: 조명기구 수, $C_F + C_B$: 조명기구 단가(안정기 포함), C_L : 광원의 가격, n: 조명기구 당 광원의 수

설치비용은 조명기구 설치비용으로 조명기구의 개수와 기구 당 설치에 필요한 노무 공량과 노임단가의 곱으로 계산된다.

$$\text{설치비용} = N \times q \times v \dots\dots (3.3)$$

여기서 N: 조명기구의 수, q: 조명기구 당 설치 공량, v: 내선 전공 인건비

배선 공사비는 배선공사에 필요한 재료비와 인건비의 총비용을 말한다.

$$I = N (C_F + C_B + C_I + nC_L) \dots\dots (3.4)$$

여기서 N : 조명기구 수, $C_F + C_B$: 조명기구 단가, C_L : 광원의 가격, C_I : 배선설비공사비, n : 조명기구 당 광원의 수

3.2 운전비

조명시스템의 사용에 따라 발생하는 평가 대상 기간

동안 발생하는 전기 사용료에 대한 비용이다.

$$O = C_P \frac{P_L + P_B}{10^3} N \cdot t \dots\dots (3.5)$$

여기서 C_P : 전기요금, P_L : 광원의 사용전력, P_B : 안전기 손실, N : 조명기구 수, t : 점등시간

3.3 잔존가치

조명의 수명기간 이후에는 조명설비에 대한 투자가 더 이상 일어나지 않게 되고, 검토키간 중에 설치된 기기를 이용하므로 감가상각을 하여 나머지 가치를 회수하게 되는 비용을 의미한다.

3.4 유지비 및 보수비

유지보수비는 청소비와 보수비로 구성된다. 청소비는 인건비, 세제, 청소에 필요한 기자재 등의 재료비를 포함하며 다음과 같이 계산된다.

$$M = (b + d) c \times N \dots\dots (3.6)$$

여기서, b : 조명기구 당 인건비, d : 조명기구 당 세제, 기자재 등의 재료비, c : 청소 회수, N : 조명기구 수

보수비는 고장 시 수리를 위한 비용으로 부품 교체 시 들어가는 비용. 보수를 위한 인건비, 보수 시 사용되는 재료비 등이 포함된다.

4. 경제성 분석을 위한 기초 데이터 측정 방법

본 장에서는 LED기구의 조명 경제성 평가를 위한 WEELS 2011를 사용하여 공연장 무대조명 시스템을 LED로 설계했을 경우의 경제성을 산정하고자 한다. 위 [표 1]은 각 입력기준을 나타내며 산식은 아래와 같다.

- (1) (방의 폭 X 방의 길이) / (방공간 높이 X (방의 폭 + 방의 길이))
- (2) 방의 폭 X 방의 길이
- (3) 램프광속 X 기구 1대당 램프 수

- (4) (설계조도 X 면적) / (조명률 X 보수율 X 기구 1대당 램프광속)
- (5) (조명률 X 기구 1대당 램프광속 X 기구대수) / 면적
- (6) 초기조도 X 보수율
- (7) 사용기구 대수 X 기구단가
- (8) 사용기구 대수 X 기구설비단가
- (9) 기구 당 램프 수 X 사용기구 대수 X 램프단가
- (10) 조명기구비 + 기구설비비 + 램프비포함
- (11) 초기설비비 X (0.95 / 상각년수)
- (12) (기구 1대 당 램프수 X 기구대수 X 연간점등시간) / 램프수명
- (13) 램프단가 X 연간램프교환개수
- (14) 램프교환인건비단가 X 연간램프교환개수, (15) 청소비단가 X 기구대수
- (16) 연간램프 교환비 + 연간램프교환인건비 + 연간청소비
- (17) (기구대수 X 연간점등시간 X 기구입력전력) / 1000
- (18) 전기요금 X 연간전력량
- (19) 연간설비상각비 + 연간보수비 + 연간전기요금
- (20) 초기설비비 X 0.05
- (21) 연간조명비 / 면적
- (22) (사용기구 대수 X 기구입력전력) / 면적
- (23) (사용기구 대수 X 기구입력전력 X 연간점등시간) / 면적
- (24) 연간소비전력량 (KWh) X 0.000424
- (25) 초기설비비 + (잔존가치 / (1 + 이자율) ^ 상각년수) + 연간조명비 X ((1 + 이자율) ^ 상각년수 - 1) / {이자율 X (1 + 이자율) ^ 상각년수}
- (26) 연간조명비 + 초기설비비 X {이자율 X (1 + 이자율) ^ 상각년수 / (1 + 이자율) ^ 상각년수 - 1} + 잔존가치 X {이자율 / (1 + 이자율) ^ 상각년수 - 1}
- (27) 연간비용 / 면적

IV. 연구 결과

1. 할로겐과 LED 공연장의 입력데이터 계산

N 공연장의 소공연장의 무대조명에 대한 경제성 평

표 1. LED 기구의 조명 경제성 평가를 위한 WEELS 2011 목록

구분	내용 및 참고자료	수식
기준일	조명계산 실시 년 월 일	
조명시설	조명계산을 하고자 하는 시설 명	
조명기구	작업 목적을 고려한 조명기구방식선택	
램프	효율을 고려하여 조명목적에 적합한 램프선택	
설계조도 (lx)	목표조도 (국내 조도기준 참고)	
방의 폭 (m)	설계공간의 폭	
방의 길이 (m)	설계공간의 길이	
천장 공간높이 (m)	천장과 조명기구 사이의 높이	
방 공간높이 (m)	작업면과 조명기구면 사이의 높이	
바닥 공간높이 (m)	바닥과 작업면 사이의 높이	
공연장 지수	빛의 이용에 대한 방의 크기의 치수-조명률계산에 사용	(1)
반사율 (%) (천장)	조명시설 공간의 천장 반사율	
반사율 (%) (바닥)	조명시설 공간의 바닥 반사율	
반사율 (%) (벽)	조명시설 공간의 벽 반사율	
기구1대 당 램프 수(개/기구1대)	조명기구 1대당 사용되는 램프 수	
램프광속 (lm)	사용되는 램프의 광속	
조명율	조명률 계산(BS EN 13032-2: 조명률계산법 적용)	
보수율	보수를 계산CIE 97 Maintenance Factor (MF)(형광조명기-0.7, LED-0.8정도 추천함)	
면적 (m ²)	조명되는 공간의 면적	(2)
기구1대 당 램프광속(lm/기구1대)	조명기구 1대당 사용되는 램프 광속	(3)
기구 대수 (대)	공간에 필요한 조도를 위한 조명기구 대수	(4)
사용기구 대수 (대)	21번 계산 결과를 참고로 공간의 배치형태에 따라 조명기구 수 결정	
기구 단가 (원)	물가지료, 조달청 가격표 등 참고	
기구설비단가 (원)	전기통신공사 표준품셈 참고	
램프단가 (원)	물가지료, 조달청 가격표등 참고	
상각년수 (년)	고정자산이 사용되는 기간 중 계속 발생하는 이익금에서 단계적으로 상각되는 것	
연간점등시간(시간)	주5일 1일 10시간 52주 점등하는 경우 : 2600시간	
램프수명 (시간)	제조사 제공되는 자료를 적용하되 없는 경우는 조명관련 교과서등을 참고 하여 결정함.	
램프 교환인건비단가 (원)	전기통신공사 표준품셈 참고 (램프의 노무공량×정부노임단가)에 의해 계산 후 입력 (형광등-기구취부배선 단가의 10%, LED-램프수명이 대부분 26000시간을 초과하므로 0%로 추천함)	
청소비단가 (원)	전기통신공사 표준품셈을 참고하여 결정함.	
기구입력전력 (W)	조명기구 당 소비전력 (안정기 포함)	
전기요금 (원)	산업용 전기요금	
이자율	일반시중은행 일반대출 할인율을 적용함.	
초기조도 (lx)	조명시설 설치 초기의 조도	(5)
실설계조도 (lx)	유지조도	(6)
조명기구비 (원)	공간에 시설 되는 조명기구 전체 비용	(7)
기구설비비 (원)	기구설비에 대한 총 인건비	(8)
램프비 (원)	공간에 사용 되는 램프의 전체 비용	(9)
초기설비비 (원)	초기에 드는 비용으로 조명기구비, 기구설비비, 램프비포함	(10)
연간설비 상각비 (원)	잔존가치, 금리, 각종세금을 고려하여 산출 (정액법)	(11)
연간램프교환개수(개)	유지보수에 따른 연간 램프 교환 개수	(12)
연간 교환램프비 (원)	연간 램프교환에 따른 램프비용	(13)
연간램프교환인건비(원)	연간 램프 교환에 따른 인건비	(14)
연간 청소비 (원)	사용기구대수에 대한 전체 청소비용	(15)
연간 보수비 (원)	연간교환되는 광원비와 연간 광원교환 인건비 연간청소비의 합으로 계산	(16)
연간 전력량 (kWh)	조명기구의 총 사용전력에 대한 연간점등시간의 곱을 1000으로 나누어 계산	(17)
연간 전기요금 (원)	연간전력량 (kWh)과 1kWh당 전기요금의 곱으로 계산	(18)
연간 조명비 (원)	연간설비상각비, 연간보수비, 연간전기요금을 합한 비용	(19)
잔존가치 (원)	초기 설비비의 5%	(20)
면적당연간조명비(원/m ²)	1m ² 당 연간조명비용	(21)
면적당소비전력(W/m ²)	1m ² 당 소비되는 전체전력	(22)
면적당소비전력량(Wh/m ²)	1m ² 당 소비되는 전체전력량	(23)
연간 이산화탄소 배출량 (TCO ₂)	TCO ₂ =TCX (44/12) (이산화 탄소분자량/탄소원자량) 전력의 탄소배출계수:0.000424 (TCO ₂ /kWh), 에너지관리공단 홈페이지 참조	(24)
연재가치 (원)	조명시스템의 전체비용을 현재가치로 환산한 비용으로 조명기구별 경제성평가에 이용 된다.	(25)
연간비용 (원)	조명시스템의 전체비용을 연간비용으로 환산한 비용으로 조명기구별 경제성평가에 이용된다.	(26)
면적당 연간비용 (원/m ²)	면적당 연간비용으로 방의 크기와 관계없이 조명기구별 연간비용의 비교 분석이 가능하다.	(27)

가를 위해 기존의 할로겐 조명과 LED 조명에 대해 WEELS2011을 사용하여 계산하였다. 목표조도는 공연장 조명의 표준인 1,500lx로 하였으며, 각 조명기구의 배광, 공연장의 크기에 따른 공연장 지수 및 반사율을 적용한 조명률을 계산하였고, 보수율은 선행연구[14]에 의거하여 형광조명기 0.7로 실시하였다. [표 2]는 [표 1]에 의하여 구해진 데이터를 나타낸다.

표 2. 공연장의 WEELS2011 입력데이터

구분	할로겐	LED
1 기준일	2014	2014
2 조명시설	소공연장	소공연장
3 조명기구	할로겐	LED
4 램프	HL 650W	LED 48W
5 설계조도 (lx)	1,500	1,500
6 공연장의 폭 (m)	16	16
7 공연장의 길이 (m)	6	6
8 천장 공간높이 (m)	0	0
9 공연장 공간높이 (m)	5	5
10 바닥 공간높이 (m)	0.75	0.75
11 공연장 지수	0.87	0.87
12 반사율 (%) (천장)	80	80
13 반사율 (%) (바닥)	20	20
14 반사율 (%) (벽)	50	50
15 기구1대 당 램프 수(개/기구1대)	1	1
16 램프광속 (lm)	6,000	2,258
17 조명률	0.68	0.85
18 보수율	0.7	0.8
19 면적 (m ²)	96	96
20 기구1대 당 램프광속(lm/기구1대)	6,000	2,258
21 기구 대수 (대)	60	120
22 사용기구 대수(대)	60	60
23 기구 단가 (원)	500,000	1,500,000
24 기구설비단가 (원)	50,000	60,000
25 램프단가 (원)	24,000	40,000
26 상각년수 (년)	2	30
27 연간점등시간 (시간)	1,500	1,500
28 램프수명 (시간)	3,000	50,000
29 램프교환인건비단가 (원)	5,000	10,000
30 청소비단가 (원)	10,000	10,000
31 기구입력전력 (W)	1,000	48
32 전기요금 (원)	67.289	67.289
33 이자율	0.064	0.064
34 초기조도 (lx)	3,000	2,700
35 실질계조도 (lx)	2,800	2,500
36 조명기구비 (원)	30,000,000	90,000,000
37 기구설비비 (원)	3,000,000	3,600,000
38 램프비 (원)	1,440,000	2,400,000
39 초기설비비 (원)	34,440,000	96,000,000
40 연간설비상각비 (원)	16,359,000	3,040,000
41 연간램프교환개수 (개)	30	3.6
42 연간교환램프비 (원)	720,000	144,000
43 연간램프교환인건비 (원)	150,000	36,000
44 연간청소비 (원)	600,000	1,200,000

45 연간보수비 (원)	1,470,000	1,380,000
46 연간전력량 (kWh)	90,000	8,640
47 연간전기요금 (원)	6,056,010	581,377
48 연간조명비 (원)	23,885,010	5,001,377
49 잔존가치 (원)	1,722,000	4,800,000
50 면적당연간조명비 (원/m ²)	248,802	52,098
51 면적당소비전력 (W/m ²)	625	30
52 면적당소비전력량 (Wh/m ²)	937,500	45,000
53 연간이산화탄소배출량 (TCO ₂)	38.16	3.66336

2. 경제성 분석 결과

할로겐 조명과 LED 조명은 특성이 다르기 때문에 정확한 경제성 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 조명의 형태에 따라 할로겐 조명과 LED 조명을 선택하여 실시하였다. 결과 분석은 비용분석을 위해 공연장의 크기와 조명기구의 종류별 현재 가치(원)와 연간비용(원), 면적별 연간비용(원)을 비교하였으며, 소비에너지의 비교를 위해 면적당 소비 전력, 면적당 소비 전력량, 이산화탄소 배출량을 비교 분석하였다. [표 3]은 경제성 분석 결과를 나타낸다.

표 3. 분석 결과

구분	할로겐	LED
현재가치 (원)	79,507,433	162,740,587
연간비용 (원)	43,609,519	12,333,321
면적당연간비용 (원/m ²)	454,266	128,472

경제성 평가결과를 토대로 조명기구별 연간비용을 비교하면, 할로겐 조명기에 비해 LED 조명기의 연간비용이 매우 저렴하며, 현재가치는 매우 높은 것을 알 수 있다. 하지만 LED 조명기의 초기 설비비가 약 200% 가까이 큰 것을 알 수 있다. LED 조명기구는 할로겐 조명기구에 비해 초기 시설비가 비싸지만 조명률의 값이 크고, LED의 상각 년수(30년)가 할로겐의 상각 년수(2년)보다 길기 때문에 연간비용에서 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 향후 LED 조명기의 단가가 낮아지는 추세를 감안하면 할로겐 조명기보다 연간비용이 더 낮아질 수 있다는 것을 알 수 있다. [그림 2]를 보면 3차년도에 진입할 경우 비용 지출이 역전되는 것을 알 수 있다.

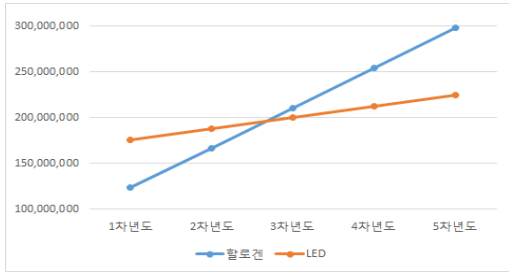


그림 2. 공연장 연간 지출금액 (초기설비비+연간조명비)

3. 추가 분석

3.1 기구 할인을 적용 후 조명기구별 경제성 평가

LED 조명기구를 시설하는 과정에서 조명기구 단가가 할로겐램프에 비해 높으므로 초기시설비가 많이 든다. 하지만 최근 LED 조명기의 가격이 하락하고 있는 추세이기 때문에 LED 조명기의 가격이 25%, 50% 삭감될 경우를 가정하여 초기투자비를 조절한 뒤 경제성을 비교 분석하였다. [표 4를 보면 LED조명기구에 대한 기구 할인을 적용 후 경제성 평가 결과를 비교 분석하면 할인율이 커질수록 비용차이 분기점이 앞당겨지는 것을 알 수 있다.

표 4. 각 조명기의 연간비용과 기구 할인 후 연간비용 비교 표(단위 : 천원)

구분	할로겐	LED	
조명기단가	500	1,500	
할인율	-	25%	50%
할인가	-	1,125	750
할인전 초기투자비용	34,440	96,000	
할인후 초기투자비용		73,500	51,000

3.2 소비에너지 값 비교

공연장의 크기와 조명기 종류에 따라 소비 에너지 값들을 면적당 전력(W/m²), 면적당 전력량(Wh/m²), 연간 이산화 탄소 배출량(TCO₂)으로 계산하여 비교하였다.

표 5. 공연장 종류별 W/m², Wh/m², TOC₂

구분	할로겐	LED
조명률	0.68	0.85
기구	할로겐	LED
면적당	625	30
연간면적당	937,500	45,000
연간전력	90,000	8,640
연간이산화탄소배출량	38.16	3.66336

$$\text{연간 TCO}_2 = \text{TC} * 44/12 [\text{이산화 탄소 분자량/탄소 원자량}]$$

$$\text{TC} = \text{해당연료의 TOE} * \text{탄소배출계수(TC/TOE)} \\ \text{전력의 탄소배출계수} - 0.1156\text{TC/MWh}$$

위의 계산 결과를 비교하면 할로겐 조명기에 비해 LED 조명기가 이산화탄소의 배출량이 적다는 것을 알 수 있다. 따라서 LED 조명기가 할로겐에 비해 에너지를 더 절감할 수 있고, 환경오염을 줄일 수 있으므로 녹색성장에 일조 할 수 있다고 볼 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 할로겐과 LED 조명기를 사용할 경우의 경제성에 대해 분석하였다. 이를 위한 방법으로 LED기구의 조명 경제성 평가를 위한 WEELS 2011를 사용하여 공연장 무대조명 시스템을 LED로 설계했을 경우의 경제성을 산정하였다. 결과 분석은 비용분석을 위해 조명기구의 종류별 현재 가치와 연간비용, 면적별 연간비용을 비교하였으며, 소비에너지의 비교를 위해 면적당 소비 전력, 면적당 소비 전력량, 이산화탄소 배출량을 비교 분석하였다.

분석결과, 할로겐 조명기에 비해 LED 조명기의 연간 비용이 매우 저렴하며 현재가치는 매우 높은 것을 알 수 있다. 하지만 LED 조명기의 초기 설비비가 약 2.5배 가까이 큰 것을 알 수 있다. LED 조명기구는 할로겐 조명기구에 비해 초기 시설비가 비싸지만 조명률의 값이 크고, LED의 상각년수(30년)가 할로겐의 상각년수(2년)보다 길기 때문에 연간비용에서 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 향후 LED 조명기의 단가가 낮아지는 추세를 감안하면 할로겐 조명기보다 연간비용이 더 낮아질 수 있다는 것을 알 수 있다. 3차년도에 진입할 경우 비용 지출이 역전되는 것을 알 수 있다.

또한 이산화탄소 배출량도 LED 조명기가 할로겐 조명기의 10% 수준에 이르고 있어 장기적으로 오히려 더 경제적 일 수 있고, 에너지 절감과 쾌적한 조명환경을 만들어 나갈 수 있을 것이다. 할로겐 조명기에 비해 LED 조명기가 이산화탄소의 배출량이 적다는 것을 알

수 있기 때문에 LED 조명기가 할로젠에 비해 에너지를 더 절감할 수 있고, 환경오염을 줄일 수 있으므로 녹색 성장에 일조 할 수 있다고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 김용규, *방송조명에서 DLP,LED 배경 화면이 영상 품질에 미치는 영향분석*, 서울산업대학교 박사학위논문, 2009.

[2] 안경석, *LED를 이용한 효율적인 공연장 무대조명 시스템 설계에 관한 연구*, 서울과학기술대학교 박사학위논문, 2015.

[3] 유일근, *최신 경제성공학*, 형설사, 2011.

[4] 구승환, 왕평, 장성용, “실물업선 기법을 응용한 부동산 가치평가 연구 : 인구구조 변화를 고려하여”, *경영과학*, 제31권, 제1호, pp.17-26, 2014.

[5] 김재인, 황부현, “DMX512 프로토콜 기반의 ZDMX 모듈을 이용한 광대역 LED 조명 시스템 구현”, *한국콘텐츠학회논문지*, 제10권, 제11호, pp.38-47, 2010.

[6] 이장원, 이진우, “실내극장의 표준화 무대조명시스템 설계설비 개선방안”, *한국조명전기설비학회*, 제23권, 제5호, pp.55-68, 2009.

[7] 오승원, 한민수, “LED를 사용한 무대 표현 기술 확장을 위한 디지털 영상 플랫폼”, *한국콘텐츠학회논문지*, 제12권, 제2호, pp.52-59, 2012.

[8] 이규민, 최왕섭, 박종연, “LED 무대조명의 조도 제어기법”, *전력전자학회논문집*, 2010.

[9] 이장원, *무대방송용 LED스팟 조명기구 개발에 관한 연구*, 호서대학교 박사학위논문, 2002.

[10] 이장원, 임지원, “방송 촬영용 할로젠 조명과 LED 조명의 성능 평가에 관한 연구”, *한국인터넷 방송통신학회 논문지*, 제11권, 제4호, pp.223-229, 2011.

[11] 손민우, 이덕희, 서정철, “조명용 LED 램프와 할로젠 램프의 연색지수 특성변화 비교”, *한국조명설비학회 학술대회논문집*, 제2013권, 제5호, pp.91-93, 2013.

[12] 박창용, 서정현, “확산형 LED램프와 백열램프의 각도별 광속에 관한 비교연구”, *한국조명전기설비학회*, 제28권, 제8호, pp.32-39, 2014.

[13] 영한, 이효상, “EMS 및 SCADA와 전력계통운용”, *대한전기학회지*, 제38권, 제12호, pp.33-36, 1989.

[14] 서울특별시 기후환경본부 환경정책과, *에너지 절감형 LED 실내조명 설계 가이드라인 개발*, 연구보고서, 2011.

저 자 소 개

이 광 모(Kwong-Mo Lee)

정회원



- 2003년 8월 : 세종대학교 정보통신대학원(공학 석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 방송통신정책전공 박사과정
- 2008년 ~ 현재 : CJ헬로비전

M-biz추진실

<관심분야> : 방송통신경쟁정책, 멀티미디어 플랫폼

안 경 석(Kyong-Sok An)

정회원



- 2002년 8월 : 단국대학교 정보통신대학원(방송영상정보학 석사)
- 2015년 2월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 방송통신정책전공(공학박사)
- 2015년 ~ 현재 : 한국예술종합학교 크누아홀 감독

학교 크누아홀 감독

<관심분야> : 공연조명, 디지털조명, 방송기술

구 승 환(Seung-Hwan Gu)

정회원



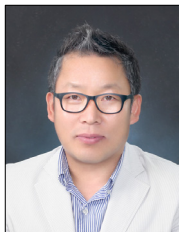
- 2010년 2월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공(공학석사)
- 2014년 8월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공(공학박사)

▪ 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 신뢰성평가실 선임연구원

<관심분야> : 신뢰성, 경제성평가, Value Design

한 학 수(Hak-Soo Han)

정회원



- 1993년 2월 : 서울과학기술대학교 매체공학과(공학사)
- 2001년 8월 : 중앙대학교 대학원 (언론학석사)
- 2009년 8월 : 서울과학기술대학교 대학원(공학박사)

▪ 2003년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 방송영상학과 교수
<관심분야> : 영상제작기술, 빅데이터기술, 차세대 방송 서비스

최 성 진(Seong-Jin Choi)

종신회원



- 1987년 ~ 1991년 : 광운대학교 전자공학과 공학사, 공학석사, 공학박사
- 1997년 ~ 1998년 : Malaysia Saint University 초빙교수
- 1999년 ~ 2000년 : Oklahoma State University 교환교수

▪ 2006년 ~ 2007년 : 국무총리실 산하 방송통신융합추진위원회 전문위원

▪ 1992년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어 공학과 교수

<관심분야> : 뉴미디어방송, 영상통신, 방송통신융합 기술정책