

# 에너지 절약적인 직류 LED 조명과 조명제어

윤 연 주

(삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 과장)

## 1. 서론

우리나라에서 건물부분의 에너지 소비량은 전체 22%를 차지한다. 그 중에서 주거부분이 차지하는 비율은 약 36%이며 주택에서의 조명은 약 25%의 에너지를 소비한다<sup>(1)(2)</sup>. 주택의 에너지 효율성을 높이기 위해서 정부에서는 저탄소 녹색성장의 기술에서 신재생 에너지 보급 활성화 방안으로 2020 그린홈 100만호 사업을 계획하고 있다. 삼성물산(주)에서도 단열, 일사, 환기 등을 이용하여 건물의 사용에너지를 최소화하고 추가로 필요한 에너지는 화석에너지를 사용하지 않고 태양광, 풍력 등의 신재생 에너지를 사용하는 제로에너지 건물을 추진 중에 있다. 신재생 에너지로 생산된 직류 전기는 인버터를 통해 직류에서 교류로 변환되어야 일반 기기 및 조명에서 사용이 가능하다. 조명의 경우 신재생 에너지에서 생산된 직류 전기를 직접 사용할 수 있는 LED 조명을 적용하며 에너지 효율 개선이 가능하다. 미국에서는 직류를 사용하는 기기들의 에너지 효율을 높이고 기존의 교류 배선을 유지하기 위해 교류와 저전압(보통 24V) 직류를 이중으로 배선하는 기준 제정이 추진되고 있다<sup>(3)</sup>. 본고에서는 당사 제로에너지 건물에 적용된 조명 에너지 절약 기술을 소개하고자 한다.

## 2. LED 조명과 직류전원 드라이버

조명분야 에너지 절감을 위해 광원의 최소 효율을 정하여

전 세계적으로 에너지 효율이 낮은 백열등은 시장에서 방출되는 반면에 에너지 효율이 높고 장수명(약 50,000시간)인 LED 조명은 차세대 조명으로 자리잡고 있다. 우리나라도 그 흐름에 맞춰 그린에너지산업 발전 전략에서 LED를 9대 중점 그린에너지기술 분야로 선정하고 LED 조명의 비중을 2015년까지 30%로 보급하는 15/30 프로젝트를 진행하면서 LED 조명의 대중화를 꾀하고 있다. LED는 우수한 에너지 절감 효과뿐만 아니라 수은 함량 때문에 위험성 폐기물로 분류되고 있는 형광등과 달리 유해 물질이 없는 친환경 광원이다. LED를 구동하기 위해서는 일반적으로 사용되는 LED 드라이버의 경우 교류 220V를 입력전원으로 받아 정류과정을 거쳐 최종적으로 LED 모듈에 맞는 직류전압으로 변환하는 과정을 거쳐야 한다. 정류과정에서 효율이 저하되는데 이 손실은 직류로 직접 구동되는 드라이버를 사용하면 개선 될 수 있다. 당사의 제로에너지 건물에서는 조명에너지 절감을 위해 고효율의 LED 소자를 직류 드라이버로 구동시키고 고효율의 조명기구를 사용하였다.

### 2.1 LED 광원

LED에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데, 특히 LED 소자의 효율은 급격한 개선을 보이고 있다. 미국 에너지성에 따르면 2015년에는 Cool white의 경우 190lm/W, warm white의 경우 130lm/W 이상의 성능을 가진 LED 제품이 상용화 될 것으로 예상된다<sup>(4)</sup>. 현재 상용화된 제품의 효율은

Cool white와 warm white middle power LED 소자의 경우 각각 90lm/W와 85lm이다<sup>6)</sup>. 당사 건물은 거주 공간의 특성을 고려하여 Warm white 제품 85lm/W 이상의 고효율과 연색성이 70 이상인 LED 소자가 사용되었다. 표 1은 기존 광원인 형광등과 할로겐 램프를 대체하여 LED 광원을 사용하였을 때 비슷한 광속을 방출한다고 가정 시 연간 조명에너지 사용량과 전기세를 비교한 것이다. LED 광원을 사용함

으로써 연간 전기세는 기존 광원 대비 32,604원 절약된다 (LED 연간 전기세: 617,233원, 기존광원 연간 전기세: 649,836원).

### 2.2 LED 드라이버

LED 모듈은 드라이버를 통해서 전원을 공급받는다. 교류용 LED 드라이버는 4단계의 과정을 거쳐 LED 모듈에 전원을 공급한다.

- 1) 교류를 정류 (맥류 발생)
- 2) 정류된 맥류를 직류 변환
- 3) 직류를 스위칭하여 고주파 펄스로 변환
- 4) 고주파 펄스를 콘덴서를 통하여 직류로 변환하는 기능

직류용 LED 드라이버는 앞의 2단계를 생략하고 직류를 직접 이용하여 정전류 회로를 만드는 것이다. 교류 드라이버는 직류 드라이버에 비해 교류를 직류로 만드는 과정에서 역효율을 개선해야 하고 정류 과정에서 손실이 발생하여 효율이 떨어지는 단점이 있다. 효율을 개선하기 위해 본 건물에 적용되는 LED 조명용 드라이버는 300V 직류를 입력전원으로 사용한다. 그림 2는 일반적인 교류 LED 드라이버와 본 건물에 적용하기 위해 제작된 두 개의 직류용 LED 드라이버의 회로도를 나타낸 것이다. 직류용 LED 드라이버의 입력 전압 변동에

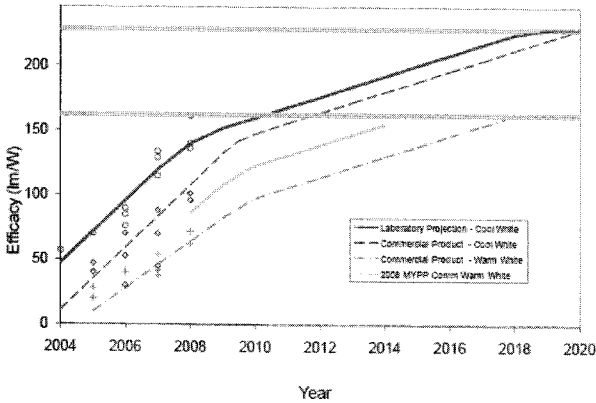


그림 1 색 LED 교체조명(SSL: Solid State Light)의 효율 동향

표 1 건물에 적용되는 LED 광원과 기존 광원의 연간 소비전력과 전기세 비교

등기구타입	A		B		C		D		E		F	
광원	LED 0.2W	T5 14W	LED 0.2W	T5 22W (원형)	LED 8W (MR16)	MR16	LED 0.2W	T5 14W	LED 0.2W	T5 54W	LED 21W (1000mm 기준)	T5 21W (850mm 기준)
소비전력(w)	80	84	20	22	8	20	80	84	60	54	21	21
광속(lm)	6800	8100	1700	1800	680	N.A.	6800	8100	5100	5000	1785	2100
연색성	> 70	85	> 70	82	> 70	100	> 70	85	> 70	85	> 70	85
색온도	3200	3500	3200	3500	3200	3000	3200	3500	3200	3500	3200	3500
수명(hrs)	50000	12000	50000	12000	50000	5000	50000	12000	50000	25000	50000	20000
개수	4	4	28	28	9	9	20	20	1	1	59.5m	59.6m
총소비전력 [W]	320	336	560	616	72	180	1600	1680	60	54	1250	1200
연간소비 전력*(Kwh)	749	786	1310	1441	169	421	3744	3931	140	126	2925	2808
연간전기 요금(원)	51,143	53,700	89,500	98,450	11,507	28,768	255,715	268,501	9,589	8,630	199,778	191,786

비고:

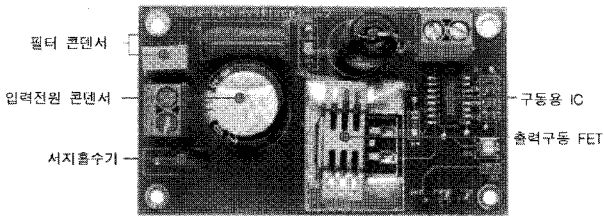
- a. 1일 9시간 주 5일 근무 기준
- b. 저압 일반요금 기준, 기본요금 제외하고 전력량으로만 계산하여 68.3원/KW 적용

대한 출력 전류 변동을 실험하기 위해 일반형 직류 모듈과 고안정도 직류 모듈을 제작하였다. 교류용 LED 드라이버의 입력 대비 출력 효율은 20W(0.2W LED 소자 20개 사용) LED 모듈의 경우 79%였다. 일반형 모듈은 출력전압 변동률이 고안정도 모듈에 비해 높으나 출력 효율은 92%로서 82%인 고안정도 직류 드라이버보다 개선되었다. 본 건물의 경우 일반형 직류 드라이버의 출력전압 변동률이 고안정도 모듈에 비해 나쁘지만 실제 출력 광속의 변동은 시각적으로 인지가

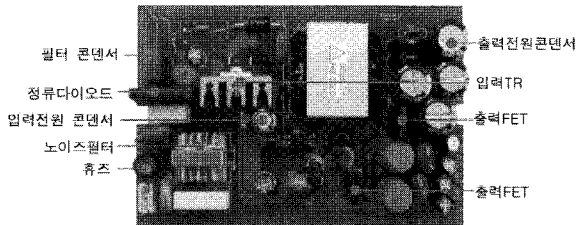
불가능하기 때문에 일반형 직류 모듈을 적용하였다. 교류 대비 직류 드라이버는 20W LED 모듈 구동 시 교류 드라이버에 비해 약 13% 향상된 효율을 보여주었다(표 2 참조).

### 3. 자연채광 이용 극대화

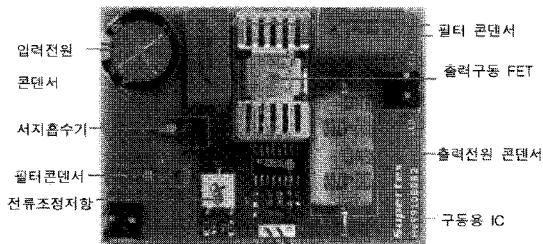
조명 에너지 절약을 위해서 에너지 생산 비용이 들지 않는 자연광을 주간의 조명으로 적극적으로 활용하였다. 외부로의 시야를 확보하기 위해서 각실에 충분한 창문면적(바닥면적 대비 약 22%)을 두었다. 춘추분 정도 맑은 하늘 기준으로 각실 바닥 면적의 75% 이상에서 최소 조도 323 lux가 확보되며 바닥 면적의 90% 이상에서 외부로의 조망이 가능하도록



(A) 일반형 직류 드라이버

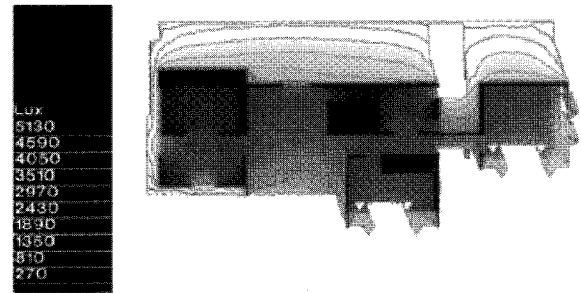


(B) 교류 드라이버

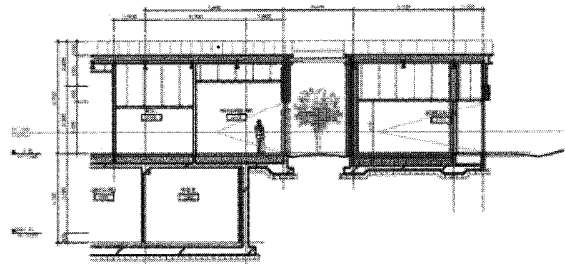


(C) 고안정도 직류 드라이버

그림 2 교류 드라이버와 일반형과 고안정도 직류 드라이버



(a) 3월 21일, 정오, 맑은 하늘 주광에 의한 조도



(b) 모든 실에서 외부로 조망 확보 실내조도

그림 3 자연채광과 충분한 조망 확보

표 2 일반 및 고안정 직류 드라이버의 입력 전압 변화에 따른 출력 전압과 효율 변화 비교

변동률	입력(직류)						출력(직류)						효율(%)	
	전압(V)		전류(mA)		전력(W)		전압(V)		전류(mA)		전력(W)			
	일반	고안정	일반	고안정	일반	고안정	일반	고안정	일반	고안정	일반	고안정	일반	고안정
+10%	330	330	52.5	38.3	17.3	12.6	34.5	29.9	471	338	16.2	10.1	93.8	80.0
기준	300	300	56.2	41.1	16.9	12.3	34.5	29.9	448	337	15.5	10.1	91.7	81.6
-10%	270	270	60.8	45.0	16.4	12.2	34.5	29.9	431	336	14.9	10.0	90.5	82.6
-20%	240	240	67.2	50.0	16.1	12.0	34.5	29.9	418	335	14.4	10.0	89.5	83.2

창문면적과 위치를 결정하였다(그림 3 참조). 복도에는 천창을 설치하였고 외부에 면하지 않아 창문을 내기 어려운 욕실은 광덕트를 설치하여 자연채광을 가능하도록 하여 쾌적한 실내 분위기를 조성하고 조명 에너지 절약을 도모하였다. 광

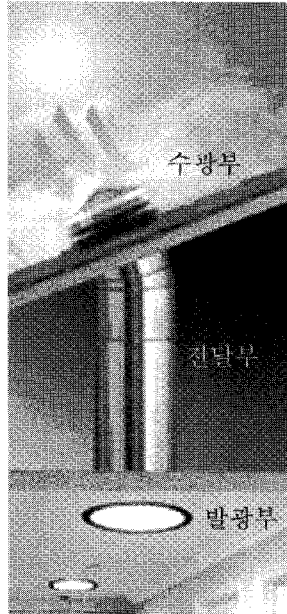


그림 4 광덕트 단면

덕트는 천창과 달리 방향성이 있는 직사광선 대신 균일한 확산광을 유입하고 열 획득이나 손실로 냉난방 에너지에 대한 영향이 매우 작다. 그림 4는 욕실에 설치된 광덕트의 단면을 나타낸다.

창문과 천창은 고효율 창호를 사용하여 열손실과 일사에 의한 부하를 최소화하여 창 면적 증가에 따른 냉난방 에너지에 대한 영향을 줄이고 투과율은 높여 자연채광의 효율성을 최대화 하였다. 표 3은 본 건물에 적용된 창호의 열과 광학적 특성을 나타낸다.

#### 4. 에너지 절약적인 조명설계와 제어

##### 4.1 설계조건에 만족하는 최적화된 실내조명부하

실 별 설계조건은 KS와 북미조명공학회<sup>[6]</sup>의 기준을 만족시키며 재실자의 필요에 따라 추가적인 조도 확보를 위해 스탠드를 설치하였다. 실내 조명용량이 과도하게 산정되는 것을 방지하기 위하여 조명부하는 실 별 설계조건에 맞게 최적화하여 결정되었다. 본 건물의 평균 조명부하는 10W/m<sup>2</sup>로서 ASHRAE 90.1-2004의 전시관 기준인 14/m<sup>2</sup> 대비 29%의 조명 에너지를 절약할 수 있다<sup>[6]</sup>. 표 4는 실별 조도 기준과 조명밀도를 나타낸다.

##### 4.2 조명제어를 통한 에너지 절약

실별 조도를 맞도록 최적화 설계되어 설치되는 조명 부하를

표 3 유리의 열적 광학적 특성

유리 타입	열관류율 (W/m <sup>2</sup> · K)	차폐계수	가시광선 투과율
24mm 복층유리	1.75	0.736	0.753
52mm 삼중유리	0.695	0.262	0.436

표 4 실 별 설계조도와 조명 밀도, 조명제어 방법

실	설계조도 (lux)	조명밀도(W/m <sup>2</sup> )	조명제어
침실	200 (400: 스탠드 추가사용)	8	주광이용 디밍
거실	200 (400: 스탠드 추가사용)	10	주광이용 디밍
한실	200	15	주광이용 디밍
서재	250 (500: 스탠드 추가사용)	10	주광이용 디밍
주방	300	22	주광이용 디밍
현관	100	4	점/소등
창고	200	11	점/소등
차고	200	6	점/소등
복도	100	2	점/소등

최소화였으며 추가적인 조명에너지 절약은 조명제어를 통한 조명 사용시간 감소로 이루어졌다. 본 건물의 주요 공간에 적용된 조명제어는 다음과 같다(표 4 참조).

- 1) 스케줄 제어를 통해 업무 시간 이외에 모든 조명을 자동 소등한다.
- 2) 주 재실공간은 가능한 자연광을 조명으로 활용한다. 천장에 부착된 광센서로 실내의 조명량(자연광+인공광)을 감지하여 설계 조도보다 높을 때에는 인공광을 자동으로 디밍하여 설계조도에 맞춘다. 벽에 설치된 디밍 스위치로 인공광을 제어하여 재실자가 선호하는 조명 환경을 조성할 수 있다. 그림 5는 광센서에 의한 조명제어를 설명한다.
- 3) 간헐적인 사용 패턴이 예상되는 공간은 재실자 감지를

통해 재실자가 점등 해 높은 상태로 실을 떠나는 경우 자동 소등하여 낭비되는 조명 에너지를 줄인다.

4) 사무실의 경우 기존의 천장 부착형 등기구로 전반과 국부 조명 방식으로 조명부하를 이원화하여 전반 조명은 항상 점등되어 있고 국부 조명은 필요할 때만 사용하여 조명밀도를 감소하였다. 개인 책상 아래 설치된 재실자 감지 센서는 국부 조명과 연결되어 재실자가 책상을 일정시간 동안 비우면 자동 소등된다. 전반조명은 천장에 부착된 광센서로 실내의 조명(자연광+인공광)을 감지하여 미리 정해진 광센서 신호값 이상이면 조명기구가 소등되어 조명에너지 절약한다.

### 5. 친환경적인 옥외 조명

광공해는 옥외등에 의하여 계획된 대지나 건물외벽 외에 하늘(sky glow) 또는 대지 경계선 외(light trespass)로 빛이 새어 피해를 주는 현상이다. 광공해를 최소화하기 위해서 옥외등은 90° 이상에서 새는 빛이 없고 80° 이상에서 램프 광속이 10%를 넘지 않는 Full Cutoff<sup>(7)</sup> 등기구를 사용하였다(그림 6 참조). Full Cutoff 등을 사용함으로써 인접대지로 새는 빛을 최소화하여 대지 경계선에서 최대 수평 및 수직 조도가 각각 2.2 lux 과 1.1 lux를 넘지 않는다<sup>(8)</sup>. 또한 대지 경계선에서 4.57m 이내에서 최대 수평 조도가 최대 0.1 lux를 넘지 않게 옥외 가로등을 배치되었다. 일과 시간 이후에는 비상조명을 제외한 모든 실내조명이 소등되도록 하였다. 외부 환경센서로 일사량 등을 측정하여 일몰과 일출시간을 판단하여 실외에 설치된 가로등을 자동 점/소등 한다. 또한 가로등에 비상콜 시스템을 접목시켜 긴급상황 발생 시 비상 알람을 통해 응급상황 전달 및 알람을 발생시켜 건물의 보안기능도 담당할 수 있게 하였다.

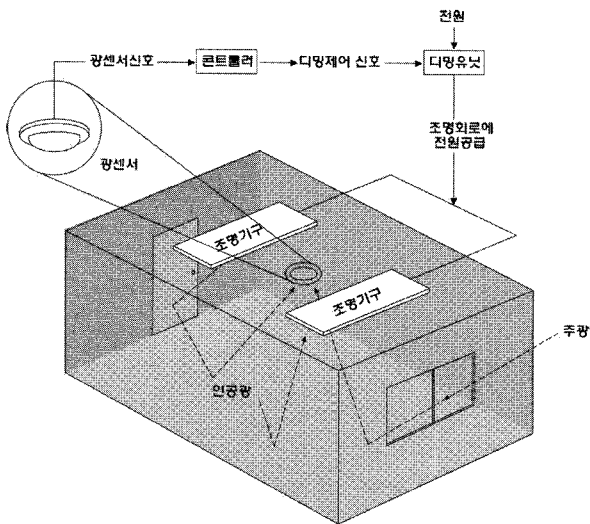
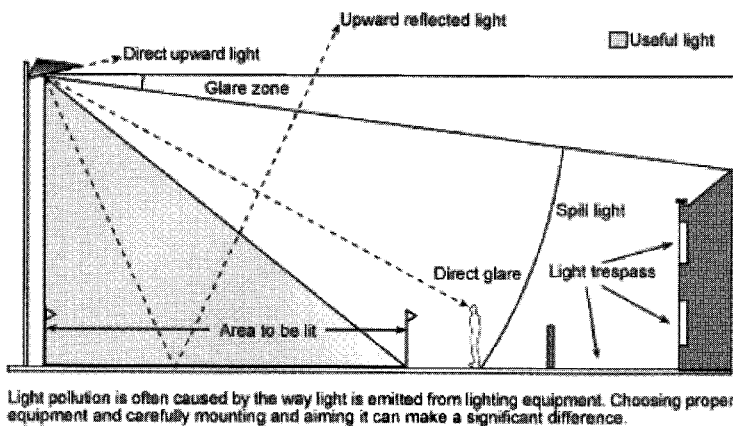


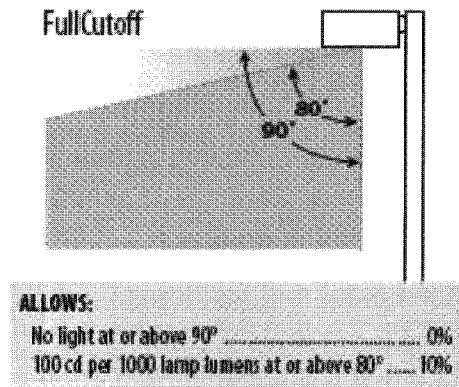
그림 5 광센서를 이용한 조명제어 시스템



Light pollution is often caused by the way light is emitted from lighting equipment. Choosing proper equipment and carefully mounting and aiming it can make a significant difference.

(a) 광공해


(Source: Institution of Lighting Engineers)



(b) Full cutoff 조명

그림 6 광공해와 Full Cutoff 조명

## 6. 결론

제로에너지 하우스를 구현하기 위하여 조명 부분에서는 고효율과 장수명의 장점을 가진 LED 광원 및 직류 LED 드라이버를 사용하여 정류과정에서 생기는 손실을 방지하여 LED 드라이버의 효율을 개선하였다. 자연광을 조명으로 적극적으로 활용하고 각종 센서(광센서, 재실자 감지 센서)와 스케줄에 따라 조명 제어를 하여 에너지 절약을 도모하였다. 또한 옥외나 실내등에서 나온 빛이 해당 부지를 벗어나 하늘이나 인접대지 및 건물로 새어 나가는 것을 방지하기 위해 Full Cutoff 가로등을 사용하였다. LED 광원이 일반 조명으로 활용되기 위해서는 LED 소자의 효율뿐만 아니라 연색성도 개선되어야 하며 다양한 디자인의 높은 등기구 효율을 가진 기구 개발도 병행되어야 한다. 또한 LED 조명기구의 신뢰성 및 안정성에 대한 검증과 기준 마련도 시급하다. 

## 참고 문헌

- [1] 에너지 관리공단, 에너지 통계: 부문별 최종에너지 소비 실적 2007년.
- [2] 한국에너지 기술연구원, 에너지 통계: 전력수급 실적 및 계획.
- [3] PennWell Corporation, LEDs Magazine, January/February, p 43~44.
- [4] F. Welsh and R. Advisors, "US.DOE SSL 2009 Multi-Year Plan: Technology R&D", 2009 DOE

Solid-State Lighting R&D Workshop: Transformations in Lighting.

- [5] 삼성전기 LED catalogue
- [6] Rea, M.S., ed. 2000. IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, 9th edition. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- [7] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 2000. American National Standard Practice for Roadway Lighting, ANSI/IESNA RP-8-00. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- [8] USGBC. 2002. LEED Rating System, New Construction Version 2.2 Reference Guide, pp. 101, Sustainable Site, US Green Building Council.

## 〈 필 자 소 개 〉



### 윤연주(尹蓮柱)

1976년 2월 7일생. 2007년 펜실베니아 주립대학 건축공학과 졸업(공학). 2007년~현재 삼성물산(주) 건설부문 친환경에너지연구소 과장.