

고효율 반사갓을 이용한 등기구 저감효과

(Effect of Lighting Saving Using High Efficiency Reflector)

조현경* · 김재철* · 정승복* · 임상국

(Huyn kyung Cho · Jae-Chul Kim · Seung-Bock Jung · Sang Kug IM)

Abstract

This paper analyzes the effect of the energy saving and evaluates the economics using High Efficiency lighting. About 18 percent (17,000GWh) of total power demands in Korea are consumed in the lighting field. There is a lot of energy potential that can be saved because the power demand is lower relatively than the others parts. The existing lighting that its length and electric energy are 32[mm] and 40[w] can alternate with high efficiency lighting which its length and electric energy are 26[mm] and 32[w]. Two Lightings is measuring the illumination and the electric energy and then are analyzed into the effect of the lighting saving by measurement

1. 서 론

전기이용효율 향상을 통한 에너지 절약은 단기적으로 고객과 국가의 경쟁력을 향상시키고 장기적으로는 전력회사의 설비이용률 향상을 통한 전기요금 안정에 기여하게 되는 바람직한 수요관리(Demand side - management)방안의 하나이다.

우리나라 에너지 사용량의 대부분은 수입하고 있고 이중에서 전력사용이 차지하고 있는 비중은 높다. 전기의 생산 및 원료는 상당 부분이 아직도 거의 전량 수입에 의존하며 이산화탄소 배출과 직접적인 연관이 있는 석유 및 석탄에 원료에 의존하는 비중은 40%로 가장 높다.

오늘날의 에너지 절약이 과거와 같은 형태일수는 없다. 현재 에너지 절약의 화두는 기기와 시스템의 고효율화이다. 사용하는 기기의 에너지 효율을 가능한 한 높이고 건물이나 산업현장에서의 각종 시스템의 에너지사용량을 조금이라도 줄일 수 있도록 최적화시켜 원천적인 에너지 절약을 유도하는 것이 효과적인 방법이다. 따라서 고효율 전력기기의 사용 확대는 바로 발전설비의 대체효과가 가장 해당되므로 매우 필요한 실정이다. 이러한 고효율 기기 중에서 조명 부분은 국내 총 전력사용량의 20%를 차지하는 상당한 부분으로서 이에 대한 절약이 시급히 필요하다. 조명부분 중에서 특히 직관형 형광등 및 안정기는 사업용 및 상업용 용도에서 40%이상의 점유율을 차지하고 있는 중요한 효율향상 대상기기이다[1].

또한 정부에서는 저 효율 제품인 40W 직관형 형

광등을 시장에서 줄이고 32W 고효율기기를 보급하기 위하여 노력하고 있다. 이를 위하여 32W 고효율기자재 인증제도 및 공공기관의 사용의무화 등을 시행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 32W 고효율기기와 40W 기기의 전력량 및 조도 측정으로 인한 에너지 절감 효과를 가지고 그로인한 에너지 저감효과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1. 형광등 전력사용량 및 보급대수

본 연구에서 수행하게 될 32W 형광등기구와 40W 형광등기구 비교 분석을 하기위해 우리나라 형광등에 32W와 40W 등기구가 얼마만큼을 차지하고 있는지 알아볼 필요가 있다[5].

다음 표1은 우리나라의 형광등 전력용량을 부분적으로 알아본 표이다.

표 1. 우리나라 형광등 전력사용량
Table 1. Domestic Power Consumption Energy of Fluorescent Lamps

구분	가정	상업 및 공공부분	산업부분
총 전력소비량 (GWh)	42,278	64,559	159,520
형광등 비율	100	70 ~ 80	50 ~ 60
일일 사용시간(h)	6.4	9 ~ 13	11 ~ 15
형광등 전력소비량 (GWh)	8,439	25,840	19,290

총 전력소비량 중 형광등전력소비량	0.199	0.400	0.121
보급대수(백만 대)	73.572	77.8 ~ 128.43	35.9658.84

위 결과를 보면 우리나라의 조명부분의 전력사용량은 작지 않은 부분을 차지하고 있다. 가정에서 사용하는 전력의 20%, 산업부분은 12% 정도이나 상업 및 공공부분에는 40%의 높은 전력사용량을 보이고 있다. 조명부분의 전력사용량 절약은 결코 간과해서는 안 될 문제이다.

다음 표 2는 우리나라 형광등기구종류에 따른 사용비율을 알아보았다.

표 2. 형광등기구 비율
Table 2. Rate of Lighting of Fluorescent Lamps

구분	종류	비율(%)		
형광등기구	20W 1등용	4.92	9.99	
	20W 2등용	5.07		
	32W 1등용	10.73	41.10	
	32W 2등용	30.37		
	36W 1등용	1.86	4.66	
	36W 2등용	2.80		
	40W 1등용	13.38	36.99	
	40W 2등용	23.61		
	55W 1등용	0.59	1.48	
	55W 2등용	0.89		
		그 외	5.78	5.78

보급현황을 보면 다른 종류의 형광등 보다 32W 와 40W에 보급이 집중되어 있다. 이는 우리나라 형광등기구에서 소모하는 전력은 32W와 40W의 등기구가 소모하다.

보급률 37%를 차지하고 있는 저 효율제품인 40W 형광등기구를 고효율제품인 32W 형광등으로 교체 시 많은 에너지 절감을 가져올 수 있다.

2.2. 고효율 조명기기

첫 번째로, 26mm 32W 고효율형광램프는 형광램프의 관경을 슬림화함으로써 기존 32mm 40W 형광램프에 비해 램프의 소비전력을 20%이상 절감시킨 3파장 형광램프를 사용한 절전형 형광램프를 말한다. 일반형광램프보다 2배정도 고가이나 20%의 에너지 절감효과가 있으며, 에너지 절감 외에 18% 정도의 유리원료 절감으로 폐기물 감소효과가 있다. 적용 범위는 램프효율 87lm/W 이상이다.

두 번째로, 26mm 32W 형광램프용 고효율안정기는 일정한 전압에서 점등시키게 되면 램프전류

가 무제한 증가하여 램프의 필라멘트는 끊어지게 된다. 때문에 램프전류를 일정하게 제한하는 장치가 필요로 되는데 이것이 안정기이다.

형광램프를 점등하고 유지하는 안정기의 발광효율을 향상시켜 자체발열을 줄이고 깜빡임으로 인한 전력손실이 없이 일반안정기에 비하여 30%의 절전효과가 있다. 적용범위는 점등 시 비교효율(BEF)이 1.09 이상인 것이다.

비교효율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{비교효율} = \frac{\text{대상모델의 광변환효율}(lm/W)}{\text{표준안정기의 광변환효율}(lm/W)} \quad (1)$$

마지막으로, 고효율 반사 갖은 형광등에서 발생하는 빛 에너지를 반사시켜 주기 위해 사용한다. 반사 갖의 표면을 유리거울처럼 특수 처리해 형광등의 밝기를 배가하는 장치다.

반사 갖 중에서 총 반사율 94% 이상, 등기구 효율이 90% 이상인 제품들을 고효율 반사 갖(High Efficiency Reflector) 이라고 한다. 일반 반사 갖은 반사율이 75% 미만이다.

$$\text{등기구효율} = \frac{\text{기구를통하여나오는총광속}(lm/W)}{\text{기구에장착된형광램프의총광속}(lm/W)} \quad (2)$$

설치 간격 비는 1등용은 1.3m 이상, 2등용은 1.6m 이상 설치 가능 하여야 하며, 기구가 설치되는 공간에서의 최저 조도와 평균 조도의 비 (최저/평균)는 80% 이하가 되지 않아야 한다.

2.3. 실험을 통한 조도 및 전력량 측정

2.3.1 측정 대상의 선정 및 설치

측정대상은 일반 등기구에서 가장 많이 사용하는 제품으로 선정하였고, 고효율 등기구는 동일회사의 고효율제품을 선정하였다. 동일회사 선택이유는 변수를 줄이기 위함이다. 가장 많이 사용하는 일반 등기구와 그에 따른 고효율 등기구를 비교함으로써 일반 등기구를 고효율등기구로 교체가 에너지 저감에 미치는 영향을 알아보았다. 표 3은 형광등 비교 측정 대상이다.

표 3. 형광등 비교 측정 대상

Table 3. Fluorescent Lamps

구분	일반	고효율
종류	32mm 40W 래퍼드 삼파장 형광램프	26mm 32W 래퍼드 삼파장 형광램프

램프효율	81.19 lm/W	88lm/W
정격소비전력	40W	32W
광속	3300lm	2780lm
정격수명	12000h	16000h

표 4는 안정기 비교 측정 대상이다.

표 4. 안정기 비교 측정 대상

Table 4. Ballast

구분	일반	고효율
역률	고역률	98%
정격소비전력	38W	30.2W
BEF	1.12	1.11

표 5는 반사갓 비교 측정 대상이다.

표 5. 반사갓 비교 측정 대상

Table 5 Reflector

구분	일반	고효율
종류	슬림형 매입개방	슬림형 매입개방
크기(mm) l*w*h	1300 * 315 * 40	1300 * 315 * 40
반사갓의 반사율	65%	96.85~96.96 %
등기구 반사율		90.5~90.7%

실험 환경은 온도 23°C, 습도 53%, 장소 암실이며, 측정 장비는 다음과 같다. 전력량계는 power analysis from Voltech (PM100)이며, 조도계는 Digital Lux Meter 디지털조도계 ANA-F11이다.

그림1은 측정장비인 등기구와 조도측정을 위한 조도계의 설치위치를 나타낸다.

측정하고자 하는 등기구와 조도계는 마주보고 2000mm 떨어져 있어야 하며 조도계의 측정부분은 등기구의 정 가운데 점을 측정해야한다.

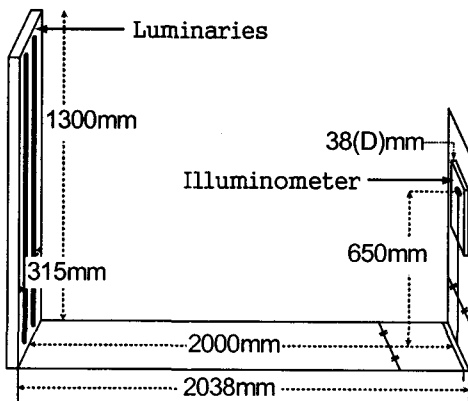


그림 1. 등기구와 조도계 설치

Fig. 1. Setting up Measuring Devices

그림 2는 실험을 위해 암실에 설치한 등기구와 조도측정을 위한 조도계 설치 모습이다.

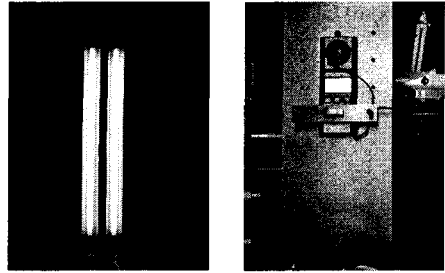


그림 2 등기구와 조도계 설치

Fig . 2. Setting up Luminaries and Digital Lux Meter

그림 3은 전력 및 전압, 전류, 역률 측정을 위한 전력량계 설치 모습 및 실제 측정 모습이다.

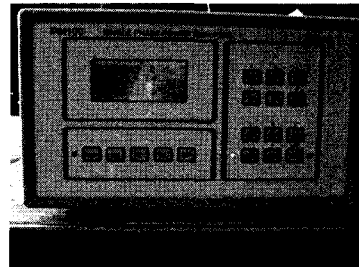


그림 3. 전력량계 설치

Fig. 3. Setting up Measuring Power Analysis

측정 등 기구는 30분의 에이징 시간 후 조도 및 전력량을 측정해야한다.

2.3.2 시험결과 및 에너지 저감효과 분석

다음 표 6은 조도와 전력 비교 실험을 위해 설치한 기기들의 결과 값을 나열하였다.

표 6. 실험결과

Table 6. Results of Experiment

등	안	반	V	A	P	조도	Ratio	
정	정	사	(rms)	(rms)	(W)	(lx)	lx/W	
기	기	갓						
40W	40W	일반	226.4	374.1	82.57	0.975	423	5.123
32W	40W	일반	225.6	387.3	84.66	0.969	450	5.315
40W	40W	고효율	224.8	377.5	82.61	0.974	517	6.258
32W	40W	고효율	225.1	380.1	82.91	0.969	535	6.453
40W	32W	일반	226.1	268.0	59.54	0.983	300	5.034
32W	32W	일반	225.7	286.4	63.42	0.983	351	5.535

40W	32W	고효율	224.4	270.6	59.78	0.984	370	6.189
32W	32W	고효율	223.7	286.2	62.71	0.983	407	6.490

이중 고효율 반사 값이 에너지저감에 얼마만큼 영향을 미치는지 알아보려 한다. 두 실험은 동일한 등과안정기에 반사 값을 바꾸어서 실험하였다.

첫 번째로, 40W 등과 안정기에 반사 값만 바꾸어서 실험한 결과의 에너지 저감효과를 분석해보았다.

다음 표 7은 40W 등과 40W용 안정기에 반사 값만 일반 반사 값과 고효율 반사 값을 사용하여 실험한 결과 값이다.

표 7. 40W 등과 안정기에 반사값 교체
Table 7. Replace a Reflector for 40W Lamp and Ballst

등	안정기	반사값	V (rms)	A (rms)	P (W)	PF	조도 (lx)	Ratio lx/W
40W	40W	일반	226.4	374.1	82.57	0.975	423	5.123
40W	40W	고효율	224.8	377.5	82.61	0.974	517	6.258

40W등과 안정기로 이루어진 일반 조명기구에 고효율 반사 값만 교체 시 조도가 94lx 증가하였으며, 고효율 반사 값이 같은 전력에 더 많은 조도를 낼 수 있다.

두 번째로, 32W 등과 32W용 안정기에 반사 값만 바꾸어서 실험한 결과의 에너지 저감효과를 분석해보았다.

다음 표 8은 32W 등과 안정기에 반사 값만 일반 반사 값과 고효율 반사 값을 사용하여 실험한 결과 값이다.

표 8. 32W 등과 안정기에 반사값 교체
Table 8. Replace a Reflector for 32W Lamp and Ballst

등	안정기	반사값	V (rms)	A (rms)	P (W)	PF	조도 (lx)	Ratio lx/W
32W	32W	일반	225.7	286.4	63.42	0.983	351	5.535
32W	32W	고효율	223.7	286.2	62.71	0.983	407	6.490

이번에는 고효율 조명기구에 반사 값을 일반 반사 값에서 고효율 반사 값으로 교체 시 에너지 저감효과를 분석해 보면, 고효율 반사값 사용시조도

가 56lx 증가하였고 이번에도 고효율 반사 값이 같은 전력에 더 많은 조도를 낼 수 있다.

실험결과를 보면 결론은 같은 등기구라 하더라도 고효율 반사 값에서 많은 조도를 낼 수 있다.

조도가 증가한다는 것은 같은 공간 안에 등기구 수를 줄일 수 있다는 것을 나타낸다. 이는 등기구 수를 줄임으로서 줄어든 등기구만큼 에너지를 절약할 수 있다.

2.4 광속법에 의한 조명설계

2.4.1 광속법

광속 및 광원의 크기 결정은 광속보존의 법칙에 의하여 광속계산 방법은 광속법, 전력법, 축점법등이 있으나 광속법에 의한 계산방법에 대하여 설명한다[3][4].

방지수(room index)는 빛의 이용에 대한 방의 크기의 치수로 나타낸다.

$$\text{방지수} = \frac{XY}{H(X+Y)} \quad (3)$$

단 X = 방의 넓이

Y = 방의 길이

H = 작업면 위의 광원의 높이

(직접, 반직접, 전반확산조명)

천장까지의 높이(간접, 반간접 조명)

다음 표 8은 방지수의 분류기호를 나타내었다.

표 9. 방지수와 기호

Table 9. Room index and symbol

방지수	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.25	1.0	0.8	0.6
영문 기호	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

조명률은 다음 표 10에 의하여 결정할 수 있다. 표 10은 3배광법 조명률표이며 나타내는 값은 단지 참고용이다.

보수율(M)은 보수의 주기, 실내의 먼지가 이 정도, 조명기구의 구조, 램프의 종류 등에 따라 다르나 보통 0.8~0.5 정도이다.

조명의 계산은 분위기가 문제되지 않는 전반 조명에서는 다음과 같이 광속을 계산한다. 즉, 실외용도, 작업 면에서 본 실내의 평균조도 광원과 등기구의 선정, 광속법이 의한 등기구 수량의 계산.

등기구 배치 등으로 진행한다.

표 10. 3배광법 조명률표

Table 10. Coefficient of Utilization for Law of 3 Light Distribution

배광	조명기구에 설치 간격	감광 보상률(D) 보수상태			반사 율 벽	0.75			0.5			0.3		
		상	중	하		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	
S≤0.9H	매 입 형	전구	J	방지수	조명률(%)									
					32	29	27	32	29	27	29	27		
		1.4	1.7	2	I	39	37	35	39	36	35	36	34	
					H	42	40	39	41	40	38	40	38	
		형광등	E	방지수	G	45	44	42	44	43	41	42	41	
					F	48	46	44	46	44	43	47	43	
		1.6	1.8	2	D	50	49	47	49	48	46	47	46	
					C	55	53	51	54	52	51	51	50	
		A	B	56	54	54	55	53	52	52	52			
			A	58	55	54	56	54	53	54	52			

소요 평균조도(E)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = \frac{N \cdot F \cdot U \cdot M}{A} = \frac{N \cdot F \cdot U}{A \cdot D} [Lx] \quad (4)$$

단 N = 램프의 개수

E = 평균조도

A = 조명을 요하는 면적[m²]

F = 램프 한 개당 광속[lm]

M = 보수율

U = 조명률[%]

D = 감광보상률[D=1/M]

또한, 조도[lx]는 램프 한 개당 광속[F]를 면적[A]으로 나눈 식과 같다.

위 식에서 소요 램프수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = \frac{E \cdot A \cdot D}{F \cdot U} [Lx] \quad (5)$$

2.4.2 실험값에 의한 조명 설계

실험 결과 값을 가지고 광속법에 적용시켜 고효율 반사 갓을 사용 시 얼마만큼의 등기구 줄일 수 있는 알아보려한다. 다음 표 10은 실험에서 구한 결과 값을 가지고 면적과 광속을 구한 값을 나

타낸다.

표 11. 실험값에 의한 광속 및 면적

Table 11. Luminous Flux and Area by Results of Experiment

등	안정기	반사갓	전력(W)	조도(lx)	Ratio lx/W	램프 효율에 따른 광속(lm)	램프 표시 광속(lm)	면적(m ²)	반사갓을 고려한 광속(lm)
40W	40W	일반	82.57	423	5.123	6703.86	6600	12.97	5487.64
40W	40W	고효율	82.61	517	6.258	6707.11			6707.11
32W	32W	일반	63.42	351	5.535	5580.96	5560	13.56	4759.18
32W	32W	고효율	62.71	407	6.49	5518.48			5518.54

형광등램프효율에 따른 광속은 다음에 의해서 구했다. 40W 램프의 램프효율은 81.19 lm/W이고 32W 램프의 램프효율은 88lm/W 으로서 램프효율에다가 측정전력을 곱하면 나온다. 램프에 표시되어있는 광속은 램프 한 개당 광속이기에 실험에 맞게 2개의 광속을 적용하면 램프표시 광속 값이 나오게 된다. 램프효율에 따른 광속 값과 램프표시 광속 값을 보면 비슷하게 나오는 것을 볼 수 있다. 면적은 다음 식에서 구할 수 있다.

$$[Lx] = \frac{F}{S} [lm/m^2] \quad (6)$$

즉 면적은 광속을 조도[lx]로 나눈 것과 같다. 40W 등과 40W 안정기, 일반 반사 갓을 사용하여 측정한 조도와 그에 따른 광속을 가지고 구한 면적과 32W 등과 32W 안정기, 일반 반사 갓을 사용하여 측정한 조도[lx]와 그에 따른 광속을 가지고 구한 면적[S]을 비교해 보면 어느 정도 차이는 나나 크게 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다. 즉 측정 시 구한 조도와 램프효율에 따른 광속[lx]을 가지고 구한 면적을 소요 등수 구할 때 쓸 면적[S]으로 문제가 없다고 생각한다. 면적의 기준을 고효율 반사 갓으로 잡은 이유는 효율에 따른 램프광속이 램프가 낼 수 있는 최대의 광속이며 이 값을 가지고 면적을 구했을 시 고효율 반사 갓이 높은 반사효율로 광속을 거의 반사한다는 가정 하에 기준 면적을 고효율 반사 갓으로 정하였다.

구한 면적[S]를 가지고 실제 측정한 조도와 곱해서 반사 갓에서 고려한 광속을 구하면 표 10과 같은 값이 나온다.

위에서 구한 값을 가지고 면적이 9.75m X 13.40m인 학교 실험실의 조명설계를 한다. 천장의 높이는 바닥으로부터 2.67m이고 작업면의 높이는 바닥으로부터 0.72m 이다. 평균조도[E]는 조도기준 [KSA 3011:1988]에 나온 값인 학교 실험 실습실의 정밀 활동을 하는 조도 H 값인 600-1000-1500 중에 표준조도인 1000lx 으로 하였다.

주어진 방의 넓이 와 길이, 높이로 구한 방지수는 2.89로 C 이다.

감광보상률(D)은 보수상태에 따라 달라지며 보수 상태는 중간이라 하고 1.8을 적용하였다.

반사율은 새로 지어진 학교 실험실인 것을 고려하여, 천장은 0.75 이고 벽면은 0.5로 가정하였다.

조명률은 조명률표에서 반사율과 방지수를 가지고 구한 값인 55%로 구할 수 있다.

위에서 구한 각각의 값을 가지고 소요 램프수를 구하면 표 11과 같은 값이 나온다.

표 12. 소요램프 수 (등기구)

Table 12. Number of lighting

등	램프기	반사갓	전력 (W)	조도 (lx)	Ratio lx/W	반사갓을 고려한 광속(lm)	소요개수
40W	40W	일반	82.57	423	5.123	5487.64	62 (61.9)
40W	40W	고효율	82.61	517	6.258	6707.11	51 (50.6)
32W	32W	일반	63.42	351	5.535	4759.18	72 (71.4)
32W	32W	고효율	62.71	407	6.49	5518.54	62 (61.5)

등의 소요개수를 보면 일반 반사 갓과 고효율 반사 갓에서 보통 10개 이상의 차이를 보인다. 고효율 반사 갓을 쓸 경우 32W 등기 구에서는 10개, 40W 등기 구에서는 11개의 절감효과를 보인다.

3. 결론

고효율 조명등기구 보급에 있어서 중요한 것은 실제적으로 얼마만큼의 절감이 있는지 보여주는 것이다. 고효율 반사 갓은 등과 안정기에 비해 쉽게 고장이 나지 않고 가격이 비싸다. 또한, 보통집이나 사무실 등등의 천장에 고정적으로 장착이 되어있는 경우가 대부분이기 때문에 교체 또한 쉽지

않다. 그렇기에 반사 갓의 교체는 소비자가 직접적으로 에너지 절감을 위해 교체해 주어야 한다.

보편적으로 알려져 있는 반사율은 일반 반사 갓은 65~70% 것에 비해 고효율 반사 갓은 90% 이상이라는 일반적인 지식을 기반으로 직접적인 실험을 통해 일정한 공간에서 일반 반사 갓과 고효율 반사 갓의 소요 개수를 알아보았다.

학교 실험 실습실 한 곳의 장소로 최소 10개이상의 절감효과를 보인다. 이를 바탕으로 산업 및 상업부문에 적용하였을 경우 많은 절감 효과가 있다.

고효율 반사 갓과 일반 반사 갓의 차이는 반사를 위한 필름부분이다. 일반 반사 갓에 고효율 반사 갓 인증을 받은 필름을 장착하게 되면 고효율 반사 갓의 효과를 볼 수 있다. 고효율 반사 갓에 장착하는 필름을 따로 판매 시 기존 등기구의 교체 없이 저렴한 값으로 높은 조도 및 등기구 절감의 효과를 얻을 것이다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 의 지원에 의하여 수행된 과제임

참고 문헌

- [1] 김정인, "효율관리제도 개선 및 관련기준의 국제표준화 추진에 관한연구", 산업자원부, 2005. 6.
- [2] 정타관, "조명 원리와 응용", (주)북스힐, pp. aaa-aaa, 2005. 1.
- [3] 최홍규, 강태은, 최병숙, 김정환, 박형민, 원진희, 조계술, 조경남, "조명 설비 및 설계", 성안당, pp. 4-13 - 4-68, 2005. 1.
- [4] 지철근, 장우진, 어인선, 김홍, 이진우, "조명환경원론", 문운당, pp. 230-237, 2004. 2.
- [5] 김정인, 이영주, " 32W용 고효율 조명기기 보급을 위한 활성화 방안연구" 산업자원부, 2004. 7