

LCC 기법을 통한 자연채광의 경제성 분석에 대한 연구

A Feasibility Study on the Benefit of Daylighting by LCC Analysis

김 정 태* 김 곤**
Kim, Jeong Tai Kim, Gon

Abstract

As has been expected, economic factors are a major consideration in almost every decision in building design process. Assuming that improving a lighting system, existing or proposed, will reduce operating cost, what preliminary economic guidelines can be established to determine whether any proposed investment appears cost effective? In such a case a reasonable technique to compare system costs is by life-cycle costing. Stated simply, a life-cycle cost represents the total cost of a system over its entire life cycle, that is, the sum of first cost and all future costs. This paper aims to exemplify the benefit of daylighting in term of economic consideration. Four different electric lighting system designs are proposed and a lighting control system that is continuously operating according to the level of daylight in the space has been adapted. The accumulated performance of electric and daylighting is figured out to declare the effective depth of daylight in the space. The analysis on the saving amount of lighting energy due to daylight has been undertaken in answer to the question, that is, several projects are being considered, which is the most desirable from the cost-effectiveness viewpoint. The result shows clearly that although denser layout of lighting fixtures might be more effective to interface to the level of daylight ceaselessly changeable, its economic benefit may not meet the expected criterion the reason of increased initial investment and maintenance cost for the fixtures and control hardware.

키워드 : LCC, 자연채광, 조명에너지

Key words : Life-cycle Cost, Daylighting, Lighting Energy

1. 서 론

건물의 생애주기와 동일하게 장기간동안 지속적으로 에너지를 소비하는 건축조명의 경우에는 조명환경의 질이 손상되지 않는 범위내에서 건물의 용도에 따라 경제성을 고려해야 한다. 환경보전과 이산화탄소 배출 저감이라는 시대적 상황에 따라 조명분야에서도 각 건축의 행위주체들은 현재의 조명 시스템의 운영비용과 새로운 에너지 절약형 조명 설비의 도입을 위한 경제성 검토로 부심하고 있다.

최근 사무소 건물이 대형화되는 추세에 따라 창으로부터 실 깊이(심도)가 길어지는 공간이 필연적으로 계획되어 환경적으로 저급한 공간이 나타나고 있으며, 따라서 주간에도 인공조명의 의존도가 상대적으로 높아지고 있다. 실 깊이가 큰 공간의 인공조명도 주간을 대상으로 설계되며, 24시간동안 인공조명 하는 것을 전제로 계획되고 있다. 이에 주간의

자연광과 공존하고 연계시키기 위한 통합적 인공조명 제어기법을 적용하는 경우, 자연광의 유입이 많은 외피구조를 가진 공간에서는 자연광만으로 필요한 수준의 조도가 확보될 수 있고, 주광조도에 대응하여 인공조명을 소등함으로써 상당량의 조명에너지를 절감할 수 있다.

본 연구는 일반적인 사무소 건물의 공간을 모델로 선정하여, 자연광 유입량에 따라 비례적으로 운용되는 인공조명의 통합 제어기법을 적용할 경우 예상되는 연간 전반조명 에너지 절감량을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예시하였다. 이를 위하여, 일련의 에너지 절약형 인공조명설계안을 제시하고 자연광과의 통합성능을 분석하여 연간 시간대별 소등 개수를 평균적으로 산출하였다. 그리고 LCC 경제성 분석 이론을 적용하여 조명제어설비의 도입으로 인한 초기비용의 산정하고, 자연광에 의한 조명에너지 절감량에 따른 초기투자비용의 회수기간을 산정함으로써 인공광원의 종류에 따른 대안별 경제성을 도출하였다.

2. 조명설비와 생애주기비용분석(LCC)

2.1. LCC 경제성 분석기법의 기본개념

LCC기법이란 특정 투자에 대한 제비용을 투자 대상물의 경제수명이라는 시간범위 내에서 장래의 이익을 현재가치, 또는 현재의 투자비용을 미래가치로 등가 환산하여 통합적인 경제성을 평가하는 수법이다. 건축분야의 경우, 건물의 요소나 선택적 설비 시스템에 대하여 추가적인 투자를 계획할 때 건물이나 시스템의 사용연동안 발생하는 총 비용을 동일한 시간대를 기준으로 등가 환산하여, 기존안과 대안에

* 경희대학교 건축공학과 교수

** 강원대학교 건축학부 부교수

대한 경제성을 비교하고 선택의 기초자료를 제공한다. 다시 말해 각 설계 대안에 대하여 그 소유나 운용에 관해 발생하는 중요한 제비용을 건물의 경제수명 범위에 걸쳐 등가 환산한 값으로 각 안의 경제성을 평가하는 수법이다.

설계자가 LCC분석을 할 때는 설비의 사용기간 동안 관련되는 경제 요소적 정보가 필요하며, 이와 관련된 요소로는 초기투자비용, 자본조달비용, 운용비용, 투자대비 이익률 및 관련비용 등이 있다. 초기 투자액(Initial Cost)이란 프로젝트 형성에 수반되는 설계비, 토지비용과 같은 제비용과 건설비용을 포함한 설비 등의 기기 구매비용이다. 자본조달비용(Financing Cost)이란 설비의 자본비용에 관련하여 이자를 포함한 금융비용이다. 운용비용(Operation Cost)이란 시설운영 시에 소요되는 비용, 예를 들면 연료비, 임금 등의 비용이다. 관련비용(Associated Cost)이란 건물의 의사결정에 따라 새롭게 발생하는 여러 가지 비용이다. 예를 들면 기능 비용(Functional use Cost), 기회손실 비(Denial-of-Use Cost), 방법(Security)과 보험비용 등을 들 수 있다.

2.2. 에너지 절약형 조명설비

고 에너지 시대가 장기간에 걸쳐 지속됨으로써 각 산업 분야 마다 에너지 절약방법과 대책에 대한 관심이 고조되고 있다. 건축조명분야의 경우 고 효율 광원을 이용한 에너지 절약이 가장 기본적인 접근 방법이지만 우리나라나 일본의 경우 조명의 역사는 '형광등의 역사'라고도 할 수 있을 만큼 에너지 절약형 광원의 사용은 이미 보편화되어 있다. 사무실, 공장, 점포 등 여러 시설에서 대량의 형광등 기구가 사용되고 있어 백열등을 주로 사용하고 있는 구미의 조명 형태와는 큰 차이를 보이고 있다.

백열등과 비교하여 에너지 소비 효율이 높은 것이 형광등의 가장 큰 특징이지만, 최근에 이르러서는 작업효율의 향상이나 조명의 분위기를 연출하기 위하여 고조도화 및 시환경을 향상시키는 경향이 있다. 이러한 목적을 위해 설치한 루버나 커버 때문에 광속저하가 유발되어 오히려 사용 전력량이 증가하는 경향이 나타나, 이에 대한 에너지 절감 대책마련이 필요한 실정이다.

형광등기구와 관련된 방계 기반기술의 발전에 따라 고효율 설비가 개발되고 있는 데, 주로 전자식 안정기와 조광제어설비가 큰 역할을 하고 있다. 즉, 기존의 자기식 안정기와 유사한 비용의 보급형 인버터 기구가 생산되고 있으며, 기존의 40W 형광 램프(3,000lm)에 비해 1.5배의 고효율(4,500lm)을 실현함으로써 고조도화 등의 요구에 대한 경제적인 해법으로 대두되고 있다.

이와 아울러 조명기구의 고 효율화를 위한 방법으로서 적정 배광을 얻기 위한 등기구의 형상설계 기술이 발전되고, 반사효율이 뛰어난 알루미늄계통의 반사판이나 루버가 개발되고 있다. 최근에는 자외선에 의한 광촉매 기능을 이용하여 오염의 부착 원인이 되는 유기물을 분해하는 산화 티타늄의 조명기구에 대하여 주목하고 있다. 앞으로는 '잘 오염되지 않는 조명기구'나 광속유지 특성이 좋은 신광원이 개발됨에 따라 보수율 수치가 높은 값을 적용할 수 있게 되어 결과적으로 조명에너지 절감에 공헌할 것으로 기대된다.

조명에너지를 절감하기 위한 운용상의 기법으로 조명제어 기술을 들 수 있다. 창문을 통해서 유입되는 자연광의 세기에 비례적으로 연동하여 제어되는 자연광 통합제어설비나, 사무소 건물의 경우와 같이 공간의 이용시간과 패턴이 고정화되어 있는 경우 시간일정에 출, 퇴근, 점심시간 등에 점멸 시간대를 설정해 두는 운용기법이 대표적이다. 간헐적으로 사용되는 공간의 경우 재실자의 움직임을 감지하여 한시적으로 점등되는 적외선 센서내장형 조명기구는 이미 일반화되어 에너지 절감에 많은 역할을 수행하고 있다.

3. 인공조명설계와 성능평가

3.1. 개요

본 연구는 주광에 대응하여 실내 조명기구를 연동적으로 운용할 경우의 에너지절감량을 경제적으로 분석하기 위한 것으로서, 조명제어방식 가운데 재실자 감지센서방식을 제외한 센싱 기법 중에서 가장 건축적이면서 효율적인 주광 대응형 제어방식을 적용하였다. 선행 연구를 통하여 일반적인 사무소 단위공간의 실제 형상을 단위공간으로 추출하여 연구대상공간으로 선정하였으며, 건축조명 해석용 컴퓨터 프로그램인 Lumen-Micro 2000을 이용하여 조명성능과 소비 에너지량을 시뮬레이션 하였다. 본 연구를 위하여 주광연계 조명제어시스템이 적용된 성능평가용 공간의 기하학적 형상 및 특성은 그림 1과 같다.

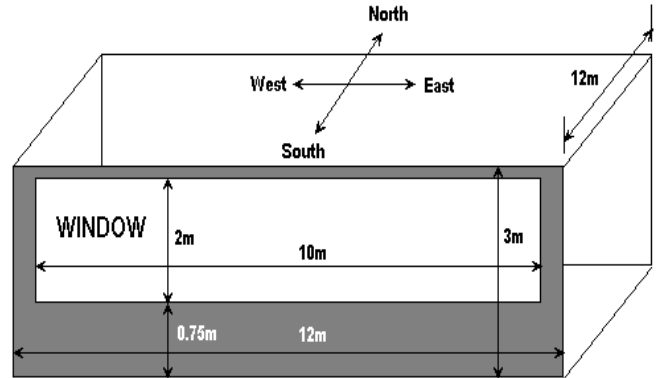


그림 1. 대상 공간의 형상

일차적으로 단위공간에 필요한 조도 수준을 확보하기 위하여 에너지 절약형 일반형광등을 이용하여 인공조명설계를 실시하였다. 또한, 주광의 연계도를 높이고 보다 밀도 높은 조명기구를 배치하기 위하여 점광원인 백열전구와 콤팩트 형광등기구를 추가적으로 사용하였다. 인공조명이 가동되지 않는 상태에서 자연광에 의한 실내조도분포를 산정한 후 각 인공조명 설계안과 연계하여 운용하는 경우를 통합적으로 분석하였다. 조명원의 종류, 개수에 따라 변화하는 조도 분포 및 조명비용을 분석하고 각 조명설계 안에 대한 조명에너지 절감량을 산출한 후 LCC (Life Cycle Cost) 분석을 통해 전체적으로 주광연동형 조명운용기법의 경제성을 분석하였다.

표 1. 성능평가용 시뮬레이션 입력 변수

공간 크기	12m(W)×12m(D)×3m(H)	
위 치	서울	위도 37.5°, 경도-126.5°W
일 시	시간	오전 6시부터 오후 6시까지 1시간별
	월	3, 6, 9, 12
	일	21
건물 용도	일반 사무소	
공간 방위	South (정남향)	
천공 상태	청천공	
창의 크기	10m x 2m	
창 투과율	90% (맑은 유리)	
작업면 높이	75 cm	
반사율	천정	80%
	벽	50%
	바닥	20%

공간의 향은 남향을 대상으로 가장 기본적인 자연채광 성능평가 조건인 춘추분 및 하지와 동지의 가조시간대 중에서 일반적인 사무소 건물의 업무 스케줄에 해당하는 오전 6시부터 오후 6시까지의 12 시간동안 각 시간대별로 실내의 조도분포를 산출하였다. 이를 바탕으로 각 시간대별, 조명설계안별 소등라인과 소등이 가능한 인공조명기구의 개수를 평균적으로 산출하였다. 이는 연간 조명설비 운용에너지의 절감량으로 환산되어 LCC 분석의 기초자료로 사용된다. 성능평가용 해당공간의 물리적, 광학적 변수는 표 1과 같다.

3.2. 인공조명 설계대안

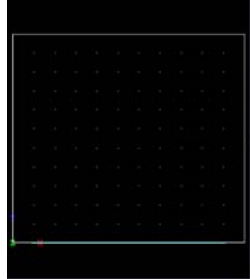
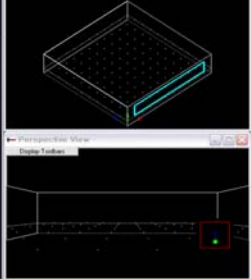
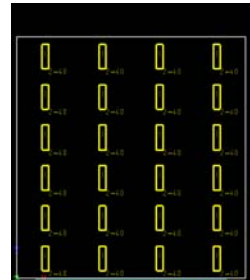
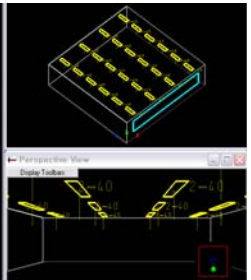
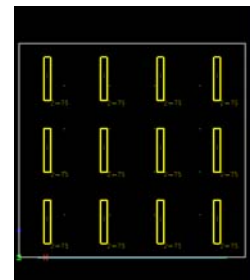
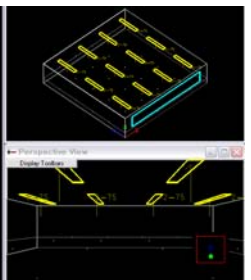

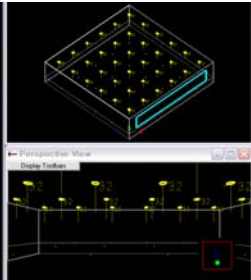
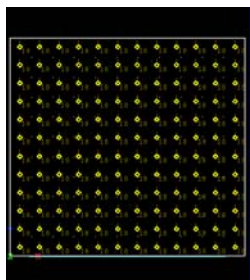
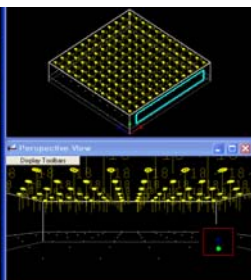
자연광 통합조명설비의 운용 시 자연채광에 의한 실내조도기준은 일반 사무소 공간을 기준으로 500 lux 정도 설정하는 것이 일반적이다. 그러나 조명설비의 보수율을 고려하고 아울러 인공조명이 소등되는 조도레벨은 필요조도를 기준으로 다소의 변동폭을 허용할 필요가 있으므로 인공조명의 점멸용 기준조도는 700 lux로 설정하였다. 조명기구의 밀도변화에 따른 소등라인의 변화와 조명에너지 절감량을 통합적으로 분석하기 위하여 다음의 표2와 같은 4가지 인공조명 설계안을 대상으로 상대 비교하였다.

설계 1안은 일반 라인형 40W 형광등기구를 사용한 것으로 4X6 배치의 24개 조명기구, 48개의 광원이 소요되었으며 24개의 안정기가 필요하다. 설계 2안은 라인형 75W 형광등기구를 사용한 것으로 4X3 배치의 12개 조명기구가 소요되었으며, 적은 조명기구로 설계하였을 경우에 경제성의 유·불리함을 판단하는 경우를 대변하게 된다. 설계 3안은 점광원으로 각광받고 있는 35W 콤팩트 형광등기구를 사용한 것으로 6X6 배치의 36개 조명기구가 소요되었다.

설계 4안은 18W 콤팩트 형광등기구를 사용한 것으로 12X12 배치의 보다 밀도높은 조명기구의 배치로 인해 기대되는 보다 우수한 자연채광의 연계성능 여부를 평가하게 된다. 각 조명대안은 전술한 바와 같이 일반적인 사무소 공간의 사용 스케줄인 오전9시부터 오후6시까지 12시간동안 운용하는 것으로 전제하였다. 바닥으로부터 75cm 높이의

작업면을 대상으로 1m 간격의 측정 매트릭스를 설정하여 조도분포를 도출하였다.

표 2 대상공간 인공조명 설계안

대안	조명기구 배치형상	
대상 공간		
대안 1 40W 형광등		
대안 2 75W 형광등		
대안 3 32W 콤팩트 형광등		
대안 4 18W 콤팩트 형광등		

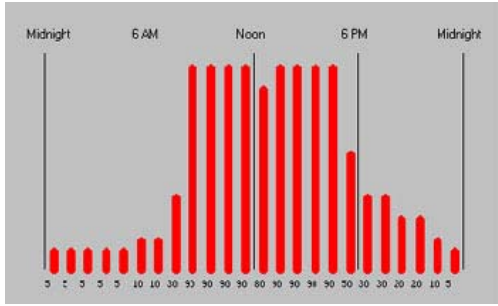


그림 2. 사무소 공간의 평균 사용 스케줄

3.3. 인공조명 성능평가

자연광에 의한 소등범위를 산정하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 우선적으로 자연광 분포를 도출하였다. 계절별로 가조시간대별로 구별하여 시간대별 소등범위를 평균적으로 설정하였다. 그림 3은 청천공시 춘분때 오전 10시의 자연광에 의한 실내 조도분포를 도식적으로 나타내고 있다. 실내의 심도가 12m로 비교적 깊음에도 불구하고 남측 전면부의 대형 창에 의하여 조도 수준은 비교적 높은 것으로 나타났다. 그림 4는 같은 조건의 정오 때의 실내 조도분포를 참고적으로 나타내고 있다. 창면부에 나타나는 극단적인 높은 조도는 2차원적 조명원으로서 전환해야 할 필요성을 의미한다.

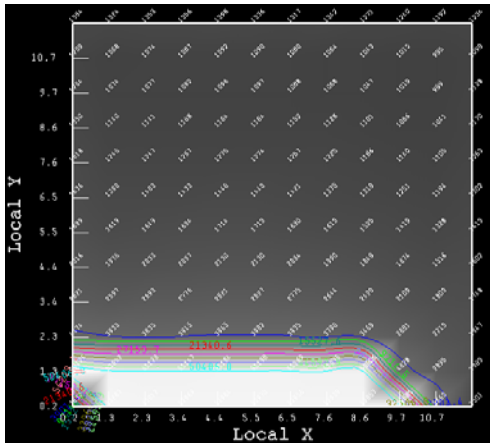


그림 3. 자연광 분포 (3월21일 오전 10시 청천공)

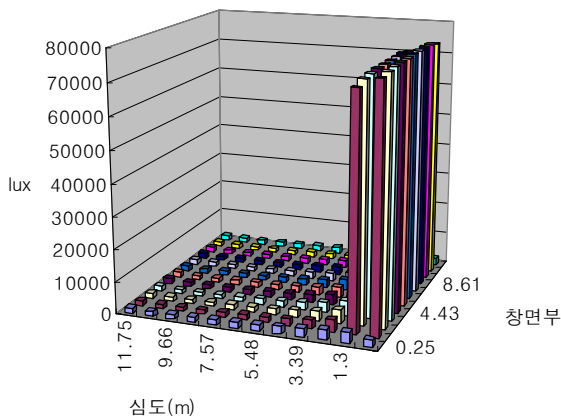
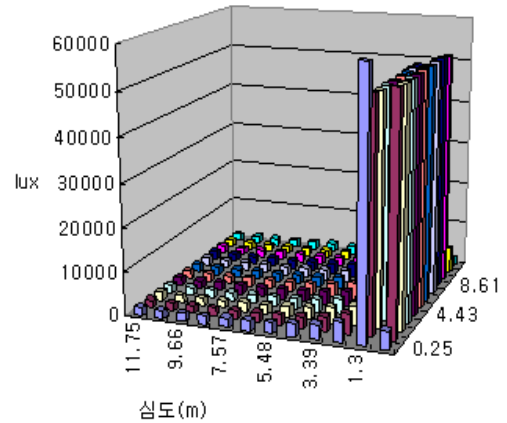
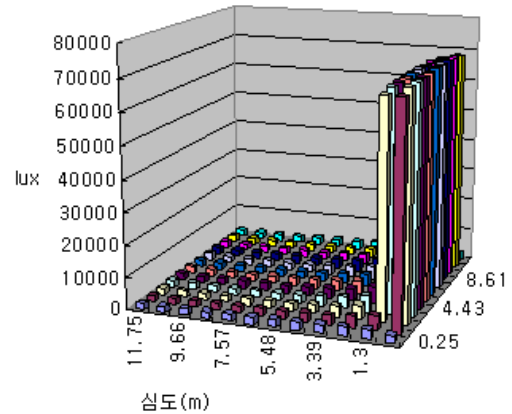


그림 4. 자연광 분포 (3월21일 정오 청천공)

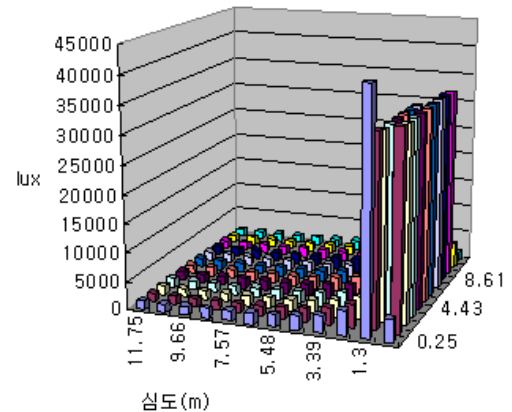
다음 일련의 그림들은 각 인공조명설계안들이 자연광과 통합될 때 예상되는 종합적인 조명성능을 대표적인 계절과 시간대별로 예시하고 있다. 창면부의 극단적인 조도분포는 연간 계절에 관계없이 예상되는 현상이다. 동절기의 경우, 전체적인 입사량과 조도분포는 상대적으로 낮았지만 낮은 태양고도로 인하여 실내 후면부까지 도달하는 빛의 양이 증가할 수 있으며 전체적인 조도의 분포는 균일하게 형성되어 질적 조명에는 장점이 있으나 이에 수반되는 현위와 직사광의 유해성은 철저히 방지되어야 한다.



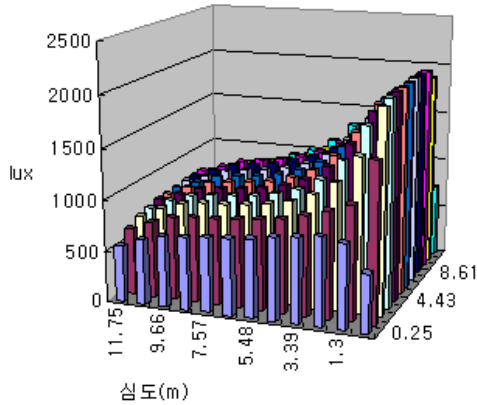
a) 40W 조명설계 1안 3월21일 오전 12시 청천공



b) 75W 조명설계 2안 3월21일 오후2시 청천공



c) 32W 조명설계 3안 12월21일 오전 9시 청천공



d) 18W 조명설계 4안 12월21일 17시 청천공

그림 5. 조명설계안별 통합조도분포의 시간대별 예

전체적으로 필요 조도를 만족시키기 위하여 주간에도 인공조명을 실시하는 경우 조명안의 특성에 관계없이 자연광의 부가적인 조명효과로 인하여 기준조도를 상회하게 되어 일정량의 소등의 필요성을 나타내고 있다.

다음의 표3은 자연광과 인공조명의 통합적 효과에 의해 형성된 실내 조도의 분포를 계절별, 시간별로 예시한 그림들이다.

표 3. 통합조명에 의한 조도 분포

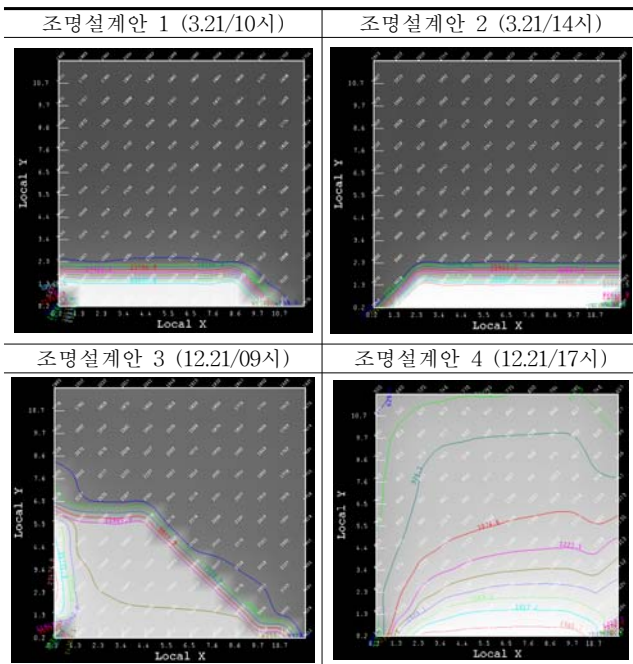


표 4는 동일 시간과 동일 천공상태아래서 각 조명방식에 따른 다양한 조명성능지수를 종합적으로 나타낸 것이다. 조명의 종류와 배치방식에 차이가 있을 뿐 실내의 전체적 조도 분포는 크게 다르지 않는 것으로 나타났다. 실내조도의 기준값에 맞추어 적절히 인공조명이 설계된 까닭이다. 인공조명이 통합된 경우 당연히 조도값의 최대, 최소, 평균의 균제도가 향상된다.

표 4. 통합조명성능지수 (3월21일 정오 청천공)

	자연광	조명 1	조명2	조명3	조명4
평균	11640	12360	12370	12390	12380
최소	1285	1950	2005	1980	1920
최대	75740	76320	76300	76310	76270
최대/평균	59	39	38	39	40
평균/최소	9	6	6	6	6
W/m2	0	15.3	13.2	28.6	25.3

3.4. 주광에 의한 인공광원의 소등

주광에 의한 실내조도분포는 계절별로 시간별로 지속적으로 변화하는 관계로 이를 연간단위로 정밀하게 계산하여 실내의 소등라인을 설정하고 인공광원의 소등개수를 일일이 산정하는 것은 비효율적인 방법이다. 본 연구에서는 각 조명설계안 별로 대표적인 계절점인 춘/추분, 하지, 동지 때의 가조시간동안의 시간대별 조도분포를 산정한 후 연간 시간대별 소등개수를 평균적으로 계상하였으며 이를 기초로 각 조명 설계안별 소등개수를 산출하였다. 이는 추후 대상공간의 조명에너지 소비전력량을 계산할 때 시간대 별로 소등된 광원의 양을 적용하여 평균적인 절감량으로 환산된다.

실내공간에 배치된 광원의 수 및 밀도에 비례하여 주광의 수준에 연동하는 민감도가 변화하였다. 당연히 가장 많은 광원을 설치한 조명설계 4안의 소등 개수가 가장 많으며, 조명설계 2안의 경우 그 수가 현저히 작아진다. 예상된 바와 같이 비교적 큰 창 크기인 4안은 전체적으로 자연광의 기여도가 비교적 높게 나타났다.

4. 조명에너지의 LCC 분석

4.1. LCC 분석 개요

각 조명 설계안은 일반 사무소 건물의 사용시간 스케줄에 기초하여 하루 12시간, 공휴일을 제외한 연간 300일 동안 운영하는 것을 기본 안으로 설정하고, 자연광 조도 감지센서가 내장된 자동점멸장치를 설치한 에너지 절약형 조명설계안을 대안으로 각각 상호 비교하였다. 일반 조명기구의 설치비용 및 에너지 절약형 점멸장치의 추가설치 비용과 이에 따른 조명에너지의 연간 절감량을 산출하였다. 각 설비의 교체주기에 따른 운용비용을 추가하여 투자회수 기간을 25년으로 전제하고 연리 5%의 대출 금리를 적용하여 LCC 분석을 실시하였다. 모든 조명 계획안을 대상으로 이와 같은 분석의 과정을 반복적으로 실시하여 가장 합리적인 에너지 절약형 조명설비 시스템을 도출하고자 하였다.

4.2. 조명설계안의 LCC 분석과정의 예시

각 조명설계안의 LCC 분석과정을 반복적으로 모두 열거하는 것이 불가능하므로, 본 절에서 조명설계 1안에 대하여 일반조명기구를 사용하는 경우와 자연광 감지센서가 내장되어 자동점멸장치가 설치된 경우의 경제성을 분석하여 상대적으로 비교하였다.

조명설계안 1은 24개의 일반 형광등 조명기구로서 48개의 형광등과 2구용 안정기 24개로 구성되어 있다. 초기 투자비로서 1개의 조명기구에 소요되는 구성자재의 비용은 다음의 표5와 같다. 자연광 조도감지센서가 내장된 자동점멸장치를 포함하는 경우 추가 투자비도 같이 명시되어 있다.

표 5. 단위 조명기구의 초기투자비 (자재+설치비)¹⁾

개당 자재비	라인 형광등 2등용 40W	자동점멸장치설치
램프	1,200원× 2	1,200원× 2
안정기	7,200원	7,200원
반사갓	15,000원	15,000원
자동점멸장치	0	16,500원
합계	24,600원	41,100원

개당 설치비	라인 형광등 2등용 40W	자동점멸장치설치
안정기	6,800원	6,800원
반사갓	6,800원	6,800원
잡비	1,000원	1,000원
실내용자동점멸기	0	6,800원
합계	14,600원	21,400원

표 6. 연간 조명기구의 전력사용량

연간	조명설계안 1	자동점멸장치 설치시
전력 사용량	40W×48개×12시간×300일=6,912kWh/년	(40W×46개×1시간×300일) + (40W×42개×1시간×300일)+...=4,464kWh/년
전력 비용	6,912kWh/년×66원/kWh/년=456,192원/년	4,464kWh/년×66원/kWh/년=294,624원/년

앞에서 기술한 것과 같이 각 조명 설비를 하루 12시간, 공휴일을 제외한 300일 동안 사용하는 것으로 설정하여 연간 전력사용량 및 이에 해당되는 비용을 산정하였으며 에너지 절약형 조명기구의 경우 시뮬레이션을 통하여 각 계절별, 시간대별로 산정된 평균 소등개수를 적용하여 절감된 전력사용량을 산출하였다(표 6).

표 7. 조명기구의 관리비용

조명설계안 1		형광등 2등용 40W		자동점멸장치설치시	
		주기	가격	주기	가격
교 체 비	안정기	10년	7,200원× 24	10년	7,200원× 24
	반사갓	10년	15,000원× 24	10년	15,000원× 24
	램프	1년	1,200원× 48	1년	1,200원× 48
	실내용 자동점멸기	0		10년	66,000원× 6
점 검 비	안정기	1년	3,000원× 24	1년	3,000원× 24
	반사갓	1년	3,000원× 24	1년	3,000원× 24
	실내용 자동점멸기	0		1년	3,000원× 6

1) 출처: <http://aquax.com/0001.htm>

표 8. 조명설계안 1의 LCC 세부 비용내역

조명설계안 1	형광등 2등용 40W		자동점멸기 설치시	
초기투자액 및 개체비	940,800원 (설치비 포함)		1,377,600원 (설치비 포함)	
운 용 관 리 비 (매년)	전력요금	456,192원	전력요금	294,624원
	교체비	57,600원	교체비	57,600원
	점검비	144,000원	점검비	162,000원
운 용 관 리 비 (10년)	532,800원		928,800원	

조명설비의 구성자재의 사용연한을 고려한 주기별 점검 및 교체비용을 산정하면 표 7과 같다. 위에서 산출된 조명비용의 세부내역을 LCC분석을 위한 요소비용으로 간략화하면 표 8과 같다. 연리 5%를 적용한 조명설계안 1의 LCC 분석을 단계별로 계산한 결과는 다음과 같다.

- 라인 형광등 40W, 자동점멸기 미 설치시
 - 반복비용(전력요금) : 연간 456,192원씩 반복적으로 소요되며 LCC 분석의 시간단위인 25년 후의 금액은 n년 후 총액 결정 계수: $\{(1+i)^n - 1\}/i$ (I=연리5%, n=년 수 25년) 로서 총합 21,772,720원이 된다. 미래가치를 현재 가치로 환산하기 위하여, 현재가치 환산계수: $P=F[1/(1+i)^n]$ 를 이용하면 $21,772,720[1/(1+i)^n] = 6,429,544$ 원의 현재가치가 산출된다.
 - 운용비용 : 매년 201,600원씩 25년간에 걸쳐 비용이 소모되므로 연금현재계수를 사용해 현재가치로 산정하면 연금현재계수: $(1+i)^n - 1/i(1+i)^n$ (I=연리5%, n=년 수) = 201,600원×(1+i)ⁿ - 1/i(1+i)ⁿ = 2,841,339원이 산출된다.
 - 비반복 비용(운용관리비): 10년 후의 자재교체비용을 현재가치로 환산하면 $532,800 \times 1/(1+i)^n = 327,093$ 원이 된다.
 - 1 비반복 비용(운용관리비): 20년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 $532,800 \times 1/(1+i)^n = 200,806$ 원이 된다.
 - 일반조명기구를 사용하는 경우 LCC의 결과 금액은 6,429,544원+2,841,339원+327,093원+200,806원= **9,798,782 원**으로 산출되었다.

- 라인 형광등 40W, 자동 점멸기 설치시
 - 반복비용 (전력요금) : 연간 294,624원이 소요되며 25년간은 14,061,548원이 되며 현재가치는 $14,061,548 [1/(1+i)^n] = 4,152,414$ 원으로 산출된다.
 - 운용비용 : 연간 219,600원씩 25년간에 걸쳐 비용이 소요되며 현재가치는 3,095,030원이다.
 - 비반복 비용(운용관리비): 10년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 570,202원이 된다.
 - 1 비반복 비용(운용관리비): 20년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 $928,800 \times 1/(1+i)^n = 350,055$ 원이다.
 - 자동점멸기 설치시 LCC의 결과 금액은 4,152,414원 + 3,095,030원 + 570,202원 + 350,055원 = **8,167,701 원**으로 25년을 사용할 때, 자연광과 연계하여 조명기구를 연동적으로 점멸, 점등하는 제어를 설치하는 것이 경제적임을 알 수 있다.

4.3. 전체 조명설계안의 LCC 분석

각 조명설계안의 경제성을 분석하기 위하여 각 대안별로 앞에서 예시한 LCC 분석단계를 거쳐 세부 요소비용을 산출하고 LCC 분석을 통하여 자동 점멸기 설치의 경우와 경제성을 비교하였으며 그 결과는 다음의 일련의 표로 정리되었다.

75W 형광등의 경우, 일반성은 떨어지나 조명기구의 개수가 줄어들고 이에 따라서 설치비와 자동점멸기의 추가비용 및 운용관리비도 상대적으로 낮아져서 우수한 경제성을 나타내고 있다.

표 9. 조명설계안 2의 LCC 비용분석

조명설계안 2	형광등 2등용 75W	자동점멸기 설치시
초기투자액 및 개체비	734,400 (설치비 포함)	1,171,200 (설치비 포함)
운용 관리비(매년)	전력요금	427,680원/년
	교체비	55,200원
	점검비	72,000원
운용관리비(10년)	504,000원	900,000원
25년 LCC 비용분석	8,319,812원	6,374,476원

표 10. 조명설계안 3의 LCC 비용분석

조명설계안 3	컴팩트 형광등 32W	자동점멸기 설치시
초기투자액 및 개체비	964,800원 (설치비 포함)	1,401,600원 (설치비 포함)
운용 관리비(매년)	전력요금	547,430원
	교체비	82,800원
	점검비	216,000원
운용관리비(10년)	356,400원	752,400원
25년 LCC 비용분석	8,322,114원	7,541,141원

32W의 컴팩트 형광등을 사용한 조명설계 3안의 경우, 40W 일반 형광등을 사용하여 24개의 조명기구를 설치한 설계 1안에 비하여 36개의 다소 증가한 조명기구 개수를 나타내고 있음에도 불구하고, 경제적으로 일반 형광등을 사용한 경우보다 더 유리한 것으로 나타났다.

18W 컴팩트 형광등기구를 사용한 조명설계 4안의 경우 밀도높은 조명기구의 배치로 인하여 보다 정밀한 주광의 연계성이 기대되며 결과적으로 더욱 많은 조명기구가 소등되어 상대적으로 우수한 경제성이 기대되었다. 그러나 시물레이션 결과 조명기구수가 증가하여 이로 인한 초기 투자비와 운용비가 급속도로 증가하여 오히려 경제적으로 불합리하였다.

표 11. 조명설계안 4의 LCC 비용분석

조명설계안 4	컴팩트 형광등 18W	자동점멸기 설치시
초기투자액 및 개체비	3,844,800원 (설치비 포함)	4,281,600원 (설치비 포함)
운용 관리비(매년)	전력요금	615,846원
	교체비	331,200원
	점검비	864,000원
운용관리비(10년)	1,425,600원	1,821,600원
25년 LCC 비용분석	26,937,268원	24,323,671원

위에서 분석한 4가지 조명설계안들의 LCC 분석 결과를 종합적으로 정리하면 표 12와 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 향후 25년간의 LCC분석 결과 라인 형광등 75W를 자동점등기와 일체화하여 설치하여 자연광과 연계하여 운용하는 것이 가장 경제적인 조명 방안인 것으로 판명되었다.

표 12. 조명설계안의 LCC 비용분석의 비교

설계안	조명설계 1	조명설계 2	조명설계 3	조명설계 4
	라인 형광등 2등용 40W	라인 형광등 2등용 75W	컴팩트 형광등 1등용 32W	컴팩트 형광등 1등용 18W
일반 운용	9,798,782원	8,319,812원	8,322,114원	26,937,268원
주광 연계운용	8,167,701원	6,374,476원	7,541,141원	24,323,671원

5. 결론

조명에너지 절감은 지구환경보전이나 국가 에너지 절약 측면에서는 절대적인 목표이나, 이를 위하여 추가적인 설비를 투자해야 하는 건축행위의 개별 주체들의 입장에서는 그 경제성을 고려할 수밖에 없다. 이에 본 논문에서는 에너지 절약형 조명계획의 한 방법인 주광 연계형 조명제어설비의 투자로 인한 조명에너지 절감량을 비용측면에서 경제적으로 분석하였다.

초기투자의 경제성 평가기법중 가장 합리적인 LCC 평가를 자연광에 의한 조명에너지 절감량에 적용하였으며, 계절적 시간적 변동요인이 많은 주광의 기여도를 가조시간대별로 평균화를 시도하였다. 또한, 에너지 절약형 광원으로 다양한 인공조명설계안을 제시하고 각 조명 대안별로 주광과 연계하여 소등시킬 수 있는 조명기구의 시간대별 평균 소등개수를 연간단위로 산출하여 전력 절감량으로 환산하였다.

장기간에 걸쳐 조명기구를 운용하는 것을 전제로 할 때 조명기구의 종류나 배치방식에 관계없이 전체적으로 주광을 감지하여 자동으로 점멸되는 장치가 내장된 조명기구를 사용하는 것이 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. 이는 경제외적으로 주광이 기여하는 실내조명 수준의 질적 제고를 동시에 고려할 때 적극적으로 도입할 필요성이 있음을

의미한다.

일반적으로 주광과 연계하는 조명기법은 에너지 절약형이라 간주되어 왔으나 경제성 측면에서 볼 때 조명에너지 절약은 실내에 설치되는 조명기구의 개수와 관련이 깊은 것으로 나타났다. 즉, 조명기구의 개수에 따라 초기 투자비부터 운용관리비까지 경제 비용이 비례적으로 증가하게 된다.

따라서 주광과의 연계 효율을 향상시키기 위해서 조명기구를 증가시키고, 조명기구의 배치를 밀도 높게 하는 것은 하드웨어의 투자비용과 관리비용이 추가로 부담됨으로써 비용적 측면에서 큰 장점이 없는 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업 (과제번호 M1-0300-00-0258)의 지원에 의해서 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 편집부, 에너지 절약을 위한 조명제어 시스템, 조명과 인테리어, Vol.58, pp.104-117, 1998
2. Boyer, L.L. Multiple Validation of Annual Energy Savings Analysis Techniques for Preliminary Daylighting Design, Proc. 2nd International Daylighting Conference, Long Beach, 1986
3. Hunt, D.R.G. Improved Daylight Data for Predicting Energy Savings from Photoelectric Controls, Lighting Research and Technology, Vol. 11, No. 1, The Chartered Institution of Building Services Engineers, UK. pp. 9-23. 1979
4. Littlefair, P.J. Predicting Annual Lighting Use in Daylight Buildings, Building and Environment, Vol. 25, pp. 43-54, 1990.
5. Stein, B., and Reynolds, J. S., (1992). Mechanical and Electric Equipment for Buildings, 8Th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York
6. Marchall, H. E., and Ruegg, R. T. (1980). Energy Conservation in Buildings: An Economics Guidebook for Investment Decisions, National Bureau of Standards Handbook 132, NBS, Washington D.C.
7. Ruegg, R. T., et al. (1978) Life Cycle Costing, National Bureau of Standards Publication 113, NBS, Washington D.C.
8. <http://aquax.com/0001.htm>
9. www.feekux.com
10. www.portalenergy.com