

조명시스템의 경제성 평가를 위한 Worksheet 적용

(Application of the Worksheet for Economics Evaluation of Lighting Systems)

심상만* · 김 훈**

(Sang-Man Shim · Hoon-Kim)

요 약

조명설계 초기에 조명이 실시될 공간에 대하여 어떠한 조명시스템이 경제적으로 유리한가를 검토는 것이 중요하다. 조명 경제성 평가를 간편히 수행할 수 있는 Worksheet를 개발하였다. 그리고 일반적인 사무실에서 램프, 안정기, 램프와 안정기의 조합시스템에 대하여, 그리고 고천장 공장에서는 HID 램프 조명시스템에 대하여 경제성을 비교 평가하였다. 앞으로 조명설계시 Worksheet를 이용하면 조명시스템에 투자되는 전체비용을 현재가치나 연간비용으로 환산하여 경제성을 비교 평가 할 수 있다.

Abstract

It is important to decide the best beneficial lighting system in the space when we design the lighting at first stage. A Worksheet to simplify the evaluation of the economics of the lighting system was developed. And it was applied to a general office room for each lamp and ballast combinations, and to a factory room with a high ceiling for each HID lamp systems.

When we design the lighting system using the Worksheet, we can easily evaluate the economics through converting the total cost invested on the lighting system to the present value or the annual cost.

1. 서 론

현대사회에서 조명은 시간영역을 낮에서 밤으로 확대하였고 생산성을 높이는 데 큰 공헌을 하고 있다. 조명이 전체 전기에너지 소비전력의 18~20%를 차지하고 있다고 볼 때 등기구 하나 당 소비전력이 다른 전기기구에 비하여 작다는 것을 감안하면 사용되는 등기구 수량은 매우 많다는 것을 알 수 있다. 따라서 어떠한 조명시스템을 설계하는 경우 경제성을 설계초기에 평가하여 같은 기능을 가진 시스템에서 최소의 비용이 드는 시스템을 선정하여야 할 것이다. 경제성

을 평가하는 방법에는 비용/편익 분석을 통하여 평가하는 방법과 여러 대안의 비교분석을 통해 평가하는 방법이 있다. 전자는 일반적인 경제성 분석의 방법으로 편익의 계량이 매우 어렵고, 후자는 비용을 중심으로 하기 때문에 상대적으로 용이하여 많이 채용된다 [1][2]. 또 평가 범위에 따른 분류로서 단순 조명경제 분석과 정밀 경제분석이 있다[2].

본 연구에서는 정밀조명경제 분석을 이용하여, 조명이 실시될 공간에 대하여 광원, 조명기구, 배선설비 공사비, 전기요금, 유지보수비 등에 할인율을 적용하여 전체 비용을 현재가치 또는 연금화로 환산하여 경제성을 비교 평가하는 워크시트를 개발하고, 이를 이용하여 사무실 및 공장에서의 조명 시스템 평가를 수행하였다.

* 정 회 원 : 춘천기능대학 전기과 전임강사

** 정 회 원 : 강원대 전기전자공학부 교수

접수일자 : 1999년 12월 1일

2. 단순 조명경제 분석과 정밀 조명 경제 분석

2.1 단순 조명경제 분석

단순 조명경제 분석은 분석 대상항목으로 관심 있는 것만을 선정 후 나머지 조건을 무시하는 순간적 경제성 분석이다. 단순 조명경제 분석방법으로는 대체로 대안비교 분석방법이 채용되는데 분석의 검토 대상기간은 대상으로 선정되는 각 광원의 수명기간을 기준으로 한다. 이 방법은 비용을 중심으로 고려하며 비용 중에서도 램프, 안정기 및 전력요금 등의 조명에 필수적인 요소 항목만을 고려하여 단위광속 및 단위 시간당 비용, 즉 단위시간 동안 같은 빛을 내는데 소요되는 비용을 계산하고, 이를 서로 비교함으로써 비용이 적게드는 설비를 선택할 수 있도록 한다.

2.2 정밀 조명경제 분석

정밀 조명경제 분석은 조명의 수명 전 기간에 대해 고려한 동일한 상태를 채택하여 투자비, 운전비, 유지 및 보수비로 나누어 각 항목들을 세분화하여 분석하며, 할인율을 고려한 것이다. 돈은 시간적 가치를 갖고 있기 때문에 검토 기간 내에서 발생하는 비용을 어떤 기준 시점으로 환산한 후 모두 합한 불변 비용으로 비교한다. 조명시스템에서 초기비용, 연간 전력비, 보수비용은 다른 시간대에 발생하므로 그것들은 직접적으로 비교 될 수 없다. 그러므로 상이한 시점에서 발생한 비용 또는 편익을 동일한 시점의 가치로 환산하여 비교한다. 정밀분석방법으로는 대안비교방법이 주로 사용되는데 절대적인 관점에서 비용/편익 분석방법을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 편익에 대하여 고려하지 않았으나 선진화되면서 점차 증가할 것으로 전망된다.

2.3 Worksheet의 구성

Worksheet는 조명계산과 조명경제성 평가를 동시에 할 수 있도록 7단계로 구성하였다. 조명계산 데이터들을 입력시켜 조명기구 수가 구해지면 조명이 실시될 공간의 형태에 따라 기구배치를 고려하여 사용기구 대수를 결정하고, 조명경제 데이터들을 입력시키면 조도와 조명경제가 계산된다. 그리고 마지막으로 전체 비용이 현재가치나 연차지불등가액으로 환산되어 경제성을 비교 평가한다.

2.3.1 조명경제의 비교 계산의 흐름도

그림 1은 조명이 실시될 어떠한 공간에 대하여 조도 및 조명경제를 계산하여 시스템의 전체 비용을 현재가치나 연금화로 환산하여 경제성을 비교하는 흐름도이다.

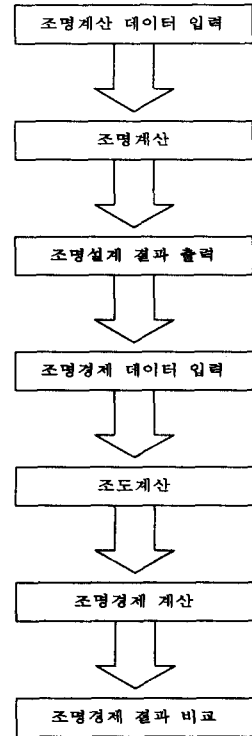


그림 1. 조명경제 비교 계산 흐름도
Fig. 1. Flowchart for Lighting Economics Comparison Evaluation

2.3.2 Worksheet의 각 부분별 구성 요소

조명 경제성 평가를 간편히 수행할 수 있도록 7단계로 구분되어 있는 Worksheet의 각 구성 요소들, 즉 조명계산 데이터 입력, 조명계산, 조명설계 결과 출력, 조명경제 데이터 입력, 조도계산, 조명경제 계산, 조명경제 결과 비교들에 대한 세부항목을 살펴보면 다음과 같다.

[1] 조명계산 데이터 입력 :

- (1) 계산 년 월 일
- (2) 조명시설 명, (3) 조명기구 형명
- (4) 램프 형명, (5) 설계조도

표 1. Worksheet의 기본 형태
Table 1. Basic format of the Worksheet

구 분		System 1	System 2	
(1) 조명계산 입력 데이터	1	계산 년월일	1999. 10. 12	
	2	조명시설명	사무실	
	3	조명기구 형명	하면 개방	
	4	램프 형명	FL 2/40W	
	5	실계조도	400	
	6	조명시설의 폭	12	
	7	조명시설의 길이	18	
	8	조명기구 당 취부 램프수	2	
	9	램프 광속	2,560	
	10	조명율	0.76	
	11	보수율	0.71	
(2) 조명계산	12	면적	216	
	13	조명기구당 램프광속	5,120	
	14	조명기구 대수	31	
(3) 조명 설계결과 출력		조명기구 형명	하면 개방	
		조명기구 대수	31	
(4) 조명 경제 입력 데이터	15	조명기구 사용 대수	31	
	16	조명기구 단가	48,000	
	17	조명기구 취부 배선단가	22,080	
	18	램프 단가	1,400	
	19	상각년수	7	
	20	연간 점등시간	3,000	
	21	램프 수명	8,000	
	22	램프 교환인건비 단가	2,208	
	23	청소비 단가	4,416	
	24	조명기구 입력전력	98	
	25	전기요금	90	
26	이자율	0.1		
(5) 조도계산	27	초기조도	576	
	28	실설계조도	403	
(6) 조명 경제 계산	29	조명기구비	1,536,000	
	30	조명기구 취부배선비	706,560	
	31	램프비	89,600	
	32	초기 설비비	2,332,160	
	33	연간 설비상각비	316,507	
	34	연간 램프교환 개수	24	
	35	연간 교환램프비	33,600	
	36	연간 램프교환 인건비	52,992	
	37	연간 청소비	141,312	
	38	연간 보수비	227,904	
	39	연간 전력량	9,408	
	40	연간 전기요금	846,720	
	41	연간 조명비	1,391,131	
	42	잔존가치	116,608	
	43	m ² 당 연간 조명비	6,440	
	44	m ² · lx당 연간 조명비	16	
	(7) 조명경제결과비교	45	현재가치	28,110,967
		46	연간비용	1,882,461

조명시스템의 경제성 평가를 위한 Worksheet 적용

- (6) 조명시설의 폭, (7) 조명시설의 길이
- (8) 기구 당 취부 램프수, (9) 램프 광속
- (10) 조명율, (11) 보수율.

[2] 조명계산 :

- (12) 면적= (6)×(7)
- (13) 기구 당 램프광속= (8)×(9)
- (14) 기구대수= $\frac{(5) \times (12)}{(10) \times (11) \times (13)}$

[3] 조명설계 결과 출력 :

- (3) 조명기구 형명, (14) 조명기구 대수

[4] 조명경제 데이터 입력 :

- (15) 사용 기구 대수, (16) 등기구 단가
- (17) 등기구 취부 배선 단가, (18) 램프 단가
- (19) 상각년수, (20) 연간 점등시간
- (21) 램프 수명, (22) 램프교환 인건비 단가
- (23) 청소비 단가, (24) 등기구 입력전력
- (25) 전기요금, (26) 이자율

[5] 조도계산 :

- (27) 초기조도= $\frac{(10) \times (13) \times (15)}{(12)}$
- (28) 실설계조도= (27)×(11)

[6] 조명경제 계산 :

- (29) 조명기구비= (15)×(16)
- (30) 조명기구 취부배선비= (15)×(17)
- (31) 램프비= (8)×(15)×(18)
- (32) 초기 설비비= (29)+(30)+(31)
- (33) 연간 설비상각비(정액법)
= (32)× $[-\frac{0.95}{(19)} + 0.1]$
- (34) 연간 램프교환 개수
= $\frac{(8) \times (15) \times (20)}{(21)}$
- (35) 연간 램프교환비= (18)×(34)
- (36) 연간 램프교환 인건비= (22)×(34)
- (37) 연간 청소비= (15)×(23)
- (38) 연간 보수비= (35)+(36)+(37)
- (39) 연간 전력량
= $\frac{(15) \times (20) \times (24)}{1000}$

- (40) 연간 전기요금= (25)×(39)
- (41) 연간 조명비= (33)+(38)+(40)
- (42) 잔존가치= (32)×0.05
- (43) m²당 연간 조명비= $\frac{(41)}{(12)}$
- (44) m²·lx당 연간 조명비= $\frac{(43)}{(28)}$

[7] 조명경제 비교 :

- (45) 전체비용을 현재가치로 환산
= (32) + $\frac{(42)}{[1 + (26)]^{(19)}} +$
(41) × $\frac{[1 + (26)]^{(19)} - 1}{(26) \times [1 + (26)]^{(19)}}$
- (46) 전체비용을 연간비용으로 환산
= (32) × $\frac{(26) \times [1 + (26)]^{(19)}}{[1 + (26)]^{(19)} - 1} +$
(42) × $\frac{(26)}{[1 + (26)]^{(19)} - 1} + (41)$

3. 조명경제 비교 평가의 예

본 연구에서는 표 1과 같은 형태의 Worksheet를 만들고 조명계산 및 조명경제 비교에 필요한 데이터만 입력하면 간단히 계산 되도록 하였다. 그리고 일반적인 사무실과 고천장 공장에서의 조명이 실시될 공간에 대하여 비교 평가하였다. 사무실인 경우 광원, 안정기, 등기구 등을 변화시키면서 시스템을 구성하고, 공장 조명에서는 HID 광원을 각각 다르게 시스템을 구성하여 조명 경제성을 비교 평가하였다.

3.1 일반적인 사무실에서 조명경제 비교

사무실 길이가 18m, 폭이 12m, 천장 높이가 2.8m이고 반사율은 천장 70%, 벽 50%, 바닥 10%인 공간에서 형광등기구 하면 개방형 조명시스템을 설계하고자 할 경우 형광램프, 안정기, 등기구 등을 각각 다르게 시스템을 구성하여, 전체비용을 현재가치로 환산하고 또 운용시 매년 지불되는 연간지불액으로도 환산하여 다음과 같이 조명경제성을 비교 평가하였다. 여기서 사용된 데이터들은 한국산업규격, 물가자료, 제조회사에서 제공되는 카탈로그들의 자료를 참고하였다.

3.1.1 형광램프의 조명경제성 비교 평가

표 2는 형광등기구 2등용 조명시스템에서 등기구는 일반형, 안정기는 전자식으로 동일하게 사용하고, 형광램프만 32mm 40W와 26mm 32W로 각각 다르게 시스템을 구성하여 비교한 결과이다. 26mm 32W 램프가 광속이 많고 수명이 길며 소비전력이 적으므로 동일한 공간에 시설되는 수량도 적게되어 연간보수비 및 연간조명비가 적게 나타났다. 또 26mm 32W가 32mm 40W 보다 가격이 비싸므로 초기설비비가 많게 나타났으며 전체 시스템 비용을 가치로 환산하여 비교해 보면 26mm 32W의 조명시스템이 현재가치로 환산시 약 888,000원 정도 연간비용으로 환산시는 182,000원 정도 적게 투자됨을 알 수가 있다.

표 2. 형광램프의 경제성 비교 평가 결과
Table 2. Economics Comparison Evaluation Result of Two Fluorescent Lamps

구 분	System 1	System 2	비 고
램프 형명	FL 2/40W	FL 2/32W	
램프 광속(lm)	2560	2680	△ 120
조명기구 대수	32	31	▽ 1
램프 단가(원)	1,400	2,760	△ 1,360
램프 수명(h)	8,000	16,000	△ 8,000
기구 입력전력(W)	78	62	▽ 16
조명기구비(원)	1,536,000	1,488,000	▽ 48,000
기구 취부배선비(원)	706,560	684,480	▽ 22,080
램프비(원)	89,600	171,120	△ 81,520
초기 설비비(원)	2,332,160	2,343,600	▽ 11,440
연간 설비상각비(원)	316,507	318,060	▽ 1,553
연간 램프교환 개수	24	12	▽ 12
연간 교환램프비(원)	33,600	33,120	▽ 480
연간 램프교환 인건비	52,992	26,496	▽ 26,496
연간 청소비(원)	141,312	136,896	▽ 4,416
연간 보수비(원)	227,904	196,512	▽ 31,392
연간 전력량(kWh)	7,488	5766	▽ 1,722
연간 전기요금(원)	673,920	518,940	▽ 154,980
연간 조명비(원)	1,218,331	1,033,512	▽ 184,819
m ² 당 연간 조명비(원)	5,640	4,785	▽ 855
m ² · lx 당 연간 조명비	14	12	▽ 2
현재가치(원)	8,323,344	7,435,301	▽ 888,043
연간비용(원)	1,709,661	1,527,252	▽ 182,409

3.1.2 형광등용 안정기의 조명경제성 비교 평가

표 3은 형광등기구 2등용 두 조명시스템에서 등기

구는 일반형, 램프는 26mm 32W를 동일하게 사용하고 안정기만 전자식과 래피드형으로 다르게 시스템을 구성하여 비교한 결과이다. 전자식이 래피드형 보다 가격이 비싸므로 조명기구비가 높게되고 따라서 초기 설비비가 높게 나타났으나 소비전력이 적어서 연간조명비가 적다. 그러므로 이 시스템의 전체 비용을 가치로 환산 비교하면 전자식 안정기가 사용된 조명시스템이 현재가치로 환산시 약 89,000원 정도 연간비용으로 환산시는 약 18,000원 정도 적게 투자됨을 알 수 있다.

단 상각년수를 7년으로 기준으로 하였으나 전자식 안정기의 경우 이보다 수명이 짧다면 분석 결과는 많이 달라질 것이다.

표 3. 형광등 안정기의 경제성 비교 평가 결과
Table 3. Economics Comparison Evaluation Result of Two Fluorescent Ballasts

구 분	System 1	System 2	비 고
램프 형명	FL 2/32W	FL 2/32W	
조명기구 단가(원)	31,000	48,000	△ 17,000
기구 입력전력(W)	98	74	▽ 24
조명기구비(원)	961,000	1,488,000	△ 527,000
초기 설비비(원)	1,816,600	2,343,600	△ 527,000
연간 전력량(kWh)	9,114	6,882	▽ 2,232
연간 전기요금(원)	820,260	619,380	▽ 200,880
연간 조명비(원)	1,263,311	1,133,952	▽ 129,359
m ² 당연간 조명비(원)	5,849	5,250	▽ 599
m ² · lx 당연간조명비	14	13	▽ 1
현재가치(원)	8,013,537	7,924,285	▽ 89,252
연간비용(원)	1,646,025	1,627,692	▽ 18,333

3.1.3 형광램프와 안정기의 조합에 따른 조명경제성 비교 평가

형광등기구 2등용 조명시스템에서 한 시스템은 전자식 안정기와 26mm 32W 램프, 다른 시스템은 래피드 안정기와 32mm 40W 램프를 사용하고, 등기구는 두 시스템 모두 일반형으로 구성하여 조명경제성을 비교한 결과가 표 4이다. 전자식 안정기와 26mm 32W 램프를 사용한 시스템이 래피드 안정기와 32mm 40W 시스템보다 램프의 광속이 많고, 수명이 길며, 안정기 소비전력이 적어서 연간조명비가 적게 나타났으며, 초기설비비는 두 시스템중 전자가 후자보다 많았다. 또 전체비용을 현재가치로 환산하여 비교해 보면 전자식 안정기 26mm 32W의 시스템이 약 322,000원 정도 적게 투자됨을 알 수 있다.

조명시스템의 경제성 평가를 위한 Worksheet 적용

표 4. 형광램프와 안정기의 조명경제성 비교 평가 결과

Table 4. Economics Comparison Evaluation Results of Two Fluorescent Lamp and Ballast Combinations

구 분	System 1	System 2	비 고
램프 형명	FL 2/40W	FL 2/32W	
램프 광속(lm)	2560	2680	△ 120
조명기구 대수	32	31	▽ 1
조명기구 단가(원)	31,000	48,000	△ 17,000
램프 단가(원)	1,400	2,760	△ 1,360
램프 수명(h)	8,000	16,000	△ 8,000
기구 입력전력(W)	98	74	▽ 24
조명기구비(원)	992,000	1,488,000	△ 496,000
기구 취부배선비(원)	706,560	684,480	▽ 22,080
램프비(원)	89,600	171,120	△ 81,520
초기 설비비(원)	1,788,160	2,343,600	△ 555,440
연간 램프교환 개수	24	12	▽ 12
연간 교환램프비(원)	33,600	33,120	▽ 480
연간 램프교환인건비	52,992	26,496	▽ 26,496
연간 청소비(원)	141,312	136,896	▽ 4,416
연간 보수비(원)	227,904	196,512	▽ 31,392
연간 전력량(kWh)	9,408	6,882	▽ 2,526
연간 전기요금(원)	846,720	619,380	▽ 227,340
연간 조명비(원)	1,317,303	1,133,952	▽ 183,351
잔존가치(원)	89,408	117,180	△ 27,772
m ² 당연간 조명비(원)	6,099	5,250	▽ 849
m ² · lx 당 연간조명비	15	13	▽ 2
현재가치(원)	8,247,223	7,924,285	▽ 322,938
연간비용(원)	1,694,025	1,627,692	▽ 66,333

3.2 고천장 공장 조명시스템의 조명경제 비교 평가

표 5는 천장이 10m, 길이 60m, 폭이 24m이고 반사율은 천장 50%, 벽 30%, 바닥 10%인 고천장 공장 에서 HID 광원 램프를 각각 다르게 시스템을 구성하여 경제성을 비교 평가한 것이다. 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프, 고압수은램프 순으로 비용이 적게 투자되는 것으로 나타났다. 또 메탈할라이드와 고압나트륨램프가 사용된 두 시스템을 비교해 보면 고압나트륨램프가 메탈할라이드보다 광속이 많고, 수명이 길며, 동일 공간에서 소요 대수가 적어 소비전력도 적으므로 초기설비비, 연간조명비가 적게 나타났다. 그러나 우수한 조명시스템을 구성하기 위해서는 시설될 공간에서의 경제성, 명시성, 연색성 등을 고려하여 조명시스템을 구성하여야 한다고 생각된다.

표 5. HID 조명 시스템의 경제성 비교 평가 결과

Table 5. Economics Comparison Evaluation Results of HID Lighting System

구 분	System 1	System 2	System 3
램프형 명	수 은 250W	메 탈 250W	나트륨 250W
램프광속(lm)	11,000	20,500	25,000
조명기구 대수	149	80	66
조명기구 단가(원)	80,000	87,000	84,000
램프단가(원)	75,000	18,800	19,000
램프수명(h)	12,000	12,000	25,000
기구입력전력(W)	245	263	250
조명기구비(원)	11,920,000	6,960,000	5,544,000
기구취부배선비(원)	4,362,720	2,342,400	1,932,480
램프비(원)	11,175,000	1,504,000	1,254,000
초기설비비(원)	27,457,720	10,806,400	8,730,480
연간설비 상각비(원)	2,608,483	1,026,608	829,396
연간 램프 교환개수	38	20	8
연간교환램프비(원)	2,850,000	376,000	152,000
연간램프교환인건비	91,200	48,000	19,200
연간전력량(kWh)	109,515	63,120	49,500
연간전기요금(원)	9,856,350	5,680,800	4,455,000
연간조명비(원)	16,121,233	7,515,408	5,772,396
m ² 당연간 조명비(원)	11,195	5,219	4,009
m ² · lx 당연간조명비	22	10	8
현재가치(원)	127,045,025	57,193,646	44,367,653
연간비용(원)	20,675,993	9,308,002	7,220,631

4. 결 론

조도만을 중요시하였던 초기의 조명경제는 단순한 분석으로 평가가 가능하였으나 조명시설의 대형화나 문해수준 향상에 따른 조명시설의 고급화로 보다 정확한 경제성 평가가 요구되는 시점에서 개발한 Worksheet의 이용은 어떠한 조명시스템에서의 조도 계산 및 경제성을 평가해 봄으로써 적은 비용으로 동일한 효과의 조명시스템 갖는 광원이나 등기구 등을 선정할 수 있다는데 의미가 있다. 또한 보다 더 정확한 조명경제성 평가를 위해서는 보수율에 관련된 여러 가지 요소들이 고려되어야 하며 더 나아가서 조명시스템으로부터 얻을 수 있는 편익도 가치로 환산하여 경제성 평가에 반영하여야 한다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] IESNA, "Lighting Handbook", 1993.
- [2] 日本照明學會, "Lighting Handbook", オーム社, 1987.
- [3] 통상산업부, "고효율 조명기기 기술개발 성과발표집", pp. 38~46, 1996. 6.
- [4] 한국·조명설비학회, "조명디자이너 자격인증교재", pp. 13-1~13-8, 1999, 1.
- [5] "물가지료", 1999. 10월호.
- [6] 한국전기공사협회, "표준품셈(전기, 신호, 통신)", pp. 349~351, 1998.
- [7] 한국표준협회, "한국산업규격".

◇ 저자소개 ◇

심 상 만 (沈相萬)

1955년 8월 20일생. 1993년 서울 산업대학교 전기공학과 졸. 1995년 강원대 산업대학원 전기공학과 (석사). 1998년 강원대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 춘천 기능대학 전기과 전임강사.

김 훈 (金 燾)

1958년 8월 6일생, 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 (석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과 (박사). 1993년 호주 국립대학 방문교수. 현재 강원대 공대 전기전자공학부 교수. 당 학회 편수이사.