

## 소형화를 위한 20W LED 전구 개발

(Development of 20W LED bulb for miniaturization)

김 진홍\* · 송 상빈 · 김 기훈 · 문 일권

(한국광기술원)

(Jin-Hong Kim · Sang-Bin Song · Gi-Hoon Kim · Il Moon)

### Abstract

실내조명의 조도 기준을 만족하는 LED Bulb를 개발하기 위하여 LED 개수를 선정하고, 실내 전반 조명에 적합한 배광을 실현하기 위한 렌즈설계를 하였다. 그리고 LED로부터 발산되는 열을 최적화하기 위한 방열설계를 행하여 주위온도 50℃이내에서 동작 가능하도록 하였다. 또한 시제품의 외함에 내장되어 질 수 있는 소형의 20[W]급 전원회로를 설계하고, 시제품을 직접 제작하였다. 시제품의 전기적, 광학적 성능은 CFL의 성능과 거의 동일하다.

### 1. 서 론

LED Bulb를 개발하기 위하여 4개 사의 LED 패키지를 선정하여 전기적, 광학적 특성을 측정하고 그 중 가장 적절한 LED 패키지를 LED Bulb 제작에 적용하였다. 그리고 실내조명의 조도 기준을 만족시키기 위하여 LED 개수를 14개로 선정하고 이들 LED로부터 방출되는 광선을 실내 전반 조명에 적합한 배광으로 제어하기 위한 렌즈설계를 하였다. 그리고 LED로부터 발산되는 열을 최적화하기 위한 최적의 Heat-Sink 구조를 설계하였으며, LED를 구동하기 위한 20[W]급 전원회로를 설계하였다. 그리고 이러한 설계안을 가지고 시제품을 제작하였으며 시제품의 전기적, 광학적 성능을 측정하였다. 그 결과 CFL의 성능과 거의 동일한 LED Bulb를 제작하였다.

### 2. 실내조명 기준

#### 2.1 조도의 단계

물체를 보거나 작업을 하는 데는 필요한 밝기가 있다. 약 10,000 [lx] 정도까지, 밝을수록 시력이 좋아지므로 좋기는 하나 경제상의 한도가 있고, 필요 이상으로 밝을 경우 작업의 성격에 따라 능률이 감소할 수도 있다. 외국에서는 보통 조도 200 [lx]를 기준으로 하고 그것의 약 2배씩 또는 1/2씩의 조도단계를 규정하고 있다. 각국마다 그 나라 고유의 권장조도기준이 있고, 우리나라도 한국공업규격(KSA 3011)으로 조도기준이 정해져 있다. 작업의 성격에 따른 조도의 단계 및 사무실, 공장, 학교의 장소별 조도기준을 각각 표 1과 표 2에 나타낸다.

표 1. 조도의 단계

작업의 성격	표준기준조도 [lx]	조도범위 [lx]
초정밀	2,000	1,500~3,000
정밀	1,000	600~1,500
보통	450	300~600
단순	200	150~300
거친	125	100~150

표 2. 장소별 조도기준

작업의 성격	사무실	공장	학교
초정밀	설계 제도 타이프 계산	초정밀 작업	정밀제도 정밀실험 미싱재봉
정밀	도서열람 설계 사무실 제도실 제어실 일반 사무실	정밀작업 권선 조선 검사	흑판면 도서열람 재봉, 미술 공예제작
보통	회의실 서고 응접실 강당, 식당 화장실 조리실	보통작업 배선 일반 도장	일반교실 연구실험실 강의실 교직원실 회의실 실내운동장
단순	휴게실 욕실 강의실	거친작업 절연처리	관리실 라커룸 복도, 계단 화장실 강당
거친	차고, 창고 석탄실	건조	테니스 코트 육외운동장 구내통로

## 2.2 기준면

실내 작업장의 기준면은 보통 작업면(work plane)이다. 작업이 특정한 장소에 고정되어 있지 않은 실내에서는 실내 벽에 의하여 제한되고 바닥으로부터 85 [cm]로 되는 수평면을 기준면으로 삼는다. 작업 장소가 알려져 있고 명확히 규정되어져 있는 공간에서 기준면은 작업 구역이나 작업 영역으로 규정되어진 영역으로 이루어진다. 그러나 작업이 수평면이 아니거나 높이가 다른 경우의 기준면은 작업면의 각도 또는 작업 높이가 되어야 한다.

## 2.3 균제도

실내조명의 균제도 기준은 기준면에서 평균 조도에 대한 최소 조도의 비는 0.8 이상이고, 작업실 내의 일반 영역의 평균조도는 작업영역 평균 조도의 1/3 이상이어야 한다. 또한 인접 실내의 평균 조도비는 5 : 1을 초과하면 안 된다[1].

## 3. 20W LED Bulb 설계

### 3.1 LED Bulb 디자인 및 구조설계

LED Bulb의 사이즈는 직경 76mm, 높이 148mm로 하였고 그림 1과 같이 디자인 하였다. 그리고 기구물의 조립도는 그림 2와 같다[2].

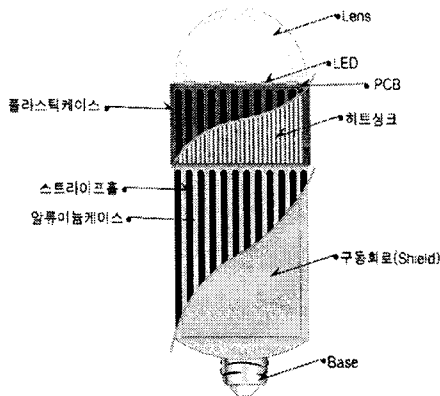


그림 3. LED Bulb 디자인 시안

방열 재료로는 알루미늄을 사용하였으며, LED에서 발생하는 열은 MCPCB ⇒ 히트싱크 ⇒ 금속케이스 ⇒ 외함 Hole을 통하여 방출되도록 하였다. 그리고 LED에서 발생하는 열에 의한 화상 보호를 위해 플라스틱 케이스를 부착하여 사용자가 LED Bulb 교체 시에 열에 의한 안전사고를 방지하도록 하였다. 구동회로는 정전

압 방식으로 LED Bulb의 Heat-Sink를 올려놓기 위한 Panel 하단 부에 봉입되도록 크기 L50×W60×H40mm으로 최소화 하였다.

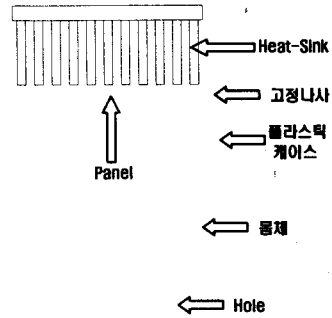


그림 2. LED Bulb 조립도

### 3.2 LED 패키지 선정 및 성능측정

S회사, H회사, N회사, O회사의 LED 패키지 4개를 선정하여 샘플들의 성능을 측정한 결과를 나타내면 표 3과 같다.

표 3. LED 패키지의 광학적, 전기적 성능

ID	Luminous Flux		Beam Angle		Color Temp.		Lumen	Beam Dia	
	lm	lm/W	deg	deg	K	General CR			
S사 초기 측정	3284	288.9	1.01	0.3197	0.3288	6730	71.55	33.76	33.46
S사 15초 동시부	3246	288.6	0.97	0.3104	0.3274	6789	71.91	31.81	31.94
H사 초기 측정	3126	288.6	0.94	0.3272	0.3359	5738	74.24	28.49	31.38
H사 15초 동시부	3088	288.6	0.93	0.3258	0.3385	5844	75.05	27.27	29.42
N사 초기 측정	3576	288.6	1.07	0.3482	0.3517	4824	71.91	43.13	40.21
N사 15초 동시부	3580	288.7	1.15	0.3349	0.3398	5389	75.80	32.51	28.17
O사 초기 측정	3153	288.9	0.95	0.3464	0.3521	4983	77.25	34.63	29.65
O사 15초 동시부	3023	288.6	0.91	0.3419	0.3469	5119	78.13	32.12	35.44

4개 회사 LED 패키지의 동작 전류에 따른 광속과 효율의 성능은 그림 3, 4와 같다. 온도 특성에 따른 광속과 효율의 성능을 분석한 결과 S회사의 성능이 가장 우수하므로 S회사의 패키지를 LED bulb에 적용하기로 하였다.

### 3.3 LED 배치

LED bulb의 제작을 위한 LED의 배치는 축대칭 형 배광을 만족시키기 위하여 LED를 축대칭 형으로 배치 하였다. LED가 장착될 수 있는 사이즈는 외함의 두께를 제외하면 직경 60[mm]인 원형이다. LED의 개수는 실내 전반조명에서 필요로 하는 밝기를 만족시키기 위하여 400[lm]이상이 되도록 14개로 선정하였다.

축대칭 형 배열은 광학적 성능뿐 아니라 방열 성능에도 유리하다.

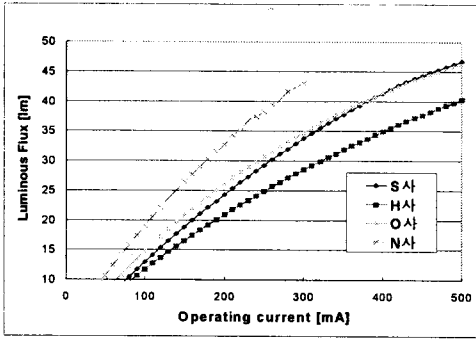


그림 3. LED 패키지의 온도변화에 따른 광속 변화

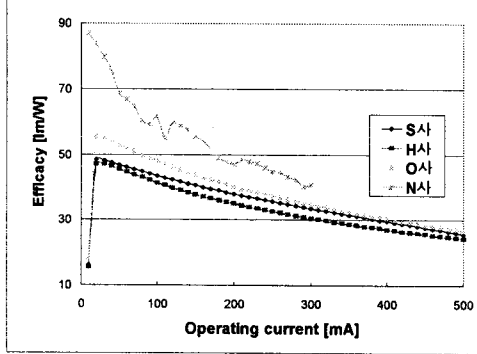


그림 4. LED 패키지의 온도변화에 따른 효율변화

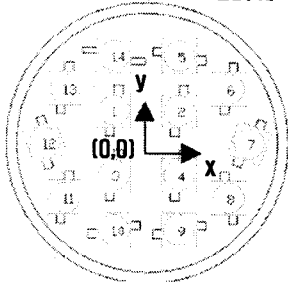


그림 5. LED 배치

표 4. 축대칭 배광 실험을 위한 LED 14 EA 좌표

LED 번호	x 좌표	y 좌표
1	-7.5	7.5
2	7.5	7.5
3	-7.5	-7.5
4	7.5	-7.5
5	7.5	20.2
6	18.75	12.7
7	23.5	0
8	18.75	-12.7
9	7.5	-20.2
10	-7.5	-20.2
11	-18.75	-12.7
12	-23.5	0
13	-18.75	12.7
14	-7.5	20.2

### 3.4 LED Bulb 방열설계

I-Deas NX series를 이용하여 전구에 전달되는 온도의 변화를 계산하기 위한 FE model을 작성하였다. 전구의 몸체는 열전도성이 우수하고 가공이 편한 알루미늄을 사용하였고 방열을 위한 heat-sink도 알루미늄을 사용하였다. 알루미늄의 material property는 표 5에 정리하였다.

표 5. Material Properties of Aluminum

Young's Modulus	7x107 mN/mm
Poisson's Ratio	0.33
Thermal Conductivity	1.71x105 J/m/K
Specific Heat	1256 J/Kg/K

전구의 몸통에 부착되어있는 heat-sink의 역할은 전구표면의 LED에 의하여 발생하는 열이 전구의 몸체를 따라서 전달되도록 하여 방열의 효과를 최대화 한다. 또한 전구의 표면과 몸체를 연결시키는 기능을 동시에 하기 위하여 heat-sink head에 두 개의 hole을 만들어 나사로 연결하도록 설계하였다. heat-sink pin 아래쪽으로는 회로물을 부착하기 위하여 panel을 만들었고, LED에 전원을 공급하기 위한 전선을 통과시키기 위하여 두 개의 홀을 만들었으며, pin 아래에 2[mm]의 나사가 연결되는 tap을 만들었다. Heat-sink의 구성도는 그림 6에 나타내었다.

Heat sink의 pin구조는 원형의 전구와 제작성을 용이하게 하기 위하여 Cartesian 좌표계에 의하여 공기가 접촉하는 공간을 배치하였다.

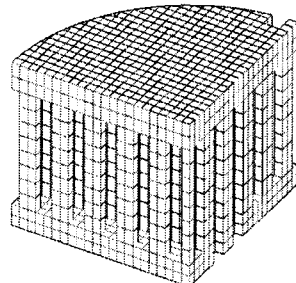


그림 6. Heat-Sink 구조

Heat-sink pin 간격은 제작의 편리성과 최적의 방열을 고려한 trade-off study를 통하여 3[mm] 두께로 각 pin 사이의 거리를 3[mm]의 간격으로 배치하였다. 방열 설계를 위한 모델링은 heat-sink와 전구몸통의 전체적인 열 전달량 및 온도변화를 계산하기 위하여 국소적인 온도의 영향보다는 전체적인 온도 전달을 위한 글로벌 모델링을 하였다. 열전달의 주요 수단은 전구가 설치될 reflector내에서 온도 변화에 의한 자연대류와 전구표면에서 발생하는 즉, LED가 설치된 면에서 발생하는 열이 동시에 전달되어 5시간 후의 온도 변화를 계산하여 그림 7에 나타내었다.

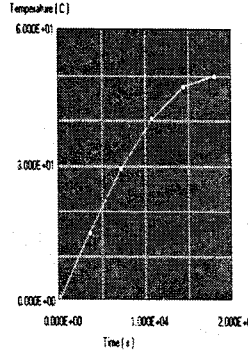
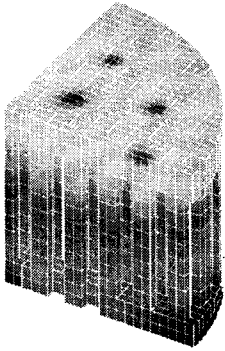


그림 7. Heat-Sink 온도 변화 (시간에 따른 변화)

### 3.5 LED Bulb 렌즈 설계

LED Bulb의 렌즈 설계를 위하여 실내 다운라이트 용 조명기구 배광의 종류를 조사하였다. 표 6은 옥내 다운라이트용 조명기구의 배광의 종류를 나타내고 있고 그림 8은 그 사례와 조명제품의 배광을 나타내고 있다.

표 6. 옥내 다운라이트용 조명기구의 배광의 종류

	전반조명용	일 위사용	벽도조명용	스포트 조명용
	배광곡선(cd/1000lm)	배광곡선(cd/1000lm)	배광곡선(cd/1000lm)	배광곡선(cd/1000lm)
배광				
용도	방의 보조조명으로 사용	커피, 그림, 장식을 선반 등의 벽면 조명용	벽도 길어방향으로 방향의 지장이 없다.	개성대 등의 스포트 조명용 또는 사용

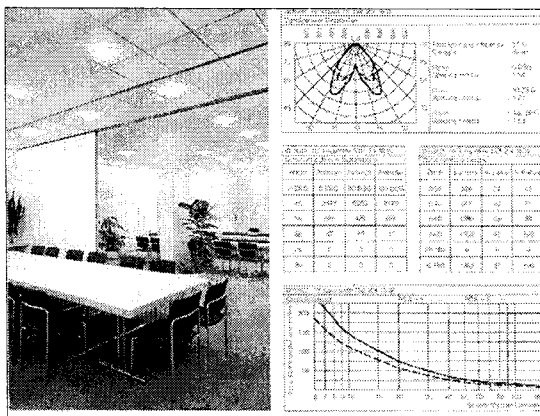


그림 8. 실내용 조명기구 적용 사례 및 배광곡선

그림 8에서 사용되는 배광을 목표배광으로 하여 LED Bulb의 렌즈설계를 시작하였다. 그림 9는 렌즈설계를 마친 후 LED Bulb에 적용하여 Photopia로 시뮬레이션 한 결과이다. 목표배광을 용이하게 달성하기 위하여 개별 렌즈를 LED 14개에 각각 적용하였다.

또한 조명기구 중심축 상의 광도와 최대광도 축 사이의 각도가 너무 크면 균제도 상의 문제가 발생할 수 있으므로 이를 해결하기 위해 최대 광도축과 중심축과의 각도를 35° 정도로 제한하였다.

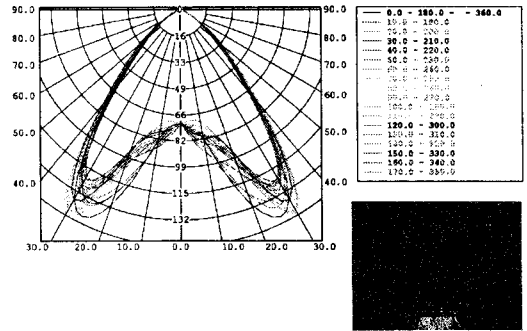


그림 9. LED Bulb의 렌즈설계 결과 배광곡선

위와 같은 광학적 성능을 갖는 렌즈를 장착한 LED Bulb를 CFL 전용 리플렉터에 적용하였을 경우의 배광은 그림 10과 같다.

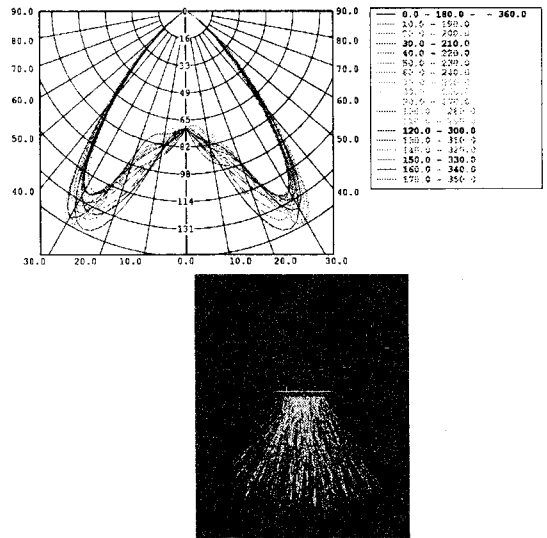


그림 10. LED Bulb의 CFL 전용 리플렉터 적용시 배광 곡선

LED Bulb를 CFL 전용 리플렉터에 적용하였을 경우는 조명기구 중심 축 광도와 최대광도 축이 이루는 각이 약간 증가하나 LED 및 렌즈의 위치가 리플렉터 하단부에 위치하므로 그 영향은 그렇게 크지 않음을 알 수 있다.

## 4. 시제품 제작 및 성능 측정

### 4.1 시제품 제작

3장에서와 같은 LED Bulb 디자인 및 구조설계, 방열설계, 렌즈설계 안을 가지고 그림 11과 같이 기구물을 제작하여 조립하였다. 그림 11은 LED Bulb 시제품의 구조를 나타내고 있다.

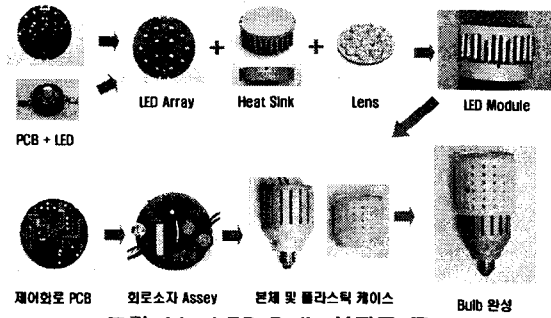


그림 11. LED Bulb 시제품 구조

LED 배선은 LED 14개를 직병렬로 연결하여 LED 1개 단선 시 다른 LED의 점등에 무관하도록 하였다. 그림 12는 LED 배치 및 배선도, 시제작한 PCB의 형상을 나타내고 있다. PCB로는 Metal Core PCB를 사용하였으며 그것의 크기는 직경 63[mm]이다.

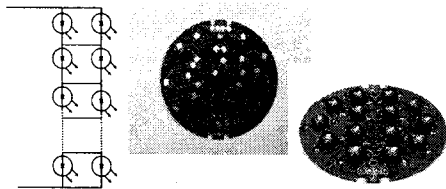


그림 12. LED 배열 및 배선

그림 13은 실제 제작한 LED 점등을 위한 구동회로를 나타내고 있다. 회로물을 모두 포함한 구동회로의 치수는 길이 50[mm], 폭 60[mm]로서 LED Bulb의 몸체 내에 봉입되도록 하였고 AC-DC Fly-Back 방식으로 14개의 LED를 점등한다.

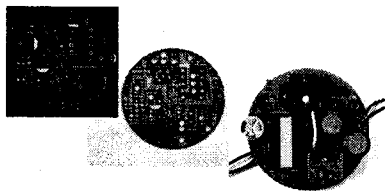


그림 13. LED Bulb 구동회로

그림 14는 실제 제작한 LED Bulb의 시제품 형상을 나타내고 있다.

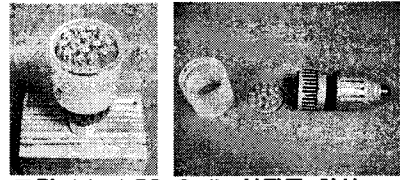
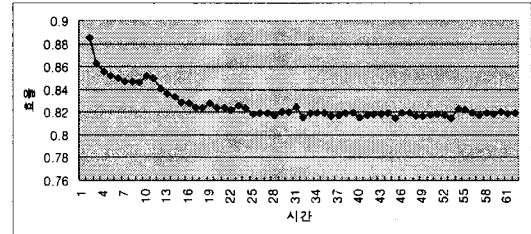


그림 14. LED Bulb 시제품 형상

## 4.2 시제품 성능

### 4.2.1 전기적 성능

그림 15, 16은 LED Bulb의 점등 후 시간에 따른 회로 효율, 전압, 전류값을 나타내고 있다. 입력 전압 220[Vac], 60[Hz]에서 회로 효율은 안정화 되었을 때



0.8이상 이며 출력 전압은 23.13[V], 출력전류는 0.7[mA] 이하 이다.

그림 15. 시간에 따른 효율변화

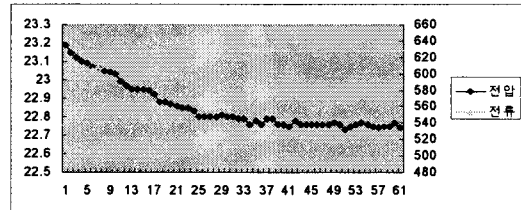


그림 16. 시간에 따른 출력 전압, 전류 변화

### 4.2.2 광학적 성능

시제품과 CFL의 광속 및 기구 효율, 전등효율을 정리하여 비교하면 표 7과 같고, 표 8은 LED Bulb 시제품의 기구물 적용에 따른 상관 색온도 및 연색평가지수를 나타내고 있다.

표 7. CFL과 LED Bulb의 광학적 성능

광원	기구물 적용	광속 [lm]	기구 효율 [%]	전등효율 [lm/W]
LED Bulb	벌브 자체	404		26.4
	렌즈적용	313	0.774	20.48
	렌즈 및 반사판 적용	300	0.958	19.63
CFL	광원 자체	972		64
	반사판 적용	690	0.71	45

표 8. LED Bulb의 상관색온도 및 연색 평가지수

기구물 적용	색좌표		C.C.T	C.R.I
	x	y		
벌브자체	0.3164	0.3320	6271	80
렌즈	0.3109	0.3314	6575	79
렌즈 + 반사판	0.3314	0.3575	5534	77

LED Bulb의 배광 성능은 그림 17과 같고 중심광도 값이 최대광도의 1/2이 되며 조명기구 중심축과 최대광도 축이 이루는 각도도 CFL과 거의 동일한 약 ±35도가 된다. 또한 LED Bulb의 기타 성능을 요약하면 표 9와 같다.

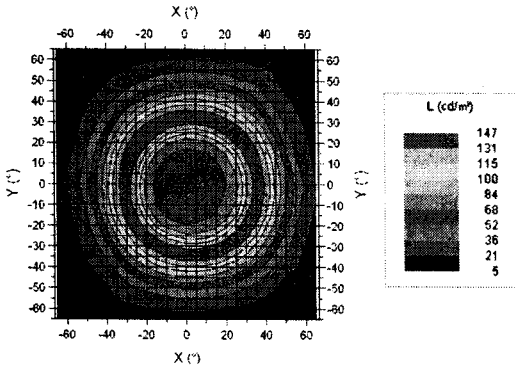


그림 17. LED Bulb 시제품의 배광 성능

표 9. LED Bulb의 정량적 성능지표

평가항목	단위	진행
1. 제품의 지름	mm	76 (양산시 65)
2. 제품의 높이(Base포함)	mm	148(양산시 ≤120)
3. 입력전압	V	90 ~ 264
4. 서지전압(Hi-po Test)	V	Pass
5. 소비전력	W	19.7
6. 광속	Lm	313
7. 발산각(1/2)-동기구적용	Degree	80((CFL배광분포)
8. 발산각(1/10)-동기구적용	Degree	140((CFL배광분포)
9. LED 단락시 점동유무	-	점동가능
10. CFL적용시 배광	-	Pass

## 5. 결론

LED를 사용하여 실내 전반조명에 적합하고 효율적인 열 방출이 가능하며, 고효율, 고신뢰성, 고성능의 LED Bulb를 개발하였다.

개발한 LED Bulb는 주위온도 50°C이내에서 동작 가능한 방열구조로 설계되었으며, CFL 배광과 동일한 광학 특성을 갖도록 하는 렌즈를 개발하였다.

양산 및 금형 제작시 기술적 고려사항으로는 렌즈 및 광학계 금형 사출시 구조 설계와 히트싱크 일체화에 따른 본체와 직접 연결 구조 설계가 필요하다.

향 후에는 LED의 광학적 특성으로 인한 전면발광이 아닌 전구와 같은 모든 방향으로 발광하는 광학계를 개발하여야 할 것이다. 또한 LED Bulb에 광색 및 색온도 제어 기술, Remote Control 기능을 첨가하여 다기능의 감성조명형 LED 전구 개발과 LED Multi-Chip 패키지를 이용한 기술개발에 집중해야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 한국조명전기설비 학회, “조명디자인자격인증교재”, 1999, pp.7-1~7-23
- [2] 日本照明學會, “LED 道路ハンドブック”, 2006, pp.128~159