

# 생애주기비용분석 기법을 이용한 채광기능성 창호시스템의 경제성 평가에 관한 연구

## Economic Probation on the Benefit of Daylighting by a Light-Guide System

김 곤\*  
Kim, Gon

김 정 태\*\*  
Kim, Jeong-Tai

### Abstract

Attention on daylighting should be focused not so much on a simple maximization of the natural light available in a space, as on improving the quality of lighting by ensuring as even but intense distribution of illumination in inner areas. An architectural means of optimal daylight distribution is by using so-called light shelf systems, horizontal shading and redirecting devices. The overall performance of the daylighting system can be improved by the incorporation with electric lighting control devices. This paper aims to exemplify the benefit of daylighting in term of economic consideration. 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. 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 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 devices.

키워드 : 광선반, LCC, 경제성 분석, 조명제어, 조명 에너지

Keyword : Lightshelf, LCC, Economic analysis, Lighting control, Lighting energy

### 1. 서 론

현대 산업사회에서 건물이 제공해야 할 건축적 역할은 환경적인 조절 기능에서 국한되지 않고 더욱 많은 자연을 접촉할 수 있는 친환경 분야까지 확대되고 있다. 자연의 빛은 건물이 내포할 수 있는 자연 요소 중에서 가장 경제적이며 가장 용이한 요소 중 하나일 것이다. 그러나 과도한 자연의 빛이 정제되지 않은 상태로 실내에 유입되는 경우 직사광의 유해성과 불균질한 실내 조도의 극단적 분포라는 부정적 효과를 유발하게 된다. 이에 대한 광학적 건축적 해법으로 창호를 중심으로 한 개구부를 내부 광선반을 일체화하여 입체적으로 구성하였다. 이는 직사광을 확산광으로 1차 반사시켜 성분적으로 순화시키고 아울러 실내의 후면부에 다량의 반사광이 유입되고 창면부의 유입은 상대적으로 감소시키는 채광 시스템의 기능을 수행한다. 자연광의 유입 효과는 조명원, 재실자의 건강성, 조명 에너지 등 다양한 측면에서 평가받을 수 있으나 본 연구에서는 Life Cycle Cost 기법을 이용하여 그 경제성을 평가하였다.

계절적·시간적 변화량이 많은 주광의 기여도를 가조시

\* 정희원, 국립 강원대학교 부교수, 건축학박사

\*\* 정희원, 경희대학교 교수, 공학박사

간대별로 평균화 개념을 도입하여 자연광으로 인한 인공 조명 기구의 소등 가능성을 계절별, 시간별로 분석하였다. 일반적으로 사용되는 에너지 절약형 광원으로 구성된 조명설계 대안을 제시하고 각 조명안별로 자연광에 의한 전기조명 에너지의 절감량을 경제적으로 평가하였다. 즉, 자연광 유입량에 따라 비례적으로 운용되는 인공조명의 통합 제어기법을 사무소 건물의 일반적 공간모델에 적용했을 경우 기대되는 연간 시간대별 소등개수를 평균적으로 산출하여 연간 전반조명에너지 절감량을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예시하였다. 자연광과 연동적으로 조명을 운용하기 위하여 도입된 조명제어설비로 인한 초기비용의 산정과 자연광에 의한 조명에너지 절감량에 따른 초기 투자비용의 회수기간을 산정하여 인공 광원의 종류 및 배치 방식에 따른 대안별 경제성을 도출하였다.

### 2. 채광시스템의 경제성 평가방법론

#### 2.1 평판형광선반 채광시스템의 설계

현재 건물 벽면에 채광부로 사용되고 있는 일반적인 창호시스템은 벽의 개념에서 탈피하지 못한 2차원적인 형상의 한계로 인하여 주광과 일사에 대한 환경적 조절 능력

이나 저항력 및 유도 능력이 현저히 떨어진다. 이로 인하여 과도한 빛과 일사의 유입이 발생하거나 창면부의 조도는 극심한 반면 실내 후면부는 상대적인 대비효과에 의하여 어둡게 느껴지거나 인공조명을 운용해야 하는 불합리한 분포가 형성된다. 이에 대한 문제 제기는 새로운 것이 아니나 이에 대한 건축적·광학적 해법의 제시는 적극적이지 못했다.

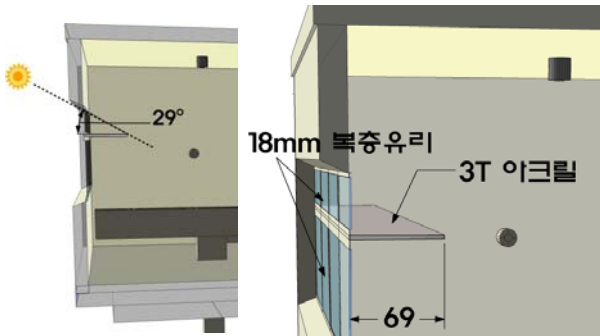


그림 1. 평판형 내부 광선반 채광시스템 설계

3차원적 채광시스템의 한 형태로서 내부 광선반이 일체화된 채광시스템을 그림 1과 같이 계획하였으며 수평 광선반의 차양역할 및 반사효과의 양면적 기능성을 궁정적으로 적용하고 사용하였다. 광선반시스템에 대한 선행의 연구 결과와 실내 공간의 효율적 이용의 측면에서 60cm 돌출폭을 가진 내부 광선반을 설계하였으며 시야확보를 위한 방해각에 해당되지 않도록 최대한 상단부에 위치시켰다. 광선반의 표면 반사율은 마감을 백색 페인트로 마무리 한 것으로 가정하여 90%로 설정하였다.

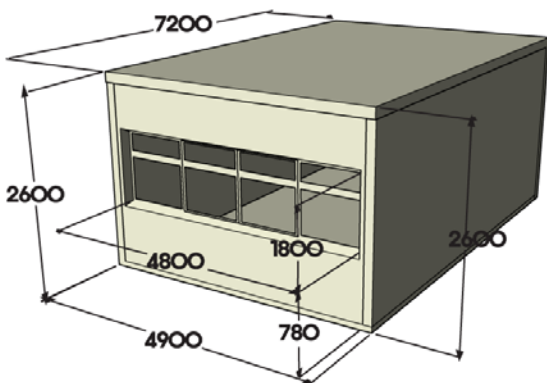


그림 2. 평가모델의 기본형상

본 연구의 초기 단계에서 다양한 형태와 적용 가능성을 내포한 광선반의 성능을 평가하기 위하여 기존 계획된 사무소 건물의 형태자료를 분석하여 그림 2와 같은 일반 사무실의 형상(4.9m×7.2m×2.6m)을 연구대상으로 선정하였다.

**2.2 주광 연동형 조명 제어설비**

조명에너지 절약기법은 주로 거주자의 재설여부와 관련하여 인체의 움직임을 감지하는 광센서 방식의 제어 기법에 치중하면서 일차원적인 접근에 정제되어 있다. 최근에

이러러 주광감응 제어시스템 개발, 창문 일체식 조광제어 시스템, 천공모니터링 시스템 등 주광과 인공조명의 통합 제어 시스템들이 개발되고 있다. 사무소 공간에 사용되는 일반적인 광원인 형광등용 안정기가 자기식에서 전자식 안정기로 교체됨에 따라 조광제어가 가능하게 되어 에너지 절약의 새로운 방법으로 주목받고 있다.

통합제어의 기본적인 개념은 상시인공보조조명을 위해 제어회로를 설치하여 조명기구가 자동적으로 점멸되거나 점등되는 방법과 빛의 양을 부분적으로 조절하는 조광장치를 설치하는 방법이 있는데, 이를 통칭하여 주간인공조명 제어장치라고 한다. 보조조명 점멸제어장치는 실내의 주광레벨을 감지하여 조명기구를 점등하는 외광 수광기로 구성되며, 창쪽에 있는 작업면의 조도를 측정하는 방식일 경우에는 조명기구의 점멸에 따라 작업면의 조도가 크게 변화하게 되므로 조명기구를 원활하게 제어하는 것이 용이하지 않다. 이와 같은 단순 점멸의 단점을 보완하기 위하여 3단계 조광용 (강/중/약/점멸) 제어가 개발되어 주광의 강도에 보다 효율적으로 연동되도록 한 제어기법도 있다.

연속조광방식은 주광의 변화에 연동적으로 대응하며 실내조도가 균일하게 변화하므로 점멸방식보다 쾌적한 조명환경을 만들 수 있다. 연속조광제어장치는 내광 수광기, 제어판, 안정기로 구성되며 주로 천장에 매입된 실내 광수광기에서 감지된 조도의 양에 대응하여 조명기구를 연속적으로 조광한다. 또는 북쪽 창을 통하여 감지되는 자연광의 세기는 계절별로 변화하는 외부조도를 대표한다고 할 수 있으므로 이를 기준으로 하여 전체 건물의 공간들을 제어한다.

**2.3 LCC 경제성 분석기법**

생애주기비용분석 기법을 약칭하는 LCC기법이란 추가적 투자에 대한 제비용을 투자 대상물의 경제수명이라는 시간범위 내에서 장래의 이익을 현재가치로 또는 현재의 투자비용을 미래가치로 등가환산하여 통합적인 경제성을 평가하는 수법이다. 건축분야의 경우 건물의 요소나 선택적 설비 시스템에 대한 추가적인 투자를 계획하는 경우 건물이나 시스템의 사용연한동안 발생하는 총 비용을 동일한 시간대를 기준으로 등가환산하여 기준안과 대체안에 대한 경제성을 비교하고 선택의 기초자료를 제공한다. 다시 말해 각 설계 대체안에 대하여 그 소유나 운용에 관해 발생하는 중요한 제비용을 건물의 경제수명 범위에 걸쳐 등가환산한 값으로 각 안의 경제성을 평가하는 수법이다.

설계자가 LCC분석을 할 때는 설비의 사용 기간동안 관련된 경제요소적 정보가 필요한 바, 초기투자비용, 자본조달비용, 운용비용, 투자대비 이익률 및 관련비용으로 대별된다. 초기 투자액(Initial Cost)이란 프로젝트 형성에 수반되는 설계비, 토지대와 같은 제비용과 건설비용을 포함한 설비 등의 기기 구매비용이며 자본조달비용(Financing Cost)이란 설비의 자본비용에 관련하여 이자를 포함한 금융비용이다. 운용비용(Operation Cost)이란 시설운영 시에 소요되는 비용, 예를 들면 연료비, 임금 등의 비용이다. 관

련비용(Associated Cost)이란 건물의 의사 결정에 따라 새롭게 발생하는 여러 가지 비용이다. 예를 들면 기능 Cost(Functional use Cost), 기회손실 Cost(Denial-of-Use Cost), 방범(Security)과 보험비용 등을 들 수 있다.

### 3. 인공조명설계와 조명성능평가

#### 3.1 대상공간의 인공조명설계

일차적으로 단위공간에 필요한 조도 수준을 확보하기 위하여 에너지 절약형 일반형광등을 이용한 인공조명설계를 실시하였으며, 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.

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 밀도 높은 조명기구의 배치로 인해 기대되는 보다 우수한 자연광과의 연계성능 여부를 평가하게 된다.

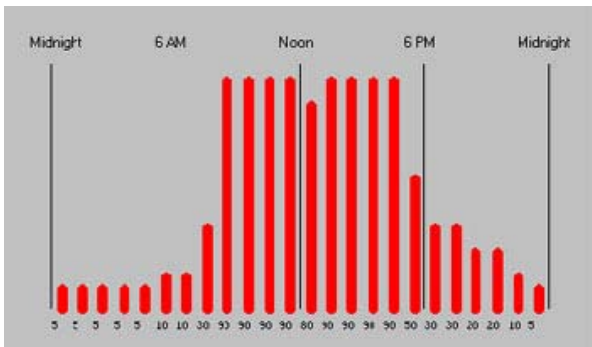


그림 3. 사무소 공간의 평균 사용 스케줄

각 조명대안은 전술한 바와 같이 일반적인 사무소 공간의 사용 스케줄인 오전6시부터 오후6시까지 12시간동안 운용하는 것으로 전제하였다. 바닥으로부터 75cm 높이의 작업면을 대상으로 1m 간격의 측정 Matrix를 설정하여 조도분포를 도출하였다.

표 1. 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		

#### 3.2 주광연계조명제어의 적용기법

본 연구에서는 주광에 대응하여 실내 조명기구를 연동적으로 운용할 경우의 절감량을 경제적으로 분석하기 위

하여 조명 제어방식 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 프로그램, Lumen-Micro 2000을 이용하여 조명성능과 소비 에너지 량을 시뮬레이션을 실시하였다. 주광연계제어의 에너지 절감성능을 정량적으로 분석하기 위하여 앞서 계획된 조명설계안에 그림 4에 도해된 것과 같이 실내 권역별 내부 수광기와 연속 조광용 디머를 설치하여 자연채광과 인공조명의 통합적운용을 실시하였다.

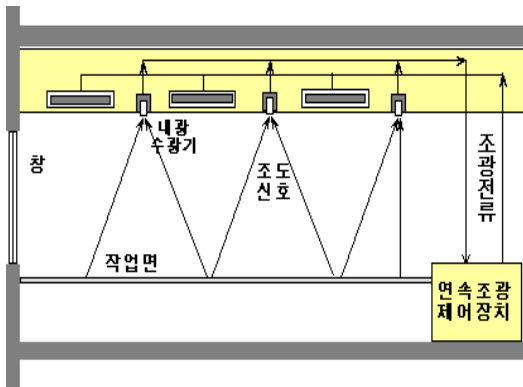


그림 4. 연속조광방식 자연광 통합 조명설비 시스템

통합조명설비의 운용 시 자연채광에 의한 실내조도기준은 일반 사무소 공간을 기준으로 500 lux 정도 설정하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 주광에 의한 절감량의 과다 평가를 방지하고 필요조도를 기준으로 다소의 변동폭을 허용할 필요가 있으므로 700lux로 설정하였으며 아울러 실내 어느 지점에서나 기준조도를 유지할 수 있도록 하기 위하여 각 조명권역내에 창으로부터 가장 먼 위치에 감지기를 설치하였다.

**3.3 내부 광선반 일체형 창호의 채광성능**

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. 공간의 향은 남향을 대상으로 가장 기본적인 자연채광 성능평가 조건인 춘추분 및 하지와 동지의 가조시간대 중에서 일반적인 사무소 건물의 업무 스케줄에 해당하는 오전6시부터 오후6시까지의 12 시간동안 각 시간대별로 실내의 조도분포를 산출하였다. 이를 바탕으로 각 시간대별, 조명설계안별 소등라인과 소등이 가능한 인공조명기구의 개수를 평균적으로 산출하였다. 이는 연간 조명설비 운용 에너지의 절감량으로 환산되어 LCC 분석의 기초자료로 사용된다. 성능평가용 해당공간의 물리적, 광학적 변수는 표 2와 같다.

표 2. 성능평가용 시물레이션 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%

대형 면적을 가진 일반창호에 의해 유입되는 과도한 자연광은 창면부의 높은 조도와 극단적인 조도의 불균일한 분포를 초래한다. 이에 광선반은 수평차양과 유사한 형태로 수직창의 상단부에 위치하여 창과 근접한 외주부의 주광량을 감소시키며 실내 깊숙한 부분까지 자연광을 반사, 유입시킴으로써 실내의 조명환경을 질적으로 향상시킨다. 그러나 광선반의 존재는 채광부에 대한 1차원적인 차양효과로 말미암아 자연광의 실내 유입 총량을 감소시키며 반복되는 반사에 의한 손실까지 부가되어 전체적인 실내 조도의 평균치를 감소시키는 결과를 초래함을 감수하여야 한다. 돌출 길이 60cm의 내부 광선반 설치 유무에 따른 자연채광에 의한 실내 이미지의 변화가 그림 5에 나타나 있다. 창면부에 형성되는 직사광의 밝은 이미지는 광선반에 의해 다소 면적이 감소하거나 밝기 정도가 낮아졌다. 또한 시각적으로 명확히 구분할 수는 없으나 실내 표면의 밝기 분포도 다소 긍정적으로 변화됨을 알 수 있다



(a) 일반창호



(b) 광선반 창호

그림 5. 광선반 유무에 따른 실내 자연광 이미지

평균개념인 춘분 때의 광선반 유무에 따른 실내조명지표의 변화가 그림 6에 나타나 있다. 조도 평균값의 감소는 85%정도로서 광선반의 차양효과는 불가피하였으나 최대치의 감소 및 특히 조도 최소값은 시간대별로 150%까지

증가하여 조도의 균질한 실내분포형성에 기여도가 높음을 나타내고 있다. 평균값, 최대값, 최소값 사이의 상관관계를 의미하는 균제도도 시간대별로 50~60% 향상되는 것으로 나타났다.

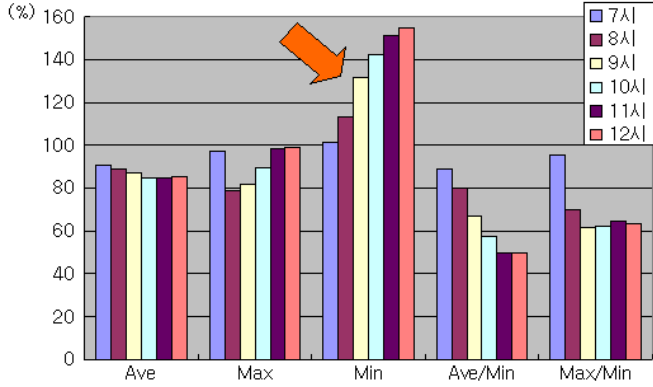


그림 6. 3월21일 시간대별 광선반에 의한 조명지표 증감율

### 3.4 주광연계조명제어의 성능분석

광선반 일체형 채광시스템의 자연광 유입효과를 나타내기 위하여 조명기구의 작동이 배제된 상태에서 자연채광 성능을 분석하였다. 자연광에 의한 인공조명기구의 소등범위를 산정하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 우선적으로 자연광 분포를 도출하였으며 계절별, 가조시간대별로 구별하여 시간대별 소등범위를 평균적으로 설정하였다. 그림 7, 8은 각 계절별, 시간대별 자연광에 의한 소등라인을 예시한 것으로서 하단부의 x축이 남면의 창벽을 의미하며 그림의 상단부는 후면벽부를 의미한다.

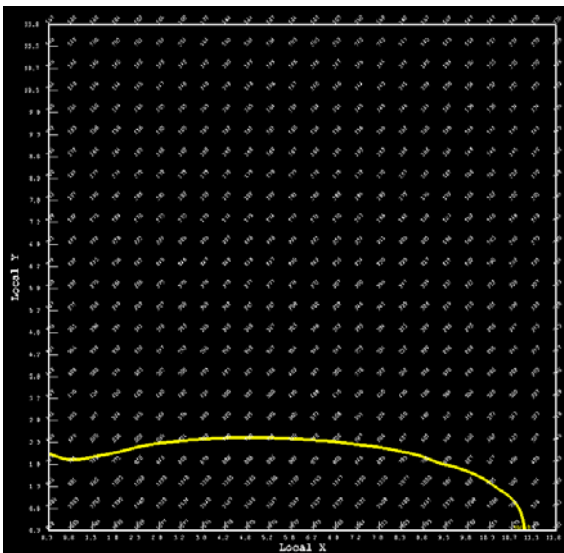


그림 7. 3월21일 오전 7시 자연광에 의한 소등라인

계절별 시간대별로 태양의 위치에 기초하여 입사각과 광량에 따라 소등범위가 후면벽부로 확대된다. 노란색으로 표시된 소등라인의 하단부에 설치된 조명기구는 주광연계 제어장치에 의해서 해당 시간대에 모두 소등할 수 있는

것으로 설정된다.

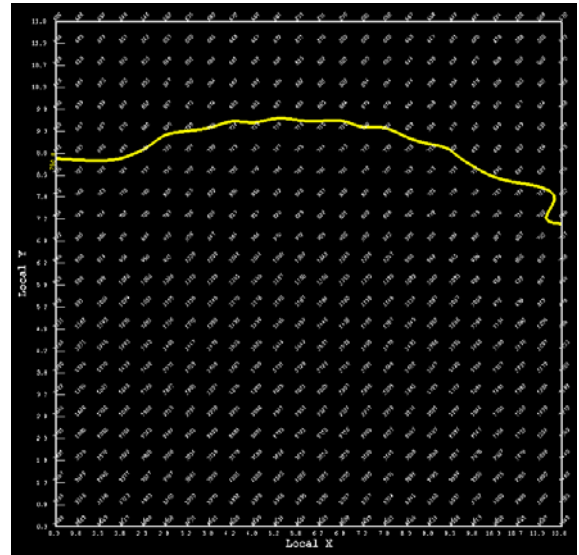


그림 8. 6월21일 오전 10시 자연광에 의한 소등라인

다음 표3은 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 태양 고도로 인하여 실내 후면부까지 도달하는 빛의 양이 증가할 수 있으며 전체적인 조도의 분포는 균일하게 형성되어 질적 조명에는 장점이 있으나 이에 수반되는 현휘와 직사광의 유해성은 철저히 방지되어야 한다.

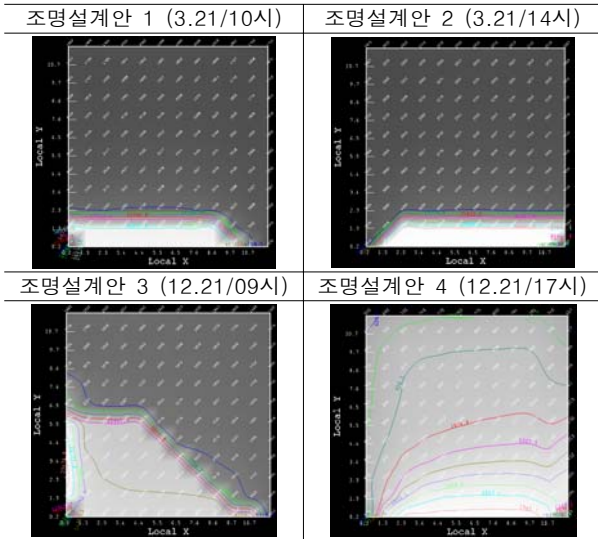
전체적으로 필요 조도를 만족시키기 위하여 주간에도 인공조명을 실시하는 경우 조명안의 특성에 관계없이 자연광의 추가적인 조명효과로 인하여 기준조도를 상회하게 되어 일정량의 소등의 필요성을 나타내고 있다. 조명의 종류와 배치방식에 차이가 있을 뿐 실내의 전체적 조도 분포는 크게 다르지 않다. 실내조도의 명목값이 설정되어 있고 그 기준에 맞추어 적격히 인공조명이 설계된 까닭이다. 인공조명이 통합된 경우 당연히 조도값의 최대, 최소, 평균의 균제도가 향상된다.

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 연간시간대별 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 수와 밀도에 비례하여 주광의 수준에 연동하는 민감도가 변화하며 당연히 가장 많은

광원을 설치한 조명설계 4안의 소등 개수가 가장 많으며 조명설계 2안의 경우 그 수가 현저히 작다. 예상된 바와 같이 비교적 큰 창의 크기로 인하여 전체적으로 자연광의 기여도가 비교적 높다.

표 3. 통합조명에 의한 조도 분포



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 운용하는 것을 기본 안으로 설정하고 자연광 조도 감지센서가 내장된 자동점멸장치를 설치한 에너지 절약형 조명 설계안을 대안으로 각각 상호 비교하였다. 일반 조명기구의 설치비용과 에너지 절약형 점멸장치의 추가설치비용과 이에 따른 조명에너지의 연간 절감량을 산출하였으며 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 불가능하여 본 절에서 조명설계 1안에 대하여 일반조명기구를 사용하는 경우와 자연광 감지센서가 내장되어 자동점멸장치가 설치된 경우의 경제성을 분석하여 상대적으로 비교하고자 한다.

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)<sup>1)</sup>

개당 자재비	라인 형광등 2등 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 2등 40W	자동점멸장치설치
안정기	6,800원	6,800원
반사갓	6,800원	6,800원
잡비	1,000원	1,000원
실내용 자동점멸기	0	6,800원
합계	14,600원	21,400원

전술한 바와 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 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)+...
전력 비용	6,912kWh/년× 66원/kWh/년 = 456,192원/년	4,897kWh/년× 66원/kWh/년 = 323,203원/년

조명설비의 구성자재의 사용연한을 고려한 주기별 점검 및 교체비용을 산정하면 다음의 표7과 같다. 위에서 산출된 조명비용의 세부내역을 LCC분석을 위한 요소비용으로 간략화하면 다음의 표8과 같다.

표 7. 조명기구의 관리비용

조명설계안 1	형광등 2등용 40W		자동점멸장치 설치시		
	주기	가격	주기	가격	
교체비	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
점검비	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 세부비용내역

조명설계안 1	형광등 2등용 40W		자동점멸기 설치시	
초기투자액 및 교체비	940,800원 (설치비 포함)		1,377,600원 (설치비 포함)	
운용 관리비(매년)	전력요금	456,192원	전력요금	323,203원
	교체비	57,600원	교체비	57,600원
	점검비	144,000원	점검비	162,000원
운용 관리비(10년)	532,800원		928,800원	

연리 5%를 적용한 조명설계안 1의 LCC 분석의 단계별 계산은 다음과 같다.

1) 라인 형광등 40W, 자동점멸기 미 설치시

① 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=년수 25년) 로서 총합 21,772,720원이 된다. 미래가치를 현재가치로 환산하기위하여, 현재가치 환산계수:  $P=F[1/(1+i)^n]$  를 이용하면 21,772,720  $[1/(1+i)^n]$  = 6,429,544원의 현재가치가 산출된다.

② 운용비용 : 매년 201,600원씩 25년간에 걸쳐 비용이 소모되므로 연금환가계수를 사용해 현재가치로 산정하면 연금환가계수: $(1+i)^n - 1/i(1+i)^n$  (I=연리 $i$  =년수) =201,600원 $\times(1+i)^n - 1/i(1+i)^n$  = 2,841,339원

③ 비반복 비용(운용관리비): 10년 후의 자재교체비용을 현재가치로 환산하면 532,800 $\times 1/(1+i)^n$  = 327,093원

③-1 비반복 비용(운용관리비) : 20년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 532,800 $\times 1/(1+i)^n$  = 200,806원

④ 일반조명기구를 사용하는 경우 LCC의 결과 금액은 6,429,544원+2,841,339원+327,093원+200,806원= 9,798,782원

2) 라인 형광등 40W, 자동 점멸기 설치 시

① 반복비용 (전력요금) : 연간 323,203원이 소요되며 25년간은 15,425,519원이 되며 현재가치는 15,425,519원 $\times [1/(1+i)^n]$  =4,555,199원으로 산출된다.

② 운용비용 : 연간 219,600원씩 25년간에 걸쳐 비용이 소요되며 현재가치는 3,095,030원

③ 비반복 비용(운용관리비): 10년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 570,202원이 된다.

③-1 비반복 비용(운용관리비): 20년 후의 교체비용을 현재가치로 환산하면 928,800원 $\times 1/(1+i)^n$  =350,055원

④ 자동점멸기 설치시 LCC의 결과 금액은 4,555,199원+3,095,030원+570,202원+350,055원 = 8,570,486원으로 25년을 사용할 때, 자연광과 연계하여 조명기구를 연동적으로 점멸, 점등하는 제어기를 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 추가 비용 및 운용관리비도 상대적으로 낮아져서 우수한 경제성을 나타내고 있다.

표 9. 조명설계안 2의 LCC 비용분석

조명설계안 2	형광등 2등용 75W		자동점멸기 설치시	
초기투자액 및 교체비	734,400 (설치비 포함)		1,171,200 (설치비 포함)	
운용 관리비(매년)	전력요금	427,680원/년	전력요금	283,454원
	교체비	55,200원	교체비	55,200원
	점검비	72,000원	점검비	90,000원
운용관리비(10년)	504,000원		900,000원	
25년 LCC 비용분석	<b>8,319,812원</b>		<b>6,933,146원</b>	

표 10. 조명설계안 3의 LCC 비용분석

조명설계안 3	컴팩트 형광등 32W		자동점멸기 설치시	
초기투자액 및 교체비	964,800원 (설치비 포함)		1,401,600원 (설치비 포함)	
운용 관리비(매년)	전력요금	547,430원	전력요금	481,676원
	교체비	82,800원	교체비	82,800원
	점검비	216,000원	점검비	234,000원
운용관리비(10년)	356,400원		752,400원	
25년 LCC 비용분석	<b>12,279,841원</b>		<b>11,999,160원</b>	

18W 콤팩트 형광등기구를 사용한 조명설계 4안의 경우 밀도높은 조명기구의 배치로 인하여 보다 정밀한 주광의 연계성이 기대되며 결과적으로 더욱 많은 조명기구가 소등되어 상대적으로 우수한 경제성이 기대되었으나 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 교체비	3,844,800원 (설치비 포함)		4,281,600원 (설치비 포함)	
운용 관리비(매년)	전력요금	615,846원	전력요금	416,384원
	교체비	331,200원	교체비	331,200원
	점검비	864,000원	점검비	882,000원
운용관리비(10년)	1,425,600원		1,821,600원	
25년 LCC 비용분석	<b>26,937,268원</b>		<b>24,772,111원</b>	

위에서 분석한 4가지 조명설계안들의 LCC 분석 결과를 종합적으로 정리하면 다음의 표와 같다. 표에서 알 수 있듯

이 향후 25년간의 LCC분석 결과 라인 형광등 75W를 자동 점등기와 일체화하여 설치하여 자연광과 연계하여 운용하는 것이 가장 경제적인 조명 방안인 것으로 판명되었다.

웨어적 투자비용과 관리비용의 추가부담을 경제적으로 상쇄하는 것은 현실적으로 용이하지 않다는 것을 의미한다.

표 12. 조명설계안의 LCC 비용분석의 비교

설계안	조명설계 1	조명설계2	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	12,279,841원	26,937,268원
주광 연계운용	8,570,486원	6,933,146원	11,999,160원	24,772,111원
절감률(%)	13	17	2	8

5. 결론

에너지 절약형 조명계획의 한 방법인 주광연계형 조명 제어설비의 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. 에너지 절약형 광원으로 다양한 인공조명설계안을 제시하고 각 조명안별로 주광과 연계하여 소등시킬 수 있는 조명기구의 시간대별 평균 소등개수를 연간단위로 산출하여 전력절감량으로 환산하였다.

광선반 일체형 채광 시스템의 경우 일반 창호에 비하여 질적으로 우수한 조명환경을 연출하나 창면부에서의 차양 효과와 양적 저하로 인하여 주광과 연계된 디밍제어를 적용할 경우 에너지 절감의 기여도가 낮을 것으로 예상되었다. 그러나 이미 필요조도 수준을 극단적으로 상회한 창인접부의 조도를 주로 감소시켰고 결과적으로 실내 자연광의 분포는 인공조명의 소등을 결정하는 기준조도의 관점에서 심각한 저하를 나타내지 않았다. 또한 실내 조도의 최저치에서는 일반 창호보다 높은 수치를 나타내어 그 증가율이 150%에 이르렀으며 보다 정교한 디밍제어나 상대적으로 낮은 조도를 기준으로 할 경우 광선반 일체형 채광 시스템의 경제성은 더욱 향상될 것으로 기대된다.

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 측면에서는 이는 실내에 설치되는 조명기구의 개수와 관련이 깊다. 조명기구의 개수에 따라 초기 투자비부터 운용관리비까지 경제 비용이 비례적으로 증가하게 된다. 밀도 높게 배치된 조명기구로 말미암아 자연광의 연동효과의 극대화가 기대되었으나 하드

후 기

이 논문은 13차년도 중소기업청의 산학연 공동기술개발 사업의 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. Ruegg, R. T., et al. (1978) Life Cycle Costing, National Bureau of Standards Publication 113, NBS, Washington D.C.
5. <http://aquax.com/0001.htm>
6. [www.feekux.com](http://www.feekux.com)
7. [www.portalenergy.com](http://www.portalenergy.com)