



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# Bulb형 LED Lamp를 위한 조명 광학계 설계



2014년 1월

부경대학교 과학기술융합전문대학원

LED융합공학전공

장재현

공학석사 학위논문

# Bulb형 LED Lamp를 위한 조명 광학계 설계



이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2014년 1월

부경대학교 과학기술융합전문대학원

LED융합공학전공

장 재 현

# 장재현의 공학석사 학위논문을 인준함

2014년 1월



주 심

유 영 문



위 원

김 종 태



위 원

김 종 수



# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구의 목표 및 방법 .....	2
제 2 장 광학적 지식 및 Omni 규격 .....	3
2.1 조명 광학 이론 .....	3
2.2 Energy Star “Integral LED Lamps” 규격 .....	11
제 3 장 전방향으로 발광하는 LED bulb 광학계 설계 .....	14
3.1 기존 LED 전구와 기존 Omni LED 전구 배광 형태 .....	14
3.2 광원부 광학설계 .....	18
3.3 LED bulb 덮개 형태 설계 .....	26
3.4 반사판 설계 .....	35
3.5 확산판 설계 .....	40
제 4 장 시뮬레이션 결과 및 분석 .....	58
4.1 시뮬레이션 배광 결과 .....	58
4.2 시뮬레이션 배광 및 색좌표 분석 .....	62
제 5 장 결론 .....	67
■ 감사의글 .....	68

■ 참고문헌 .....70

■ Abstract .....73



## 그림 목차

[그림 1] 전반사와 난반사 .....	4
[그림 2] 반사의 법칙 .....	5
[그림 3] 빛의 굴절 .....	6
[그림 4] 볼록렌즈와 오목렌즈에 대한 초점거리 .....	8
[그림 5] 평면거울 (파의 반사) .....	9
[그림 6] 구형거울과 비구면(포물면)거울 비교 .....	10
[그림 7] 8개의 CCT 사각범위의 CIE 1931 색도 도표 .....	12
[그림 8] Omnidirectional Lamp의 배광 구역 .....	13
[그림 9] A사의 LED 전구 배광 곡선 .....	15
[그림 10] B사의 LED 전구 배광 곡선 .....	16
[그림 11] 포탄형 LED 모식도 .....	19
[그림 12] SMD 타입의 모식도 .....	19
[그림 13] (a) COB 타입 패키지 (b) COB 타입 패키지 X-ray .....	20
[그림 14] Cree사의 XLamp CXA1512 .....	21
[그림 15] COB 패키지의 스펙트럼 그래프 .....	22
[그림 16] COB 패키지의 색좌표 .....	22
[그림 17] COB 패키지의 실제 크기 .....	23
[그림 18] COB 패키지의 위에서 본모습 .....	25
[그림 19] 측면에서 COB 패키지를 본모습 .....	25
[그림 20] 반구형 덮개 초점에서 Ray를 발산 .....	27
[그림 21] 반구형 덮개 중심에서 Ray를 발산 .....	27
[그림 22] 구형에 가까운 cap 형태에서 Ray를 시작하는 지점에서 발산 .....	28
[그림 23] 반타원형의 초점에서 Ray를 발산 시킨 형태 .....	29
[그림 24] 반타원형의 절반에서 Ray를 발산 시킨 형태 .....	30
[그림 25] cap의 안쪽 면 그래프 .....	33
[그림 26] cap의 바깥쪽 면 그래프 .....	34
[그림 27] 시뮬레이션상의 LED bulb의 덮개 .....	34
[그림 28] 방열판 위에 반사판을 세운형태 .....	35

[그림 29] 방열판 위에 반사판을 세운 다른 형태 .....	36
[그림 30] 덮개 안쪽면에 미리 코팅 상태에서의 Ray 분포 .....	37
[그림 31] 최적의 코팅 위치 .....	38
[그림 32] 덮개 안쪽면에 세부적인 코팅 위치 .....	38
[그림 33] 일반적인 빛의 산란 에너지 분포 .....	42
[그림 34] Lambertian 산란 에너지 분포 .....	42
[그림 35] Gaussian 산란 에너지 분포 .....	44
[그림 36] 산란 함수 좌표계 .....	46
[그림 37] 입사면적과 수광면적 .....	48
[그림 38] Gaussian Scattering (Normalized) .....	50
[그림 39] Gaussian Scattering (Normalized) .....	51
[그림 40] Gaussian Scattering (Normalized) .....	51
[그림 41] 확산각 5° BTDF 측정값 (Normalized) .....	52
[그림 42] 확산각 10° BTDF 측정값 (Normalized) .....	53
[그림 43] 확산각 15° BTDF 측정값 (Normalized) .....	53
[그림 44] 확산각 5° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0° .....	54
[그림 45] 확산각 5° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90° .....	55
[그림 46] 확산각 10° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0° .....	55
[그림 47] 확산각 10° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90° .....	56
[그림 48] 확산각 15° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0° .....	56
[그림 49] 확산각 15° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90° .....	57
[그림 50] 산란특성 Gaussian Scattering = 2 배광 .....	58
[그림 51] 산란특성 Gaussian Scattering = 4 배광 .....	59
[그림 52] 산란특성 Gaussian Scattering = 7 배광 .....	59
[그림 53] 실제 확산각 5°의 배광 .....	60
[그림 54] 실제 확산각 10°의 배광 .....	61
[그림 55] 실제 확산각 15°의 배광 .....	61
[그림 56] 확산각 15°의 색온도 .....	65
[그림 57] x, y 좌표의 규격 4점과 시뮬레이션 Average 값의 그래프 .....	66

# 표 목차

[표 1] 색도 4각형의 x, y 좌표와 중심 x, y 좌표 .....	11
[표 2] A사 LED bulb의 Energy Star 규격으로 환산한 배광기준 값 .....	14
[표 3] B사 LED bulb의 Energy Star 규격으로 환산한 배광기준 값 .....	15
[표 4] XLamp CXA1512 LED 칩의 광학적 특성 .....	21
[표 5] cap의 안쪽 면 치수 .....	31
[표 6] cap의 바깥쪽 면 치수 .....	32
[표 7] diffuser의 종류에 따른 투과율과 반사율 .....	57
[표 8] Gaussian Scattering = 2 규격 적용 환산값 .....	62
[표 9] Gaussian Scattering = 4 규격 적용 환산값 .....	62
[표 10] Gaussian Scattering = 7 규격 적용 환산값 .....	63
[표 11] Diffuser 5° 규격 적용 환산값 .....	63
[표 12] Diffuser 10° 규격 적용 환산값 .....	63
[표 13] Diffuser 15° 규격 적용 환산값 .....	64
[표 14] Diffuser 15° 색온도 .....	64
[표 15] x, y 좌표의 규격 4점과 시뮬레이션 Average 값 .....	65

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

에디슨에 의해 발명된 백열전구는 100년 이상 조명의 역할을 해왔다. 하지만 백열전구는 에너지 효율(5lm/w)이 매우 낮다. 이로 인하여 백열전구를 사용하면 전기에너지를 낭비하게 된다. 전기에너지 소비는 화석에너지 사용으로 이산화탄소를 증가시키게 된다. 즉 백열전구 사용은 지구 온난화를 가속하게 만드는 원인이 되는 것이다. 세계 각국에서는 이를 막고자 2012년부터 백열전구 수입 수출뿐만 아니라 제작도 금지하고 있다.[1] 이렇게 제한되고 있는 백열전구를 대체하기 위해 현재 조명광원으로 LED(Light emitting diode)를 사용하고 있다. LED 광원은 기존 조명과 달라 고효율, 고휘도, 고응답성, 친환경성 등의 특징을 가지고 있으며, 적외선부터 가시광선, 자외선까지 다양한 파장으로 발광한다.[2] LED 광원으로 제작되는 조명기구 종류는 전구, 형광등, Par(Parabolic aluminized reflector)조명, MR(Multifaceted reflector)조명, 평판조명 등 다양하며, 지속적으로 LED를 기반으로 하는 조명이 등장하고 있는 추세이다. 하지만 LED 광원은 기존 광원과 달리 편 방향으로 발광하기 때문에 단품만으로 조명기구로 사용하기에는 부적절하다. 이러한 특성으로 LED 광원으로 한 조명기구는 확산판, 반사판, 렌즈를 사용해야 제작이 가능하다.

LED 광원으로 제작된 조명기구들 중 일반적인 전구형 조명은 배광 분포가 기존 조명으로 쓰인 백열전구 형태를 형성 할 수가 없다. LED 전구는 백열전구에 익숙한 일반사람들이 느끼기에 익숙하지 않아 사용을 꺼려한다. 현재 백열등과 유사한 배광을 구현하기 위한 방법으로 LED 패키지 배열을 수평이 아닌 수직으로 세우거나 2차 광학계를 사용해 설계하는 방법이 연구 되고 있다.[3]

## 1.2 연구의 목표 및 방법

본 연구의 목적은 조명광학을 시뮬레이션에 사용되는 LightTools(8.1) 소프트웨어를 사용하여 설계한다. 시뮬레이션에 사용하는 데이터는 이론값과 더불어 측정값을 사용한다. 시뮬레이션 결과 이론값과 측정값을 비교해 보고 실제 제품을 설계할 때를 감안해 그 오차를 줄이고자 한다.

본 논문은 백열등과 같이 전방향으로 발광하는 LED bulb 위한 2차 광학계 설계를 광원의 위치, LED bulb의 덮개 형상, 반사판의 코팅 위치, 확산판의 산란특성을 기반으로 하였다. 반사판의 위치는 일반적으로 LED 패키지 주변에 설치해 반사하는 방법이 아닌 LED 덮개 안쪽 면에 일부분 코팅함으로써 후배광이 나올 수 있게 설계하였다. Cap의 형상은 반사판에 반사된 빛이 옆면보다는 후면으로 반사가 더 잘 일어나게 설계하였고, 확산판은 산란특성을 통해 후배광으로 진출하는 빛이 한 방향으로 치우치지 않게 확산 할 수 있도록 설계하였다. 위의 설계방식을 토대로 전방향으로 발광하는 기준은 Energy Star의 “Program Requirements for Integral LED Lamps” 규격에 만족하도록 설계 하였다.

## 제 2 장 광학적 지식 및 Omni 규격

### 2.1 조명 광학 이론

조명 광학은 기하 광학 이론을 바탕으로 빛의 반사, 굴절, 투과, 렌즈와 거울의 특성 등이 있다.

#### 가. 빛의 반사 ( Reflection )

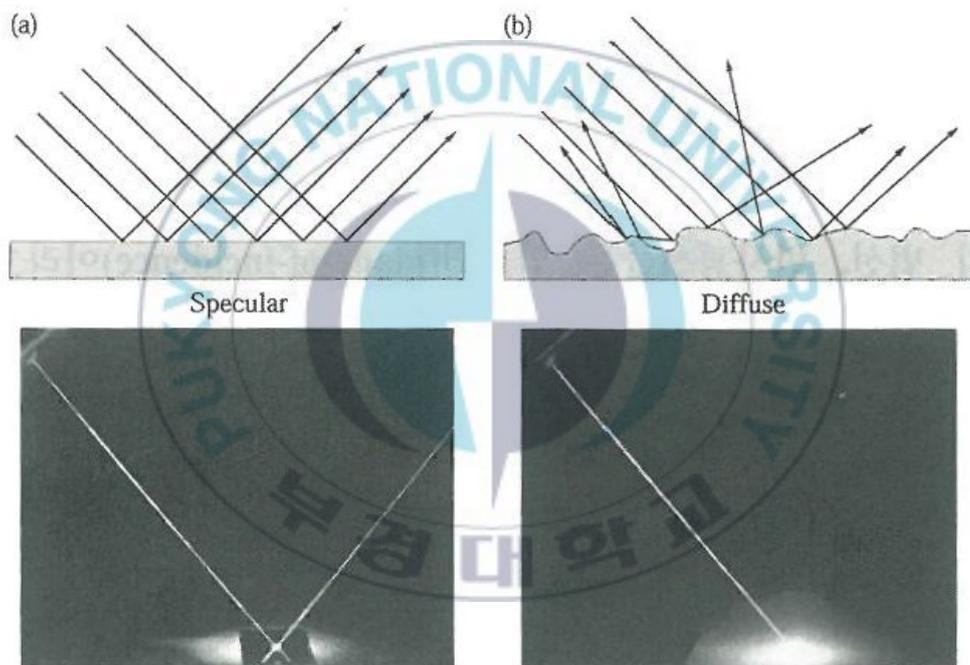
공기 중을 진행하는 빛이 물체의 표면에 닿으면 입사광의 일부는 반사하고 나머지는 물체 내부로 투과하게 된다. 이 때 입사되는 빛의 세기에 대한 반사하는 빛의 세기의 비를 반사율이라 하고, 입사되는 빛의 세기에 대한 투과되는 빛의 세기의 비를 투과율이라 한다.[4]

자연계에서는 반사율이 100%이거나 투과율이 100%인 물체는 존재하지 않는다. 통상 투과광보다 반사광이 대단히 많은 물체를 불투명체, 투과광과 반사광이 비슷한 물체를 반투명체, 투과광이 반사광보다 아주 많은 물체를 투명체라 한다.

빛의 물질 내부를 투과하여 진행되는 과정에서 물질 입자에 서서히 흡수 또는 산란되므로 진행 경로가 멀어질수록 빛의 세기는 약해져서 아주 먼 곳의 경사나 깊은 물속의 물체는 볼 수 없게 된다.[5]

## (1) 정반사와 난반사

반사는 크게 정반사와 난반사로 구분된다. [그림 1]의 첫 번째와 같이 반사면이 빛의 파장에 비하여 매끄럽고 평면을 이룰 때는 입사광이 평행광선속이면 반사광도 평행광선속이 된다. 이와 같은 반사를 정반사 또는 경면반사라 한다. 거울이나 대형 유리 구조물에 부딪히는 경우가 있는데 이것은 정반사로 인해 유리에 반사되어 보여 지는 영상에 대해 시각적으로 착시 현상을 일으켜서 일어나는 현상이다.

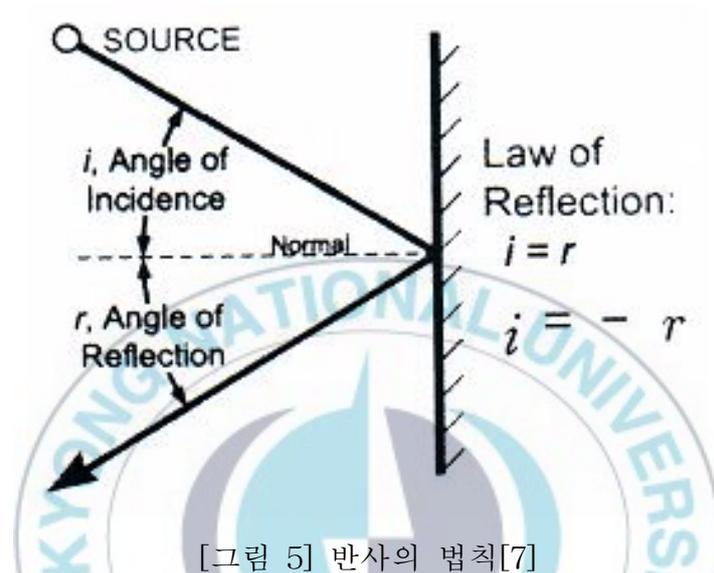


[그림 4] 전반사와 난반사[6]

[그림 1]의 두 번째와 같이 반사면이 빛의 파장에 비하여 거친 굴곡을 이루고 있을 때는 입사광선이 평행광선속일지라도 반사되어 나오는 빛은 무질서하게 흩어지게 된다. 이와 같은 반사를 난반사 또는 확산 반사라 하고 난반사로 흩어지게 되는 것은 그 물체들이 난반사를 하여 반사광이 우리의 시각에 들어오기 때문에 가능하다.[7]

## (2) 반사의 법칙

[그림 2]와 같이 한 점 A에서 입사한 광선이 반사면 상의 한 점에서 정반사되어 A'점을 지난다고 하자.



이 때 Source의 위치를 입사점이라 하고 입사점에서 반사면에 수직한 선을 법선이라 한다. 법선을 기준으로 법선과 입사광이 이루는 각을  $i$ 를 입사각, 법선과 반사광이 이루는 각  $r$ 를 반사각이라 한다. 정반사에는 다음과 같은 규칙이 성립한다.

i) 입사광선과 반사광선은 법선의 양 쪽에 있고 입사광선, 법선, 반사광선은 하나의 평면상에 존재한다.

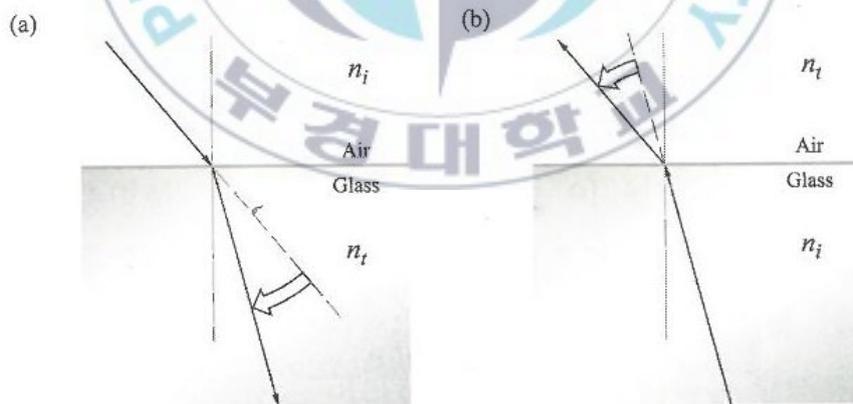
ii) 입사각은 반사각은 크기가 같고, 법선에 대하여 서로 반대방향에 존재한다. 빛의 반사 법칙은 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.[7]

## 다. 빛의 굴절(Refraction)

빛이 공기 속에서 물속으로 진행할 때와 같이 서로 다른 매질의 경계에서 광로가 꺾이게 된다. 이와 같이 매질의 밀도가 균일치 못하거나 서로 다른 매질 속에서 광로가 굽어지거나 꺾이게 되는 현상을 굴절이라 한다.

### (2) 굴절의 법칙

[그림 3]에서 입사한 광선이 매질의 경계면 상의 한 점에서 굴절하여 다른 매질 속의 한 점을 통과할 때, 법선과 입사광선이 이루는 각을 입사각, 법선과 굴절 광선이 이루는 각을 굴절각이라 한다. 굴절에는 다음과 같은 규칙이 성립된다.



[그림 6] 빛의 굴절[6]

(a)는 소한 매질에서 밀한 매질로 입사는 그림이고 (b)는 밀한 매질에서 소한 매질로 빛이 입사하는 그림이다. 밀한 매질에서 소한 매질로 빛이 입사될 때 각을 증가 시킬 경우 굴절하지 못하고 빛이 매질의 경계면을

따라 수평하게 이동하는 현상이 생기는 입사각이 되는 시점의 각을 임계각이라고 하고 임계각 이상의 각도로 빛이 입사 되었을 때 전반사가 생긴다.[8]

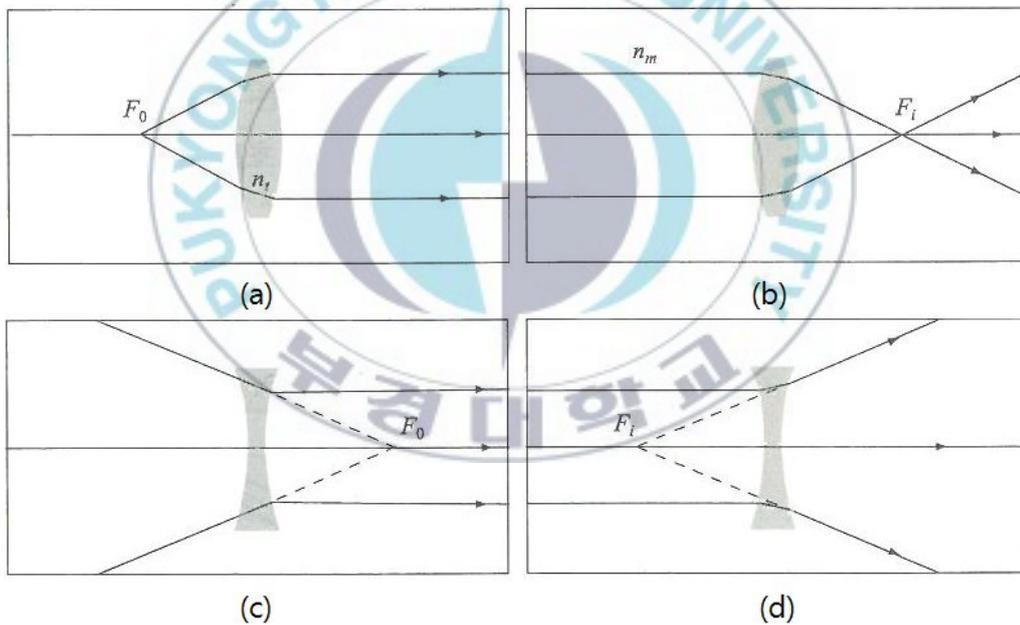
i) 입사광선과 굴절광선은 법선의 양쪽에 있고 입사광선, 법선, 굴절광선은 모두 동일 평면상에 존재한다.

ii) 입사각과 굴절각의 정현(sine)의 비는 입사각의 크기에 관계없이 항상 일정하다.[7]



## 다. 렌즈 (Lens)

렌즈는 크게 볼록렌즈, 오목렌즈 두 종류의 렌즈가 있다. 볼록렌즈는 빛을 수렴하게 하고, 오목렌즈 광선을 발산하게 만든다. [그림4]에서 (a), (b)를 보면 볼록렌즈의 경우 초점에서 나온 광선은 렌즈를 통과한 뒤 광축과 평행하게 진행하고, 광축과 평행하게 오는 빛은 렌즈를 통과하면 초점에 수렴하는 성질을 가진다. (c), (d)를 보면 오목렌즈의 경우 초점으로 향해온 빛은 광축과 평행하게 진행하고, 광축과 평행하게 오는 빛은 렌즈를 통과한 뒤  $F_i$ 의 초점에서 발산하는 방향으로 발산한다.



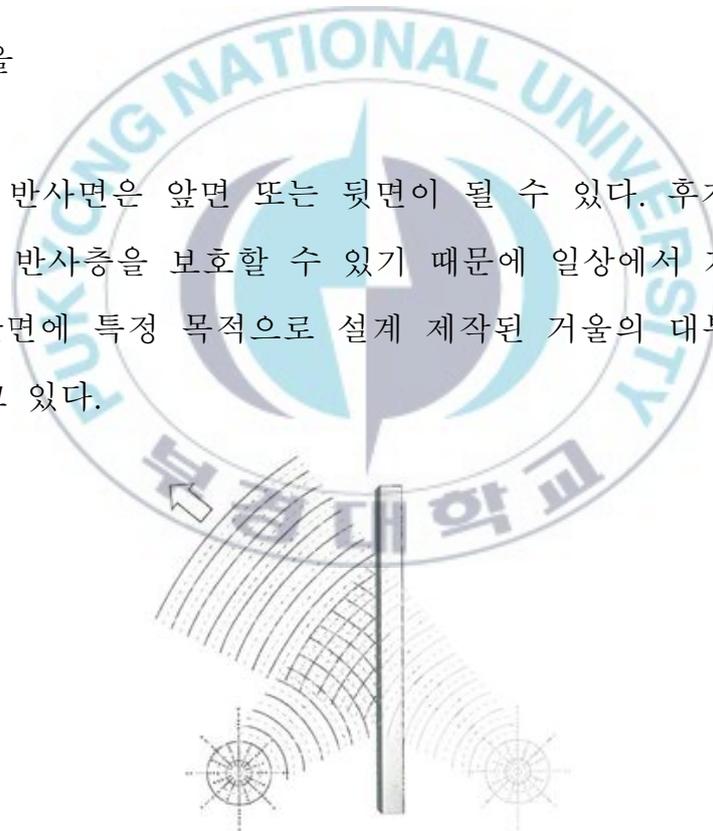
[그림 7] 볼록렌즈와 오목렌즈에 대한 초점거리[6]

## 라. 거울 (Mirror)

거울 광학계는 X선, 자외선 그리고 적외선 영역에 걸쳐서 널리 이용되고 있다. 거울은 단순히 검은 유리조각이나 섬세하게 연마된 금속면일 수도 있다. 그러나 거울을 제작할 때 과거에는 자외선과 적외선에서 높은 반사율을 갖는 은을 유리면에 얇게 입혀서 만들었으며, 요즘에는 잘 연마된 기관위에 알루미늄을 진공증착 시키는 방법이 거울 제작의 표준으로 되어 있다.

### (1) 평면거울

평면거울의 반사면은 앞면 또는 뒷면이 될 수 있다. 후자는 유리 뒷면에 있는 금속 반사층을 보호할 수 있기 때문에 일상에서 가장 많이 사용되고 있다. 반면에 특정 목적으로 설계 제작된 거울의 대부분은 앞면 반사가 사용되고 있다.

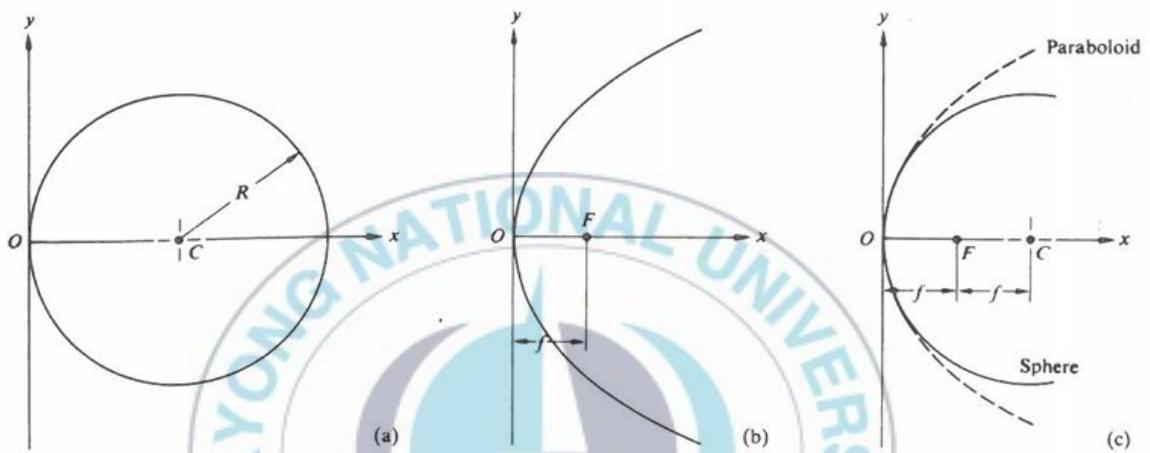


[그림 8] 평면거울 (파의 반사)[6]

광원에서 나온 빛의 파장은 거울면에 입사하면 법선에서 입사각 크기의 반사각으로 빛의 파장이 반사 된다. 즉 거울 뒤에 허상인 광원이 있다고 생각하면 그곳에서 빛이 나오는 것처럼 보인다.

(1) 구면, 비구면 거울

비구면을 정밀하게 가공하는 것은 구면을 가공하는 것보다 훨씬 어렵다. 비구면과 구면 거울은 렌즈와는 달리 볼록거울일 때는 빛이 발산하고, 오목거울일 때는 빛이 수렴한다.



[그림 9] 구형거울과 비구면(포물면)거울 비교[6]

(a)는 구형거울의 모습이고, (b)는 비구면(포물면)거울 모습이다. 구형과 울과 비구면(포물면) 거울의 차이는 (c)를 보면 구의 중심 C에서 y축 값 과의 차이가 점점 커질 때 차이가 있으며, 광선이 광축에 근접된 경우, 구 면과 포물면은 본질적으로 차이가 없다.

## 2.2 Energy Star “Integral LED Lamps” 규격

Integral LED Lamps의 기준은 일반적으로 사용되어 왔던 백열램프를 대체하기 위한 것으로 규격내용 중 광학에 관련된 내용은 색도 부분과 배광부분이 있다.

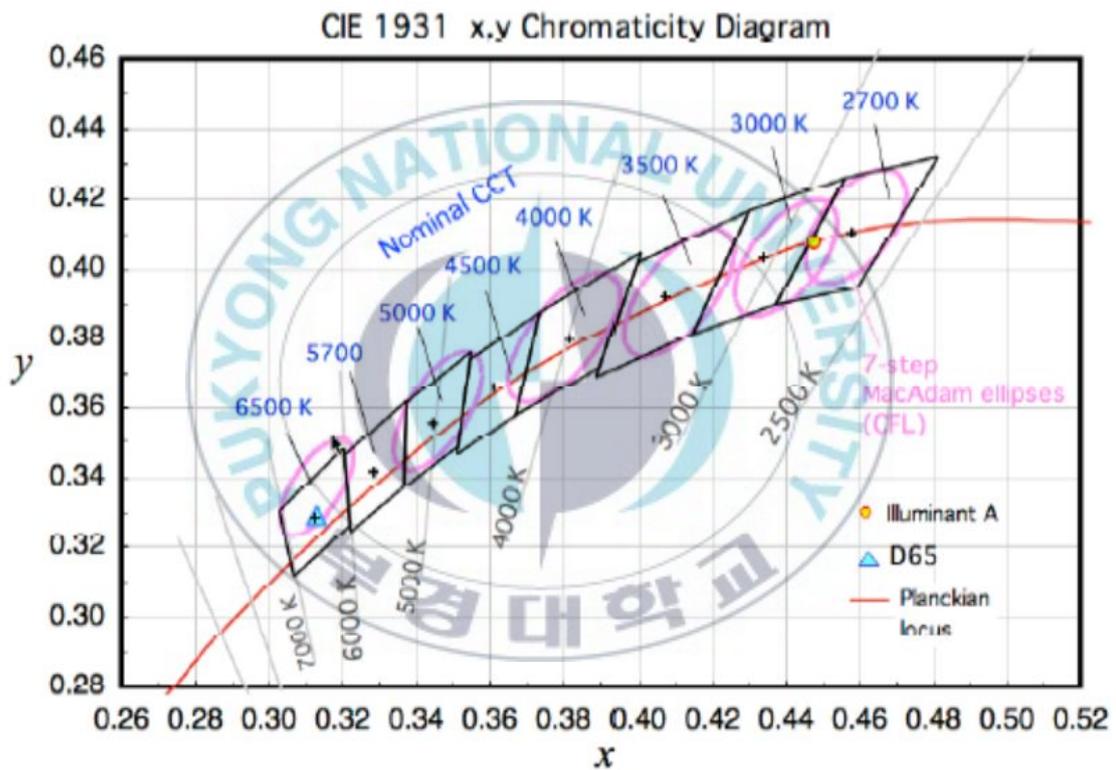
### 가. 색도 규격

색도규격은 ANSI-NEMA(American National Standards Institute - National Electrical Manufacturers Association)에 의해 색도별 백색광의 색좌표 범위가 제한되어 지고 있으며, MacAdam ellipses step에 따라 색도가 허용범위에 들어오는지 파악할 수 있다.[9]

	2700 K		3000 K		3500 K		4000 K	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Center point	0.4578	0.4101	0.4338	0.4030	0.4073	0.3917	0.3818	0.3797
Tolerance quadrangle	0.4813	0.4319	0.4562	0.4260	0.4299	0.4165	0.4006	0.4044
	0.4562	0.4260	0.4299	0.4165	0.3996	0.4015	0.3736	0.3874
	0.4373	0.3893	0.4147	0.3814	0.3889	0.3690	0.3670	0.3578
	0.4593	0.3944	0.4373	0.3893	0.4147	0.3814	0.3898	0.3716
	4500 K		5000 K		5700 K		6500 K	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Center point	0.3611	0.3658	0.3447	0.3553	0.3287	0.3417	0.3123	0.3282
Tolerance quadrangle	0.3736	0.3874	0.3551	0.3760	0.3376	0.3616	0.3205	0.3481
	0.3548	0.3746	0.3376	0.3616	0.3207	0.3462	0.3028	0.3304
	0.3512	0.3465	0.3366	0.3369	0.3222	0.3243	0.3068	0.3113
	0.3670	0.3578	0.3515	0.3487	0.3366	0.3369	0.3221	0.3261

[표 1] 색도 사각형의 x, y 좌표와 중심 x, y 좌표

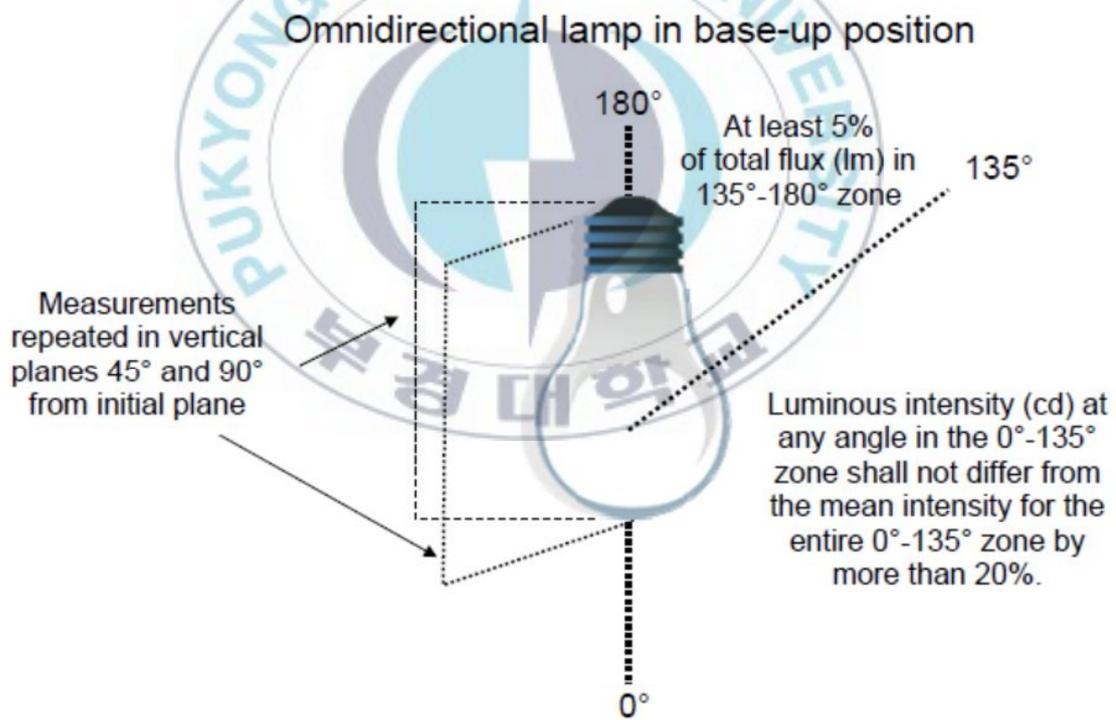
[표 1]은 CCT(Correlated color temperature) 별로 ANSI(American National Standards Institute)에서 백색광의 색좌표 범위를 정한 사변형의 x,y 좌표이다. [그림 7]은 위의 표를 그래프로 나타낸 그림이다. CCT 별로 사각형이 그려지고 중심 좌표를 이어 선으로 표현했다. 그리고 이 규격에서는 MacAdam ellipses step 중에 7-step을 기준으로 사용 하였다.[10]



[그림 10] 8개의 CCT 사각범위의 CIE 1931 색도 도표[10]

## 나. 배광 규격

Omnidirectional Lamp의 배광규격은 [그림 8]과 같다. 전방향으로 발광하는 배광을 가지기 위해선 두 가지 조건을 만족해야 한다. 첫 번째, 수직 각  $0^\circ \sim 135^\circ$  사이의 평균 광도 값과  $0^\circ \sim 135^\circ$  사이의 평균 광도 값과  $0^\circ \sim 135^\circ$  사이의 임의 각도 광도 값이 평균 광도 값 보다 +20%보다 작아야 하며, -20%보다 커야 한다. 두 번째, 수직 각  $135^\circ \sim 180^\circ$  광속 값이 총 광속의 5% 이상이어야 한다. 즉  $0^\circ \sim 135^\circ$  사이의 광도 값이 평균 광도 값보다 비슷한 값을 가져 균일한 배광을 유지하는 것과 후배광이 총 광속의 5% 이상 존재해야 한다.[10]



[그림 11] Omnidirectional Lamp의 배광 규격[10]

# 제 3 장 전방향으로 발광하는 LED bulb

## 광학계 설계

### 3.1 기존 LED 전구와 기존 Omni LED 전구 배광 형태

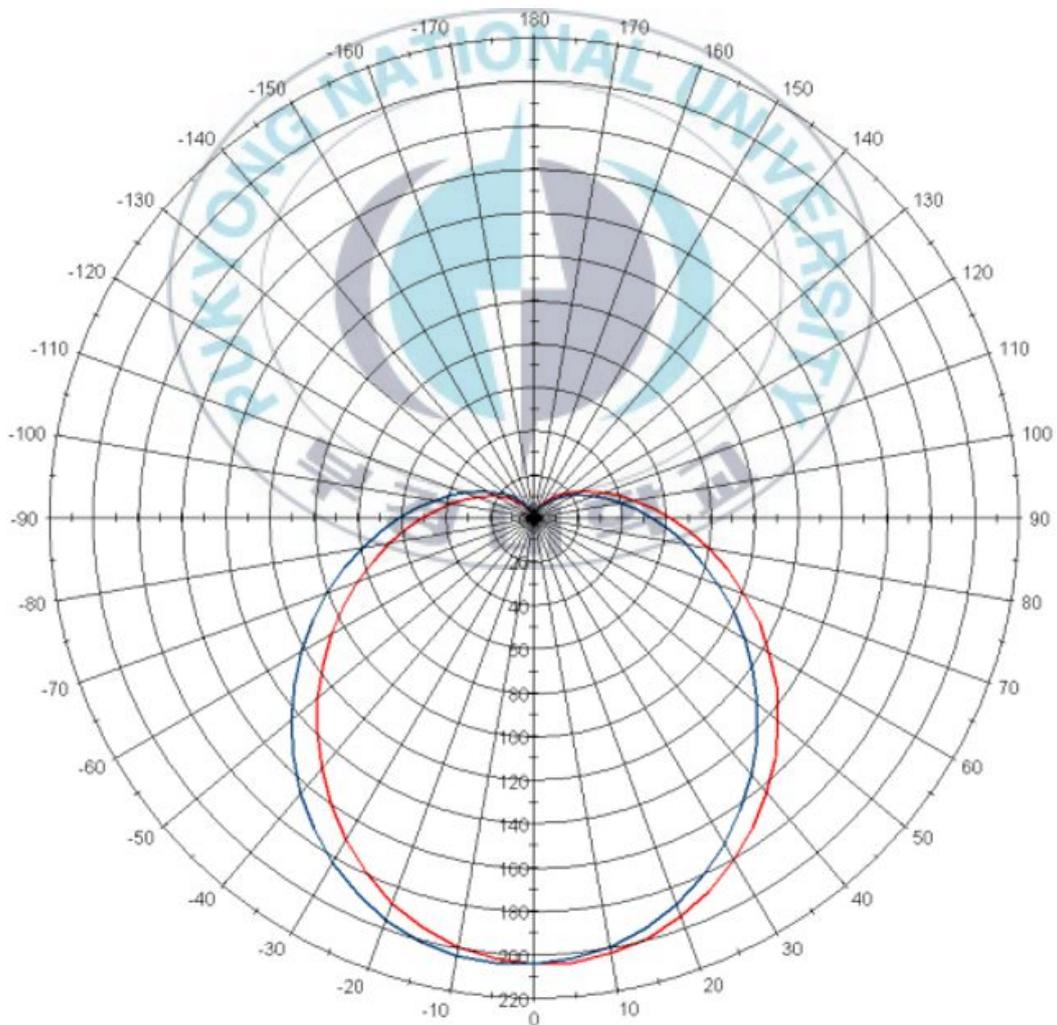
현재 시중에 나와 있는 LED 전구의 종류는 두 가지가 있으며, 후배광이 나오지 않는 LED 전구와 후배광이 나오는 LED 전구로 나눌 수 있다. 후배광이 나오지 않는 LED 전구를 “A”사 LED 전구 라고 칭하고, 후배광이 나오는 LED 전구를 “B”사 LED 전구라고 하겠다. A사 LED 전구와 B사 LED 전구를 미러형 배광기로 측정하여 배광 분포를 분석 하였다.[11]

균일도				
0°~135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
103.4	124.1	82.7	205.3	10.5
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135°~180°사이의 총광속 [lm]		
909.8	45.5	13.8		

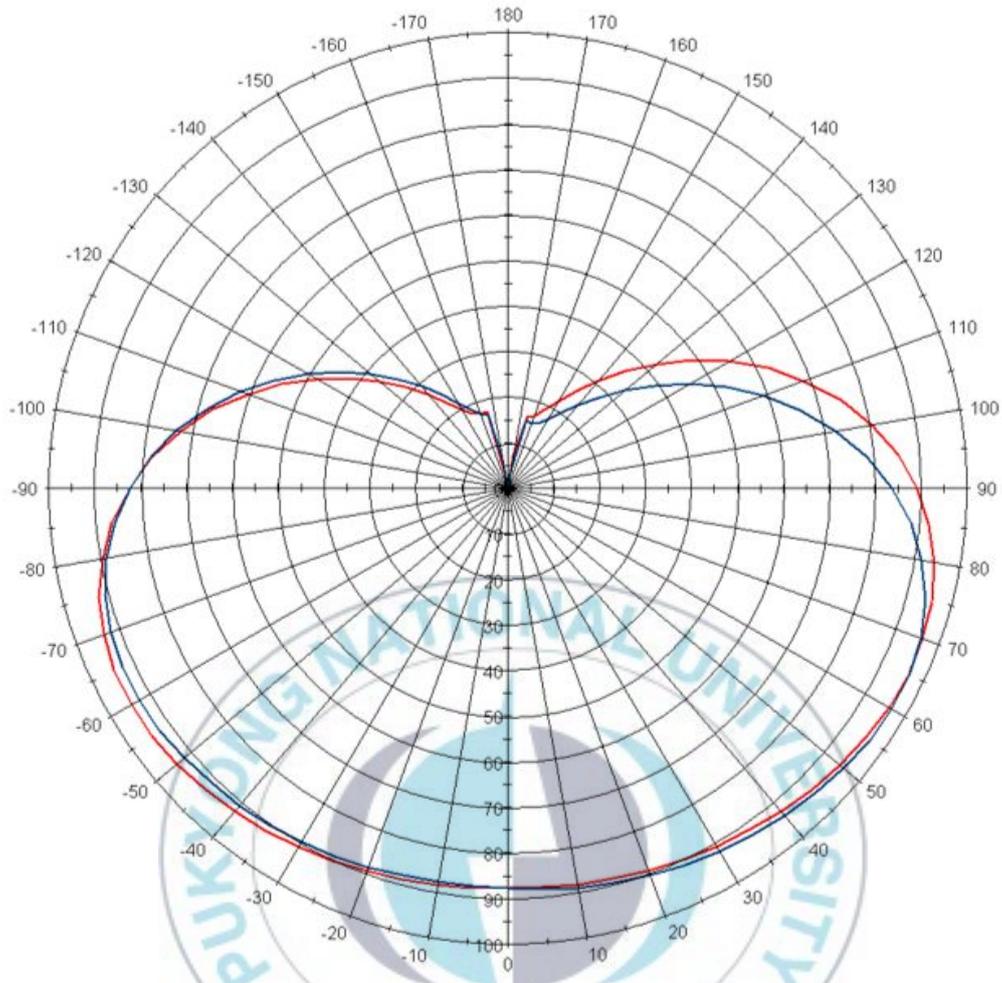
[표 2] A사 LED 전구의 Energy Star 규격으로 환산한 배광기준 값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
80.1	96.1	64.1	98.2	28.1
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180°사이의 총광속 [lm]		
892.2	44.6	33.2		

[표 3] B사 LED 전구의 Energy Star 규격으로 환산한 배광기준 값



[그림 12] A사의 LED 전구 배광 곡선



[그림 13] B사의 LED 전구 배광 곡선

[그림 9]를 보면 A사 LED 전구의 배광 곡선이 확실히 후배광이 없는 것을 볼 수 있다. 데이터를 분석하여 규격에 적합한지 [표 2]를 보았을 때  $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 사이의 평균 광도 값은 103.4 cd 이다. 균일성을 보기 위해 +20% 값은 124 cd이고, -20% 값은 82.7 cd 이다. 규격에 만족하기 위해서  $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 사이의 광도값이 최소 82.7 cd 이상 이여야 하고, 124 cd 이하 이여야 한다. 하지만 실제 측정값의 최대값은 205.3 cd 이고, 최소값은 10.5 cd 값으로 규격 값에 현저히 많이 차이 난다. 후배광을 보았을 때 총 광속은 909.8 lm이고, 광속의 5%는 45.5 lm 이다. 하지만 측정값은 13.8 lm 으로 이 값 또한 만족하지 않았다.

[그림 10]은 B사의 LED 전구 배광곡선이다. B사의 배광곡선은 A사의 배광곡선 보다 후배광이 더 많이 나오는 것을 확일 할 수 있다. 규격에 만족하는지 확인하기 위해서 B사의 배광곡선 데이터를 규격에 맞게 [표 3]으로 정리 해보았다. B사의 LED 전구 균일성을 보면  $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 사이의 평균 광도 값은 80.1 cd 이다. 평균 광도의 +20%는 96.1 cd 이고, -20%는 64.1 이다. 실제 측정값은  $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 사이 최대 광도값은 98.2 cd이고, 최소 광도값은 28.1 cd 이다. B사의 LED 전구의 균일성에서는 최대값 보다 21 cd 많이 나와 기준치 이상이고 최소값은 기준치보다 36 cd 못나왔기 때문에 이하의 값으로 규격에 만족하지 못하였다. 후배광 기준을 보면 총 광속은 892.2 lm로 측정이 되었고, 총광속의 5%는 44.6 lm 이다.  $135^{\circ} \sim 180^{\circ}$  사이의 총 광속은 33.2 lm 으로 측정이 되었고 역시 규격 기준치 미달이 되었다.[12]

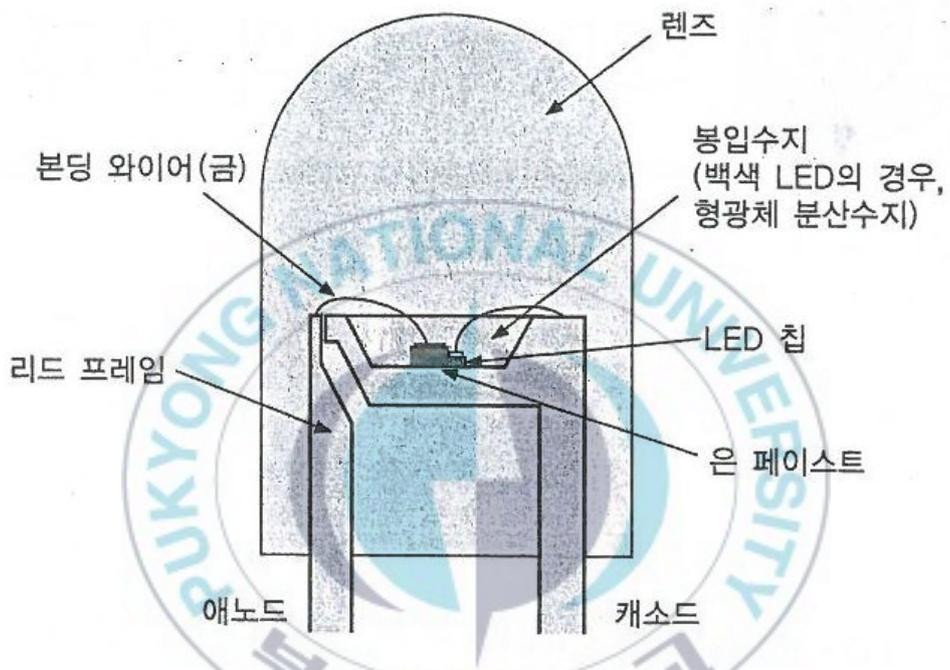
본 논문은 상기의 회사와는 달리 Energy Star 배광기준에 만족하는 전방향으로 발광하는 LED bulb를 구현하기 위해 이차광학계를 사용해 시뮬레이션 하였다.

## 3.2 광원부 광학설계

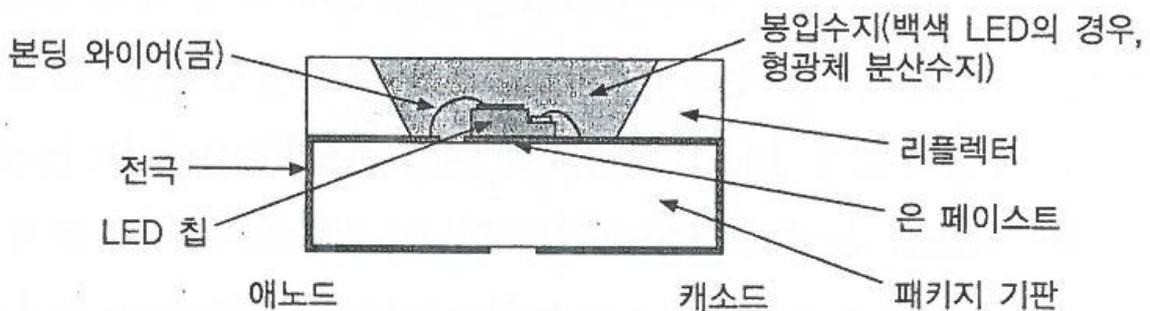
### 가. LED 패키지 소개

LED 패키지 종류는 포탄형 타입, SMD(Surface mount device)패키지, COB(Chip on board) 패키지 3가지가 있다. 포탄형 타입은 일반적으로 널리 사용된 패키지이다. 포탄형 타입의 구성은 [그림 11]과 같이 프레임에 일체화 되어있는 컵 속에 LED 칩이 실장 되어있으며, 그 주위를 에폭시 수지가 포탄형으로 감싸고 있다.[13] 제조비용이 저렴하고 공정이 어렵진 않으나 방열특성이 낮고, 광효율이 낮아 조명광원으로 쓰이고 있지 않고, 신호등 같은 지시등에 주로 쓰인다. SMD 패키지는 [그림 12]와 같이 패키지 기판 위에 칩을 실장하고 와이어로 전극을 연결한 형태이다. 포탄형과 달리 반사판이 설치되어 있으며, 반사판의 재료에 따라 역할이 달라진다. 첫 번째는 수지 기판으로 리플렉터 재료를 사용한 경우 기계적 강도가 강하고, 내열성이 있는 폴리카보네이트(PC : Polycarbonate), BT수지(bismaleimide triazine resin) 등이 있다. 특히 이러한 수지를 백색화 하여 반사율을 높이고 있다. 하지만 수지재료는 에폭시 수지와 같이 단파장 광으로 열화가 발생한다. 두 번째는 세라믹 기판으로 반사판 재료를 사용한 경우 방열특성이 우수하고 열화현상이 거의 없다. 세라믹 재료는 반사율의 파장 의존이 적고 LED 소자로부터 발광된 빛을 교란하는 것이 적기 때문에 빛이 안정되어 흐트러짐을 막을 수 있다. SMD 패키지는 또한 포탄형 타입 보다 고효율이며, 조명기구뿐만 아니라 TV back light, 모바일 기기 등 널리 쓰이고 있다. 하지만 PCB(Printed circuit board) 기판에 각각 솔더링 해야 하므로 번거로움이 있다.[14] 마지막으로 COB 패키지는 LED 칩과 PCB 기판을 합쳐 놓았다고 생각하면 된다. 백색광 COB 패키

지의 경우 PCB 기판위에 다수의 칩을 실장 한 다음 그 위에 형광체가 봉지재 역할을 함으로서 백색 빛으로 발광 한다. COB 패키지는 한 패키지에 칩이 집약 되어있어 고출력의 특성을 가지며 SMD 패키지와 같이 PCB 기판에 솔더링 하고 다시 LED 조명에 장착하지 않고 곧 바로 조명 기구에 설치 할 수 있어서 열특성이 좋다.[15]



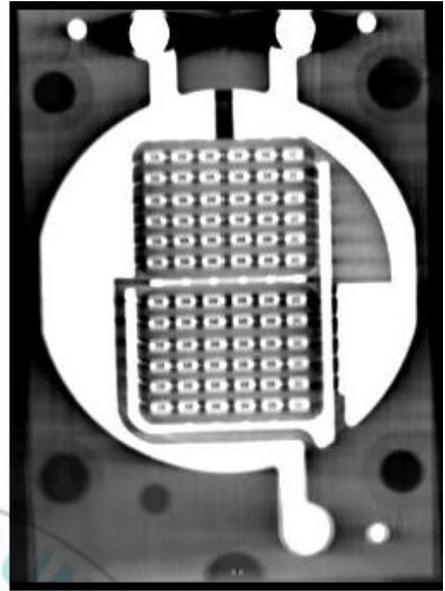
[그림 14] 포탄형 LED 모식도[14]



[그림 15] SMD 타입의 모식도[14]

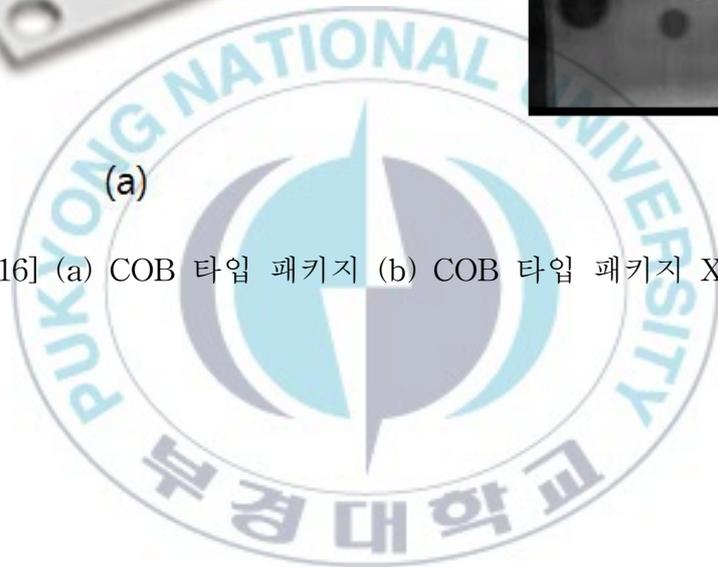


(a)



(b)

[그림 16] (a) COB 타입 패키지 (b) COB 타입 패키지 X-ray[15]



## 나. COB 패키지 설정

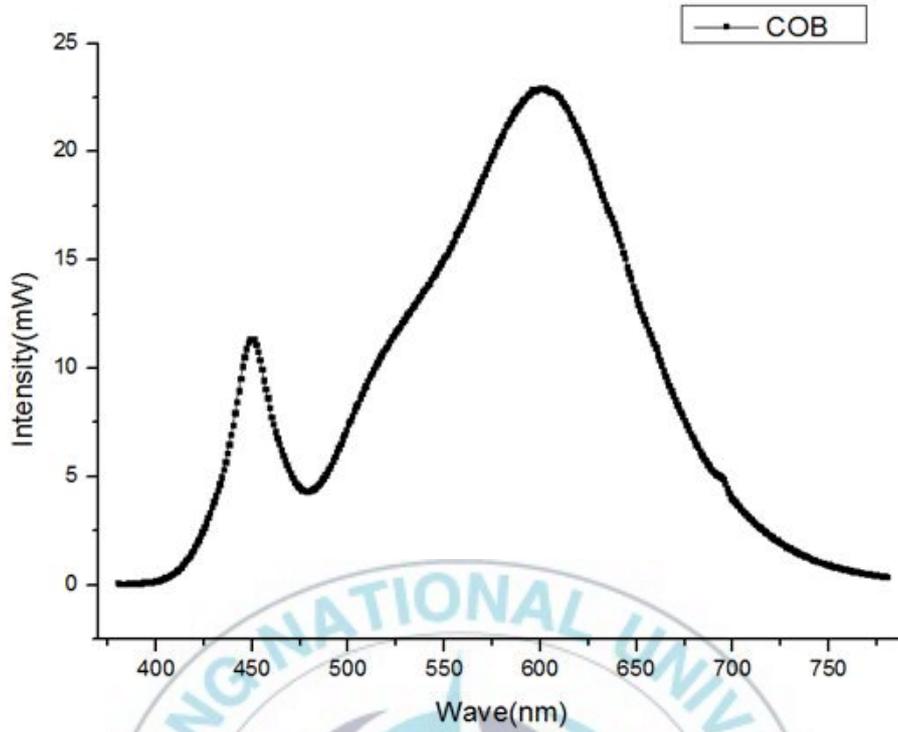
전방향으로 발광하는 LED bulb 광원으로 위의 패키지 종류 중에서 고출력과 열특성이 좋으며 조명 기구에 간편히 붙일 수 있는 COB 패키지로 설정 하였다. COB 패키지는 Cree사의 XLamp CXA1512 로 선정 하였다. COB 패키지를 적분구로 측정하여 광학적 특성 값은 [표 4]와 같이 나왔다.

	총광속 [lm]	광효율 [lm/W]	CCT [K]	CRI	x	y
COB 패키지	1471.1	112.3	2994	82.0	0.4404	0.4105

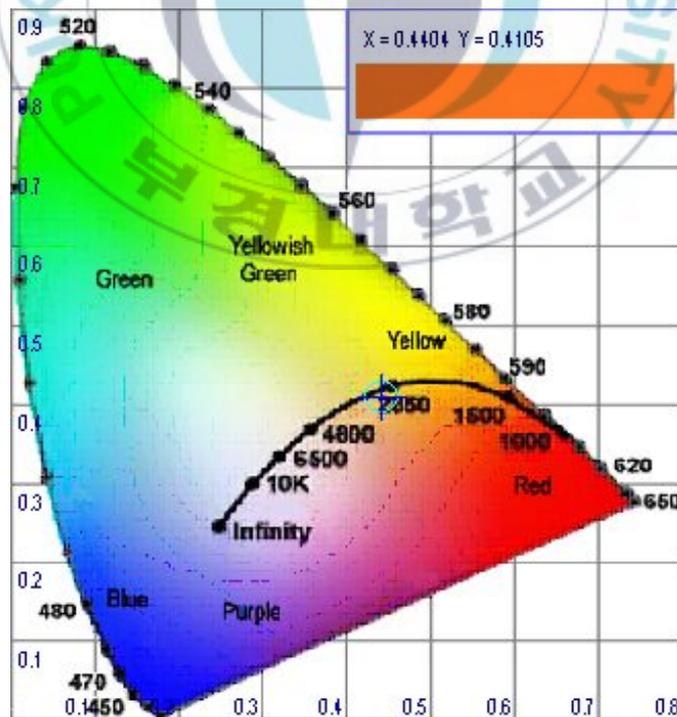
[표 4] XLamp CXA1512 COB 패키지의 광학적 특성



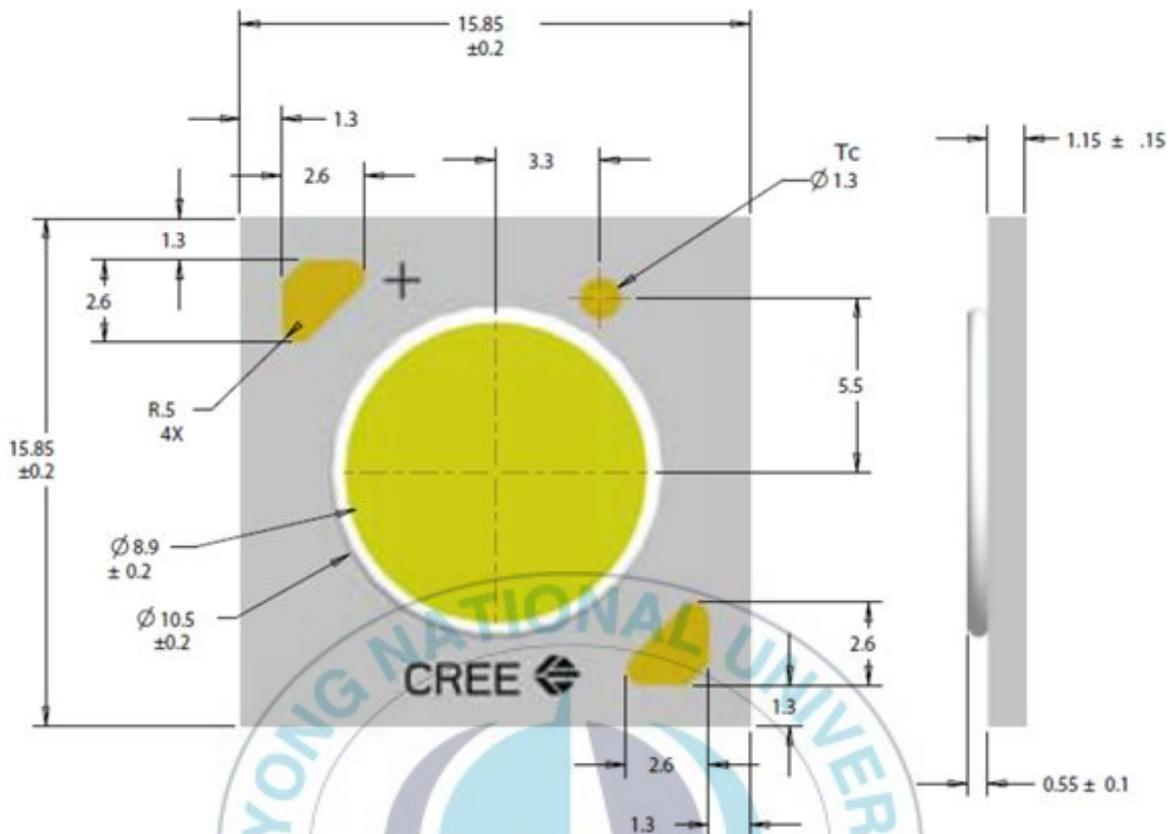
[그림 17] Cree사의 XLamp CXA1512[16]



[그림 18] COB 패키지의 스펙트럼 그래프



[그림 19] COB 패키지의 색좌표

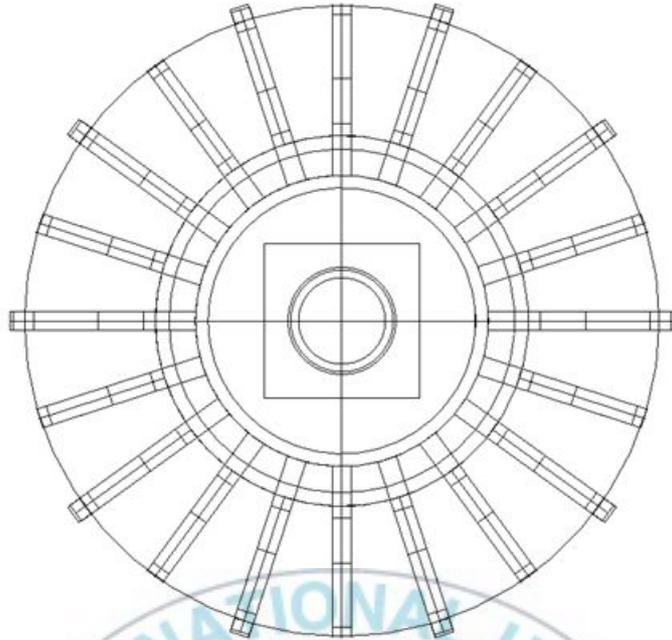


[그림 20] COB 패키지의 실제 크기[16]

COB 패키지의 실제 모습은 [그림 14]와 같다. 그리고 이 패키지의 총광속은 1471.1 lm, 광효율은 112.3 lm/W, CCT는 2994 K, CRI는 82.0, x는 0.4404, y는 0.4105로 측정 되었다. COB 패키지의 스펙트럼은 [그림 15]와 같으며 CCT가 2994 K이기 때문에 주광색과 주백색의 백생광원 보다 붉게 보인다. 주백색과 주광색의 스펙트럼은 푸른색 400 ~ 500 nm 파장의 세기가 세고 500 ~ 700 nm 파장의 세기가 낮은 것에 비해 COB 패키지는 400 ~ 500 nm 파장의 세기가 낮고 500 ~ 700 nm 파장의 세기가 세다. [그림 17]은 실제 COB 크기 이고 이 모든 데이터를 시뮬레이션 back 데이터로 사용하였다.[16]

## 다. COB 패키지 위치 설정

전방향으로 발광하는 LED bulb의 광원인 COB 패키지의 위치를 우선 설정을 해야 한다. 앞전에 보았던 A사의 LED bulb의 패키지 배열은 Heat sink와 수평 방향으로 SMD 패키지를 배열한 형태이다. B사의 LED bulb의 패키지 배열은 Heat sink와 수직 방향으로 SMD 패키지를 배열한 형태이다. B사의 경우 수직으로 LED 패키지를 배열하였기 때문에 앞쪽으로는 많이 나오지 않고 옆면으로 많이 나오는 배광 형태를 보였다. 또한 옆면으로 패키지를 부착했기 때문에 공정상에도 좀 복잡한 구조이다. A사의 경우 수평면으로 패키지를 부착하였으나 SMD 패키지를 나열해 여러 개의 패키지를 부착해야 되는 번거로움이 있다. 이 모든 것을 극복하고자 COB 패키지를 사용하였고 패키지의 방향도 수평면으로 하나 부착하였다. 패키지의 위치는 [그림 18]과 같이 정중앙에 위치 시켰다. 중앙에 위치시키지 않고 측면으로 벗어난다면 배광이 한 쪽으로 치우쳐서 형성되기 때문이다.



[그림 21] COB 패키지의 위에서 본모습



[그림 22] 측면에서 COB 패키지를 본모습

[그림 18]은 COB 패키지를 위에서 본 모습이고, [그림 19]는 측면에서 COB 패키지를 보았을 때 모습이다. 이 위치에 COB 패키지를 설정하였다.

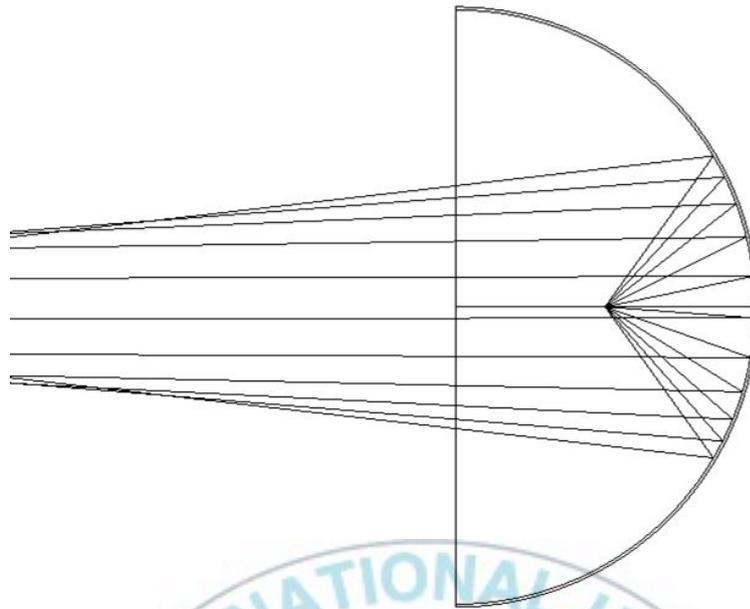
### 3.3 LED bulb 덮개 형태 설계

#### 가. LED bulb 덮개의 형태

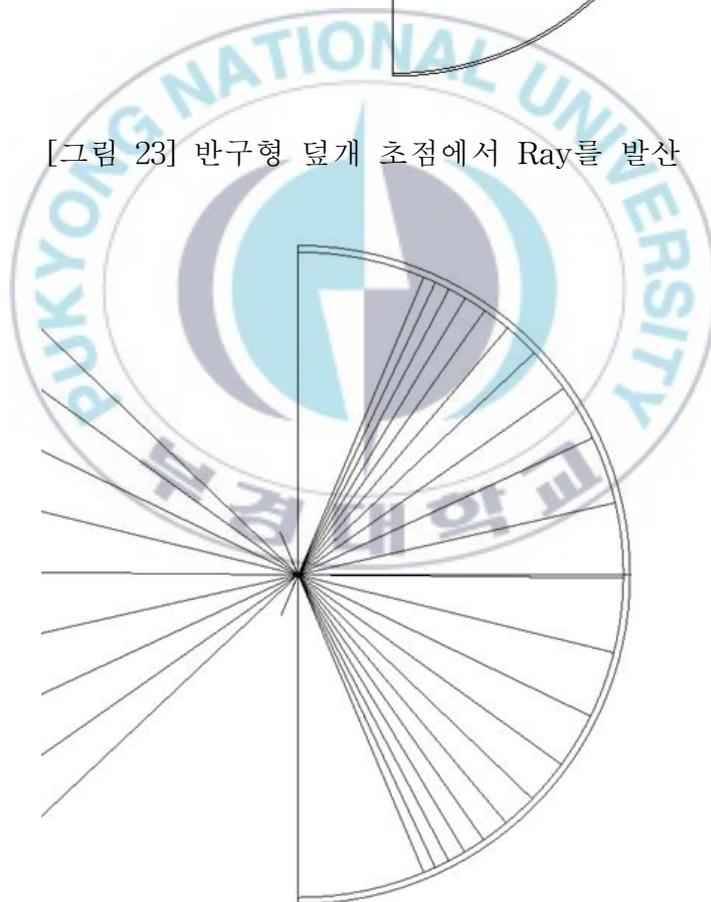
전방향으로 발광하는 LED bulb의 가장 큰 핵심 기술은 바로 덮개의 반사판을 코팅하여 앞으로 발산하는 빛을 뒤로 보내는 것이 목적이다. 그렇기 때문에 덮개의 형상이 가장 중요하다. 덮개의 형태는 크게 구형모양과 비구면형모양이 있다. 이 두 가지의 특징을 통해 적합한 형태를 찾아 내야한다.

##### (1) 구형

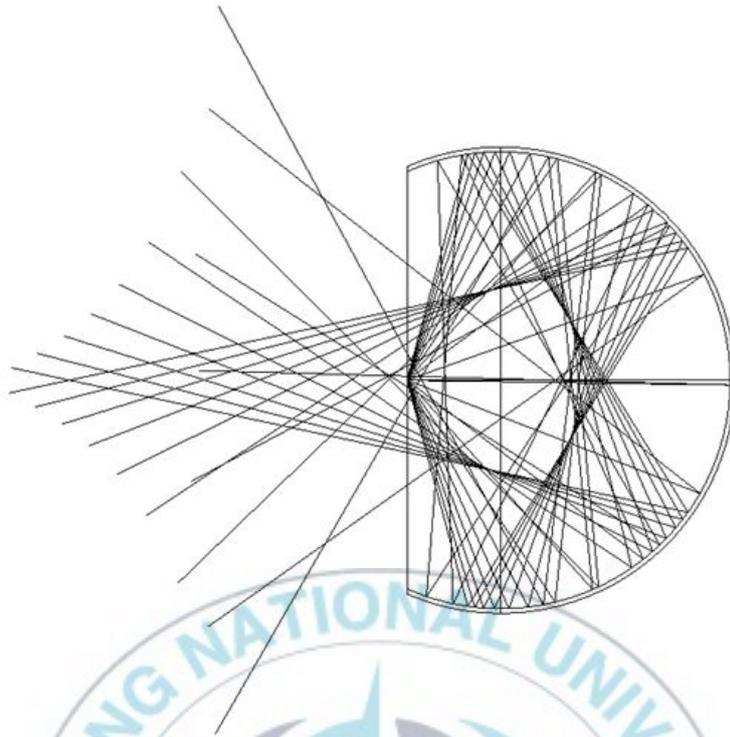
반구형의 경우 초점은 구의 중심의 반이다. 초점에서 광원을 위치한 다음에 시뮬레이션을 하면 아마 빛이 거의 뒤로 갈 것이다. 하지만 광원이 너무 앞으로 치우쳐져서 균일한 배광을 얻지 못 할 것이다. 반구형의 덮개를 만들어 안쪽 면 전체의 광학적 특성을 미러로 지정하였다. 반구형에서 광원의 위치를 달리 해서 Ray를 fan모양으로 발산 시켰다. 그리고 반구형 보다 조금 더 구형에 가까운 형태로 만들어 Ray를 앞의 모양으로 발산 시켜 시뮬레이션 하였다.



[그림 23] 반구형 렌즈 초점에서 Ray를 발산



[그림 24] 반구형 렌즈 중심에서 Ray를 발산



[그림 25] 구형에 가까운 cap 형태에서 Ray를 시작하는 지점에서 발산

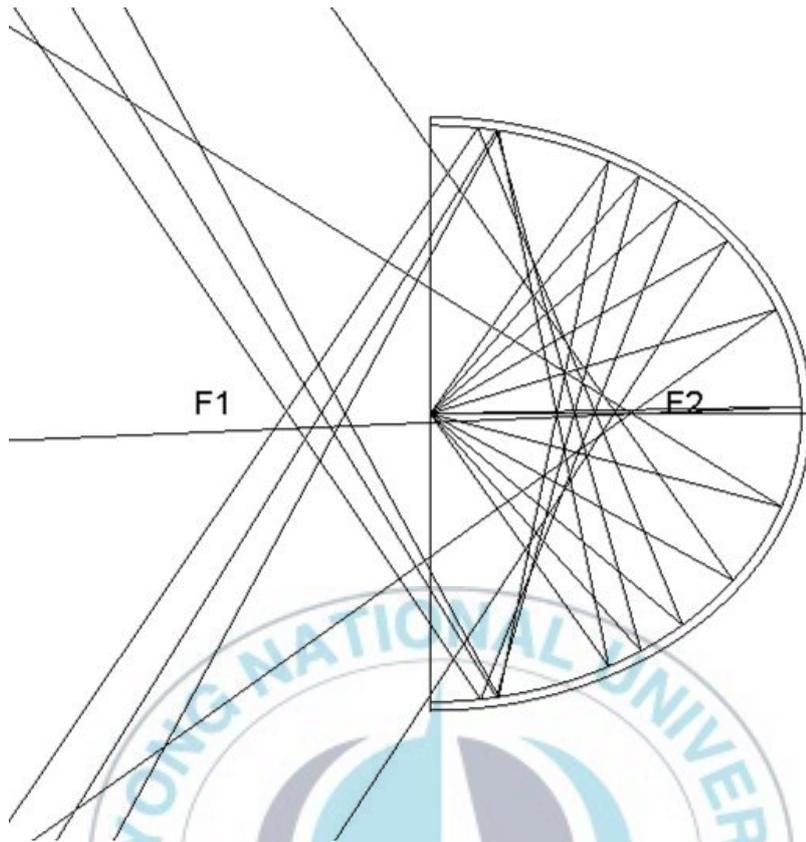
[그림 20], [그림 21], [그림 22]를 보면 초점에서 Ray를 발산시켰을 때 구면 수차 때문에 완벽하게 광축과 평행하게 가는 것이 아니라 조금 외곡되게 뒤로 나아간다. 이 모양은 앞 쪽으로 광량이 많이 나갈 수 있기 때문에 부적합하다. 원형 중심에서 Ray를 발산시켰을 때 Ray가 다시 광원 쪽으로 되돌아오기 때문에 이것 또한 부적합 하다. 마지막으로 반구형 모양은 아니지만 구형에 가까운 모양을 가진 덮개는 두 가지 다른 것 보다는 뒤로 많이 향하나 좁은 지역으로 향한다. 이처럼 반사판 코팅된 구형 모양의 덮개는 빛을 뒤로 보내는 형태로 부적합하다.

## (2) 비구면 (타원형)

비구면 형태는 여러 가지 종류가 있지만 이번 시뮬레이션에서는 반타원형으로 시뮬레이션을 하였다. 반타원형도 마찬가지로 초점에다가 Ray를 발산 시킨 형태와 타원형의 절반에서 Ray를 발산 시킨 형태로 시뮬레이션 하였다.



[그림 26] 반타원형의 초점에서 Ray를 발산 시킨 형태



[그림 27] 반타원형의 절반에서 Ray를 발산 시킨 형태

[그림 23]은 초점에서 Ray를 fan모양으로 발산시켰다. 발산된 Ray는 또 다른 초점에 수렴하는 현상을 보였다. 이 형태 역시 광원의 위치도 문제이고 뒤로 빛이 퍼져서 나가야하지만 뒤로 수렴하기 때문에 전방향으로 발광하는 LED 전구 덮개로 부적격하다. [그림 24]는 뒤로 가는 빛과 옆으로 가는 빛이 골고루 분산 되어 나가고 있다. 덮개에 반사판을 사용해서 전방향으로 발산하는 LED 전구를 사용하기에는 이 형태가 가장 적합하다.

## 나. LED 전구 덮개의 실제 디자인

LED 전구 덮개를 시뮬레이션하기 위해 실제 모양과 같은 크기로 디자인 하기 위해 3차원 측정기로 시중에 판매하는 C사의 덮개 모양의 치수를 측정하였다. C사의 모양은 반타원형과 가깝게 생겨 선택하였다.

Z [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Y [mm]
-2	32.5	17.452	30.144	35.809	18.931
-1.13445	32.77891	17.986	29.995	36.174	18.464
-0.42661	32.89992	18.509	29.842	36.527	17.993
-0.0342	32.70512	19.036	29.684	36.872	17.517
-0.01899	32.13235	19.562	29.519	37.206	17.033
0	32.087	20.084	29.347	37.535	16.54
0.643	32.084	20.614	29.169	37.85	16.043
1.143	32.082	21.13	28.988	38.155	15.542
1.65	32.076	21.655	28.799	38.455	15.026
2.152	32.071	22.177	28.602	38.737	14.516
2.656	32.066	22.693	28.403	39.014	13.994
3.155	32.066	23.208	28.198	39.278	13.471
3.645	32.061	23.72	27.989	39.534	12.939
4.149	32.059	24.241	27.769	39.776	12.407
4.665	32.052	24.759	27.537	40.016	11.857
5.207	32.04	25.286	27.292	40.237	11.317
5.737	32.017	25.805	27.04	40.446	10.775
6.286	31.989	26.324	26.773	40.648	10.223
6.817	31.954	26.843	26.494	40.836	9.673
7.356	31.914	27.353	26.205	41.012	9.125
7.882	31.87	27.855	25.908	41.179	8.572
8.411	31.823	28.358	25.602	41.333	8.022
8.943	31.768	28.851	25.284	41.478	7.466
9.476	31.708	29.342	24.952	41.611	6.907
10.013	31.644	29.829	24.611	41.734	6.346
10.541	31.573	30.299	24.267	41.844	5.787
11.082	31.496	30.775	23.903	41.944	5.229
11.541	31.413	31.235	23.538	42.033	4.667
12.148	31.324	31.689	23.165	42.111	4.105
12.683	31.232	32.14	22.778	42.176	3.541

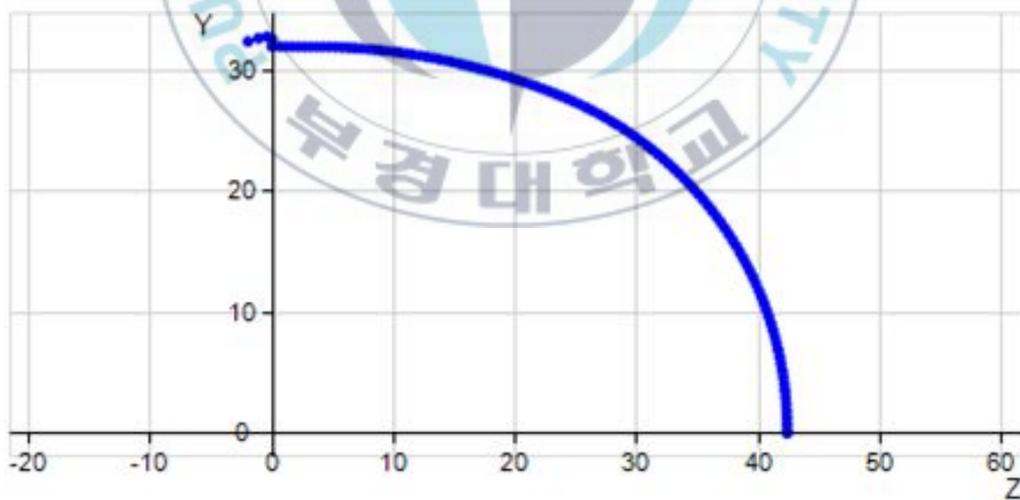
13.214	31.133	32.572	22.389	42.231	2.975
13.746	31.026	33.011	21.98	42.273	2.416
14.285	30.917	33.436	21.569	42.306	1.859
14.808	30.8	33.846	21.156	42.329	1.307
15.344	30.68	34.262	20.719	42.343	0.759
15.873	30.553	34.656	20.29	42.349	0.214
16.397	30.422	35.052	19.84	42.354	0
16.932	30.285	35.434	19.393		

[표 5] cap의 안쪽 면 치수

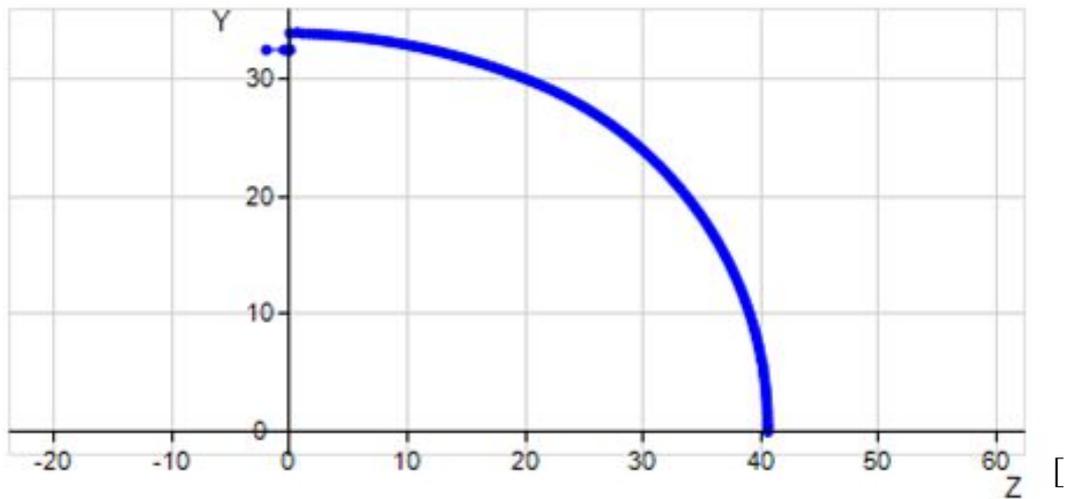
Z [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Y [mm]
-2	32.5	18.736	30.496	34.681	18.678
-0.5	32.5	19.202	30.339	34.928	18.329
-0.25	32.5	19.624	30.178	35.164	17.977
-0.1	32.5	20.043	30.012	35.4	17.625
-0.01	32.5	20.46	29.847	35.626	17.272
-0.001	32.5	20.871	29.674	35.852	16.91
0	33.928	21.286	29.501	36.073	16.543
0.622	33.97	21.688	29.323	36.289	16.177
1.107	33.886	22.086	29.142	36.499	15.806
1.602	33.871	22.478	28.959	36.706	15.431
2.075	33.849	22.854	28.774	36.909	15.052
2.552	33.824	23.241	28.581	37.103	14.674
3.033	33.795	23.622	28.381	37.298	14.288
3.504	33.765	24.003	28.177	37.483	13.903
3.976	33.73	24.385	27.965	37.666	13.512
4.444	33.691	24.753	27.753	37.843	13.12
4.915	33.648	25.125	27.536	38.015	12.724
5.38	33.604	25.485	27.317	38.182	12.326
5.844	33.55	25.845	27.088	38.345	11.919
6.308	33.499	26.202	26.86	38.5	11.517
6.765	33.439	26.553	26.624	38.654	11.105
7.227	33.377	26.903	26.382	38.797	10.7
7.698	33.308	27.256	26.136	38.939	10.281
8.151	33.24	27.596	25.887	39.072	9.871
8.616	33.164	27.939	25.632	39.204	9.451
9.067	33.088	28.275	25.374	39.325	9.033
9.531	33.007	28.599	25.115	39.445	8.607
9.982	32.921	28.933	24.849	39.556	8.186

10.443	32.833	29.249	24.58	39.663	7.759
10.889	32.742	29.578	24.3	39.761	7.334
11.346	32.649	29.895	24.022	39.857	6.901
11.794	32.547	30.209	23.737	39.945	6.47
12.237	32.446	30.524	23.447	40.027	6.031
12.692	32.342	30.828	23.157	40.1489	5.591
13.134	32.231	31.132	22.861	40.177	5.153
13.581	32.119	31.428	22.564	40.24	4.713
14.02	32.002	31.722	22.261	40.301	4.268
14.458	31.882	32.011	21.954	40.354	3.826
14.898	31.76	32.299	21.644	40.4	3.375
15.333	31.632	32.546	21.331	40.442	2.923
15.776	31.5	32.856	21.012	40.477	2.47
16.211	31.366	33.124	20.693	40.506	2.014
16.645	31.23	33.396	20.367	40.528	1.562
17.076	31.09	33.663	20.033	40.547	1.105
17.502	30.946	33.924	19.698	40.556	0.647
17.934	30.801	34.183	19.361	40.561	0.183
18.355	30.649	34.431	19.024	40.565	0

[표 6] cap의 바깥쪽 면 치수



[그림 28] cap의 안쪽 면 그래프



[그림 29] cap의 바깥쪽 면 그래프



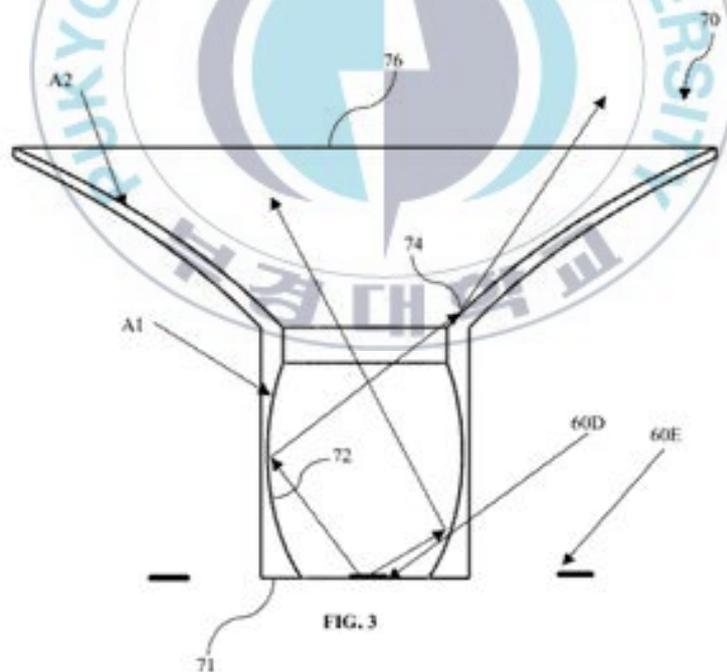
[그림 30] 시뮬레이션상의 LED bulb의 덮개

[그림 26]에서 [그림 27]보다 Z값이 작게 나온 이유는 3차원 측정기로 측정하는 방법으로 인한 측정 오차이다. 이 값은 Z값을 보정함으로서 시뮬레이션 상에 문제는 없다. [표5], [표6]의 데이터로 [그림 27]을 만들었다.

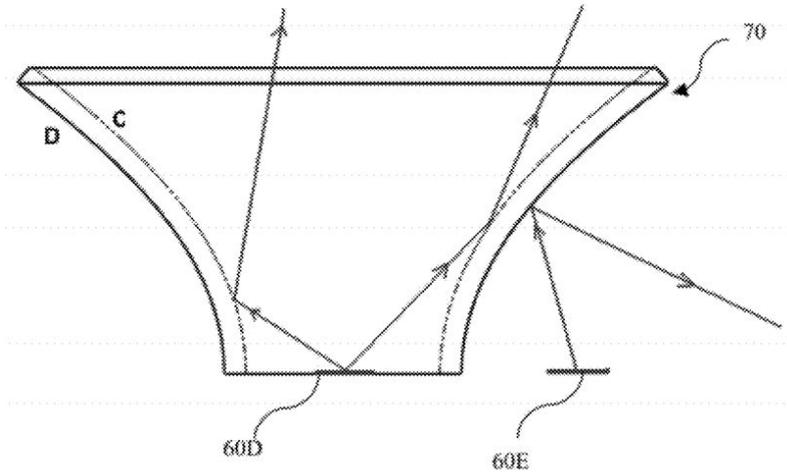
### 3.4 반사판 설계

#### 가. 기존 전방향으로 발광하는 LED bulb에 쓰이는 반사판 형태

전방향으로 발광하는 LED 전구의 광원에서 나오는 빛을 뒤쪽으로 보내기 위해서는 여러 형태의 반사판과 위치를 선정해 설치한다. 보통 [그림 28], [그림 29]와 같이 반사판을 방열판 위에 세워서 설치한다. 중간에 있는 LED 패키지의 빛은 앞쪽으로 나가고, 측면 LED 패키지의 빛은 반사판을 맞아 후면으로 나가게 설계 되어있다. 하지만 이렇게 복잡한 광학계를 LED 전구에 설치하면, 비효율적이고 공정상에 문제도 있다.

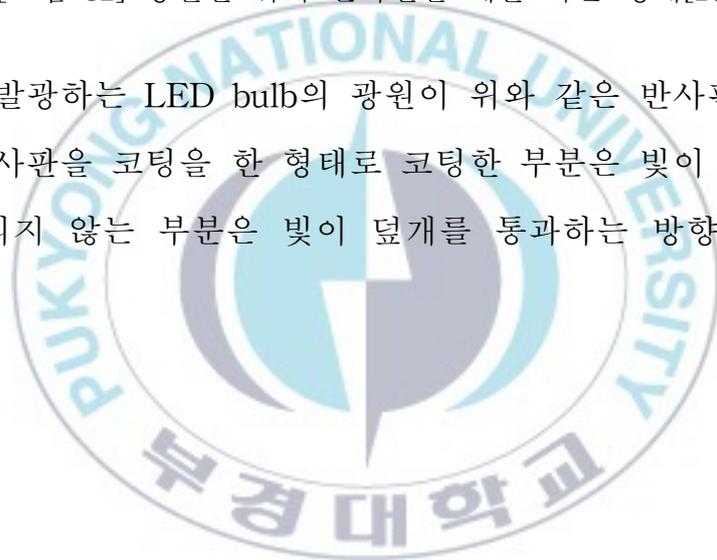


[그림 31] 방열판 위에 반사판을 세운형태[17]



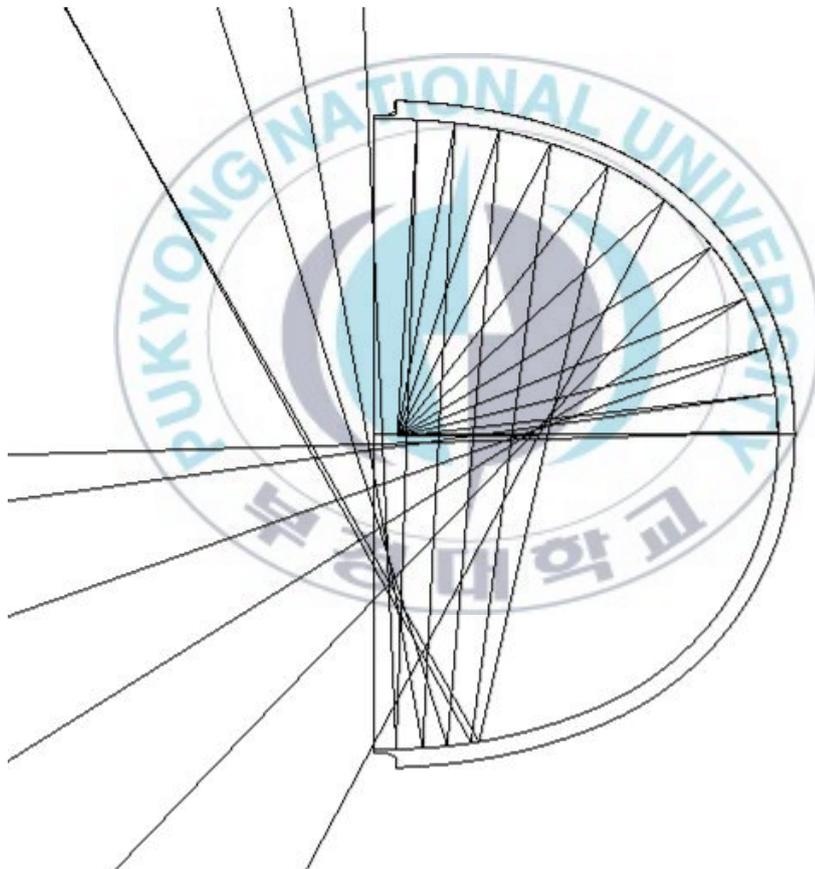
[그림 32] 방열판 위에 반사판을 세운 다른 형태[17]

전방향으로 발광하는 LED bulb의 광원이 위와 같은 반사판의 형식이 아닌 덮개에 반사판을 코팅한 형태로 코팅한 부분은 빛이 반사되어 뒤로 나가고 코팅되지 않는 부분은 빛이 덮개를 통과하는 방향으로 설계하였다.

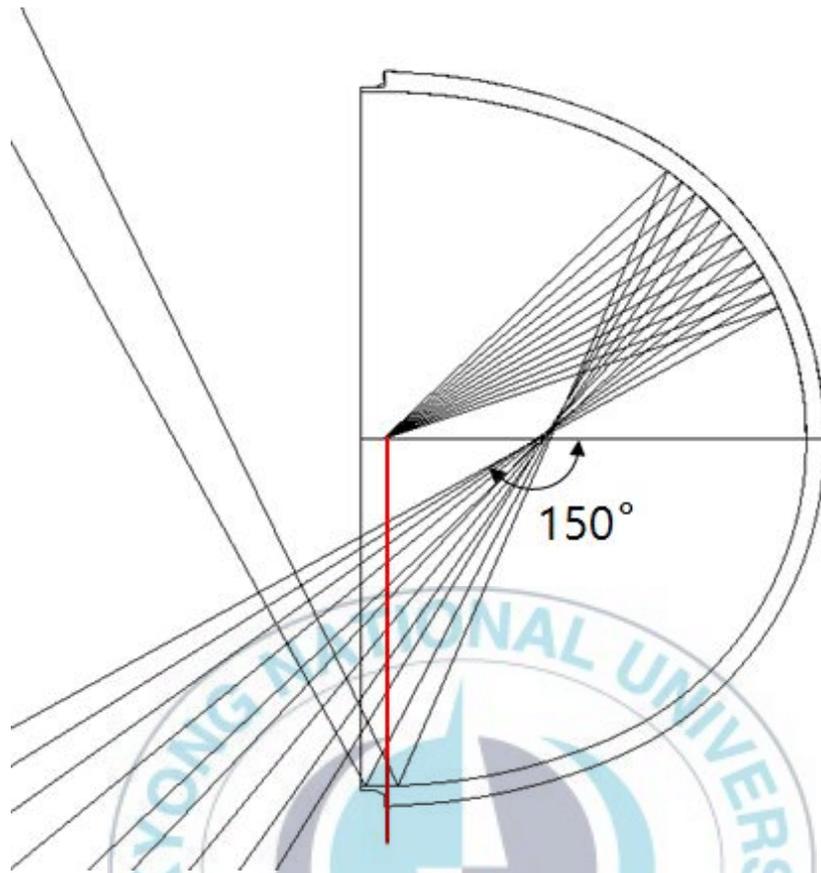


## 나. 반사판의 최적의 위치

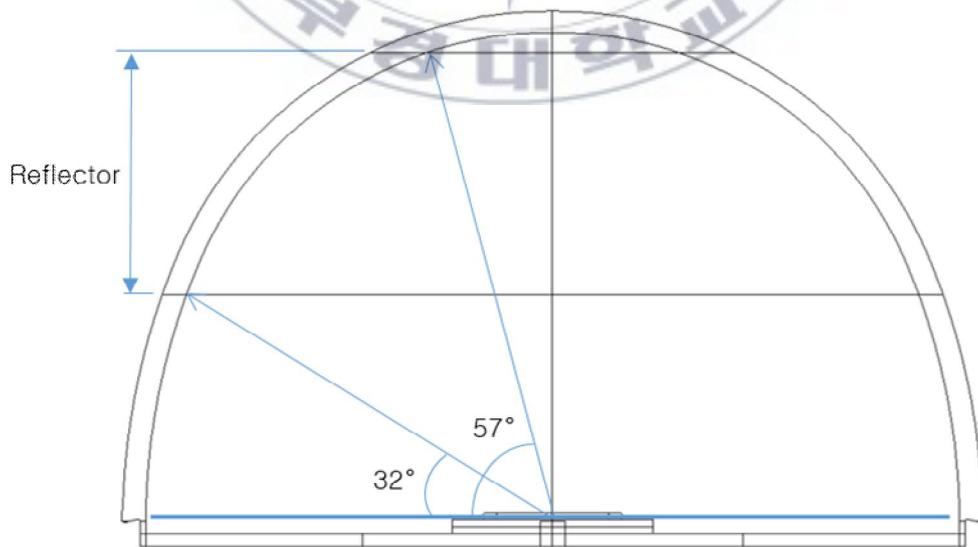
반사판을 덮개의 안쪽 면에 코팅을 하는데 있어 전면이 아닌 일부분만 코팅을 해야 한다. 만약 코팅을 전체 다할 경우 전면으로는 나가지 않고 후면으로 반사되어 나갈 것이다. 앞서 설계 해온 덮개의 모양에서 부분적으로 안쪽 면에 코팅한 후 Ray가 어느 면에 맞아야 반사되어 뒤로 많이 가고 반사되지 않고 앞으로 많이 진행하는지 시뮬레이션을 했다.



[그림 33] 덮개 안쪽면에 미리 코팅 상태에서의 Ray 분포



[그림 34] 최적의 코팅 위치



[그림 35] 덮개 안쪽면에 세부적인 코팅 위치

전반적인 덮개안의 Ray 분포를 보기 위해 [그림 30]과 같이 덮개 입구 중심에서 Ray를  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  각도로 반사 시켜 보았다. 옆면의 경우에는 반사되는 즉시 옆면에 맞거나 비스듬하게 Ray가 반사되어도 중심 부분으로 쏠리는 경향이 보였다. 그리고 너무 중심부도 마찬가지로 반사되는 즉시 바로 광원 쪽으로 오는 경향이 있었다. 그래서 [그림 32]의 각도로 Ray를 발산 시켰다. 발산 시킨 Ray는 거의 다 후면으로 반사 되어 나갔다. 덮개의 중심을  $0^{\circ}$ 라고 보았을 때 최대로 뒤로 간 Ray의 각도는  $150^{\circ}$ 이기 때문에 스펙 이상의 빛이 진행 한 것을 볼 수 있다.



## 3.5 확산판 설계

### 가. 확산 시트의 산란의 종류

#### (1) Lambertian Scattering

확산 시트의 산란 특성 종류는 크게 3가지로 분류된다. 산란의 종류로는 Lambertian scattering, Gaussian scattering,  $\cos^n\theta$  scattering이 있다. [그림 33]은 빛이 산란될 때의 에너지 분포를 나타낸 것이다. 입사각에 대해 동일한 각도로 거울 반사가 일어나는데 이때 반사되어 나타나는 분포가 산란된 에너지이다.

Lambertian scattering은 불규칙한 면에서 일어나는 산란으로 입사한 방향에 관계없이 하나의 광선이 표면에 부딪히면 골고루 사방으로 퍼지는 산란을 말한다. 표면에 수직인 법선과 Lambertian 산란되는 하나의 광선이 이루는 각 $\theta$ 는 shift-invariant 산란각으로 이때 입사각이 변하더라도 산란된 에너지 분포는 변함이 없이 유지 된다.

$$\theta = \sin^{-1}([\sin\theta_i - \sin\theta_s]) \quad (3.1)$$

$\theta_i$  = the angle of incidence of the incident ray

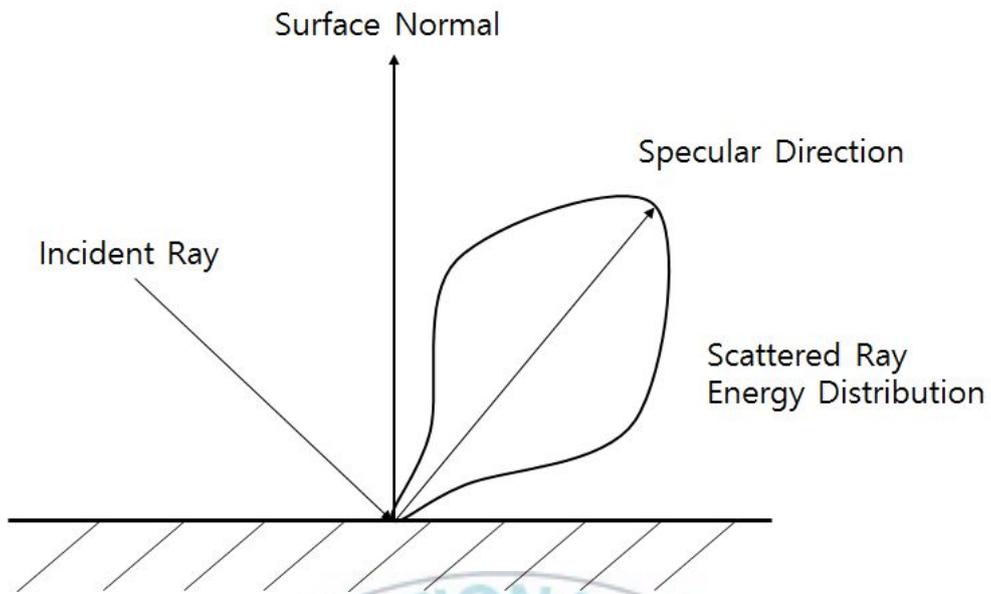
$\theta_s$  = the angle of exit of the scattered ray

여기서  $\theta_i$ 는 입사 광선의 입사각을 나타내고,  $\theta_s$ 는 산란된 광선의 출사각이다. 따라서, Lambertian 산란의 경우 최종적인 산란값은 다음과 같은 함수로 주어진다.

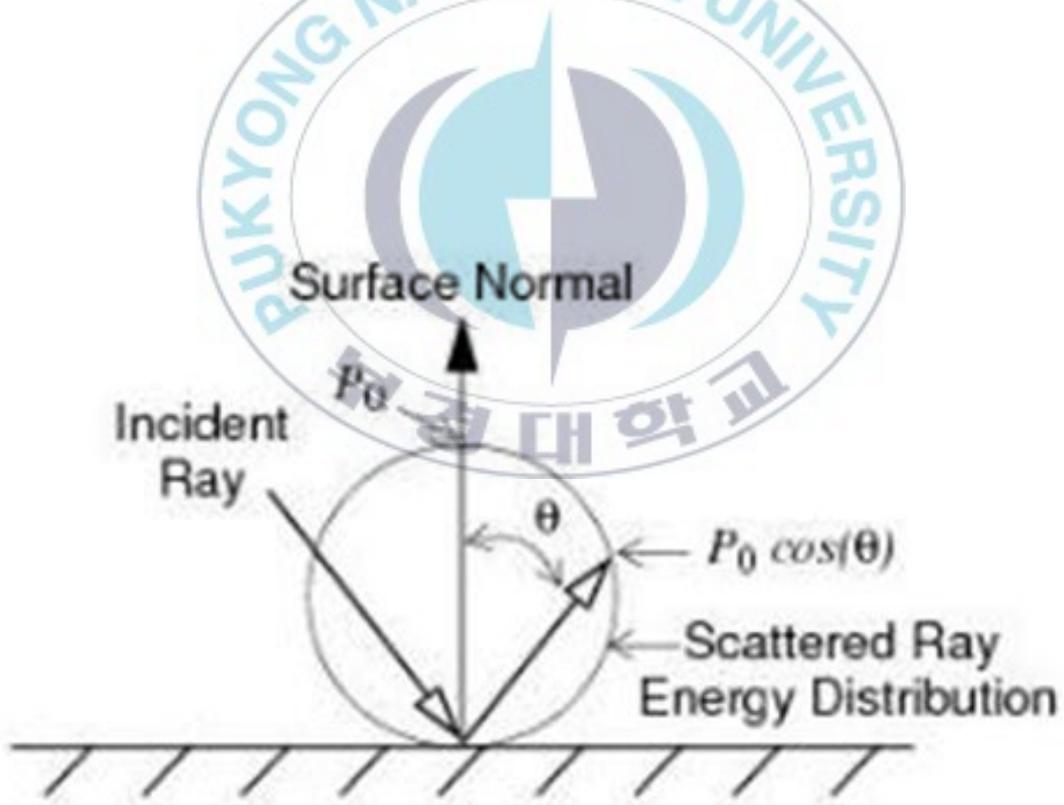
$$P(\theta) = P_0 \cos(\theta) \quad (3.2)$$

이를 그림으로 나타내면 [그림 34]와 같다.  $P_0$ 는 표면에서 수직으로 입사한 광선의 세기이고 Lambertian 산란이 일어난 광선의 방향과 세기는 코사인 함수에 의존함을 보여 주고 있다. 즉, 산란 광선이  $0^\circ$ 에서는 가장 강한 빛이 그리고  $90^\circ$ 갈수록 점점 줄어들어 모든 방향에서 골고루 퍼진 에너지 분포가 둥근 모양을 나타내고 있다.[18]





[그림 36] 일반적인 빛의 산란 에너지 분포[19]



[그림 37] Lambertian 산란 에너지 분포[19]

## (2) Gaussian Scattering

Gaussian 산란이란 입사각에 대해 출사 광선의 출사각이 특정한 방향을 가지며 거울 반사 또는 아주 좁은 각도의 산란 분포를 가지는 경우를 말한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

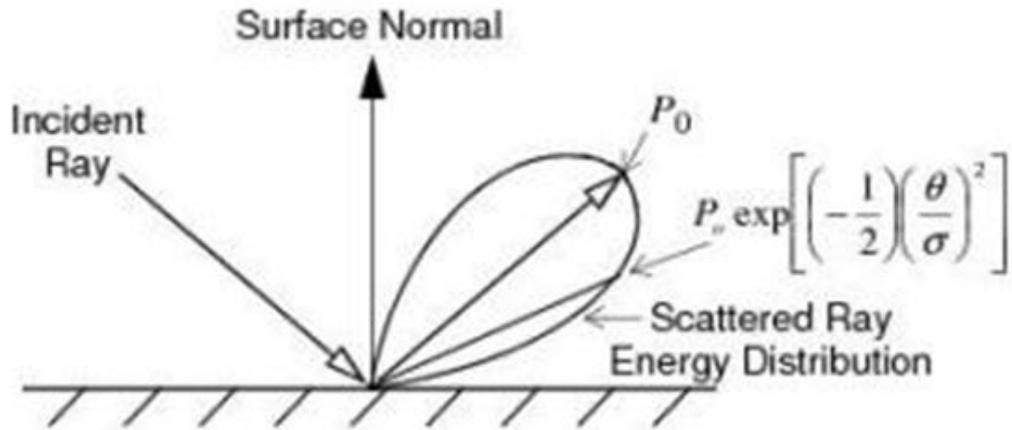
$$P(\theta) = P_0 \exp\left[\left(-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\theta}{\sigma}\right)^2\right] \quad (3.3)$$

$P(\theta)$  = intensity in the  $\theta$  direction

$P_0$  = intensity in the specular direction

$\sigma$  = standard deviation of the Gaussian distribution, in degrees

여기에서  $P(\theta)$ 는  $\theta$ 방향의 세기이고  $P_0$ 는 반사 방향에서의 세기를 의미하며,  $\sigma$ 는 반사 방향을 따라 Cone 모양으로 모이는 광선을 1/2로 나눈 꼭지각을 의미한다. 이 값은 이론적으로  $1.18\sigma$ 이고 시뮬레이션에서는 필요한 시트의 종류에 따라 다양하게 변화시킬 수 있다. 이 분포도를 나타내면 [그림 35]와 같다. Gaussian 산란에서 산란된 광선들의 에너지 분포는 Lambertian에서와 달리 좁고 긴 모양임을 알 수 있다.[18]



[그림 38] Gaussian 산란 에너지 분포[19]

### (3) $\text{Cos}^N\theta$ Scattering

$\text{Cos}^N\theta$  산란의 에너지 분포는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$P(\theta) = P_0 \cos^N(\theta) \quad (3.4)$$

$P(\theta)$  = intensity in the  $\theta$  direction

$P_0$  = intensity in the specular direction

이 식에서  $N$ 이 커질수록 반사광선의 분포는 더욱 좁아지면서 거울 반사에 가깝게 된다. 만약,  $N=1$ 이라면 Lambertian 산란 함수와 동일한 식임을 알 수 있다.[18]

## 나. 각분해산란(ARS)과 양방향산란분포함수(BSDF)의 원리

[그림 36]에서와 같이  $\theta_i, \phi_i$  방향으로 입사한 빛이 시료표면에서  $\theta_s, \phi_s$  방향으로 산란될 경우, 표면의 산란특성은 각분해산란(angle resolved scattering, ARS) 함수로 나타낼 수 있다. 각분해산란함수는

$$ARS(\theta_s, \phi_s, \theta_i, \phi_i) = \frac{\Delta\Phi_s(\theta_s, \phi_s)/\Delta\Omega_s}{\Phi_i(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] \quad (3.5)$$

과 같이 정의 할 수 있고, 단위는  $[sr^{-1}]$ 이다. 여기서  $\Delta\Phi_s/\Delta\Omega_s$ 는 입체각으로 산란되어 나가는 복사선속이고,  $\Phi_i$ 는 입사하는 복사선속 이다. 즉, 각분해산란은 입사각도에 따라 단위입체각으로 나가는 산란 복사선속을 말한다. 시료에서 산란되어 나가는 복사 광도를 표현하면

$$I_s(\theta_s, \phi_s) = \frac{\Delta\Phi_s(\theta_s, \phi_s)}{\Delta\Omega_s} [cd] \quad (3.6)$$

와 같다. 이 식으로 각분해산란함수는

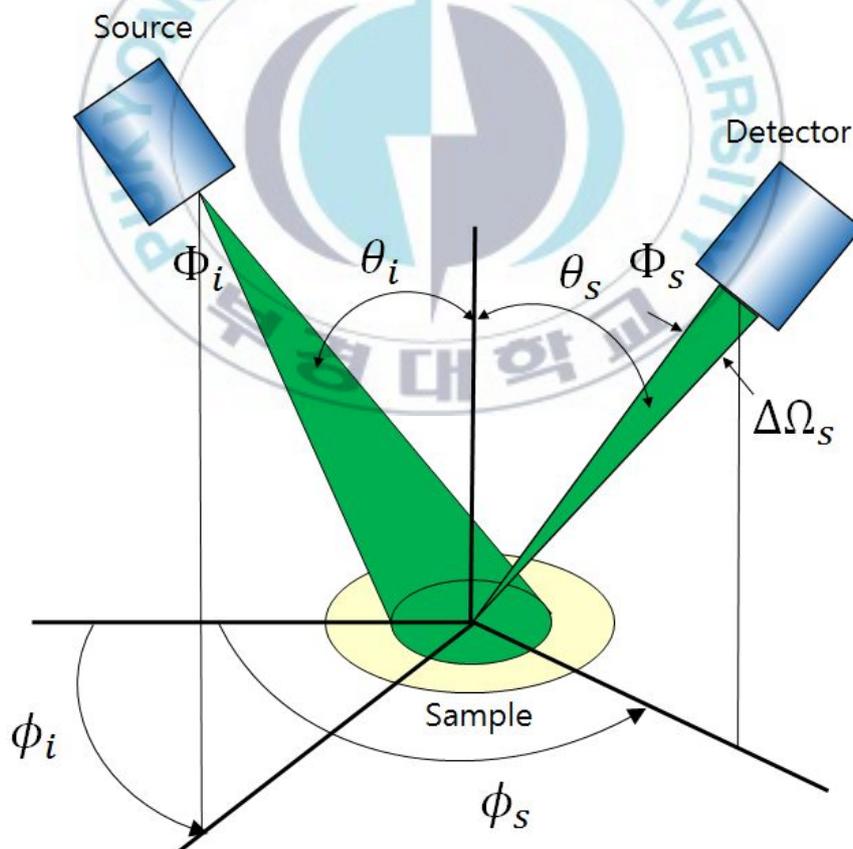
$$ARS(\theta_s, \phi_s, \theta_i, \phi_i) = \frac{I_s(\theta_s, \phi_s)}{\Phi_i(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] \quad (3.7)$$

로 쓸 수 있다. 즉, 각분해산란함수는 입사선속에 대한 산란 광도의 비이며 입사 복사선속의 크기가 커질수록 산란 광도도 커짐을 뜻 한다.

표면의 산란특성을 표현하는 다른 함수로는 양방산란분포함수 (bidirectional scattering distribution function, BSDF)가 있다. 양방산란분포함수는

$$BSDF(\theta_s, \phi_s, \theta_i, \phi_i) = \frac{L_s(\theta_s, \phi_s)}{E_i(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] \quad (3.8)$$

과 같이 정의하며, 단위는 ARS와 같은  $[sr^{-1}]$ 이다. 여기서  $L_s [W/(sr \cdot m^2)]$ 는 산란광의 복사휘도 이고,  $E_i [W/m^2]$ 는 입사광의 복사조도이다.



[그림 39] 산란 함수 좌표계[20]

입사 복사조도와 산란 복사휘도를 정량적으로 계산하면

$$E_i = \Phi_i / \frac{A_i}{\cos\theta_i} \quad [W/m^2] \quad (3.9)$$

$$L_s = \frac{\Delta\Phi(\theta_s) \left( \frac{\Delta A_s}{\cos\theta_s} / \frac{A_i}{\cos\theta_i} \right)}{\Delta A_s \cdot \Delta\Omega} \quad [W/(m^2 \cdot sr)] \quad (3.10)$$

로 표현 할 수 있다. 여기에서  $\frac{A_i}{\cos\theta_i}$ 는 시료의 입사면적이고,  $\frac{\Delta A_s}{\cos\theta_s}$ 는 수광면적이다. 수광면적에서 나가는 복사선속은  $\Delta\Phi(\theta_s) \left( \frac{\Delta A_s}{\cos\theta_s} / \frac{A_i}{\cos\theta_i} \right)$  이다. 식 (3.9)와 식 (3.10)를 양방향산란분포함수의 정의를 이용하여 정리하면

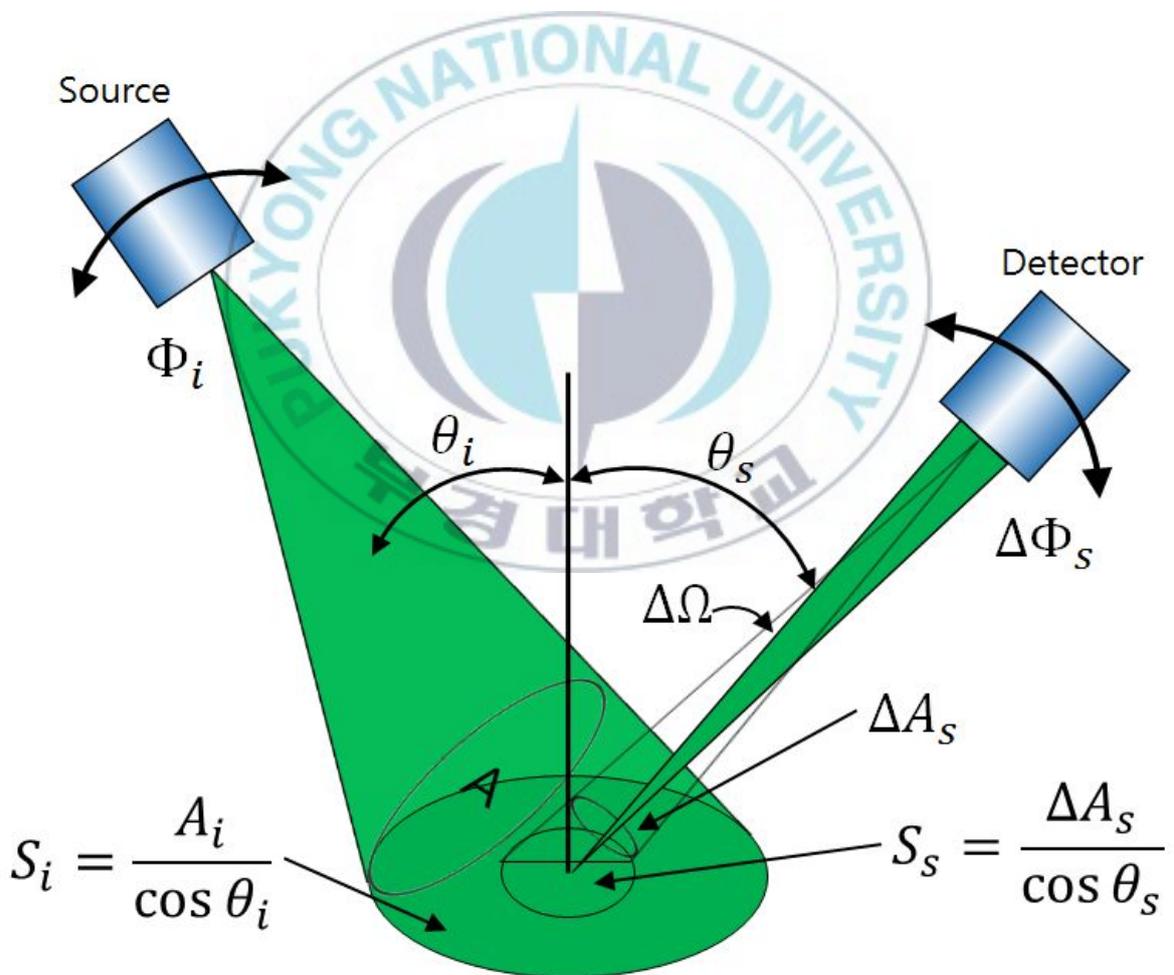
$$\begin{aligned} BSDF = \frac{L_s}{E_i} &= \frac{\frac{\Delta\Phi_s(\theta_s)}{\Delta\Omega} \left( \frac{\Delta A_s}{\cos\theta_s} / \left( \frac{A_i}{\cos\theta_i} \cdot \Delta A_s \right) \right)}{\Phi_i / \frac{A_i}{\cos\theta_i}} \quad (3.11) \\ &= \frac{\Delta\Phi_s(\theta_s) / \Delta\Omega}{\Phi_i \cdot \cos\theta_s} [sr^{-1}] \end{aligned}$$

가 된다. 즉 양방향산란분포함수는 단위 투영 입체각으로 나가는 산란 복사선속이다. 각분해산란함수와 양방향산란분포함수의 차이는, 각분해산란에서는 입체각을 사용하고, 양방향산란분포함수에서는 투영된 입체각을

사용한다는 것이다. 따라서 식 (3.7)과 식 (3.11)로부터 양방향산란분포함수는

$$BSDF = \frac{ARS}{\cos \theta_s} [sr^{-1}] \quad (3.12)$$

로 표현할 수 있다.



[그림 40] 입사면적과 수광면적[20]

양방향산란분포함수는 반사산란과 투과산란으로 나누어지는데, 반사산란의 경우 양방향반사율분포함수 (bidirectional reflectance distribution function, BSDF)라 하며,

$$BRDF(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i) = \frac{L_r(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i)}{E_i(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] \quad (3.13)$$

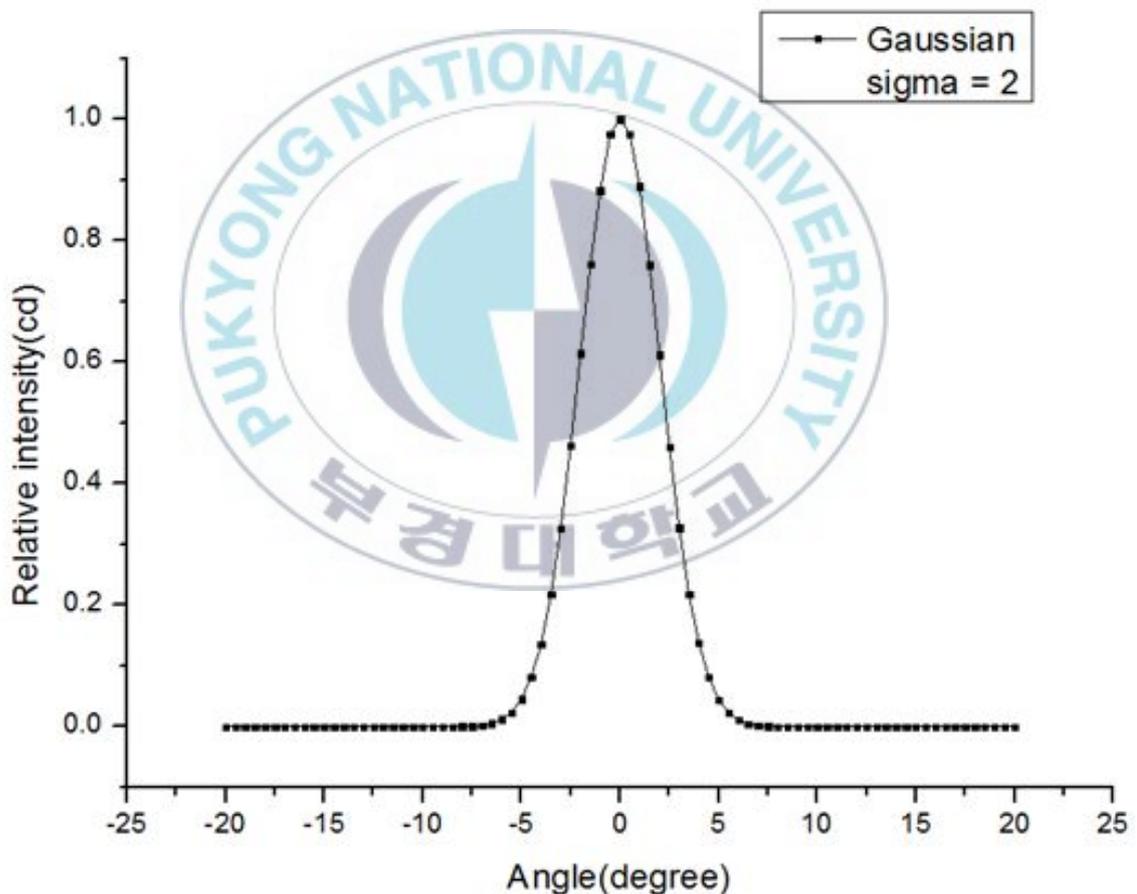
과 같이 정의되고, 투과산란의 경우 양방향투과율분포함수 (bidirectional transmittance distribution function, BTDF)라 하며,

$$BTDF(\theta_t, \phi_t, \theta_i, \phi_i) = \frac{L_r(\theta_t, \phi_t, \theta_i, \phi_i)}{E_i(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] \quad (3.14)$$

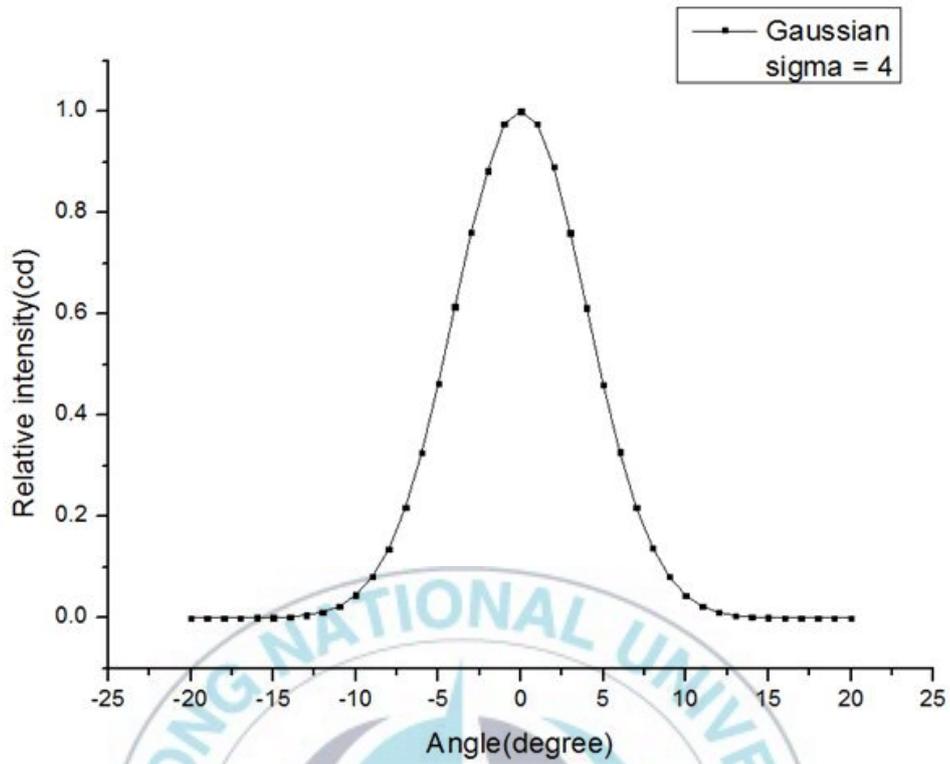
와 같이 정의된다.[20]

#### 다. 확산 시트의 종류

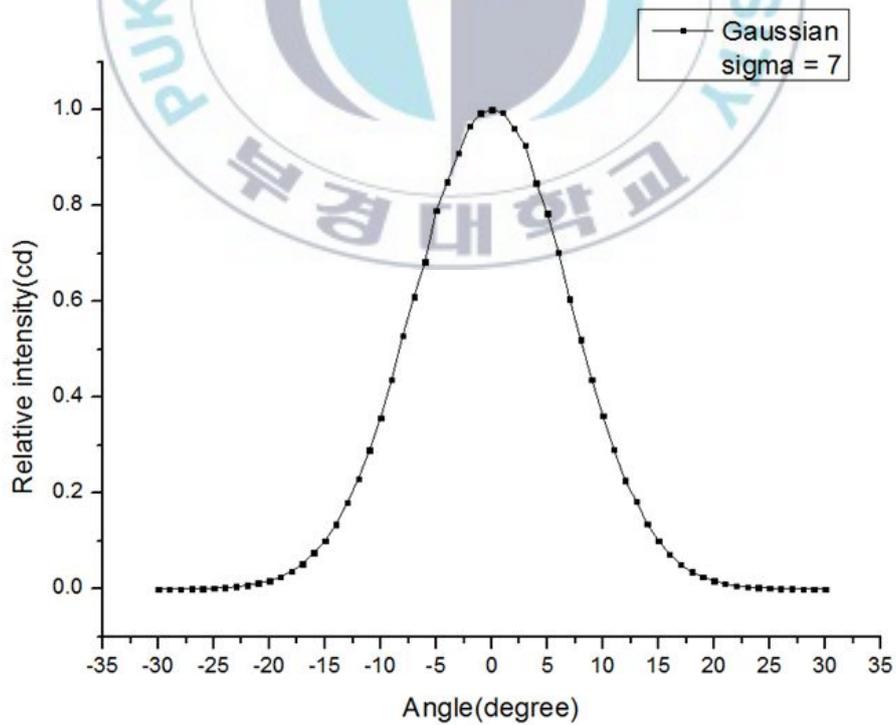
전방향으로 발광하는 LED bulb 시뮬레이션을 완성하기 위해 마지막으로 반사판에 의해 반사된 빛을 후방으로 산란시켜 주어야 한다. 산란시키는 방법으로 산란특성가진 확산판을 사용한다. 확산판의 산란특성에는 Lambertian Scattering, Gaussian Scattering,  $\text{Cos}^N\text{th}$  Scattering이 있다. 이 중 Gaussian Scattering의 식에서  $\sigma$ 의 값을 2, 4, 7로 변화 시켜 시뮬레이션을 하였다.



[그림 41] Gaussian Scattering  $\sigma = 2$  (Normalized)



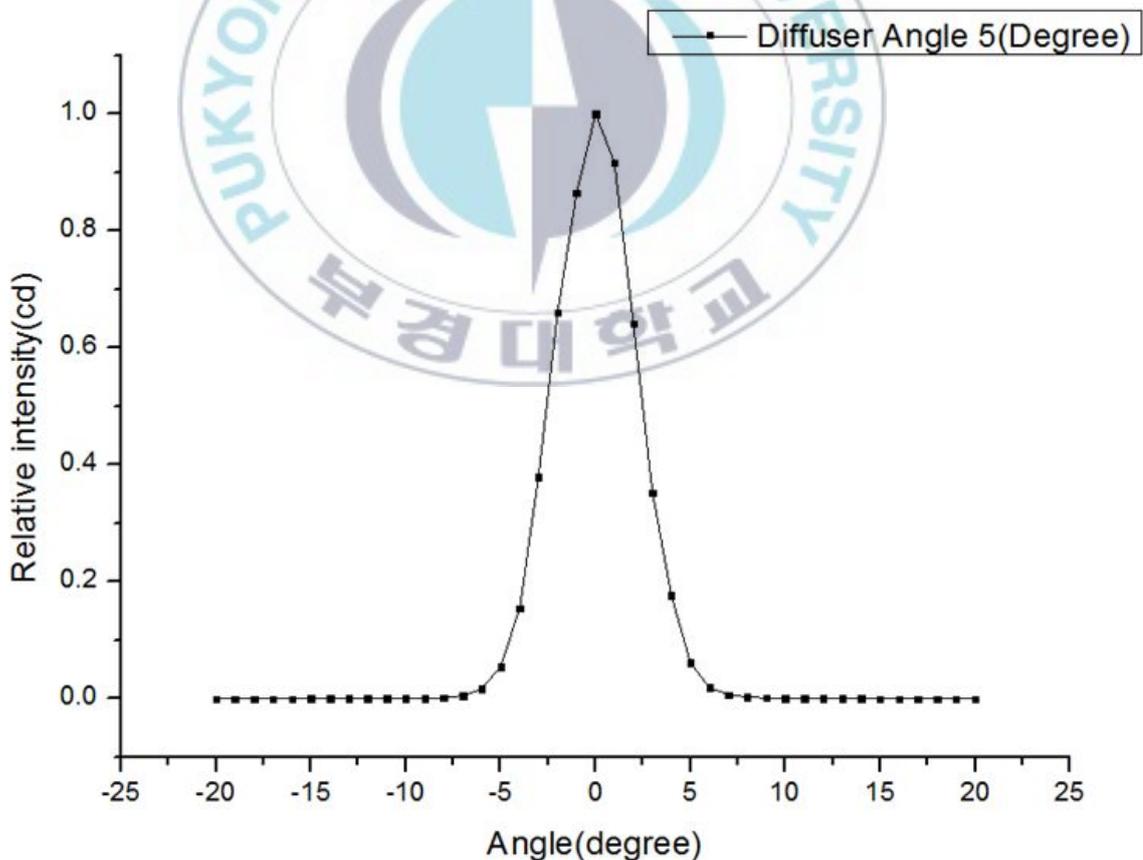
[그림 42] Gaussian Scattering  $\sigma = 4$  (Normalized)



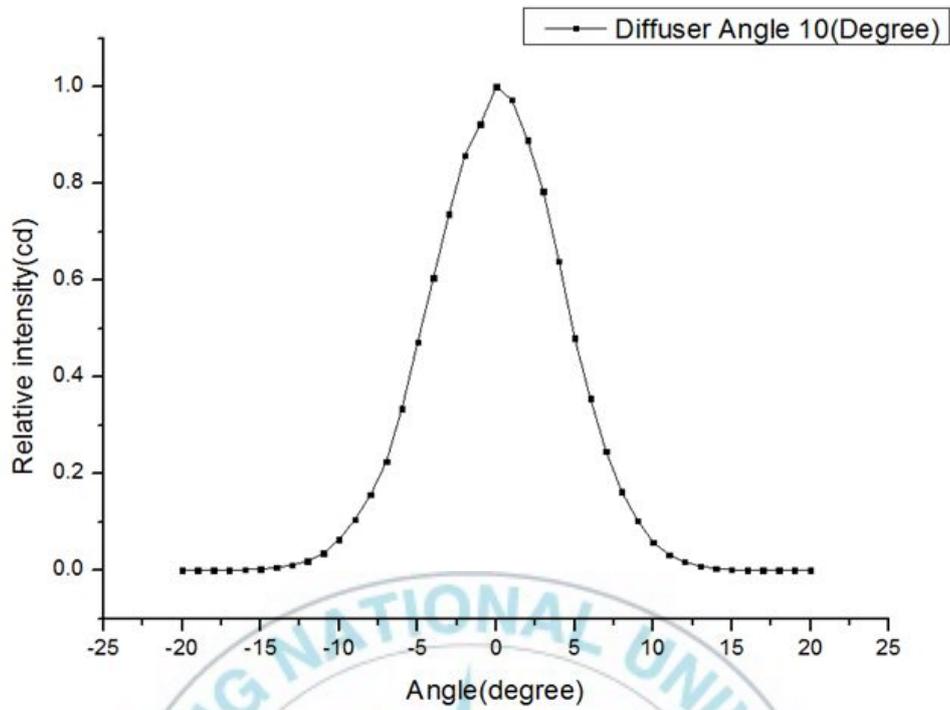
[그림 43] Gaussian Scattering  $\sigma = 7$  (Normalized)

[그림 38], [그림 39], [그림 40]은 Gaussian Scattering의  $\sigma = 2, 4, 7$  의  $0^\circ \sim 180^\circ$  면을 표현한 상대 광도 값이다. 그림을 보면  $\sigma$  값이 커질수록 광도 폭이 점점 커짐을 알 수 있다. 후방으로 산란을 주기위해선 이 와 같이 산란값을 변화 시켜야 최적의 값을 시뮬레이션 할 수 있다.

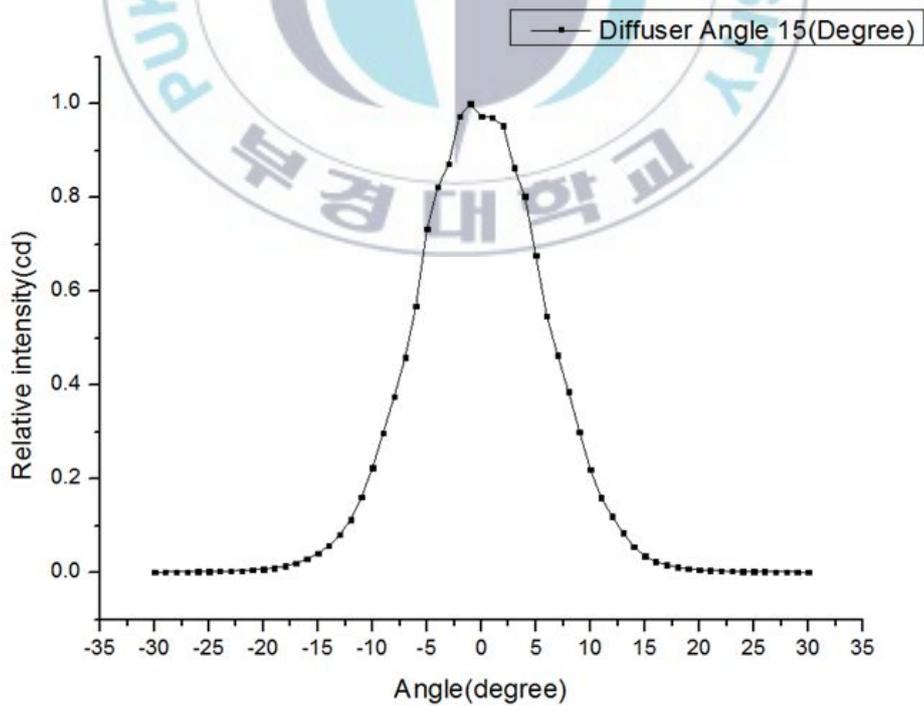
위의 산란특성은 이론적인 값이기 때문에 실제 확산판의 값과 많이 다를 수 있다. 이론값과 실제 확산판값을 비교하기 위해서 Gaussian Scattering과 매우 근접한 특성을 가진 Edmond사의 Holographic Diffusers를 사용하였다. 이 확산판의 산란특성 중 Gaussian Scattering  $\sigma = 2, 4, 7$ 과 유사한 확산각  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ 를 BSDF로 BTDF를 측정 하였다.



[그림 44] 확산각  $5^\circ$  BTDF 측정값 (Normalized)



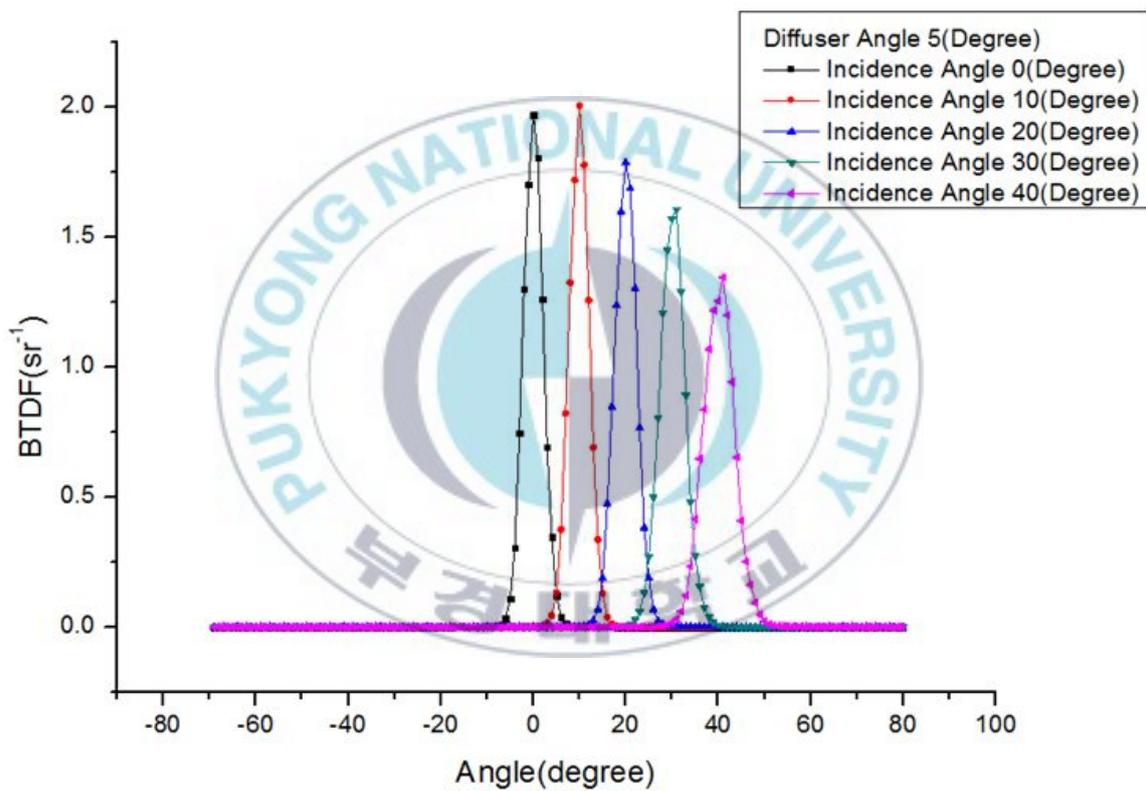
[그림 45] 확산각 10° BTDF 측정값 (Normalized)



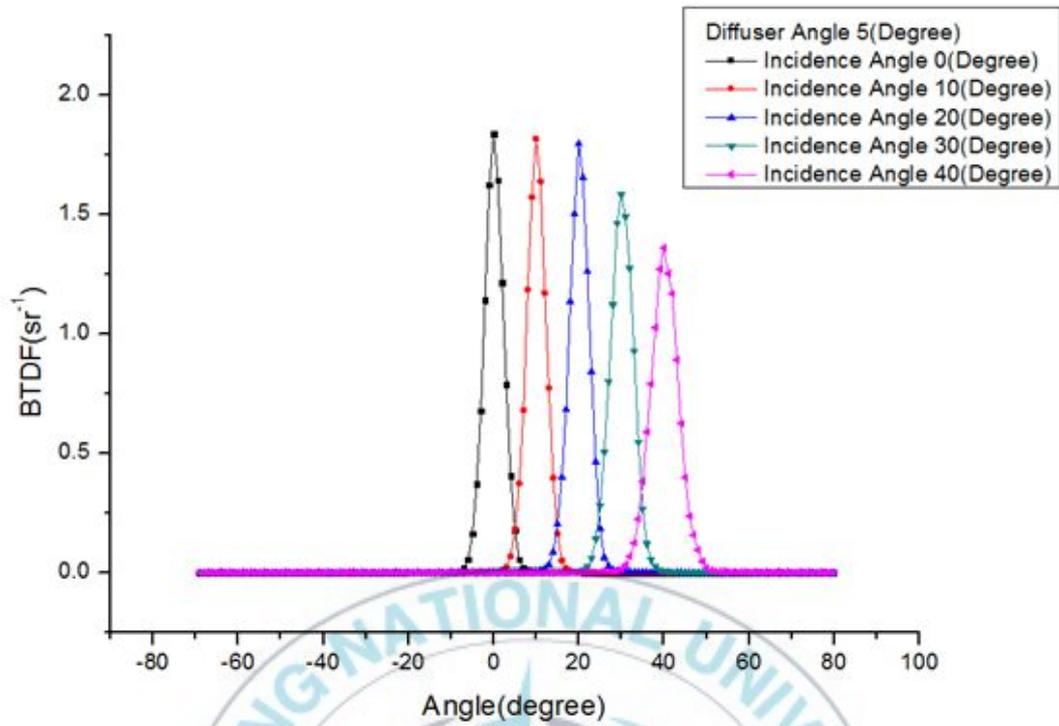
[그림 46] 확산각 15° BTDF 측정값 (Normalized)

[그림 41], [그림 42], [그림 43]은 확산판의 BTDF값을 Normalized를 시킨 그래프이다.

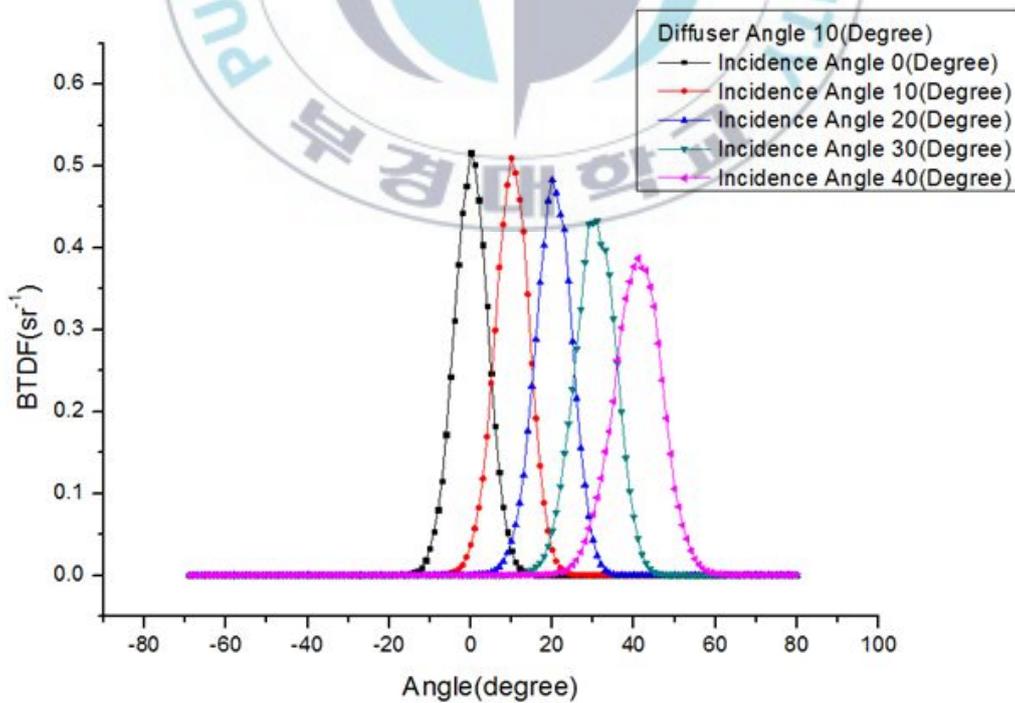
시뮬레이션을 실행하기 위해서는 확산판의 입사각과 Azimuth축을 변형해야 한다. 각각 확산판당 입사각은 0°, 10°, 20°, 30°, 40°와 Azimuth 축은 0°, 90° 값을 사용하였다.



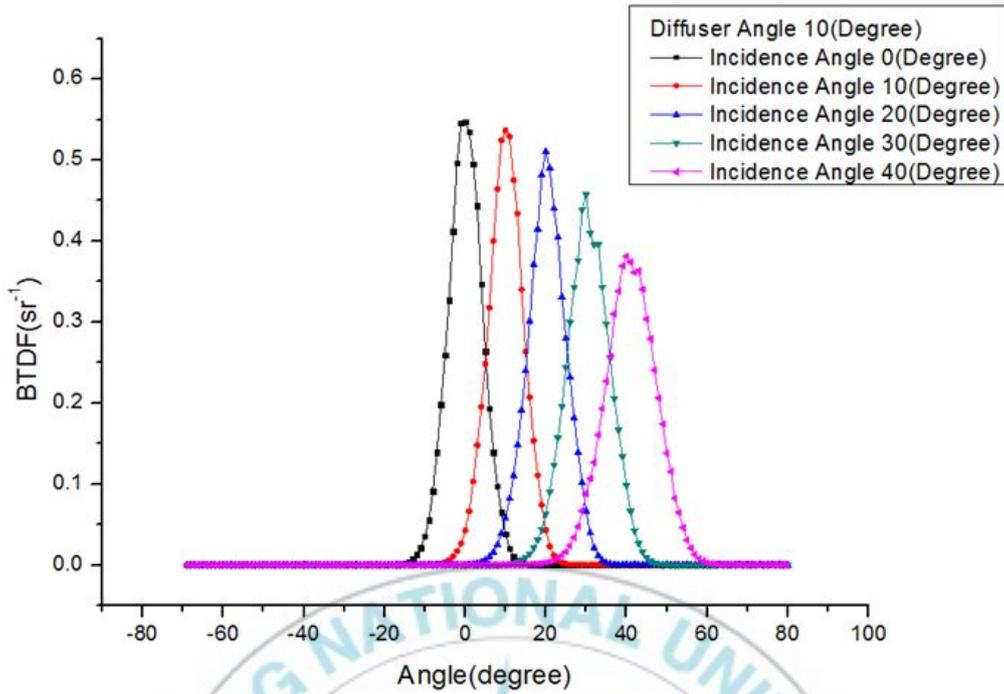
[그림 47] 확산각 5° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0°



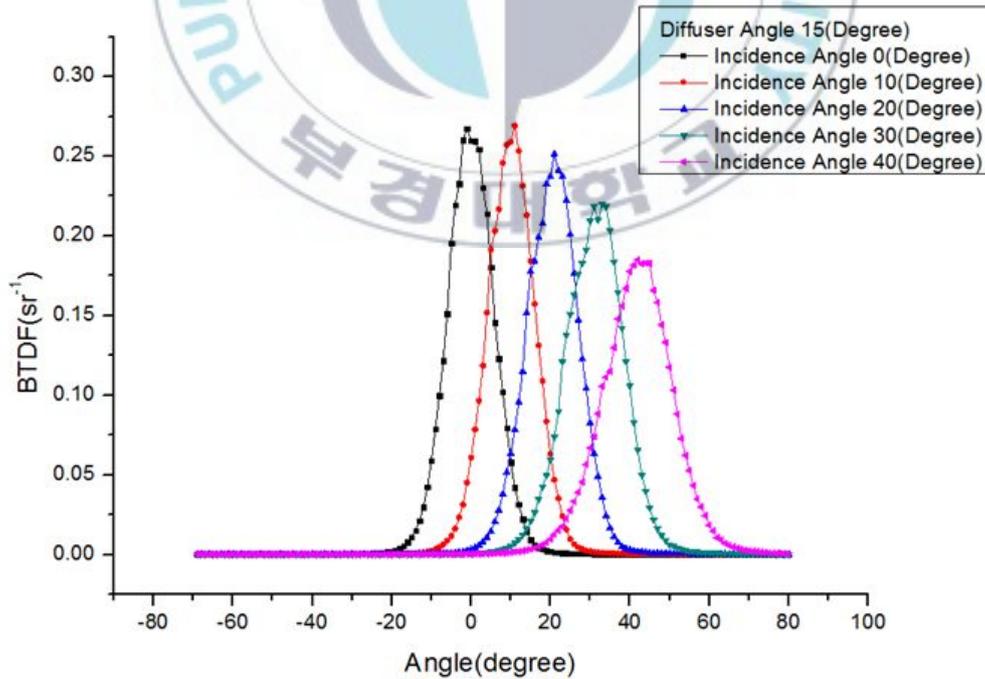
[그림 48] 확산각 5° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90°



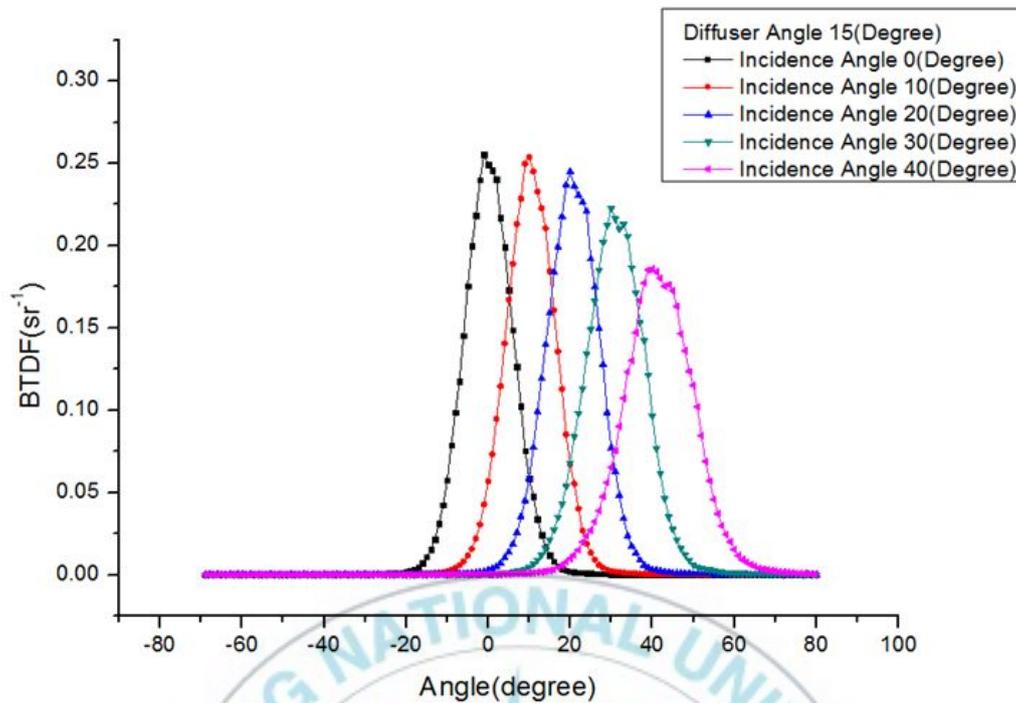
[그림 49] 확산각 10° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0°



[그림 50] 확산각 10° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90°



[그림 51] 확산각 15° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 0°



[그림 52] 확산각 15° 입사각 : 0°, 10°, 20°, 30°, 40° Azimuth : 90°

마지막으로 확산판의 투과율과 반사율을 측정하기 위해 분광반사율 측정기로 확산판의 투과율과 반사율을 측정하였다.

	T(%)	R(%)
확산각 5°	89.84	7.23
확산각 10°	88.83	7.56
확산각 15°	89.26	7.22

[표 7] 확산각의 종류에 따른 투과율과 반사율

투과율과 반사율을 합하면 100%가 된다. 하지만 투과율과 반사율을 합하였을 때 100%가 되지 않는다면, 나머지는 흡수율이 된다.

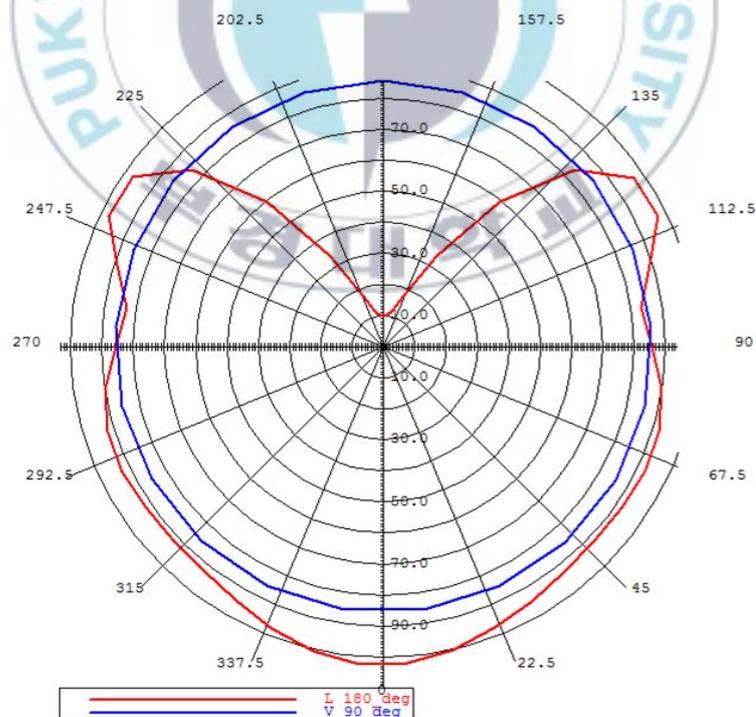
## 제 4 장 시뮬레이션 결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 배광 결과

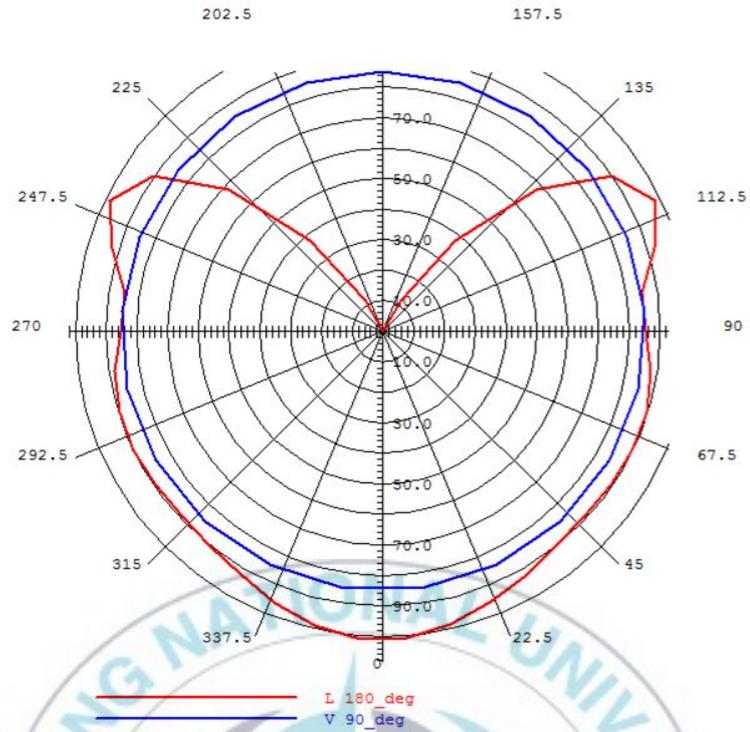
위에서 설계한 LED 광원, 덮개의 형태, 반사판의 위치 그리고 확산판의 산란특성을 종합하여 시뮬레이션 배광 결과를 분석하였다.

#### 가. Gaussian Scattering 이론값 시뮬레이션 배광 결과

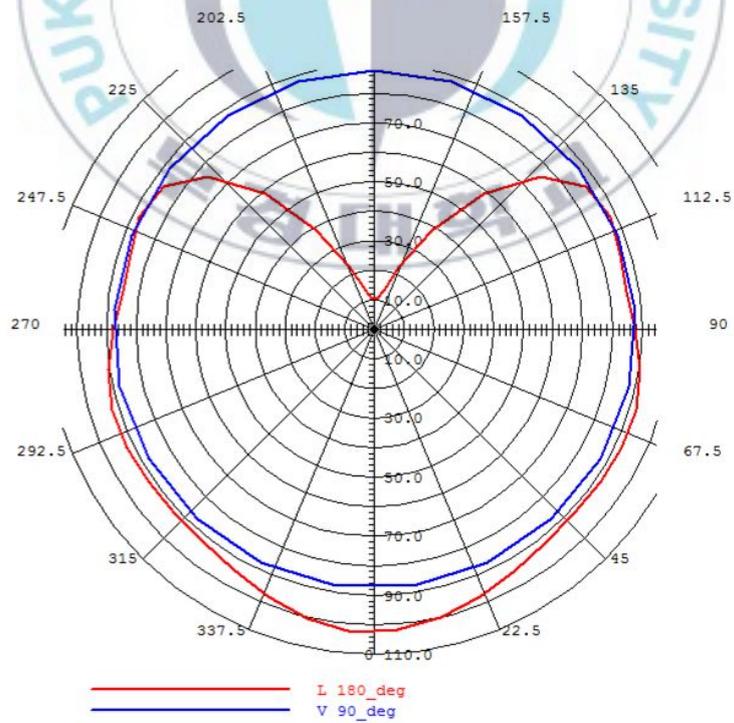
확산판의 산란특성인 Gaussian Scattering의  $\sigma = 2, 4, 7$ 을 대입 후 시뮬레이션 결과 아래와 같은 배광을 얻었다.



[그림 53] 산란특성 Gaussian Scattering  $\sigma = 2$  배광



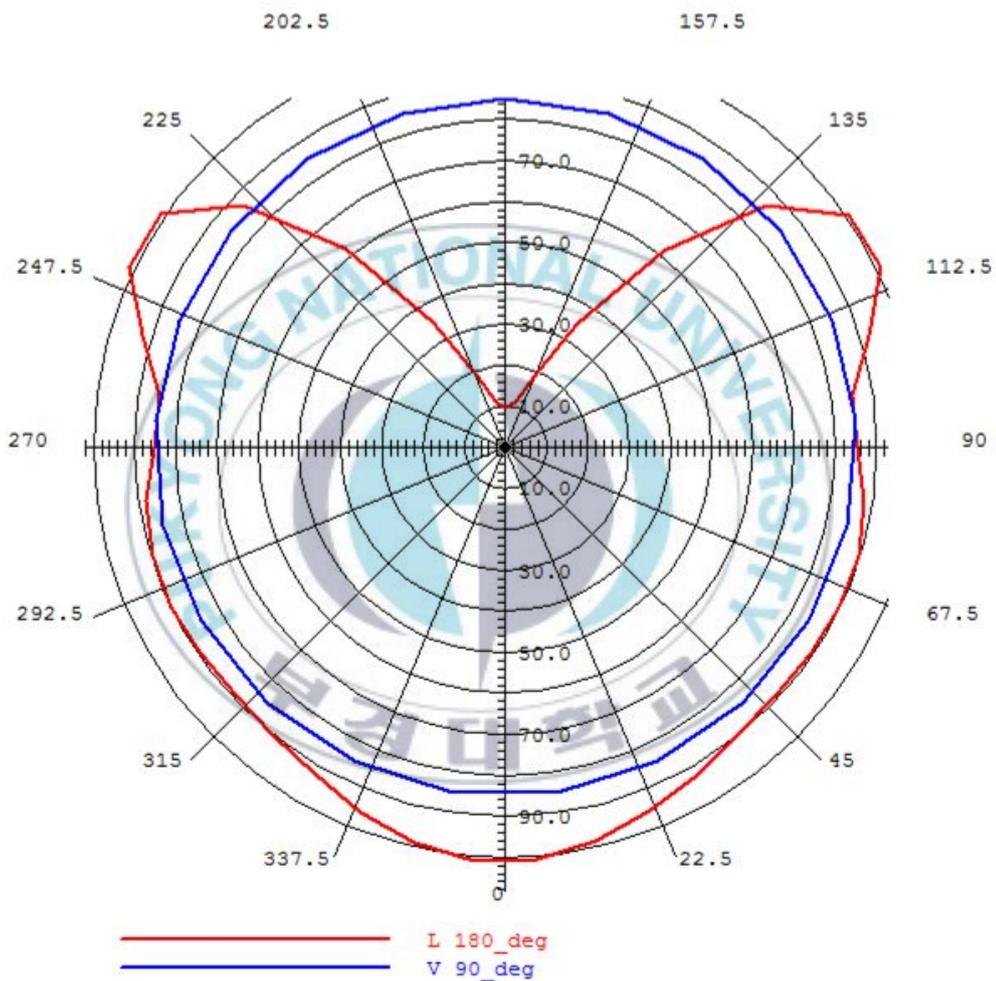
[그림 54] 산란특성 Gaussian Scattering  $\sigma = 4$  배광



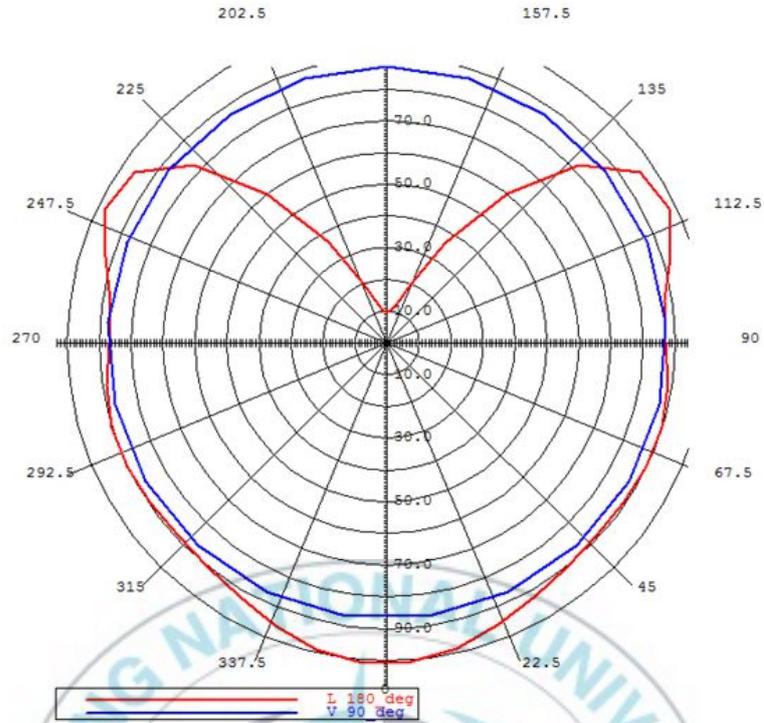
[그림 55] 산란특성 Gaussian Scattering  $\sigma = 7$  배광

## 나. 실제 확산판 시뮬레이션 배광결과

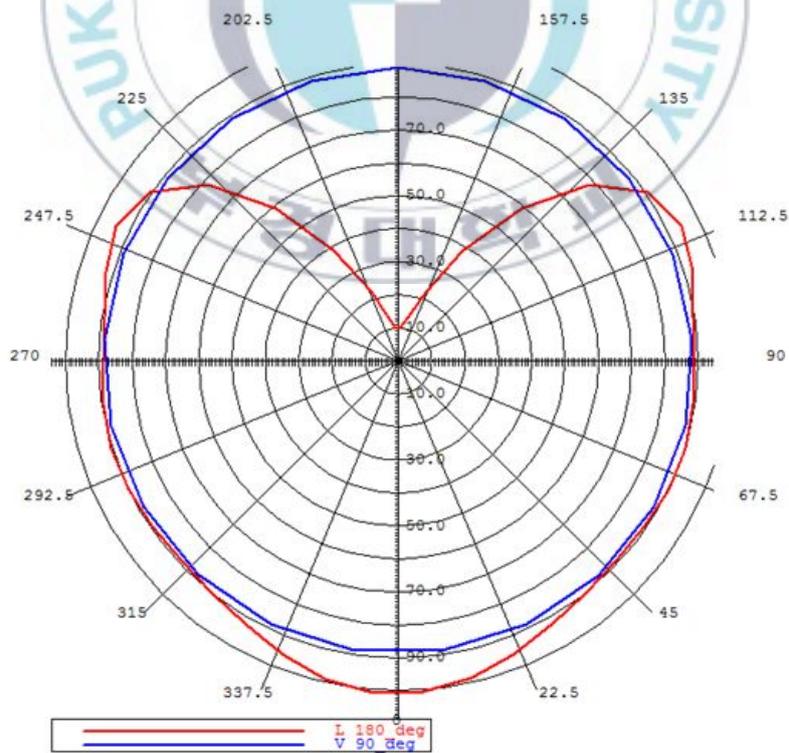
실제 확산판의 확산각 5°, 10°, 15°를 BSDF로 측정된 BTDF값으로 시뮬레이션 배광 결과는 아래와 같다.



[그림 56] 실제 확산각 5°의 배광



[그림 57] 실제 확산각 10°의 배광



[그림 58] 실제 확산각 15°의 배광

## 4.2 시뮬레이션 배광 및 색좌표 분석

4.1에서의 (가), (나)에 데이터를 Energy Star의 “Integral LED Lamp” 규격 중에 배광이 만족하는지 아래 표로 정리 하였다.

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
94.8	113.8	75.9	150.8	69.9
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1057.2	52.9	54.2		

[표 8] Gaussian Scattering  $\sigma = 2$  규격 적용 환산값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
93.9	112.6	75.1	122.0	75.6
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1052.1	52.6	60.6		

[표 9] Gaussian Scattering  $\sigma = 4$  규격 적용 환산값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
92.0	110.4	73.6	108.1	78.2
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1052.1	52.6	82.1		

[표 10] Gaussian Scattering  $\sigma = 7$  규격 적용 환산값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
94.4	113.3	75.5	150.9	73.5
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1058.4	52.9	57.3		

[표 11] 확산각 5° 규격 적용 환산값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
93.4	112.1	74.7	120.5	80.7
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1054.1	52.7	63.5		

[표 12] 확산각 10° 규격 적용 환산값

균일도				
0° ~ 135°의 광도 평균값 [cd]	+20% [cd]	-20% [cd]	Max [cd]	Min [cd]
92.3	110.8	73.9	108.9	78.4
후배광				
총광속 [lm]	총광속의 5% [lm]	135° ~ 180° 광속 [lm]		
1048.8	52.4	69.8		

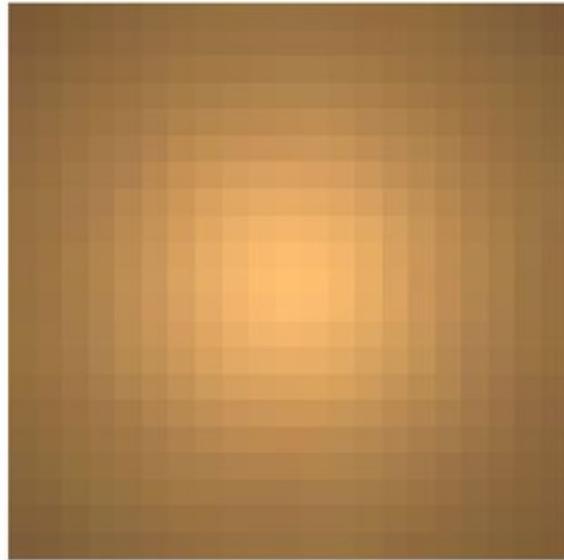
[표 13] 확산각 15° 규격 적용 확산값

Energy Star 규격에 배광 데이터를 적용한 결과 후배광인 135° ~ 180° 광속이 총광속의 5%를 만족해야 하는 결과는 모두 만족 하였다. 하지만 균일도면에서는 0° ~ 135°의 광도 평균값의 +20%, -20%에 둘 다 만족 하지 않는 것은 Gaussian Scattering  $\sigma = 2$ 와 확산각 5° 이다. 그리고 +20%, -20% 중에 -20%값은 만족했지만 +20%값이 더 많이 나와 만족 하지 않은 것은 Gaussian Scattering  $\sigma = 4$ 와 확산각 10° 이다. 마지막으로 이 두 가지를 만족한 것은 Gaussian Scattering  $\sigma = 7$ 과 확산각 15°이다.

색좌표는 우선 색온도가 판별이 되어야 색온도별 색좌표가 규격을 만족 하는지 알 수 있다. 위의 시뮬레이션 중 배광 규격에 만족하는 확산각 15°의 색온도를 확인 하였다.

	확산각 15°
색온도 [K]	2972

[표 14] 확산각 15°의 색온도

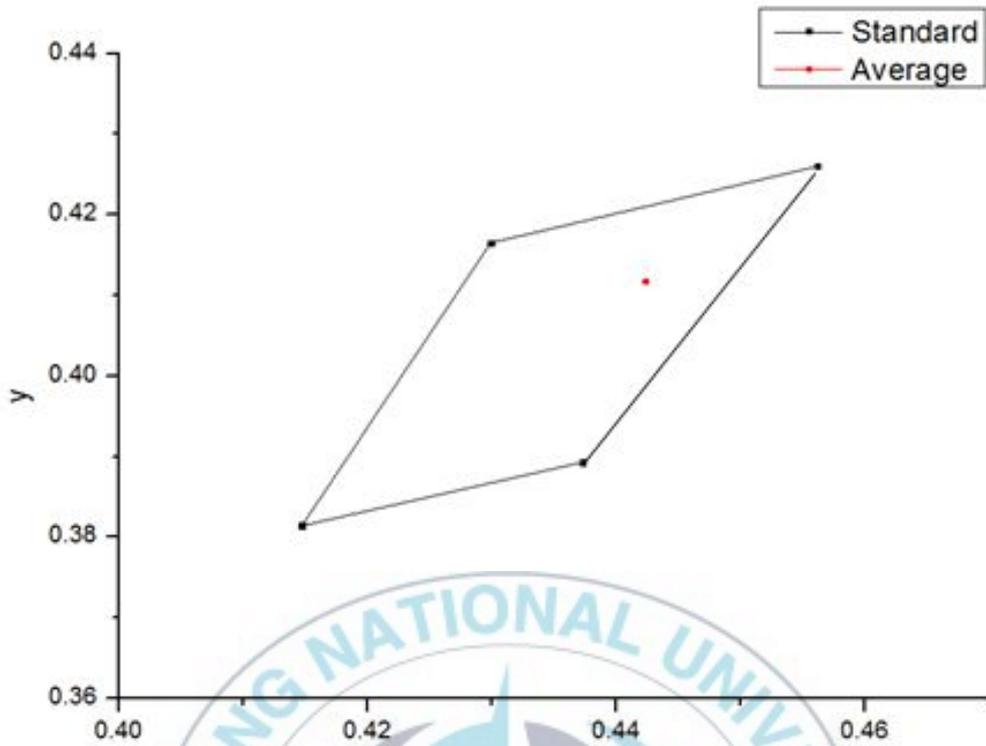


[그림 59] 확산각 15°의 색온도

색온도 값이 2972 K 이므로 3000 K 의 x, y 좌표 각각 4점의 포인트를 중심으로 시뮬레이션의 x, y좌표 Average 값을 확인하였다.

	Standard		Average	Smulation	
	x	y		x	y
1.	0.4562	0.4260		0.4424	0.4117
2.	0.4299	0.4165			
3.	0.4147	0.3814			
4.	0.4373	0.3893			

[표 15] x, y 좌표의 규격 4점과 시뮬레이션 Average 값



[그림 60] x, y 좌표의 규격 4점과 시뮬레이션 Average 값의 그래프

[그림 57]를 보면 4점 안에 Average 값이 속하기 때문에 규격에 만족함을 알 수 있다.

## 제 5 장 결론

본 논문은 전면으로 빛이 나가는 것이 아니라 전 방향으로 빛이 나가는 LED bulb를 광원, LED bulb 덮개의 형상, 반사판, 확산판을 사용하여 Energy Star 규격인 “Integral LED Lamps”에 만족하는 시뮬레이션 결과를 얻었다. 전 방향으로 보내는 방법으로 LED 광원은 COB 칩을 하나를 사용했으며, 덮개의 형상은 측면으로 퍼지는 원형이 아닌 후면으로 잘 보내는 타원형을 사용 하였다. 후면으로 반사하기 위해 반사판의 위치는 광원에서 최소 32°에서 최대 57° 사이의 면적에만 덮개 안쪽을 코팅하는 형식으로 불필요한 부분으로 반사되는 것을 막고 후면으로 빛이 많이 반사되게 하였다. 그리고 확산판을 사용하여 후면으로 나온 빛을 방향성 있게 확산시켰다. 확산판의 산란 특성 중에 Gaussian Scattering  $\sigma = 7$ 과 실제 D확산각 15°일 경우에 후면으로 방향성 있게 확산시켜 규격에 만족하여 시뮬레이션 결과가 나왔다. 위의 결과로 인해 설계를 하여 제품을 만든다면 규격에 만족하는 LED bulb를 얻을 수 있을 것이다.

## 감사의 글

동아리 활동으로 “LED-해양 융합기술 연구센터”와의 인연은 이미 시작되고 있었습니다. 그 계기로 석사 진학을 통해 광학설계팀에 배속 되면서 LED 광학 분야를 연구하게 되었습니다. 새로운 분야를 시작하면서 부족했던 것이 많은 저는 이번 논문 작성을 통해 많은 것을 배우고 또한 논문 하나를 완성하기 위해서는 끝임 없는 노력과 주위의 도움 없이는 안 된다는 것을 알았습니다.

센터에 적응하면서 주위에서 묵묵히 저를 바로 인도해주신 유영문 교수님 광학이 매력적인 것을 가르쳐준 정신적인 지주인 김근율 책임연구원님, 축정의 대가 박승근 선임연구원님, 빛공해의 달인 조상희 연구원님, 언제나 자상하게 제 말을 들어주시는 윤순화 연구원님, 지금은 센터에 있지는 않지만 저에게 많은 도움을 주셨던 강다일 연구원님과 맹필재 연구원님, 조명설계팀의 허인성 선임연구원님을 비롯해 이세일 연구원님, 이아람 연구원님, 행정팀의 김미나 행정선생님, 추초연 행정선생님 모두 감사하다는 말을 하고 싶습니다.

언제나 모자람이 있는 저에게 광학에 대한 올바른 지식을 가르쳐주시고 지도해주신 김종태 교수님께도 감사드립니다. 그리고 우리 든든한 석사 동기인 장준철과 정민주에게도 감사하다는 말을 전하고 싶고, 함께 어려운 고민도 나누었던 친구 김은옥에게도 감사하다는 말을 하고 싶습니다.

부산에 거주하면서 몸은 떨어있지만 마음만은 같이 있어 준 울산에 계신 우리 아버지, 어머니, 형 모두가 응원을 아낌없이 해주었기에 타지에 있음에도 불구하고 쓰러지지 않고 열심히 버텨냈습니다.

저는 이번 논문을 시발점으로 경험을 쌓아 완성도 있는 논문을 작성하고 사회에 도움이 될 수 있는 연구를 할 수 있게 노력할 것입니다. 이 논문

을 완성 할 수 있게 도움을 주신 모든 분들께 감사하다는 말씀을 드립니다.



## ■ 참고문헌

- [1] Youn-mi Park, Myung-koon Lee, “Feasibility Analysis on Replacing LED Lighting with Incandescent Bulbs in Public Institution”, Climate Change Research, Vol. 1, No.3, pp. 205~210, 2010.
- [2] Chi-hun Kim, “LED Light, To be the light of future”, LGERI Report, pp. 2-19, 3. Jun. 2009.
- [3] Gi-hoon Kim, Sung-joong Kim, Yu-sin Kim, Kyung-ho Shin, Hyun-sik Kim, Sang-bin Song, Min-ki Kwon, “A Study of Optical design of LED Bulb for Upper Hemispherical intensity distribution from LED PKG on Flat PCB” The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 157-158, May. 2013.
- [4] Frank L. Pedrotti, Leno S. Pedrotti, “Intodction to Optics” 2nd ed, Prebtice-Hall, 1992.
- [5] 박성준, 빛의 이해
- [6] Eugene Hecht, “Optics” 4th ed, Addison-Wesley, 2002.
- [7] 맹필재, “LED 광원을 이용한 항해등 조명광학계 개발”, 부경대학교 석사 학위논문, 2014.
- [8] D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, “Principles of physics” 9th ed, John

wiley & Sons, 2011.

[9] In-tae Kim, An-seop Choi, “Analysis on the Range of White Light according to MacAdam Ellipses Steps”, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 108-109, 19. Oct. 2012.

[10] “Program Requirements for Integral LED Lamps Eligibility Criteria - Version 1.4”, United States Environmental Protection Agency, 2012.

[11] 황명근, 안수호, 반기현, 백승욱, “LED조명 광학설계 이론 및 활용 I”, A-Jin, 2010.

[12] Yu-sin Kim, Ho-june Bae, Gi-hoon Kim, Hyun-sik Kim, Sang-bin Song, “Analysis of the Electrical and Optical Properties in Omnidirectional LED Bulbs by Energy Star”, Journal of KIEEME vol. 25, No.9, 99. 750-754, Sep. 2012.

[13] E.FredSchubert, “Light-Emitting Diodes” 2nd ed (Hongreung Science Pub. Co., 2011.

[14] LED 조명추진협의회 “LED 조명 핸드북”, 성안당, 2011.

[15] Bum-sik Seo, Ki-joung Lee, Young-seek Cho, dea-Hee Park, “A Study on Improving the Efficiency of a Heat Dissipation Design for 30W COB LED Light Source” Journal of KIEEME, pp. 158-163, Feb. 2013.

[16] “XLamp CXA1512 LED data sheet”, Cree, 7, Nov. 2014.

[17] Li Zhou, Kai Chju Wu, Enboa Wu, “OMNI REFLECTIVE OPTICS FOR WIDE ANGLE EMISSION LED LIGHT BULB”, 국가 : US 공개번호 : 2012-0300453 문헌종류 : A1, Hong Kong Applied Science and Technology Research Institute Company Limited, 2012.

[18] Gyeong-ju Park, “Optical Design and Characterization of LCD Backlight Unit with RGB LEDs”, Yeungnam University, Graduate School, Partment of Physics, June, 2012.

[19] “LightTools Optical Properties help”, Synopsys.

[20] 최명조, “측각기를 이용한 확산체의 편광-양방향산란분포함수 측정” (인하대학교 석사학위논문, 2008)



# Illumination Optical System Design for LED Light Bulb

by Jae-hyun Jang

Department of LED Convergence Engineering, Specialized Graduate School  
Science & Technology Convergence,  
Pukyong National University

## Abstract

Illumination optical system designed for LED light bulb which emits light in all directions was simulated with satisfactory for Energy star standards. Components of the optical system, LED light source, the cover of the LED bulb, reflector, which is to confirm the diffuser plate, LightTools Software was used to design the illumination optics. The main point of the secondary optical system design, the location of the LED light source, the shape of the cover LED bulb, the location of the reflection plate, and the scattering properties of the diffusing plate. To a confidence that the simulation must measure the characteristics of the Components. So had measured Optical properties of the LED light source, the cover shape of the LED bulb, Scattering properties of the diffuser plate.

Mechanism of the LED bulb which emits light in all directions is reflected on the reflection plate which is coated on the light cover from the inside and is emitted from the light source is moving in the back ward reflected light is scattered by the diffuser plate. LED bulb has been designed to satisfy the standard light distribution and color specifications of the Energy star.