creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

공 학 석 사 학 위 논 문

LED array를 이용한 해상용 등명기 렌즈설계

2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

표 효 진

공 학 석 사 학 위 논 문

LED array를 이용한 해상용 등명기 렌즈설계

지도교수 김 종 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

표 효 진

표효진의 공학석사 학위논문을 인준함.

2009년 2월 25일

주　　심　공학박사　　허　　훈　　인

위　　원　공학박사　　김 종 수　　인

위　　원　공학박사　　김 종 태　　인

목 차

목차---------- i
그림 차례----------iv
표 차례----------vi
Abstract----------vii

제 Ⅰ장 서 론----------1
제 Ⅱ장 조명광학계 관련 배경 지식----------3
1. Radiometry Photometry----------3
가. Radiant Flux(복사선속)와 Luminous Flux(광선속)----------5
나. Radiant Intensity(복사광도)와 Luminous Intensity(휘도광도)--------7
다. Irradiance(복사조도)와 Illuminance(조도)----------8
라. Radiance(복사휘도)와 Luminance(휘도)----------10
2. Optical property----------13
가. Viewing angle (시야각)----------13
나. Radiation Pattern----------14
다. Spectrum Half-width----------16
3. CIE 표색계----------18
가. 색공간 (color space)----------18
나. 주파장 (Dominant Wavelength)----------21
다. 상관색온도----------22
라. 연색지수 (Color Rendering Index : CRI)----------22
4. 신호용 색채----------24
가. British Standard Signal Color----------25

제 Ⅲ장 등명기 렌즈 설계에 관한 기초적인 사항----------27
1. 렌즈설계식----------27
2. 표준구면 및 회전대칭 비구면 방정식----------31
가. 표준구면 방정식----------31
나. 회전대칭형 비구면 방정식----------32
(1) 타원 (Ellipsoid)의 방정식----------33
(2) 쌍곡면 (Hyperbola)의 방정식----------35
3. 등명기 광원으로서의 LED----------37
가. LED 광원의 특징----------37
나. LED 광원의 종류----------38
제 Ⅳ장 LED를 이용한 등명기의 광원부 설계----------41
1. 광원부 설계시 고려사항----------41
가. 광원의 세기----------41
나. 광원의 감쇠와 시인성----------42
다. Glare----------43
라. 신호의 색----------43
2. 5mm LED의 특성----------44
3. LED Array----------48
제 Ⅴ장 LED를 이용한 등명기의 렌즈부 설계 ----------53
1. 렌즈와 광원과의 관계----------53
2. 렌즈 설계----------57
가. Circle Lens----------57
나. Ellipse Lens----------61
제 Ⅵ장 LED Array를 이용한 등명기 설계 ----------65
1. Circle Lens를 이용한 회전렌즈----------65

2. 타원 Lens를 이용한 회전렌즈----------68
제 Ⅶ장 결론----------72
참고문헌----------74
감사의 글----------75

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

그림 차례

[그림 1] Total Flux Output ----------5
[그림 2] Radiant Intensity ----------7
[그림 3] Luminous Intensity ----------8
[그림 4] Irradiance ----------9
[그림 5] Illuminance ----------9
[그림 6] Radiance ----------11
[그림 7] Viewing Angle ----------13
[그림 8] Radiation Pattern ----------15
[그림 9] 광원의 스펙트럼 특성 ----------16
[그림 10] CIE 1931 xy chromaticity space ----------20
[그림 11] CIE 1976 UCS u'v' chromaticity space ----------20
[그림 12] 주파장(dominant wavelength) ----------21
[그림 13] British Standard Signal Color ----------25
[그림 14] 두꺼운 렌즈에 의한 결상 ----------28
[그림 15] 얇은 렌즈에 의한 결상 ----------29
[그림 16] 반지름인 R인 구 ----------31
[그림 17] 5mm LED ----------44
[그림 18] 5mm LED의 스펙트럼 ----------45
[그림 19] LED 5mm LED(Aglient HLMP_33031)의 배광특성 ----------46
[그림 20] 가상초점 ----------47
[그림 21] 65 EA LED Array 배광특성 ----------49
[그림 22] 70 EA LED Array 배광특성 ----------50
[그림 23] 75 EA LED Array 배광특성 ----------51
[그림 24] 80 EA LED Array 배광특성----------52
[그림 25] 렌즈와 발산각 ----------54
[그림 26] 렌즈의 작용 ----------55
[그림 27] 굴절 렌즈와 빛의 진로 ----------55
[그림 28] 프리즘의 빛의 진로 ----------56
[그림 29] 5mm LED와 설계된 circle 렌즈 ----------58
[그림 30] circle 렌즈에 의한 배광특성 ----------59
[그림 31] circle 렌즈에 의한 encircled energy ----------60
[그림 32] 5mm LED와 설계된 ellipse 렌즈 ----------61

[그림 33] ellipse 렌즈에 의한 배광특성 ----------63
[그림 34] ellipse 렌즈에 의한 encircled energy ----------64
[그림 35] 75개 LED + circle 회전렌즈 ----------66
[그림 36] circle 회전렌즈를 이용한 등명기의 배광특성 ----------67
[그림 37] circle 회전렌즈를 이용한 등명기의 encircled energy ---------68
[그림 38] 75개 LED + ellipse 회전렌즈 ----------69
[그림 39] ellipse 회전렌즈를 이용한 등명기의 배광특성 ----------70
[그림 40] ellipse 회전렌즈를 이용한 등명기의 encircled energy ---------71

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

표 차례

<표 1> Radiometry와 Photometry의 단위 비교 ----------12
<표 2> 스펙트럼의 특성을 나타내는 표현 ----------17
<표 3> British Standard Signal Color ---------- 25
<표 4> e, ε, k 의 관계 ----------34
<표 5> 5mm LED(Aglient HLMP_3301)의 특성 ----------44
<표 6> LED Array에 사용되는 LED의 개수에 따른 배치간격 ----------48
<표 7> Ellipse 렌즈의 특징 ----------62

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Lens Design of the Marine Lantern Using Light-Emitting Diodes Array

Hyo Jin Pyo

Department of Image System Engineering, The Graduate Shool, Pukyung National University

Abstract

Light Emitting Diode (LED) has good features; color, brightness, lifetime and so on. Because of this optical property of LED, the fields using LED are getting wider and wider. Marine lantern is one of them and the marine signal, so it plays an important role in marine safety. To improve the optical properties of this lantern, there are many ongoing studies on the marine lantern using LED. First, The LEDs array is arranged with the number and the interval of LEDs for light source of lantern. We designed the marine lantern using LEDs to improve the optical property of marine lantern. LED light source is arranged in a circle of 80 mm in radius and consists of 75 LEDs and emitted in 4πsteradian direction. And designed LED lens to readjust the light source and analyzed optical properties by using simulation. Lens of lantern is designed to satisfy specification of LED light source to emit far away. Designed lens for single LED has spherical shape and ellipse shape. Designed LED lens should be placed in front of each 75 LEDs. Assumed that the previously designed lens is ahead of one of 75 LEDs, and rotated lens for the center of the LEDs array.

제 Ⅰ장 서 론

발광다이오드인 LED(Light-Emitting Diode)는 저소비전력, 고휘도, 고속응답성, 친환경성 등의 특징을 가지고 있어 차세대 광원으로 주목받고 있다. 현재 LED가 이용되는 분야는 도로교통신호등, 가로등, 자동차 라이트 등으로 LED의 이용 분야가 점차 확대되고 있다. 특히 LED는 고휘도, 고속응답성, 단색성, 높은 시인성을 가지므로 신호로 사용되기에 적합한 광원이다. 현재 도로교통 신호등이 LED로 교체되고 있으며 LED 신호등을 어렵지 않게 접할 수 있게 되었다. 하지만 LED는 도로교통 신호뿐만 아니라 해상신호의 광원으로도 사용할 수 있으며 현재 LED를 해상신호에 적용하려는 예가 많이 있다.

본 연구는 해상신호 중의 하나인 등명기에 LED가 사용될 때, 광원으로 적합한 LED 배치와 이를 신호로 적합하게 사용되기 위한 등명기 렌즈 설계에 대해 다루어 기존의 등명기의 성능을 향상시키고자 하였다. 먼저 LED를 해상등명기의 광원으로 사용하기 위해서는 LED를 array로 배치하는데, 요구되는 밝기와 광원의 크기 등에 따라 LED의 사용개수와 배치간격이 조정된다. LED array를 사용한 광원이 정해지면 이를 보다 효율적으로 사용하기 위해 등명기용 렌즈가 설계되어져야 한다. 해상신호의 경우 광신호가 멀리까지 도달하여야 하므로 광원에서 나온 빛이 좁은 발산각을 가지도록 렌즈가 설계된다. 본 연구에서는 5mm의 LED 램프를 사용하여 LED array를 이루는 광원을 설계하였으며 LED array에 사용되는 LED의 개수에 따른 밝기와 발산정도를 비교하였다. 그리고 LED array의 렌즈를

설계하는데 있어 몇 가지의 렌즈의 형태에 따라 설계가 이루어졌다. LED의 array에 따른 광원의 특성과 렌즈에 의한 배광곡선의 조정을 이루어지고 난 뒤, 설계된 LED 해상등명기의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 그 결과 기존의 해상등명기보다 높은 광도를 가지며 좁은 발산각을 가지는 것으로 분석되어졌다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

제 Ⅱ장 조명광학계 관련 배경 지식

LED를 사용한 렌즈의 설계에서 가장 기본이 되는 것은 이러한 LED의 광학적 특성을 조절하기 위해 조명광학계에 대한 배경지식이 요구된다. 조명 광학계에 대한 사항 중 꼭 필요한 것들은 다음의 것들이 있다.

1. Radiometry Photometry

복사측정학(Radiometry)은 복사량을 측정하는 광학으로서 전자기 스펙트럼의 전체에 걸쳐 적용되는 반면에 측광학(Photometry)은 복사측정학의 한 부분으로 빛의 지각과 같이 사람의 눈에 의해 감지되는 스펙트럼의 일부에만 적용된다. 대부분의 복사측정학의 양들은 복사(Radiant)라는 수식어를 갖고 있으며 이것들을 나타내는 모든 기호에는 전자기(electromagnetic)를 나타내는 첨자 e를 붙인다. 그리고 대부분의 측광학의 양들은 발광(luminous)이라는 수식어를 가지고 있으며, 이것들의 모든 기호에는 시각(visual)을 나타내는 첨자 v를 붙인다. 파장이 λ인 단색광의 물리적인 세기를 나타내는 분광복사선속 세기(spectral irradiance ; $\varphi_{e,\lambda}$)의 분광 시감(spectral luminance ; $\varphi_{v,\lambda}$)으로 작용했을 때의 효율을 시감 효능(spectral luminous efficiency : $K(\lambda)$)이라 하며, 시감 효능은 (1)식과 같이 정의되

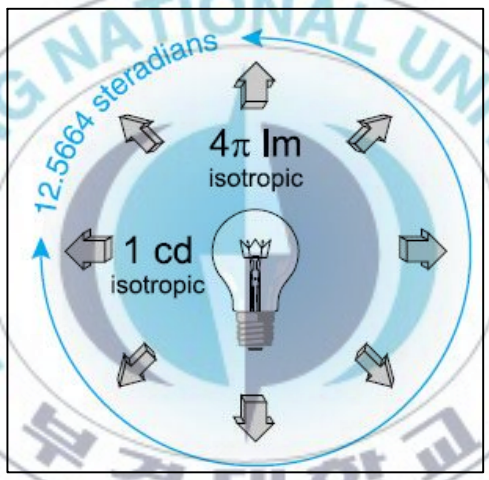
고, 단위는 lumen/Watt이다.

$$K(\lambda) = \frac{\varphi_{v,\lambda}}{\varphi_{e,\lambda}}$$

실제 사람의 눈은 전자기 스펙트럼의 일부분인 가시광 영역에만 반응한다는 사실은 측정에 두 가지 체계가 있어야 하는 것을 의미한다. 복사측정학에서는 어떤 일정한 방법으로 복사도를 측정하는 반면에 측광학에서는 사람의 눈이 가시광의 파장에 대한 반응을 고려한다. 하지만 사람마다 파장에 대한 반응이 다르므로 국제도량형위원회(CIPM) 에서는 1933년 표준시감 효능을 10nm간격으로 공표하였으며, 1972년에는 360nm부터 860nm까지의 영역에서 1nm 간격으로 공표하였다. 그 국제도량형위원회에서 공표한 표준시감 효능은 사람의 눈의 시력에 대한 밝기가 2 cd/m^2 이상인 보통의 밝기에서 적색에서 보라색까지 모든 광색을 인지할 수 있는 주간시력(Photopic vision)이라고 하는 표준시감효능 그리고 밝기가 0.01 cd/m^2 정도로 낮아지면 눈은 어두운 빛에 순응하여 청색을 적색보다 밝게 느끼는 야간시력(Scotopic vision)이라고 하는 표준시감효능으로 구분된다. 그림 1과 같이 주간 시력에서 눈의 감도는 555nm의 밝은 노랑에서 최대감도인 1인 반면에 야간시력에서는 507nm인 녹색으로 최대감도가 이동하기 때문에 짧은 파장에서 눈의 감도가 좋아진다. 이 현상은 발견자의 이름을 따서 Pukinje 현상이라 한다. 이 현상은 밝은 빛에 순응하고 있을 때 반응하던 망막의 원추(cone)세포의 반응이 약해지고 이것을 대신하여 간상(rod)세포의 반응이 커지기 때문이다.

가. Radiant Flux(복사선속)와 Luminous Flux(광선속)

전자파로서 전달되는 에너지를 총칭하여 방사라고 한다. 복사선속(Radiant Flux)이란 방사되는 에너지의 시간적 비율을 말한다. 같은 양의 빛이 단위시간동안 어떤 면이나 물체에 방사 또는 투과되었을 때 단위 시간에 일정한 면을 통과해 나온 방사에너지의 양을 복사선속(Φ)이라 한다. 단위는 와트(Watt : W)이다. (1 W = 1 J/s)



[그림 1] Total Flux Output

광선속(Luminous Flux, Φ_v) 단위시간에 전달되는 복사에너지를 시감적으로 측정하는 것으로 일반적으로 전광속 (Total Luminous Flux)의 개념으로 사용되기도 한다. 방사선속은 모두가 가시광선은 아니므로, 방사선속 중에서 빛으로의 느낌을 받을 수 있는 가시범위 (380~760 nm) 내의 방사속을 눈의 감도를 기준으로 해서 측정한 것을 광속이라고 한다. 즉, 광선속이란 복사선속(Radiant Flux)에 그 파장에서의 표준 관측자의 눈이 느끼는

가중치를 곱한 것을 전 가시광선 영역에 걸쳐 적분하고 K_m을 곱해준 것. 광선속의 단위는 lumen(lm)을 사용하며 이는 단위시간에 방사되는 광량을 의미한다.

광선속은 복사선속과 CIE에서 채택한 표준관측자의 분광시감효율 함수 $V(\lambda)$에 의해 다음으로 표현할 수 있다.

$$\Phi_v = K_m \int_{360nm}^{830nm} \Phi_{e,v}(\lambda)\, V(\lambda)\, d\lambda$$

여기서, K_m은 밝은 빛 시감에서의 최대 분광시감효능 (maximum spectral luminous efficacy)으로 683.002 $lm \cdot W^{-1}$이다. 즉, 광선속이란 복사선속에 그 파장에서의 표준관측자의 눈이 느끼는 가중치를 곱한 것을 전 가시광선영역에 걸쳐 적분하고, K_m을 곱해준 것이다. 즉, 표준관측자의 눈이 느끼는 빛(광)의 총량을 의미한다.

어두운 곳에서의 시감에 의한 광선속은 다음과 같으며, K'_m는 1700.06 $lm \cdot W^{-1}$이다.

$$\Phi'_v = K'_m \int_{380nm}^{780nm} \Phi_{e,v}(\lambda)\, V'(\lambda)\, d\lambda$$

이러한 복사선속과 광선속의 단위 변환은 다음과 같다.

Radiant flux 1 W = 683.0 lm at 555nm = 1700.0 scotopic lm at 507 nm

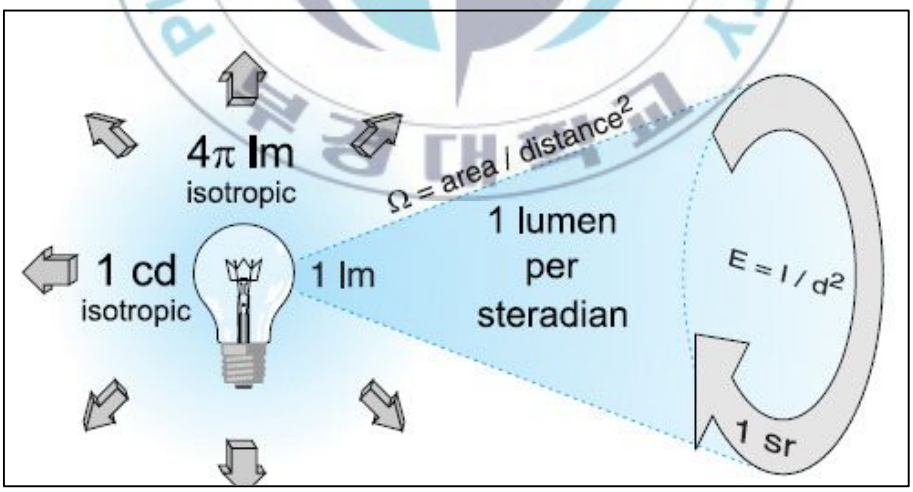
1 J = W×s = 10^7 erg = 0.2388 gram × calories

Luminous flux　1 lm = 1.464×10^{-3}W at 555nm = 1/4Π cd

1 lm×s = 1 talbot(T) = 1.464×10^{-3} J at 555nm

나. Radiant Intensity(복사광도)와 Luminous Intensity(휘도광도)

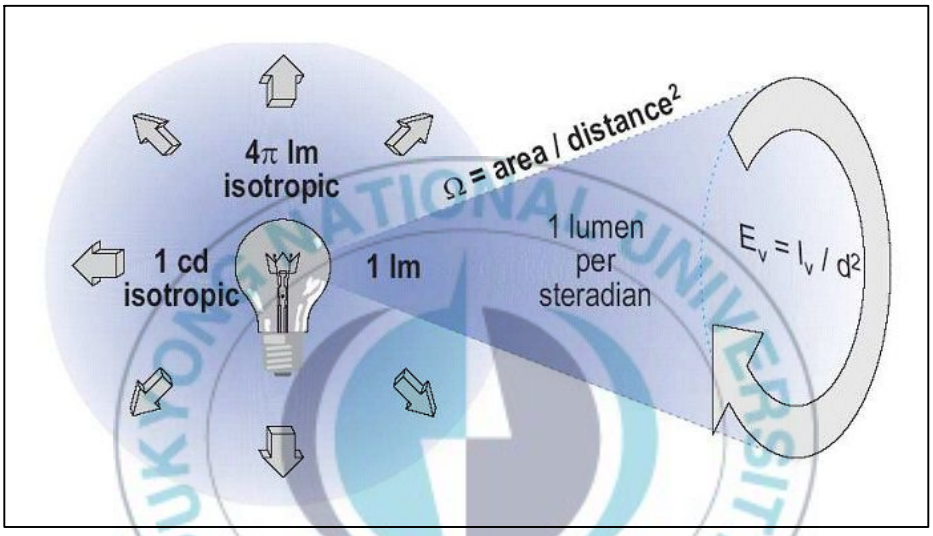
모든 광원은 크기와 넓이를 가지고 있다. 그러나 광원의 크기라는 것도 거리에 대해서 상대적인 것으로 태양과 같이 거대한 광원도 지구에서 보면 하나의 점광원으로 보인다. 일반적으로 광원 크기의 10배 이상의 거리에서는 그 광원을 점광원으로 보아도 무방하다. 모든 방향으로 광속을 발산하고 있는 점광원에서 어느 특정 방향에 대한 광도는 그 방향의 단위 입체각에 포함되는 광속수의 밀도를 말한다.



[그림 2] Radiant Intensity

복사광도의 단위는 watt/sr이며, 휘도광도의 단위는 candle(cd)이다. 휘도

광도는 백금 응고점의 온도에서 흑체 방사의 휘도를 60 (cd/cm$^{2)}$로 하여 기준을 정한 광도 단위로 1942년 이후 국제적으로 통용되고 있다. 1 cd는 1입체각 안에 광원에서 방출되는 lm(루멘)의 광속이 전파되고 있을 때의 광도이다.

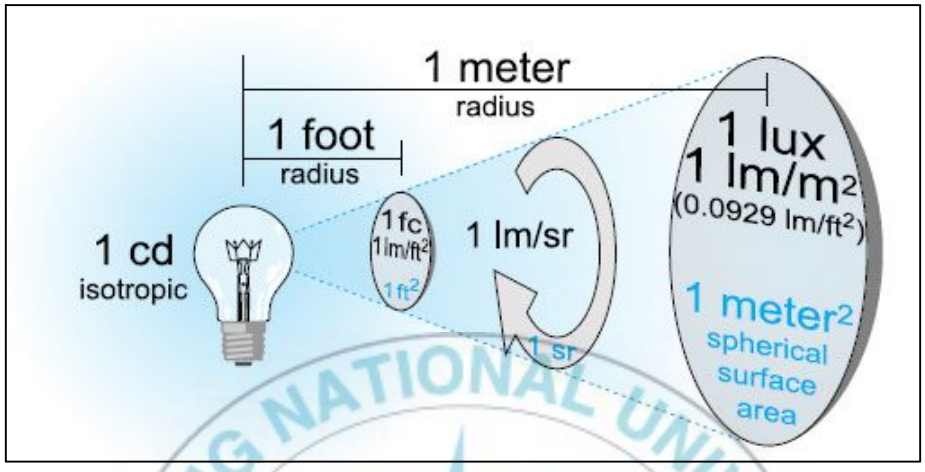


[그림 3] Luminous Intensity

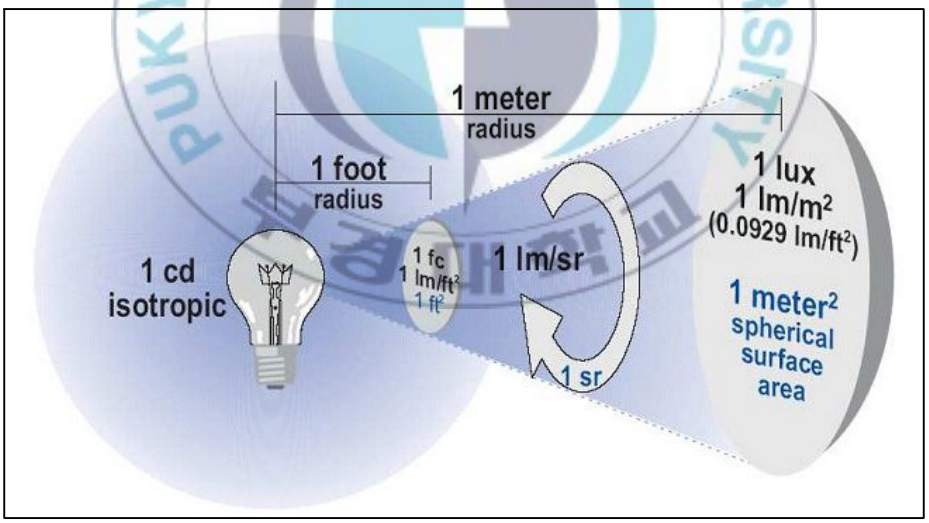
다. Irradiance(복사조도)와 Illuminance(조도)

물체의 면에 광속이 입사되면 그 면은 밝게 되는데 이 밝은 정도를 나타내는데 조도를 사용한다. 즉 조도는 어떤 면의 비추어 지는 정도를 말하는 것이다. 광원으로부터 빛을 받고 있는 물체의 밝기를 나타낼 대 사용하는데, 이때의 밝기는 단위면적에 단위시간 내에 도달하는 에너지량을 측정함으로써 얻어진다. 따라서 복사조도(Irradiance)는 측정하는 면의 단위면적당 입사하는 복사선속을 뜻하며, 조도는(Illuminance)는 측정하는 면의 단위면

적당 입사하는 휘도조도를 뜻한다. 복사조도의 단위는 W/cm^2, W/m^2이다.



[그림 4] Irradiance



[그림 5] Illuminance

조도의 단위에는 *lux* 와 *phot*가 있는데, *lux*는 1 m^2의 면적에 1 *lm*의 광속이 입사되고 있을 때의 조도이고, *phot*는 1 cm^2의 면적에 1 *lm*의 광속이

입사 될 때의 조도이다.

1 *lux* =1 [lm/m^2]

1 *phot* =1 [lm/cm^2]

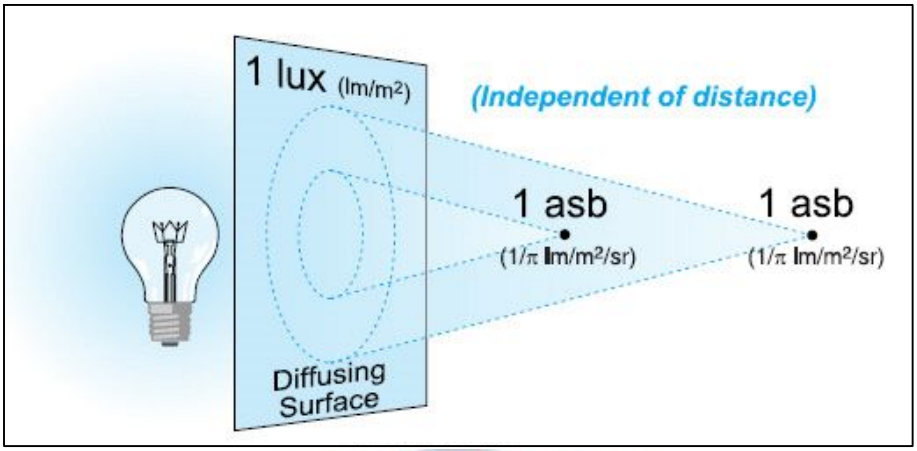
1 *phot* =10,000 [*lux*]

즉, "$1m^2$의 넓이에 1 lm의 광속이 균일하게 분포되어 있을 때의 면의 조명도, 즉 1차(cd)의 점광원으로부터 1 m 떨어진 곳이 있는 광선에 수직인 면의 조명도가 1 lx이다"

다시 말하면, 모든 방향의 광도가 1 cd 인 점광원이 반지름 R [m]인 구의 중심에 있을 경우 구면 위 모든 점의 조도는 lux로 된다. 광원의 광도에 비례하고 광원으로부터 빛이 멀리 뻗어나갈수록 빛은 확장되어 밀도는 줄어들게 된다. 거리의 제곱에 반비례 하게 되는데 이를 역자승의 법칙이라고 한다.

라. Radiance(복사휘도)와 Luminance(휘도)

복사휘도(Radiance)는 단위면적당 (dA)에서 단위 입체각(dΩ)을 방출하는 광선속을 나타내기 위해 사용된다. 복사휘도 L의 단위는 $W/m^2/sr$이고, 확산광원에 대해서는 거리에 독립적이며, 람베르시안 면적에서 복사도(L)은 복사출력 M과 관련있다. ($L = M/\pi$)



[그림 6] Radiance

휘도(Luminance)란 광원의 빛나는 정도를 말한다. 또는 휘도란 어떤 면의 밝기를 말한다. 광원의 표면이나 비추어진 면 또는 반투명 물체의 빛이 오는 반대쪽 면 등은 모두 휘도를 가지고 있다.

물체의 표면에서 관측자 쪽으로 어느 정도의 빛이 오고 있는지를 나타내는 심리물리량으로 점광원이 아닌 면광원 혹은 넓이를 가진 반사면의 밝기를 뜻한다.

휘도의 단위로는 stilb (sb) 및 nit (nt) 가 사용된다.

1 [sb]=1 [cd/cm^2]

1 [nt]=1 [cd/m^2]

1 [sb]=10,000 [nt]

이것은 겉보기의 단위 면적당 광도로 나타내는데 단위로는 니트(기호 nt, cd/m^2)를 사용한다. 이밖에 스틸브(= 10^4 cd/m^2, 기호 sb)등도 있다. 예를 들면 1 m^2의 면적으로부터 관측자 쪽으로 1 입체각 내에 1 m의 광속이

오고 있는 경우, 그 표면의 휘도값이 1 nt이다.

관찰각도에 따라 값이 달라지기도 하며 같은 조명광 아래에서도 반사율이 높은 물체일수록 휘도가 크다.

	radiometry		photometry	
quantity	symbol	unit	symbol	unit
radiant & luminous energy	Q	watt-seconds (W-s)	Q_v	lumen-seconds(lm-s)
radiant & luminous flux	Φ	watts (W)	Φ_v	lumens (lm)
ilrradiance & illuminance	E	watts/cm^2 watts/m^2	E_v	lx (=lm/m^2) fc=lm/ft^2
radiance & luminance	L	watts/m^2/sr	L_v	lumens/m^2/sr (=cd/m^2)
radiant & luminous intensity	I	watts/sr	I_v	cd (=lm/sr)

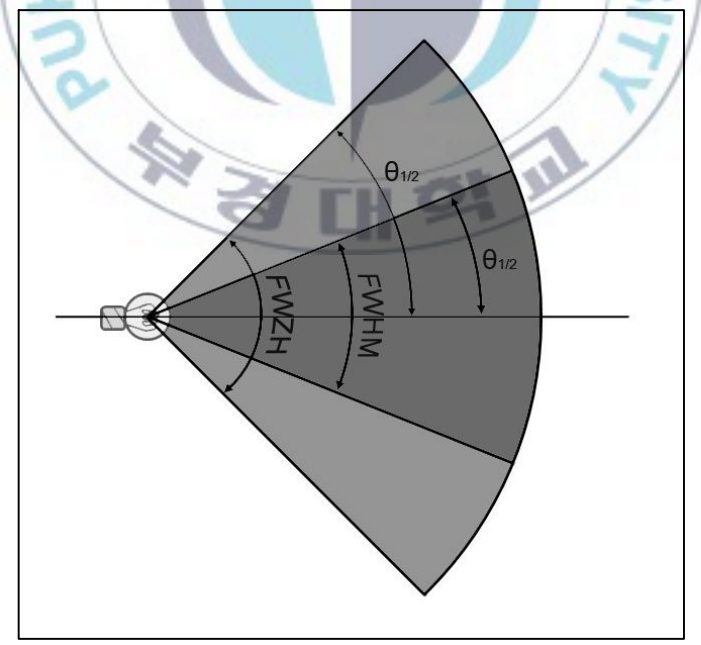
<표 1> Radiometry와 Photometry의 단위 비교

2. Optical property

광원이나 광학계의 특성을 표현하는 것은 다음과 같은 것들이 있다.

가. Viewing angle (시야각)

광원으로부터 나온 빛을 이루는 각도를 시야각 (Viewing angle)이라고 하며, 이는 디스플레이에서 중요한 개념이 된다. 이러한 시야각은 광축과 이루는 각도에 따라 광원의 세기와 그 색이 어떻게 변화하는지 확인하는데 사용된다.



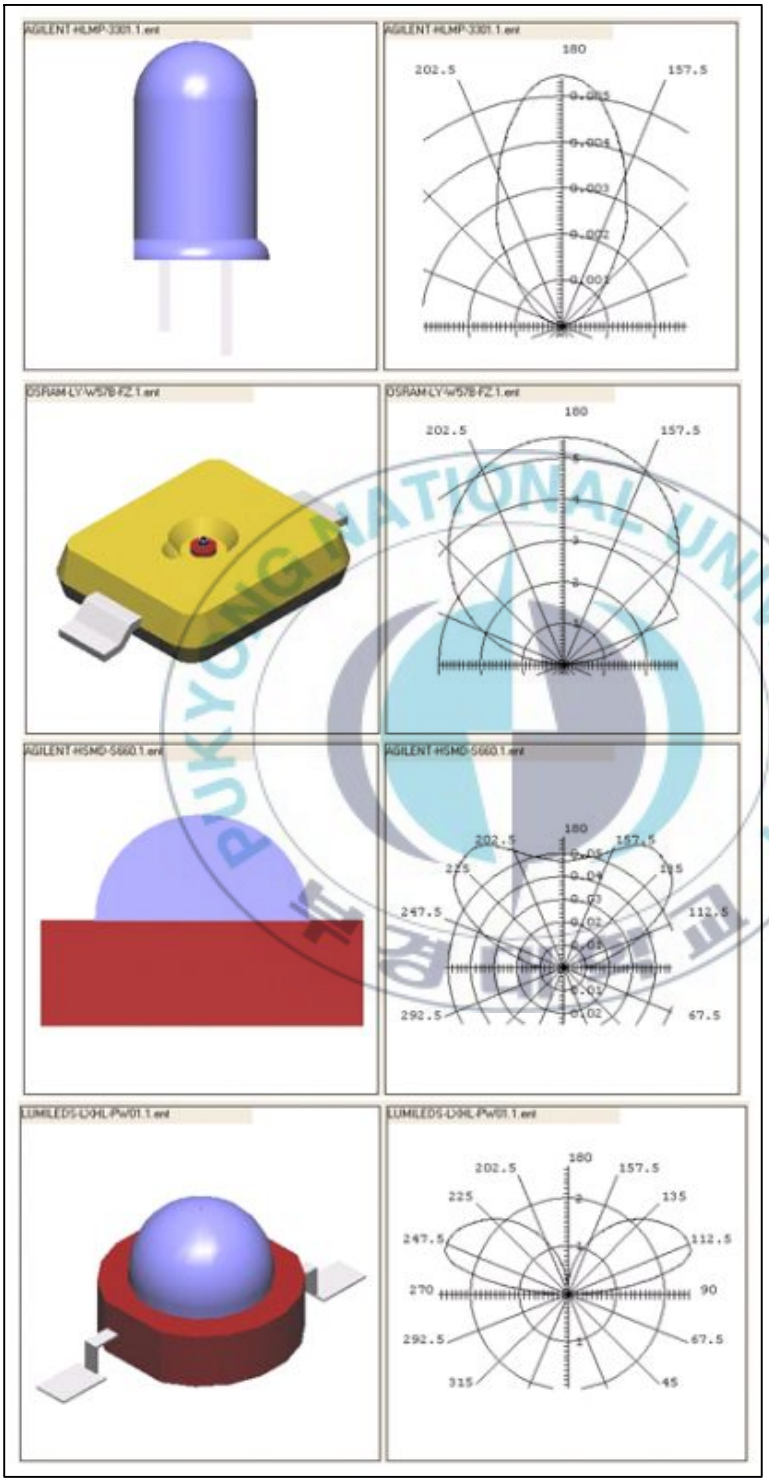
[그림 7] Viewing Angle

나. Radiation Pattern

실제 조명에서 광원은 하나의 점광원이라 할 때 실내공간에서 이 점광원에 대한 각 방향의 광도는 일정하다 그러나 조명기구를 포함한 광원의 광도는 광원의 종류, 형태, 구조, 방향 등에 따라서 다르기 때문에 어떤 방향으로 어느 만큼의 광도가 분포되어 있는가를 조사하고 분석해야 한다. 그리고 이것을 조명에 적당히 이용하면 결국 조명목적에 적합한 조명을 할 수 있게 된다. 이와 같이 어떤 점광원으로부터 그 광원의 광도분포를 배광이라 한다. 그리고 그 광원의 중심을 통과하는 평면 위에 광도 분포를 표시하는 극좌표곡선은 배광곡선이라 한다. 이 곡선은 수직 배광곡선을 말하며 이 극좌표곡선의 표시는 두 가지 방법이 있다.

수직 배광곡선 : 수직면 위 각 방향의 광도 분포를 표시하는 것이다.
수평 배광곡선 : 수평면 위 각 방향의 광도 분포를 표시하는 것이다.

LED에서 볼 수 있는 대표적인 배광곡선은 narrow-angle, lambertian, batwing, side-emitting이 있다. 각각의 배광곡선의 가지는 LED들은 적용되는 곳에 따라 적합한 것을 선택하여 사용된다.



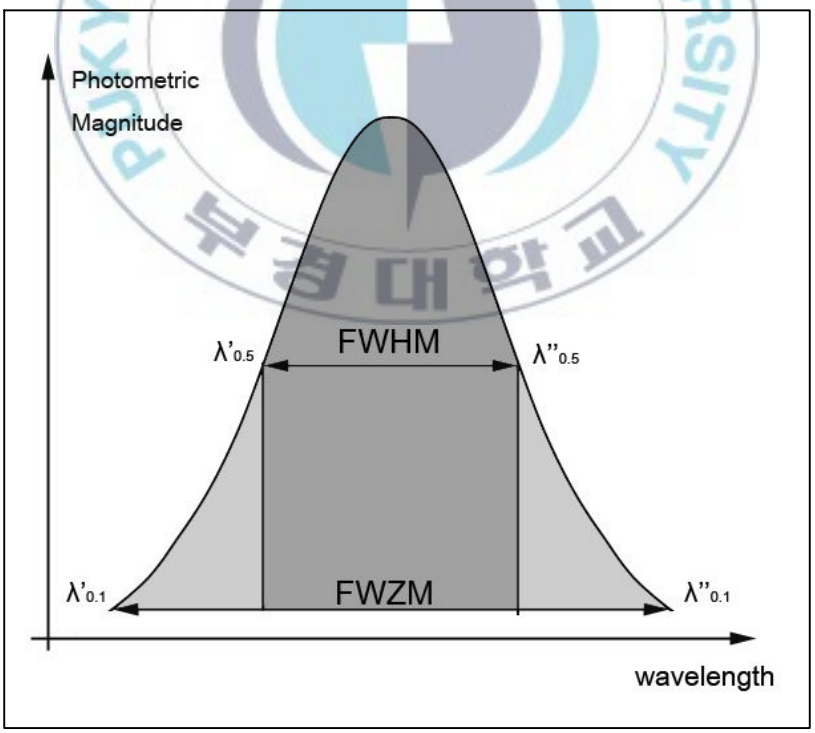
[그림 8]
Radiation Pattern
(위에서부터
Narrow-angle,
Lambertian,
Batwing,
Side-emitting)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

다. Spectrum Half-width

FWHM(Full Width at Half Maximum ; 반치전폭, 반치폭)이란 주파수 응답 등의 스펙트럼 상에서 광량 첨두값(Peak)의 1/2 이 되는 위치에서의 스펙트럼 폭을 말한다. 이는 해상도나 분해능 등을 나타낼 때 많이 쓰인다.

즉, FWHM은 광원이 지닌 스펙트럼에서 최대 세기의 절반에 해당하는 파장간의 사이거리 $\Delta\lambda_{0.5}$이다. 또한 광원의 스펙트럼을 나타내주는 것으로는 $\Delta\lambda_{0.1}$ full width at 10% height, $\Delta\lambda_{0.5m}$ center wavelength of half intensity bandwidth, $\Delta\lambda_c$ centroid wavelength이 있으며 이들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 9] 광원의 스펙트럼 특성

$\Delta\lambda_{0.5}$ full width at Half Maximum (FWHM)	$\Delta\lambda_{0.5} = \lambda''_{0.5} - \lambda'_{0.5}$
$\Delta\lambda_{0.1}$ full width at 10% height	$\Delta\lambda_{0.1} = \lambda''_{0.1} - \lambda'_{0.1}$
$\Delta\lambda_{0.5m}$ center wavelength of half intensity bandwidth	$\Delta\lambda_{0.5m} = \frac{\lambda''_{0.5} - \lambda'_{0.5}}{2}$
$\Delta\lambda_c$ centroid wavelength	$\Delta\lambda_c = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda S(\lambda)\, d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)\, d\lambda}$

<표 2> 스펙트럼의 특성을 나타내는 표현

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

3. CIE 표색계

우리 눈은 파장 분포가 달라도 같은 색으로 보는 특성을 지니고 있다. 예를 들어 620nm의 장파장을 주로 지닌 빨간색 빛과 520nm의 중간 파장을 지닌 녹색 빛을 섞으면 노란색 빛과 동일한 색으로 보인다. 또한 빨간색 빛과 녹색 빛 그리고 파란색 빛을 고루 섞으면 전 파장의 빛들을 모두 섞은 경우와 동일한 흰색으로 보인다. 따라서 색은 인간의 눈을 통해 가시광선 영역인 380nm~780nm의 빛을 감각적으로 느낀 것으로, 이를 정량화하거나 객관적 측정은 어렵다. 또한 관찰하는 사람의 상황, 또는 관경에 따라 다르게 측정될 수 있어 객관성을 유지하기 어렵다. 따라서 1931년 국제조명 위원회 (commission international on illumination : CIE)에서 색을 수치적이고 객관적으로 표시하기 위해 만든 것을 CIE 표색계라고 한다. CIE 표색계는 가산혼합의 원리에 의해서 심리적 · 물리적인 빛의 혼색실험에 기초하여 색을 표시하는 방법이다. 즉, 색지각을 만드는 빛의 스펙트럼 특성을 물리적으로 측정하고, 세밀한 계산을 거쳐 눈의 표준이 되는 표준관측자와 조명의 표준이 되는 표준광원 A, B, C 등을 정한다. 그리고 관측 시야의 거리와 크기 등을 정하여 단위와 체계를 완전히 정량화하였는데 이것을 CIE 표준표색계라고 부른다.

가. 색공간 (color space)

인간의 눈에 의해 감지되는 모든 색 스펙트럼을 color matching function이라는 함수를 사용해서 가시광선 영역에 대한 파장별 인간 눈의

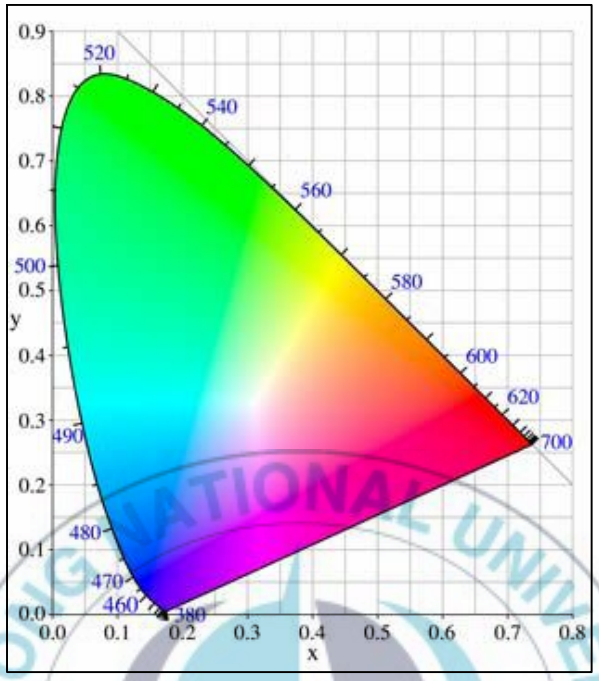
감도를 색공간에 나타낸다. 색 스펙트럼은 색에 대한 두 가지 변수와 휘도로 변환되어 색공간에서 표현된다. 대표적인 색공간으로 CIE 1931 xy chromaticity space와 CIE 1976 UCS u′v′ chromaticity space가 있다.

xy chromaticity space는 색의 3속성 중 색상과 채도를 나타낼 수 있다. 그림은 단일 파장을 빛에 대한 x와 y 좌표를 나타낸 것으로 이들을 연결하면 말굽 형태의 곡선을 이룬다. 단일 파장의 빛이 가장 순수한 색이므로 자연계에 존재하는 모든 색들의 좌표는 이 말굽 형태의 곡선 안에 위치하게 되고 색을 띄지 않는 흰색이나 검정색과 같은 무채색은 중앙 부분에 위치하며, 순색에 가까울수록 말굽형태의 가장자리 선에 가깝게 위치하게 된다.

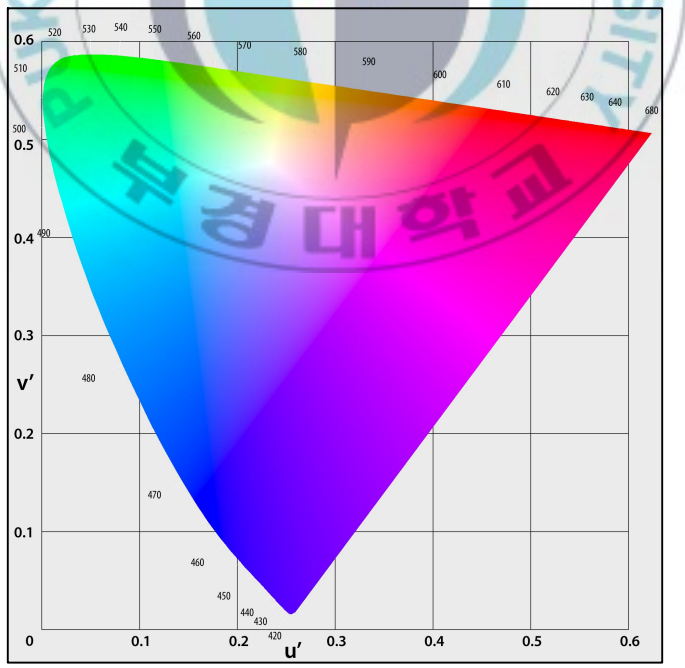
xy chromaticity space는 RGB 색 표시계의 등색 함수에 존재하는 음의 값을 없애기 위해 도입한 것이다. 하지만 xy chromaticity space 그림에서 거리로 구하여 색의 지각적인 차이를 나타내는 색차(color difference)는 색도 그림상의 위치에 따라 상당한 차이를 가지고 있는 단점이 있다. 그래서 CIE는 1960년에 xy 색도 그림의 불균등성이 상당히 개선되어 색도그림 상의 등거리가 지각적으로 동일한 차가 되는 균등 색도 그림(uniform chromaticity scale diagram : UCS)을 권고하였다.

이 색도 그림은 색도 좌표 x, y를 새로운 색도 좌표 u, v로 변환하여 이용하였다. 이후에 v의 값을 1.5배하는 것이 색도그림의 균등성을 향상시킨다는 사실을 알게 되어, uv 색도 그림을 개량한 u′v′ 색도 그림을 1976년에 권고하였고 이 색도 그림을 CIE 1976 USC 색도 그림 또는 u′v′ 색도 그림이라 부른다.

보통의 경우 CIE 1931 chromaticity diagram을 가장 많이 참고하고 있으며, CIE 1976 chromaticity diagram은 시각이 보다 넓은 색에 대하여 쓰인다.

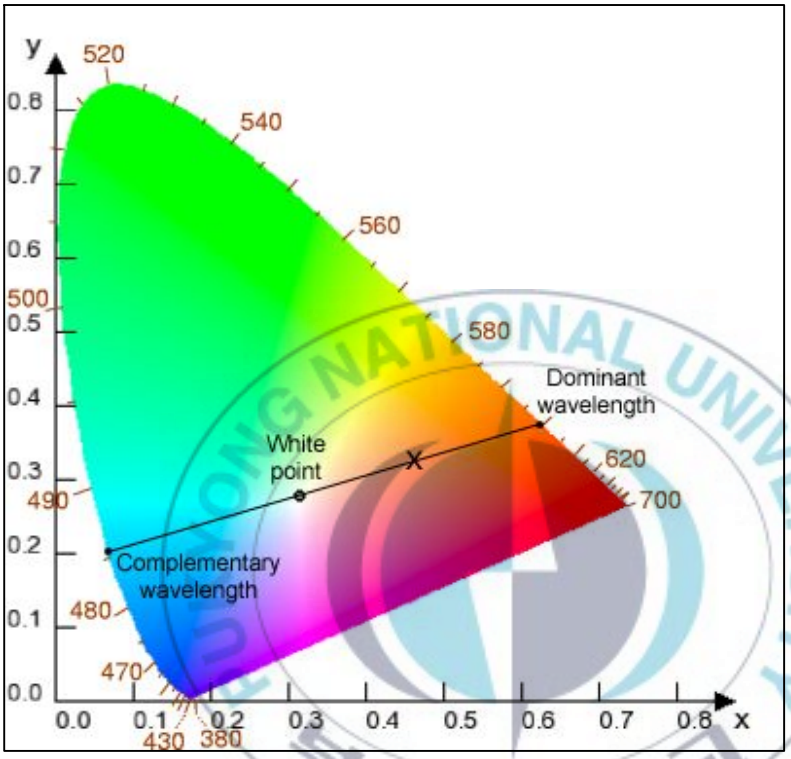


[그림 10] CIE 1931 xy chromaticity space



[그림 11] CIE 1976 UCS u'v' chromaticity space

나. 주파장 (Dominant Wavelength)



[그림 12] 주파장(dominant wavelength)

LED는 색도 좌표 및 파장으로 설명되기도 한다. 복사계측 스펙트럼이 최대가 되는 주파장(dominant wavelength)은 인간의 눈에 의해 인지된 색에 가장 일치하며, xy 또는 u′v′ 색도도에서 백색점과 LED의 (x,y) 색도점을 연결한 직선이 스펙트럼 궤적과 교차한 점으로 정의된다.

CIE x,y 색도도에서 좌표상의 임의의 두 혼합색은 두 좌표를 연결한 직선상에 놓이게 된다. 예를 들어 510nm와 560nm의 파장을 지닌 색의 혼합색 M의 주파장은 M과 W(White)를 말굽 형태의 가장자리까지 선으로 연

결했을 때 만나는 지점인 530nm으로 정의된다. 또한 M의 순도는 W에서부터 M까지의 거리를 a라고 하고 M에서부터 주파장인 530nm까지의 거리를 b라고 할 때 a와 b의 합에 대한 a의 비율로 정의된다. 그리고 CIE x,y 색도도 상에서 임의의 파장과 W를 연결한 직선의 말굽 모양의 가장자리와 만나는 지점의 파장은 보색관계로 설명되어진다. 이상적인 백색광의 CIE 좌표는 (0.333, 0.333)이다.

다. 상관색온도

형광등, 방전램프, White LED 등의 광원에서 그들의 빛의 색을 상관색온도로 정의한다. 어떤 광원이 흑체(blackbody)의 색좌표와 같은 경우 이때의 흑체의 온도를 이 광원의 색온도라 한다. 일반적인 광원들은 완전 복사체로부터 다소간 벗어난 복사분광분포를 갖기 때문에 이 흑체궤적으로 벗어난 좌표값을 알게 되는데 이때에는 이 색좌표로 부터 흑체궤적상의 가장 가까운 거리에 있는 점의 색온도 값을 취한다. 이러한 경우 엄밀한 의미에서도 색온도 값과 구분하기 위하여 상관색온도라 한다.

완전 복사체의 온도와 색좌표와 1:1 대응 관계를 가지고 있다. 흑체의 온도 변화에 따라서 색도 좌표를 구하고 색도도에 표시한 것을 흑체궤적(Planckian Locus)이라고 한다.

라. 연색지수 (Color Rendering Index : CRI)

물체를 형광등 아래에서 보면 하얗게 보이며 백열등 아래에서 보면 노란

백색 (yellow white)으로 보인다. 같은 물체라도 형광등, 백열등, 태양광 등의 어떤 종류의 광원으로 조명해서 보느냐에 따라 그 색감이 달라진다. 즉, color rendering은 물체의 색에 영향을 미치는 광원의 속성이다.

광원의 연색성을 표시하는 대표적인 지수로서 '평균 연색 평가 지수' Ra(general color rendering index) 가 있는데 이는 정확한 색을 재현할 수 있는 광원에 대한 지표를 말한다. 국제 조명 위원회(CIE)에서는 CRI로 연색성 지표를 규정하는데, 이것은 광원들의 스펙트럼 성분을 균분하여 각 광원을 0에서 100까지 등급을 매겨서 표준 광을 조사했을 때의 보는 색을 100으로 기준을 잡고 인공 광을 조사했을 때 보여 지는 색의 대비의 크고 작음을 수치적으로 표시한 것이다. 따라서 이 지표에 의하면 숫자가 높을수록 자기의 색 온도에서의 연색성이 더욱 더 정확함을 의미한다. 단, 여러 가지 광원의 연색성을 비교할 경우 색의 온도가 같을 때에만 비교될 수 있다는 것을 기억하는 것이 중요하다.

연색지수를 평가할 때, 샘플 광원과 똑같은 상관 색온도를 가진 기준광원이 선택된다. 기준 광원은 다음과 같다.

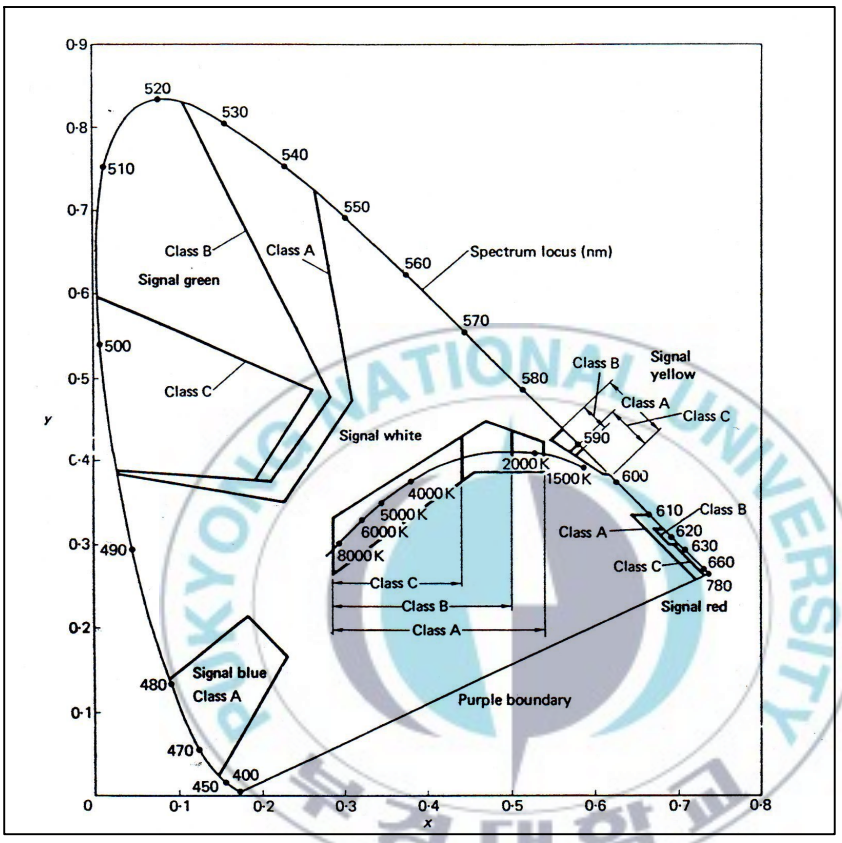
(a) 5,000 Kelvin 보다 낮을 때 : Planckian radiator
(b) 5,000 Kelvin 이상일 때 : CIE daylight

4. 신호용 색채

광원과 광학계는 운전자에게 안내(guidance)를 제공하기 위해 많은 방법으로 사용된다. 항해 신호(navigation lighting)는 도로에서든지 철도에서든지 바다에서든지 하늘에서든지 안전한 교통 흐름을 보장하기 위해 없어서는 안 되는 중요한 요소이다. 많은 교통수단이 국제적으로 사용되고 있어 국가 간의 신호체계에 대한 혼동을 피하기 위해 신호 체계에 대한 많은 권고가 국제적으로 명기되었다. 표지, 신호와 다른 형태의 모든 항해 신호의 근본적인 목적은 안전을 도모하고 빠른 교통 흐름을 조장하는 것이다.

색 신호등과 색표지(자기 발광이 아닌)는 다양한 형태의 교통을 적절하게 안내하고 통제하기를 보장하기 위해 사용된다. 신호는 보통 백열광원(때때로 오일램프)을 이용하며 CIE 색도표 상의 특정 제한된 부분에 의해 한정된다. 유사한 색 간의 혼란을 피하기 위해서 색을 통제하는 중요 요소가 많지 않다. 허용되는 색 차이는 시스템에서의 색의 수에 따라 달라진다. 예를 들어, white와 yellow가 독립적인 신호로 사용될 때, yellow와 white가 구별되지 않는 시스템보다 더 작은 허용범위가 조건으로 붙어진다. 관여된 교통수단의 종류에 따라 red, green grade의 다른 정도가 있다. 이는 BS1376(BSI 1974)에서 규정되었으며 이는 그림에서 명기된 제한된 색 한계(restricted colour limits)를 보여준다. CIE는 그들의 규정에서 포함된 국가적 당국에 대해 신호 색 (CIE 1975)에 관한 국제적인 협정 권고를 내놓았다. 이후의 공표(CIE 1978b)는 (자기 발광이 아닌) 표지에 관해 비슷한 지침을 주기 위해 이를 확장했다.

가. British Standard Signal Color



[그림 13] British Standard Signal Color

Colour	Red	Yellow	Green	Blue	White
Application	Class				
Aircraft	A	B	A	A	B
Airfields (general)	A	B	A	A	B
Airfields (high recognition)	C	B	B	A	B
Lighthouses	A	A	A	A	A†
Railway signals (day colour lights)	C‡	B	C	–	C§
Railway signals (semaphore)	C	C	C	–	–
Road traffic lights	B	A	C	–	–
Ship's lights	B+C	–	B	–	A†

<표 3> British Standard Signal Color

† class A의 white 광에 관한 범위는 몇몇의 신호계에서 여전히 사용되고 있는 오일 램프와 고압수은등을 포함하기 위해 CIE 색도표의 yellow 경계 쪽으로 상당히 확장된다. 이러한 백색광은 실제 yellow 광원과 혼동의 위험이 있어 신호에서 이는 바람직하지 못하다. 따라서 가능한 곳에서 yellow 빛의 백색광을 피하고 class B 백색광을 사용할 것을 권한다.

‡ 고휘도 red 신호에서는 y가 0.295 보다 크지 않도록 제한함.

§ 'Lunar white'로 알려진 x 값을 0.330과 0.420 사이로 제한함.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

제 Ⅲ장 등명기 렌즈 설계에 관한 기초적인 사항

LED를 사용한 등명기의 렌즈 설계에서도 렌즈 설계에 기초를 두고 있으며, 이는 다음과 같은 것들이 있다.

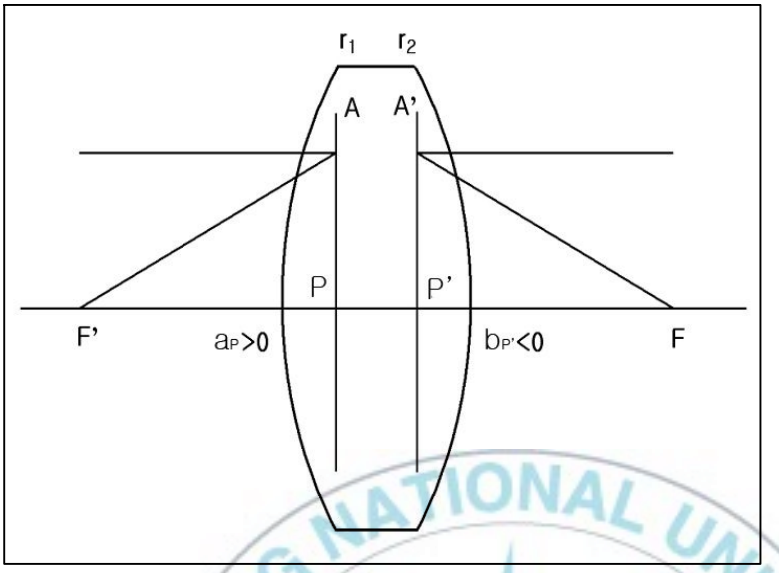
1. 렌즈설계식

두꺼운 렌즈에서는 그림 1-1(b)에서 이때 P, P′로 나타낸 것과 같이 렌즈 내에 가상의 굴절면을 고려하게 되며, 이것을 각각 제1주점, 제2주점)이라 한다. P, P′간의 간격은 무시한다. 렌즈의 두께를 d(>0)라 하면, 제1면, 제2면으로부터 P,P′까지의 간격 a_p , b_p는 각각

$$a_p = \frac{-r_1 . d}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

$$b_p = \frac{-r_2 . d}{n(r_1 - r_2) + (n-1)d}$$

로 주어진다.



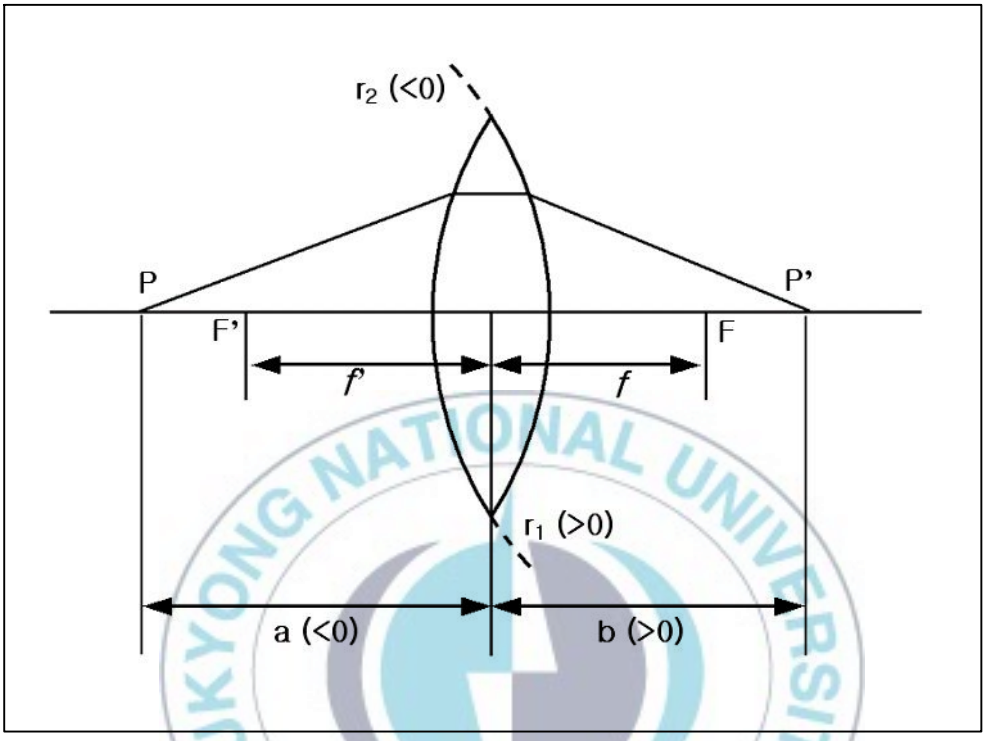
[그림 14] 두꺼운 렌즈에 의한 결상

이때 두꺼운 렌즈에서 구면 렌즈 (spherical lens)의 lensmaker's equation은 식 16과 같다. 여기에서 f, n, R_1, R_2 T는 각각 렌즈의 초점길이, 렌즈 재질의 굴절률, LED에 가까운 렌즈 면의 반경, 렌즈면의 반경, 렌즈의 두께를 의미한다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f'}(n-1)[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{T(n-1)}{R_1 R_2 n}] \qquad \text{(식 1)}$$

만약, 두께 T가 렌즈 직경의 $\frac{1}{6}$보다 작다면, 즉 렌즈가 얇아 두께를 무시할 수 있을 때 (식 1)은 (식 2)와 같이 변형할 수 있다.

$$\frac{1}{f} = (n-1)[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}] = -\frac{1}{f'} \qquad \text{(식 2)}$$



[그림 15] 얇은 렌즈에 의한 결상

얇은 plano-convex lenses ($R_1 = \infty$)의 경우에 (식 2)는 (식 3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{f} = (n-1)[\frac{1}{R_2}] \qquad \text{(식 3)}$$

일반적으로 모든 광선들은 광축(optical axis)에 대해 아주 작은 각으로 수렴한다고 가정한다. 그러나 대부분의 실제 광선들은 광축으로부터 큰 각을 형성하며 광축에 수렴하게 된다. 그래서 광축에서 멀리 떨어져 있는 광

선들은 큰 각 (angle)으로 굴절되어 구면 수차(spherical aberration)를 일으키게 된다. 이 때, 보정 상수 (corrector factor) C가 렌즈 방정식에 추가되어 아래 식과 같이 나타낼 수 있으며 구면수차를 보정해준다.

$$\frac{1}{f} = C(n-1)[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}] \quad , C \cong 1.35 \qquad \text{(식 4)}$$

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

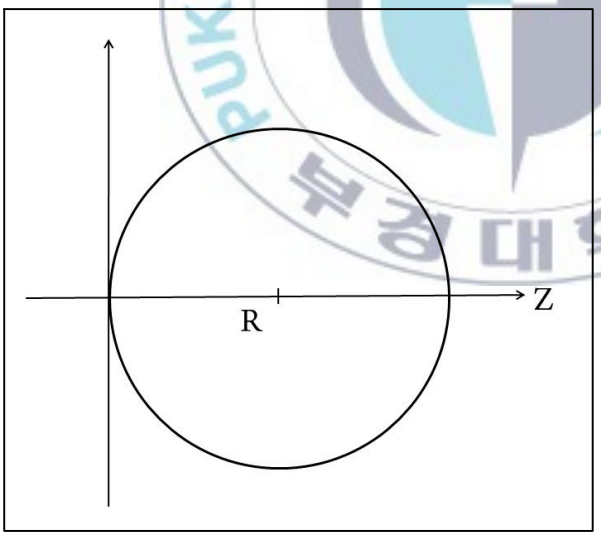
2. 표준구면 및 회전대칭 비구면 방정식

가. 표준구면 방정식

렌즈의 면은 주로 구면 (spherical surface)으로 구성되어 있다. 구면은 곡률반경으로 표현할 수 있으며, 구면의 특징은 곡률중심을 지나는 임의의 직선에 대해 대칭이라는 것이다. 원점을 중심으로 반지름이 R인 구의 방정식은 (식 5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2 \qquad \text{(식 5)}$$

그림과 같은 구면의 방정식은



[그림 16] 반지름인 R인 구

$z^2 - 2zR + s^2 = 0$이다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

여기서 $s = \sqrt{x^2 + y^2}$ 이며 s는 z-축에 수직한 구의 단면의 반지름을 나타낸다.

식을 z에 관한 해로 구하면 (식 6)과 같으며,

$$z = R - \sqrt{R^2 - s^2} \qquad \text{(식 6)}$$

R은 r과 비교해서 매우 크기 때문에 두 수의 차에 의해 (식 8)과 같이 z를 구할 수 있다.

$$z = R\,(1 - \sqrt{1 - c^2 s^2}\,) \qquad \text{(식 7)}$$

$$z = \frac{cs^2}{1 + \sqrt{1 - (cs)^2}}, \text{ where } R = \frac{1}{c} \qquad \text{(식 8)}$$

z에 관한 식을 r^2인 power series로 표현할 수 있다. (식 8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$zc = 1 - \sqrt{1 - c^2 s^2} \; = 1 - (1 - \frac{1}{2}c^2 s^2 - \frac{1}{8}c^4 s^4 - \frac{1}{16}c^6 s^6 - \cdots) \qquad \text{(식 9)}$$

$$zc = \frac{1}{2}cr^2 - \frac{1}{8}c^3 r^4 - \frac{1}{16}c^5 r^6 - \cdots] \qquad \text{(식 10)}$$

나. 회전대칭형 비구면 방정식

비구면은 구면과는 달리 한 축(일반적으로 광축)에 대해서만 대칭이며 비구면 렌즈를 표현하는 식은 구면을 나타내는 식과는 달리 복잡한 형태로 표현된다. 이러한 식은 먼저 대칭축이 결정되면 구면 또는 비구면(타원면, 포물면, 쌍곡면 등)으로 나타낼 수 있게 된다. 축 대칭인 비구면은 짝수항의 비구면 (또는 원추곡면) 방정식으로 나타낼 수 있으며, 이러한 비구면 방정식은 conic constant (k)의 값과 비구면 계수 (Deformation term)를 이용하여 급수 형태로 표현되어 진다. 비구면 식에서 conic constant (k)의 값에 따라서 비구면 렌즈는 여러 가지 형상을 가지게 되며, 그림은 비구면 방정식으로 기술되는 비구면 형상을 나타낸 것이다.

(1) 타원 (Ellipsoid)의 방정식

타원의 방정식을 유도하면, 다음 식과 같다.

$$(a^2-c^2)z^2+a^2s^2=(a^2-c^2)a^2 \qquad \text{(식 11)}$$

이를 다시 정리하면

$\frac{z^2}{a^2}+\frac{s^2}{b^2}=1$ 이 되며,

a 만큼 z축으로 좌표이동을 한 경우에는 (식 12)와 같이 된다.

$$\frac{(z-a)^2}{a^2}+\frac{s^2}{b^2}=1 \qquad \text{(식 12)}$$

타원의 편심률(eccentricity)을 e라고 할 때, conic constant는 다음과 같이 정의된다.

$$e^2 = \frac{c^2}{a^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 1 - \frac{b^2}{a^2} = 1 - \varepsilon \qquad \text{(식 13)}$$

$$\varepsilon = \frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2, \text{ where } -e^2 = \varepsilon - 1 = k \qquad \text{(식 14)}$$

이를 이용하여 위의 방정식을 변형하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon z^2 - 2a\varepsilon z + s^2 = 0 \qquad \text{(식 15)}$$

$$z = \frac{cs^2}{1 + \sqrt{1 - \varepsilon(cs^2)}}, \quad c = \frac{1}{R} = \frac{1}{a\varepsilon} \qquad \text{(식 16)}$$

$$z = \frac{cs^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 s^2}}, \quad k: \textit{conic constant} \qquad \text{(식 17)}$$

	conic constant, k	eccentricity	surface
	$k > 0$	$\varepsilon > 1$	oblate ellipsoid
$e = 0$	$k = 0$	$\varepsilon = 1$	sphere
$o < e < 1$	$-1 < k < 0$	$0 < \varepsilon < 1$	prolate ellipsoid
$e = 1$	$k = -1$	$\varepsilon = 0$	paraboloid
$e > 1$	$k < -1$	$\varepsilon < 0$	hyperboloid

<표 4> e, ε, k 의 관계

이렇게 구한 식을 power series로 정리하면, ε 항으로 인해 약간의 차이는 있지만 다음 식과 유사한 식을 얻을 수 있다. 구면 방정식과 conicoid 방정식의 차이는 s^4, s^6, s^8항에서 나타난다.

$$z = \frac{1}{2}cs^2 + \frac{1}{8}(1+k)c^3s^4 + \frac{1}{16}(1+k)c^5s^6 + ... \quad \text{(식 18)}$$

(2) 쌍곡면 (Hyperbola)의 방정식

쌍곡면의 방정식은 다음과 같은 형태이다.

$$\frac{(z-a)^2}{a^2} - \frac{s^2}{b^2} = 1, \quad \text{(식 19)}$$

where a 와 b는 타원의 장축, 단축

$$b^2 = a^2(e^2-1) = -a^2\varepsilon, \quad \text{where } \varepsilon = (1-e^2) = -\frac{b^2}{a^2} \quad \text{(식 20)}$$

(식 20)을 이용해서 (식 19)는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\varepsilon z^2 - 2a\varepsilon z + s^2 = 0 \quad \text{(식 21)}$$

$$z = a[1 - \sqrt{1 - \frac{s^2}{\varepsilon a}}]$$

$$= a[1 - (1 - \frac{s^2}{2\varepsilon a} - \frac{s^4}{8\varepsilon^2 a^4} - \frac{s^6}{16\varepsilon^3 a^6} ...)]$$

$$= \frac{s^2}{2\varepsilon a} + \frac{s^4}{8\varepsilon^2 a^3} + \frac{s^6}{16\varepsilon^3 a^5}$$

표준구면 방정식의 마지막 식과 위 식의 첫 번째 항을 비교해보면, 곡률은 아래 식과 같이 나타낼 수 있고, 쌍곡면의 방정식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$c = \frac{1}{\varepsilon a} \text{ 또는 } R = \varepsilon a \qquad \text{(식 22)}$$

$$z = \frac{1}{2}cs^2 + \frac{1}{8}(1+k)c^3s^4 + \frac{1}{16}(1+k)c^5s^6 + ... \qquad \text{(식 23)}$$

$$k = \varepsilon - 1 = -(1+\frac{b^2}{a^2}),\ c = \frac{1}{\varepsilon a} = -\frac{a}{b^2}$$

3. 등명기 광원으로서의 LED

광파표지용 등명기의 광원으로 사용되고 있는 백열전구는 필라멘트를 이용하여 열을 빛으로 바꾸는 광원으로 수명이 짧아 잦은 유지보수를 필요로 하고, 또한 해상에 설치되어 야간의 사용을 위해서는 낮에는 태양전지를 통해 축전된 전력을 사용하고 있다. 기존의 백열전구에 비해 저전력 소비 및 장수명의 장점을 가진 고휘도 LED 광원을 해상용 등명기의 광원으로 사용한다면, 유지보수 비용의 절감, 태양전지와 축전지의 폐기물로 인한 환경오염 등을 줄일 수 있으며 백열전구와 동일한 소비전력으로 LED 등명기를 제작할 경우는 그 밝기가 기존의 해상용 등명기에 비해 약 2~3배의 광도를 얻을 수 있으므로 선박의 해상안전에 안정성이 훨씬 증가할 수 있다.

가. LED 광원의 특징

LED 광원은 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 광변환 효율이 기존 광원 보다 높으며, 에너지 소비량이 매우 적다. 백열전구의 10분의 1, 형광등의 2분의1에 해당한다.

둘째, LED 크기가 소형이고 전력소비가 매우 적기 때문에 광원 및 시스

템의 소형화, 박형화, 경량화를 이룰 수 있다.

셋째, 다른 광원과 달리 필라멘트나 전극이 없기 때문에 수명이 장수명(약 10만 시간의 수명시간)이고 충격에 강하고 안정적이기에 반영구적으로 사용할 수 있다.

넷째, 방전등처럼 수은이나 방전용 가스를 사용하지 않기 때문에 환경 친화적이다.

다섯째, 고체발광으로서 열 및 가스방전 발광이 아니기 때문에 예열시간이 필요 없으며 점·소등 속도가 수 10^{-9} 초로 매우 빠르다.

여섯 번째, 안정적인 직류 점등방식으로 소비전력이 적고, 고반복, 펄스 동작이 가능하며 시신경의 피로를 감소시킬 수 있다..

일곱 번째, 서로 다른 광색과 특성을 가진 LED를 조합하여 다양하고 다이나믹한 광원의 모양과 광색을 표현할 수 있어서 인텔리전트 조명 광원으로 사용 가능하다.

마지막으로, 기존 조명 광원에 비해 저전압 및 DC 구동으로 태양광발전 시스템 (Solor Cell)과 결합이 쉽고 효율이 높아서 독립전원이 필요한 항로 표지 및 항공장애등 등에 적합하다는 특징도 가지고 있다.

나. LED 광원의 종류

LED 광원은 기능적인 면으로 표시용(Indicator)LED와 조명용(Illuminator) LED로 구분할 수 있으며, 광색에 따라 IRED(Infrared Emitting Diode, 적외선 LED), VLED(Visible Light Emitting Diode, 가시광선 LED), UV LED(Ultra-Violet Light Emitting Diode, 자외선 LED)가 있다.

표시용 LED는 광원으로 사용되기 이전에 회로 동작의 표시장치로 사용하던 에폭시 렌즈 돔 모양의 형태로 되어 있고, 칩의 크기가 주로 250μm×250μm이며 반도체의 사파이어 기판 (Sapphire Substrate)이 PN접합층의 아래에 위치하여 접합층에서 방사된 빛이 많이 흡수되는 단점이 있다. 현재 사용되고 있는 LED 등명기 (LED-200)는 표시용 5mm LED를 사용하고 있다.

조명용 LED (주로 1W이상의 고출력 LED)의 구조 및 칩 형상을 나타낸 것으로, 표시용 LED보다 비교적 렌즈 돔이 낮고 넓은 모양을 하고 있으며 온도 특성이 양호한 소프트 젤을 함유한 캡슐로 되어 있다. 칩의 크기는 주로 1nm×1nm로 비교적 크고 반도체의 기저층이 투명한 재료를 사용하고 PN 접합층의 위쪽에 위치하여 내부양자효율을 높였다. 또한 LED의 고출력화에 따른 칩 전극의 크기가 커지게 되어 내부양자효율이 적어지는데, 이를 해결하기 위하여 전극을 창살모양의 형태로 하여 내부양자효율의 상승과 방사된 빛이 균일하게 방출되도록 하였다. 이러한 표시용 LED와 조명용 LED의 특성은 아래와 같다.

① 표시용 (Indicator) LED

- 낮은 구동전류(100mA이내이고 주로 20mA)와 광도가 낮음
- 높은 열저항 특성 (>200℃/W)에 발광효율 저하
- 고온 열화에 따른 에폭시 변색 : T<120℃
- 입력전력 P<0.1W로 제한
- 사용시간의 경과에 따라 비교적 큰 광출력 감소
- 좁은 광 발산각을 나타냄(≦60 degree)
- 응용분야 : 전자제품의 표시등, 비상등, 교통신호등 등

② 조명용 (Illuminator) LED

- 높은 구동전류(300mA이상)와 광도가 높음
- 낮은 열저항 특성 (>12℃/W)에 발광효율 향상
- 소프트 젤 함유한 캡슐에 의한 고온 열화에 대한 광속유지 특성 개선
- 입력전력 P>1W
- 사용시간의 경과에 따라 비교적 낮은 광출력 감소
- 비교적 넓은 광 발산각을 가짐(≧90 degree)
- 응용분야 : 조명등

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

제 Ⅳ장 LED를 이용한 등명기의 광원부 설계

LED를 항로표지의 광원으로 사용하기 위해서는 가장 먼저 광원부에 대한 결정을 해야 한다. 광원부에 대한 것이 이루어지고 난 후 그 광원을 적절히 이용하기 위한 기구적인 부분과 시스템의 설계가 이루어진다.

광원부의 설계를 하기 위해 고려되는 사항 중 중요하게 다루어지는 것은 다음과 같은 것들이 있다.

1. 광원부 설계시 고려사항

가. 광원의 세기

해상용 등명기의 광원은 그 빛의 열추출 (Heat extraction), 발광효율 (Luminous efficiency), Overall electro-optic efficiency, 비용 등의 사항을 고려하여 그 적합한 세기를 가지는 LED를 설계해야 한다. 특히 신호용 광원의 광도는 주간의 모든 날씨, 배경조건하에서 그 신호의 범위 안에서 충분히 판독할 수 있도록 정하여야 한다. 하지만 안개가 짙거나 배경휘도의 영향이 심한 경우와 같이 실제의 조건에 모두 만족시키는 것은 어렵다. 또한 광원의 세기는 거리가 멀어짐

에 따라 그 세기 변화하므로 거리에 따른 광원의 감쇠와 그 광원이 사용되는 환경에 따른 광원의 감소를 동시에 고려해 주어야한다. 이러한 점을 고려해 가장 일반적인 환경조건을 기준으로 적합한 광도를 선택하여 그에 맞게 광원을 설계하도록 해야 한다.

나. 광원의 감쇠와 시인성

해상용 등명기에서 광원의 빛을 감쇠시키는 주요 원인 중의 하나는 대기 중에 존재하는 현탁 입자에 의한 빛의 산란, 흡수이다. 또한 빛은 발산에 의해 감쇠된다. 빛은 발산각을 가지므로 진행하는 거리가 길어질수록 단위면적당의 밀도가 작아지게 되므로 그 세기가 감소하게 된다. 여기서 빛은 거리의 2승으로 감소한다. 부유입자에 의한 감쇠와 거리에 따른 감쇠정도를 합하여 얻어진 식이 바로 Allard 식이다. 이는 점광원의 광도와 대기의 투명도, 주어진 거리에 있어서의 조도와의 관계를 가리키는 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$E_d = \frac{I_0 \cdot T^d}{d^2} \qquad \text{(식 24)}$$

또한 이 식은 다음과 같이 표현되며 이는 휘도대비의 역치와 기상학적 시정에 관련하여 설명된다.

$$E_d = \frac{I_0 (0.05)^{d/v}}{d^2} \qquad \text{(식 25)}$$

다. Glare

항로표지의 빛은 그 거리가 근접하는 경우 Glare를 주는 경우가 있다. 그래서 광원을 직시하면서 이용하지 않으면 안 되는 도등에 관해서 IALA는 도등의 설계시 그 이용구간 내에서 관측자의 조도가 0.1 lx, 주위가 어두운 경우에는 0.01 lx를 넘어서는 안 된다고 제한하고 있다.

라. 신호의 색

신호에 사용되는 광원은 그 광원이 사용되는 신호에 적합한 색을 가지고 있어야 한다. 색은 일반적으로 CIE 색좌표를 기준으로 수치적으로 표시되거나, CIE 색좌표 상에 표시된다. 우리가 가장 흔하게 보는 교통 신호에서부터, 항공신호, 선박의 신호에 이르기 까지 신호에서 사용되기를 권장하는 색 영역이 존재한다. 이러한 색 영역을 앞서 서술한 바 있는 british British Standard Signal Color를 통해 확인할 수 있다. 이 뿐만 아니라 항해 신호에서는 IALA와 같은 국제 신호체계도 있으며, 여기서는 신호에 사용되는 색의 수에 따라 그 색 영역이 달라지기도 한다.

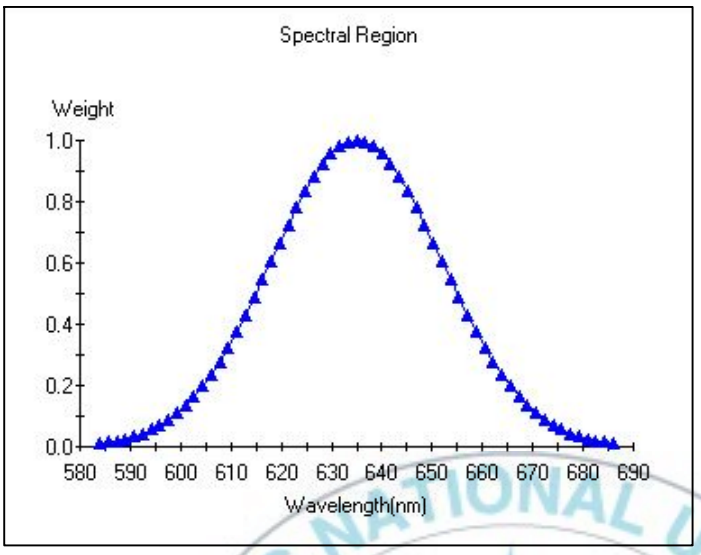
2. 5mm LED의 특성

등명기의 광원으로 사용할 LED는 표시용 (Indicator) LED로 가장 흔하게 이용되는 5mm LED이다. 본 연구는 Aglient HLMP_3301 5mm LED를 사용하였다. 먼저 Aglient HLMP_3301를 설계 프로그램에서 시뮬레이션을 하여 다음과 같은 특징을 파악하였다.

[그림 17] 5mm LED

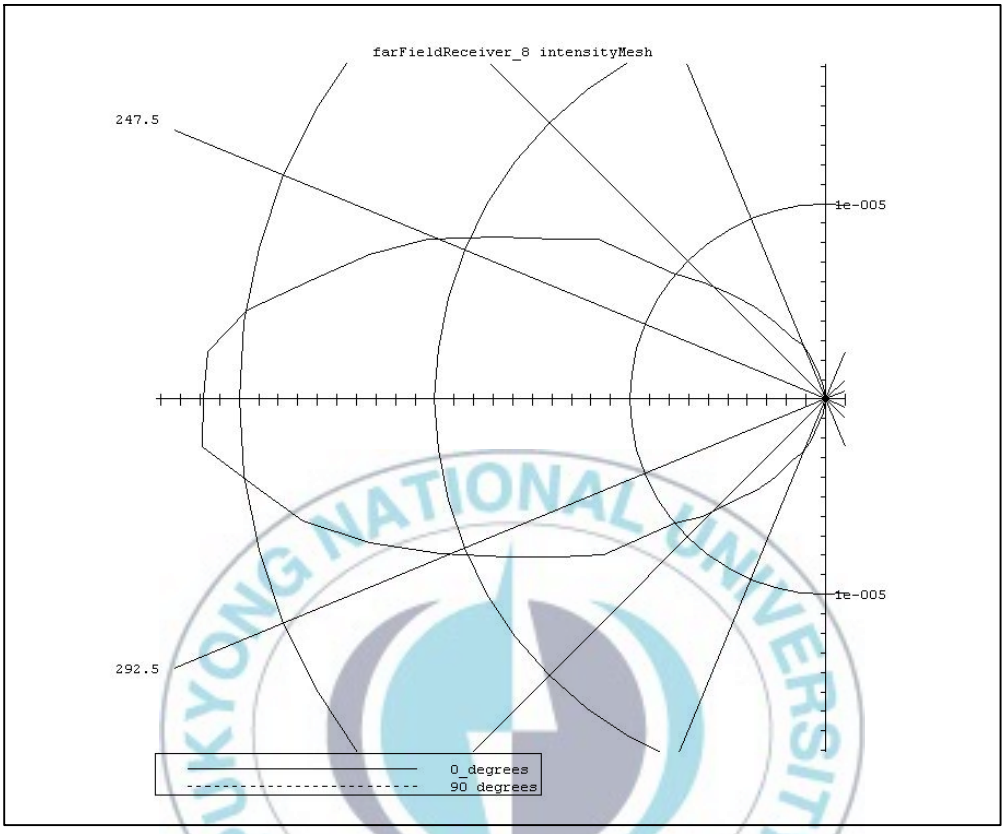
5mm LED(Aglient HLMP_3301)의 특성	
Photometric Flux	0.007 lumen
emitter size	0.5×0.5×0.1
spectral region	약 580~ 690 (RED)
Peak wavelength	635nm

<표 5> 5mm LED(Aglient HLMP_3301)의 특성



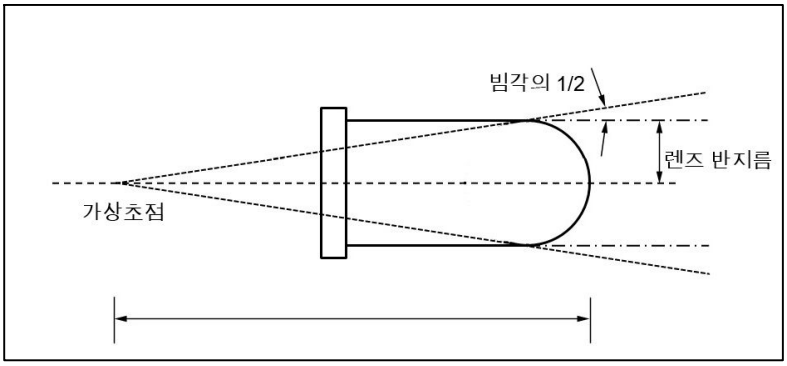
[그림 18] 5mm LED의 스펙트럼

Aglient HLMP_3301이 가지는 배광 특성은 다음 그림과 같으며, 어느 정도의 지향성을 가짐을 알 수 있다.



[그림 19] LED 5mm LED(Aglient HLMP_33031)의 배광특성

대부분의 광원은 유효한 크기를 가지며, 이는 가상의 초점에서 방사되는 점광원으로 간주할 수 있다. 따라서 광원의 가상초점에 대한 계산을 통해 렌즈나 광학시스템에 대한 설계를 보다 용이하게 행할 수 있다.



[그림 20] 가상초점

Aglient HLMP_3301의 가상초점은 렌즈의 정점으로부터 8.714mm이다. 이 위치에 초점을 가지는 렌즈가 놓이게 된다면 LED에서 나간 빛은 렌즈를 통과한 후 광축에 평행하게 나갈 것이다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

3. LED Array

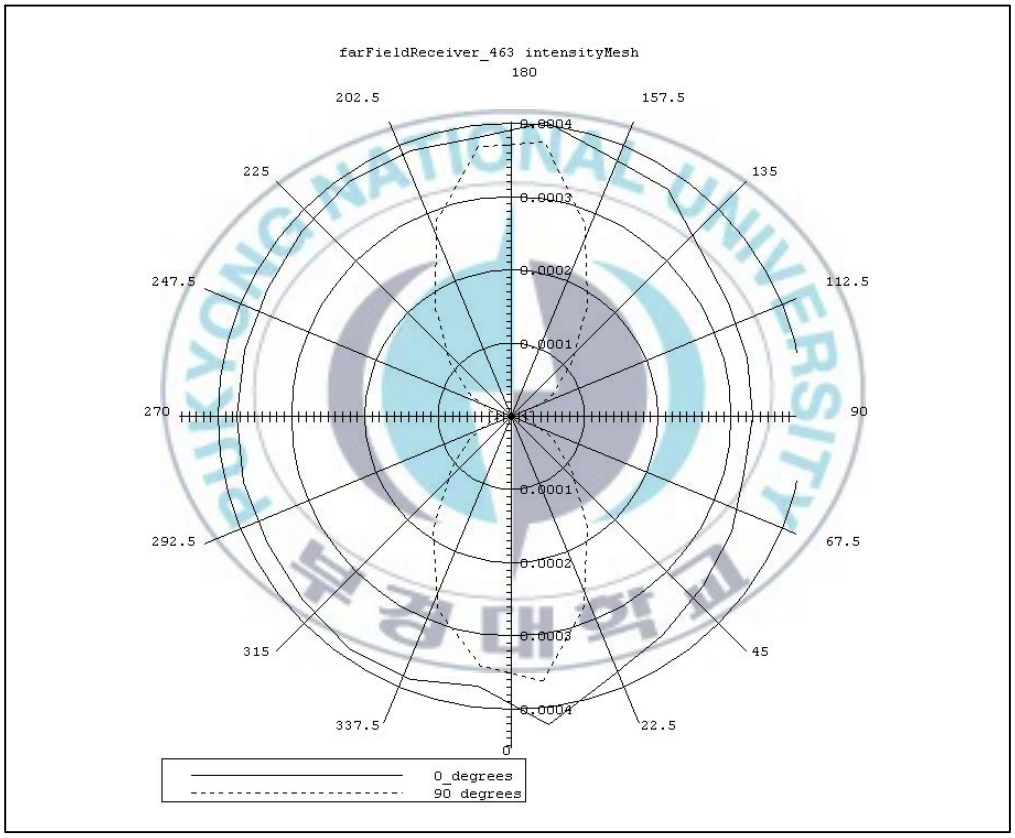
등명기의 광원은 수평면에 평행한 빛을 사방으로 발광되는 형태를 지니고 있어야 한다. 즉, 4π steradian 방향으로 발광하여야 한다. 따라서 5mm LED를 이용해 수평면에 평행인 원의 형태로 array하여 LED 등명기의 광원으로 사용한다. 이때 사용되는 LED의 개수 에 의해 각 LED 의 배치 간격이 결정되며, 이렇게 array에 사용된 LED의 개수에 의해 전체 LED array 광원의 광학적 특성이 달라진다. 먼저 광원의 크기와 사용되는 LED의 크기에 의해 array에 의해 사용할 수 있는 LED 개수가 한정되어진다. array에 사용할 수 있는 LED의 개수의 범위 안에서 그 LED 사용 개수가 많을수록 광원의 전체 밝기가 밝아진다. 하지만 필요한 광원의 세기를 넘어서는 LED의 사용은 불필요하므로 적절한 LED 사용 개수를 선정하여야 한다.

일반적인 LED (Φ 5mm)를 반경 80mm (space angle 4.8°) 원주 안에 array 형태로 배열하면 75개의 LED를 배열로 구성할 수 있으며, 4π steradian 방향으로 빛을 발광하는 광원을 만들 수 있다.

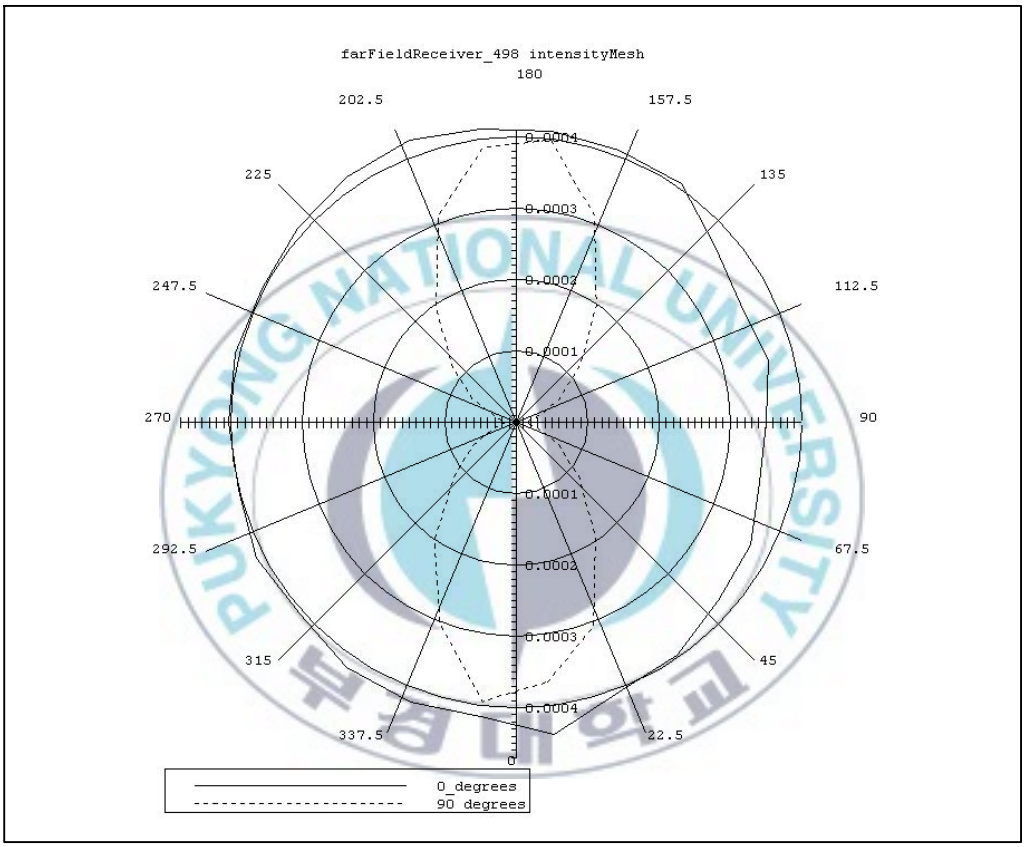
Array에 사용되는 LED 수	65	70	72	75	80	82
space angle	5.539°	5.143°	5°	4.8°	4.5°	4.39°

<표 6> LED Array에 사용되는 LED의 개수에 따른 배치간격

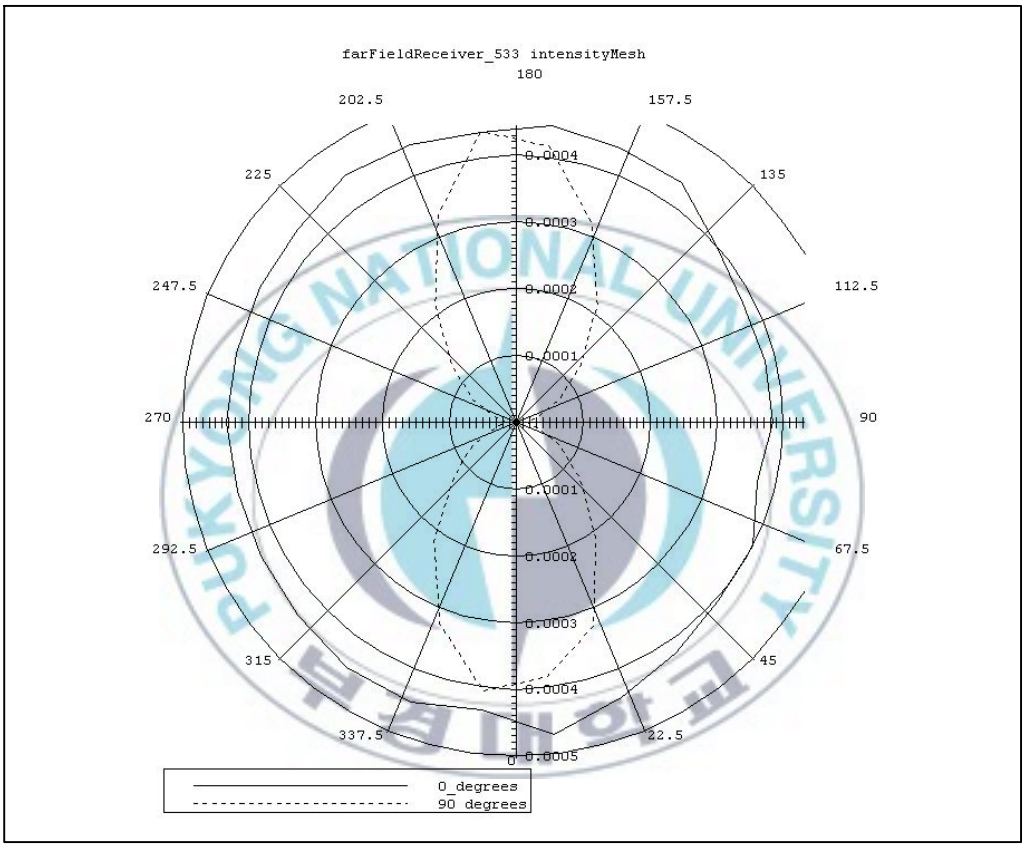
Array에 사용되는 LED 수가 65, 70, 75, 80개 일 때, LED Array의 빛은 다음과 같이 발산되어진다.



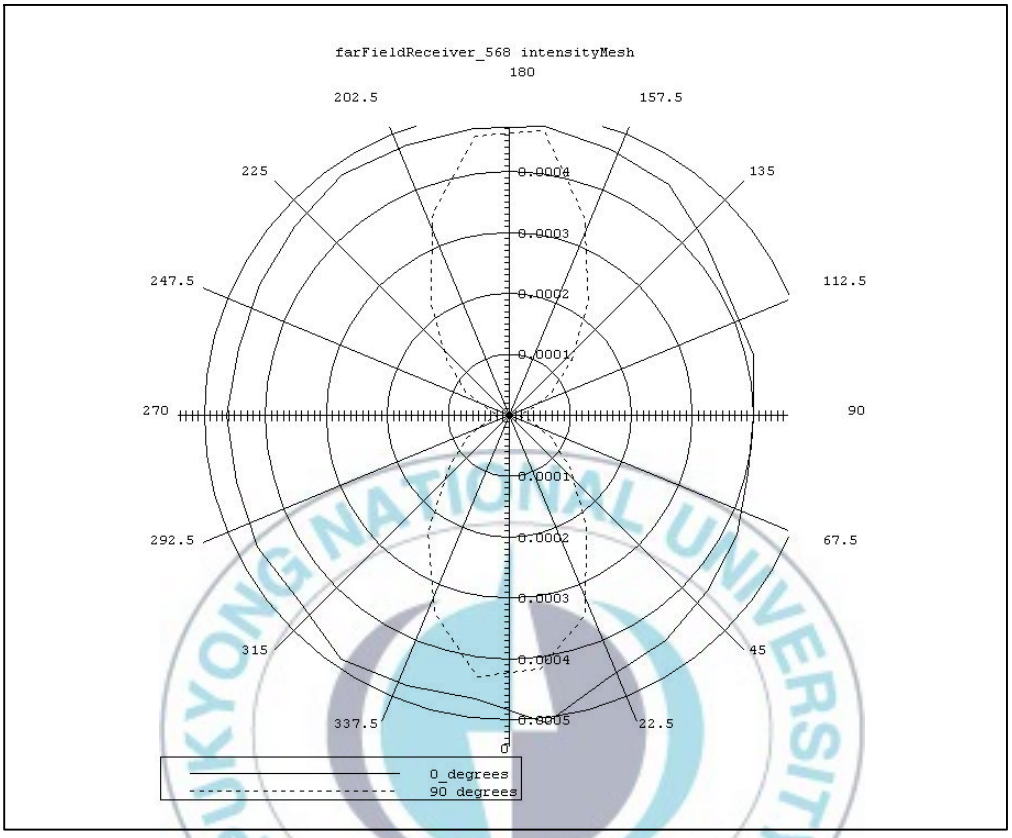
[그림 21] 65 EA LED Array 배광특성



[그림 22] 70 EA LED Array 배광특성



[그림 23] 75 EA LED Array 배광특성



[그림 24] 80 EA LED Array 배광특성

여기서 실선은 array의 수평방향에 대한 배광패턴을 나타내고 점선은 array의 수직방향에 대한 배광패턴을 나타낸다.

해상용 등명기에 사용될 LED array는 수평방향으로 원의 형태로 4π steradian으로 발산하고 수직 방향으로 지향성을 가져야한다. 각각의 array의 특성 차이는 적지만 이 두 조건을 고려해 볼 때 75개의 LED를 사용한 array가 가장 적합한 것으로 판단된다.

제 Ⅴ장 LED를 이용한 등명기의 렌즈부 설계

광원부의 설계가 이루어지고 나면 광원부의 빛을 신호에 더 적합하게 사용되도록 그 효율성을 높이기 위해 렌즈부의 설계가 이루어진다.

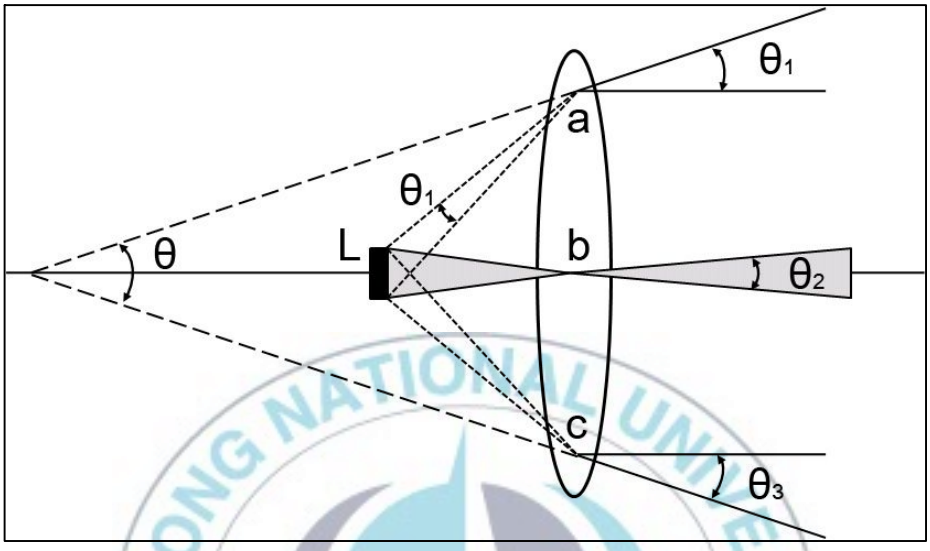
1. 렌즈와 광원과의 관계

렌즈 설계 때는 광원을 점광원으로 가정하고 이 점광원으로부터 나온 빛이 렌즈를 통과한 후 평행광선이 되도록 한다. 하지만 실제의 광원은 그 크기를 가지고 있으므로 광원으로부터 나온 빛이 렌즈를 통과한 후 평행하게 나아가지 않고 퍼지게 된다. 이러한 퍼짐은 각도로 표현되고 이를 발산각이고 한다. 따라서 발산각은 렌즈 면에서 광원을 바라 본 각도가 된다. 광원의 크기가 클수록, 광원과 렌즈 사이의 거리가 가까울수록 발산각은 커지게 된다. 발산각 θ_d과 렌즈의 초점거리 f, 광원의 높이 h에 대한 관계는

$$\theta_d = \theta = \theta_2 \fallingdotseq \theta_1 = \theta_3 = \tan^{-1}(\frac{h}{f})$$

로 표시할 수 있다. 이식은 beam의 차광한계의 개략적인 값을 구하는 경우

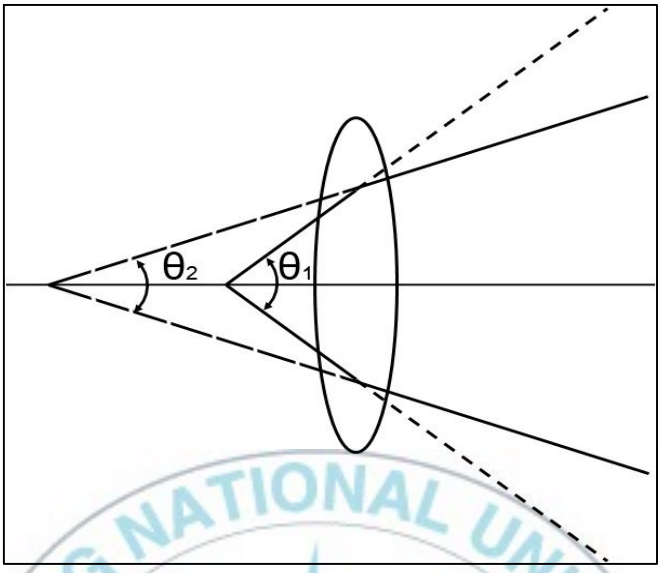
등에 종종 쓰인다.



[그림 25] 렌즈와 발산각

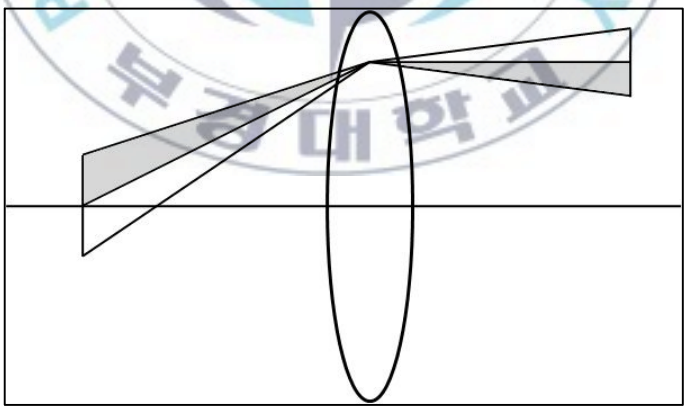
렌즈를 통과한 후의 광도는 발산각에 반비례한다.

광원에서 나온 빛 중에서 θ_1각도로 발산된 빛은 렌즈에 의해 발산각이 θ_2로 좁아지게 된다. 따라서 θ_2의 빛은 θ_1 보다도 (θ_1/θ_2)배만큼 강하게 된다. 광원의 광도를 I_0 (cd)라고 하고, 렌즈를 통과에 따른 광 손실을 무시할 수 있다면 렌즈를 통과한 후의 광도는 $I_0 \times (\theta_1/\theta_2)$ (cd)가 된다. 즉, 렌즈를 통과한 후의 광도는 발산각에 반비례하게 된다.(그림 25)



[그림 26] 렌즈의 작용

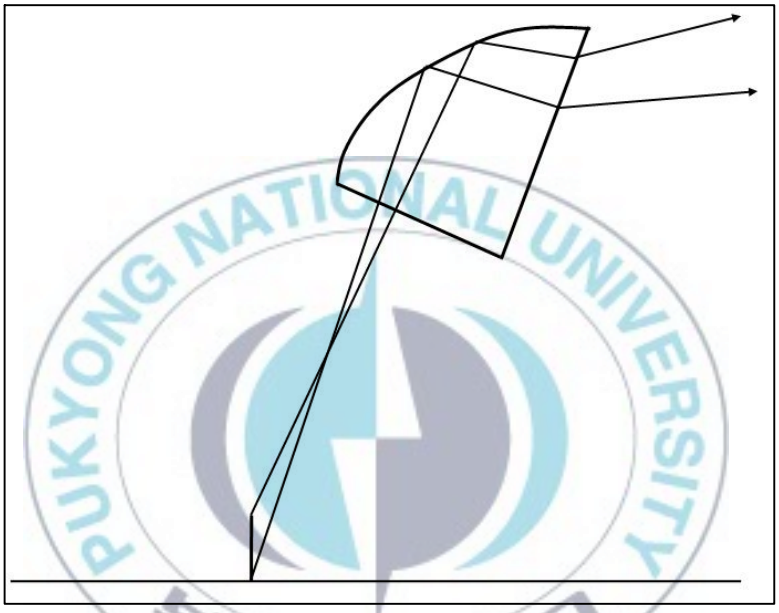
광원의 위치와 렌즈와의 관계는 그 광원의 초점과 관련이 있다. 점광원에서 초점으로부터 나온 빛이 굴절 후 수평이 되도록 하는 렌즈를 설계한다.



[그림 27] 굴절 렌즈와 빛의 진로

하지만 실제의 광원은 점광원이 아니므로 점광원의 위치에 크기를 가지는

광원이 오게 되면 초점으로부터 나온 빛은 렌즈를 통과한 후 평행광선이 되지만, 초점으로부터 위의 부분으로 나온 빛은 렌즈에 의해 굴절된 뒤 수평보다 위로 향하게 된다.(그림 26, 27) 또한 굴절프리즘렌즈에서는 초점보다 아래쪽의 빛은 수형보다 밑으로 향하게 된다.(그림 28)



[그림 28] 프리즘의 빛의 진로

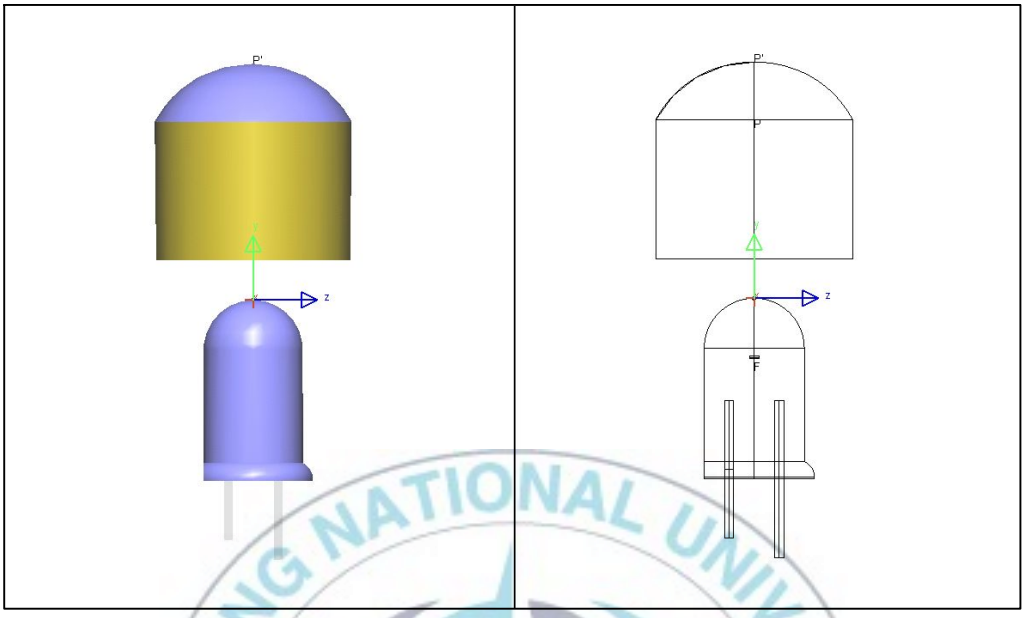
이러한 관계는 등화표지에서 중요한 사항으로 광원의 위치와 렌즈 초점간의 관계를 알 수 있다. 광원의 위치의 차이에 따라 렌즈를 통과한 후의 빛이 원래의 의도와는 다르게 되어 그 기능을 못하게 될 수 있게 되므로 렌즈의 설계시에는 광원의 위치를 잘 고려하여야 한다.

2. 렌즈 설계

primary optics는 LED package에 포함된 광학계를 말하여 2차 광학계(seconday optics)는 LED package 외부에 존재하는 광학계로서 원하는 지향각을 갖도록 LED의 배광 형태를 만들어 내는데 사용되며 입사한 빛을 퍼지게 해주는 diverging optics와 입사한 빛을 평행광으로 만들어 주는 collimating optics로 분류된다. 본 연구는 해상용 등명기에 관한 설계로 해상용 신호의 특성상 신호의 광원이 가능한 한 멀리 나아갈 수 있도록 설계되어야 하므로 그 렌즈가 콜리메이터로 작용하여야 한다. 콜리메이터(Collimator)는 평행광선을 만드는 광학계이다. 렌즈의 초점에 광원을 두고 그 광선을 렌즈에 출사시켜 평행광선으로 하고 다른 광학계에 입사시키는 일종의 대물렌즈이다. 분광계 또는 많은 광학계에 있어서 평행광선을 만드는 중요한 렌즈계이다.

가. Circle Lens

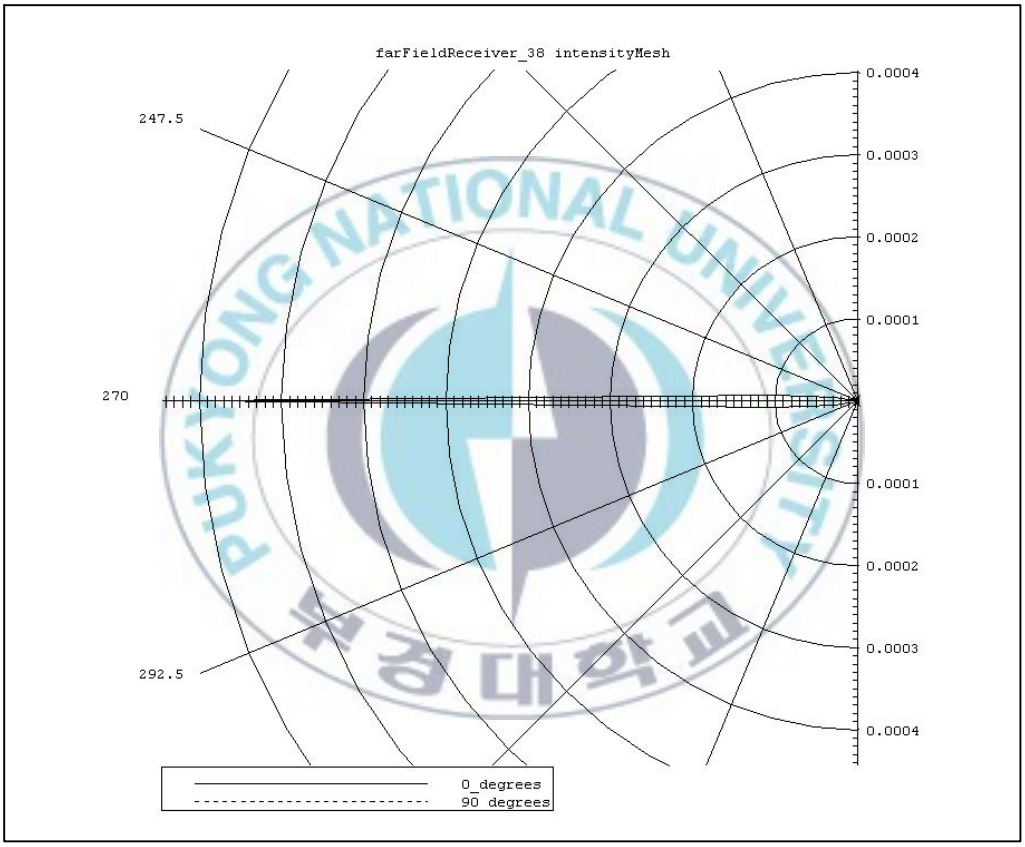
렌즈에서 가장 기본이 되는 렌즈가 바로 구면 렌즈이다. 해상용 등명기의 렌즈로 전면부가 구면인 형태의 렌즈에 대해 먼저 설계가 이루어졌다.



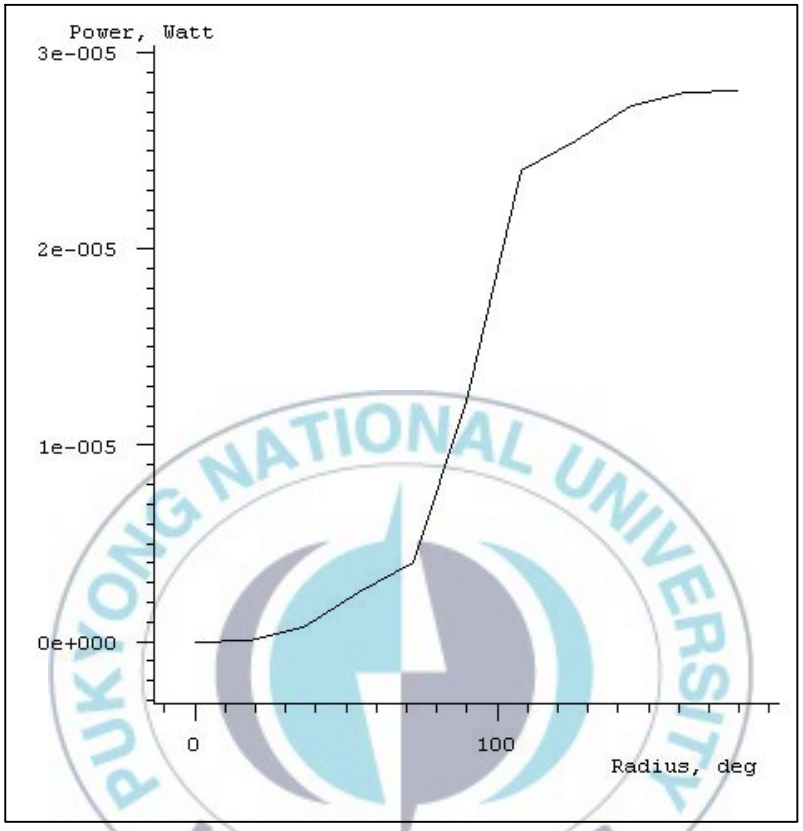
[그림 29] 5mm LED와 설계된 circle 렌즈

구면 렌즈의 직경은 10mm이며, 그 두께는 10mm이다. 그리고 edge 두께는 7.06270이다. 렌즈의 초점의 위치에 LED의 가상초점이 위치하게 되며, 렌즈와 LED의 사이 두께는 2mm이다. 이를 시뮬레이션을 통하여 확인한 광학적 특성은 다음과 같다.

어느 정도의 발산각을 지닌 광원이 렌즈를 통과한 후에 아주 좁은 각도로 발산되어 광원이 더 멀리 나가는 것을 확인할 수 있다.



[그림 30] circle 렌즈에 의한 배광특성

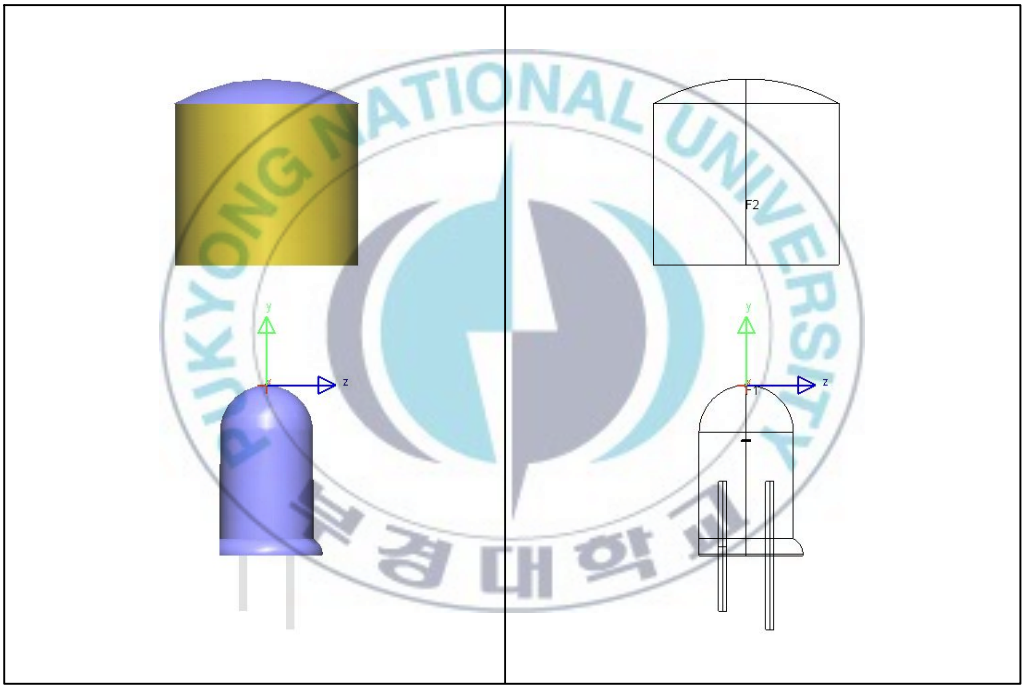


[그림 31] circle 렌즈에 의한 encircled energy

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

나. Ellipse Lens

비구면의 형상을 지닌 렌즈는 구면을 이루는 렌즈보다 뛰어난 성능을 가진다. 본 연구는 비구면 형상으로 타원형의 렌즈를 설계하였다.



[그림 32] 5mm LED와 설계된 ellipse 렌즈

설계된 타원렌즈의 전체 두께는 10mm이고, 전면의 타원형태 부분은 그 두께는 1.3mm이다. 그리고 전면부는 다음과 같은 타원의 장축을 광축과 일치시켜 그 일부분을 사용한 것이다.

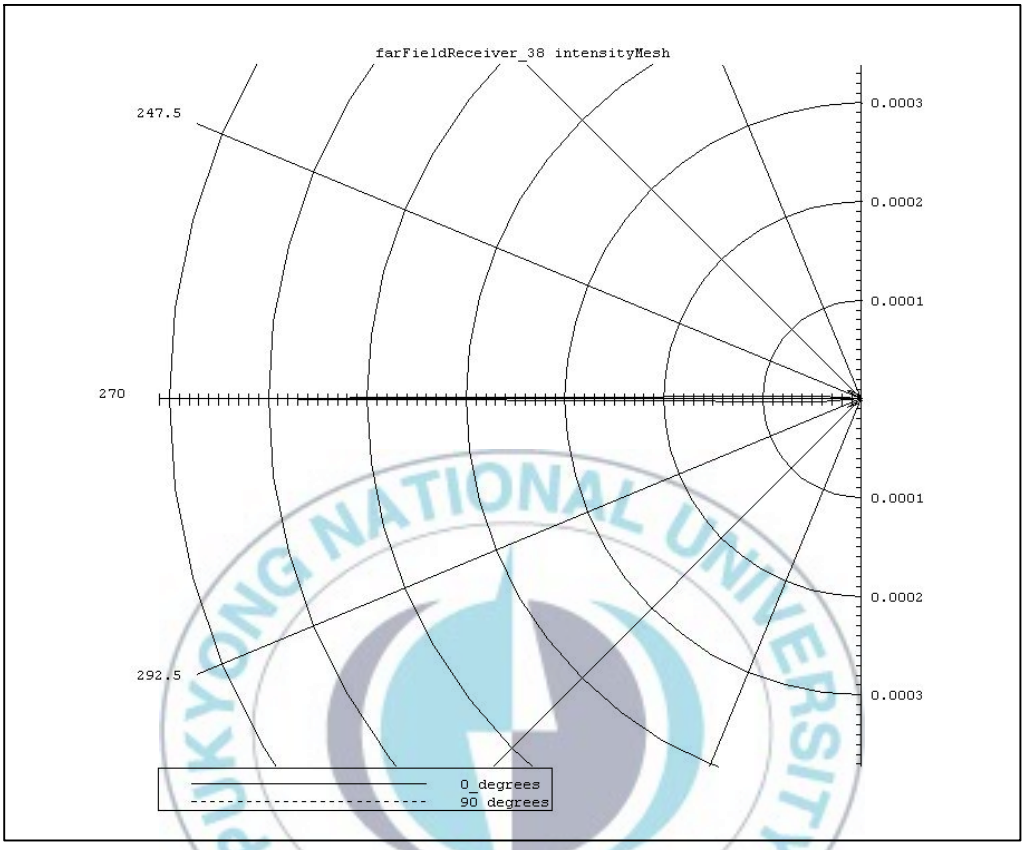
Foci Distance	10.00000
Semi Major Axis	12.00000
Semi Minor Axis	10.90871
Conic Constant	-0.17361
Radius	9.91667
Eccentricity	0.41667

<표 7> Ellipse 렌즈의 특징

이 비구면 렌즈 또한 구면렌즈에서와 같이, 렌즈의 초점의 위치에 LED의 가상초점이 위치하게 되며, 렌즈와 LED의 사이 두께는 4.79mm이다. 이를 시뮬레이션을 통하여 확인한 광학적 특성은 다음과 같다.

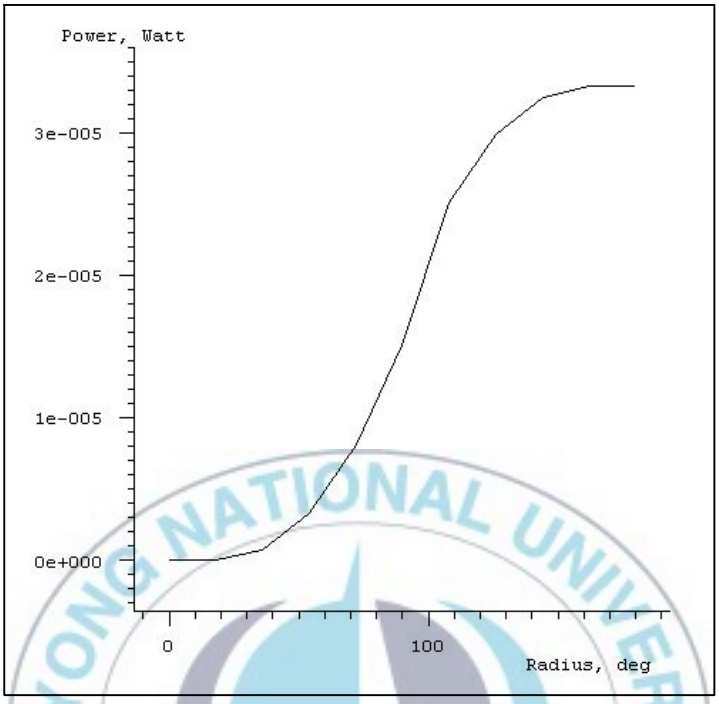
어느 정도의 발산각을 지닌 광원이 렌즈를 통과한 후에 아주 좁은 각도로 발산되어 광원이 더 멀리 나가는 것을 확인할 수 있다. 이때 원형으로 설계한 렌즈보다 지향성이 높아졌다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교



[그림 33] ellipse 렌즈에 의한 배광특성

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교



[그림 34] ellipse 렌즈에 의한 encircled energy

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

제 Ⅵ장 LED Array를 이용한 등명기 설계

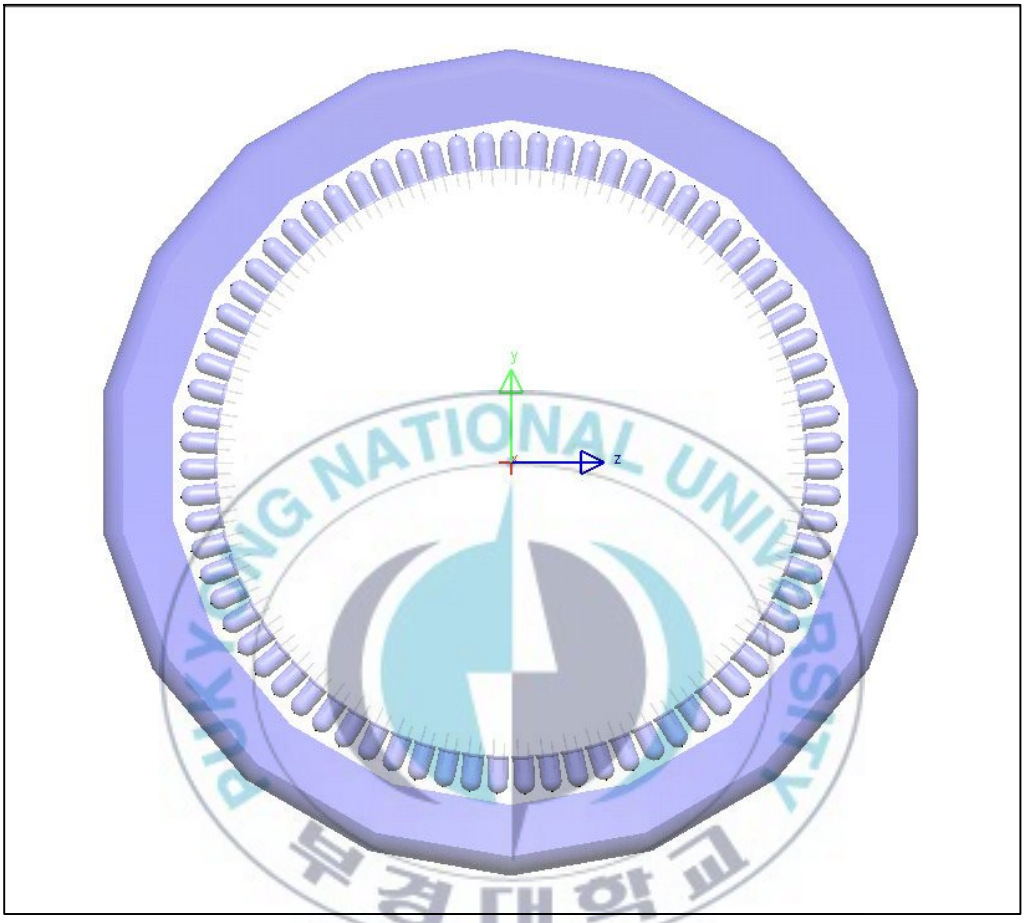
해상용 등명기는 앞서 언급한 바와 같이 광원을 360도로 사용하기 위해 원통형 형태로 이루어져야 한다. 이러한 이유로 광원을 원형으로 배열하였다. 여기에 사용되는 렌즈 또한 원형으로 이루어져야한다. 보통 해상용 등명기는 원형의 링 모양의 광원과 이를 씌울 수 있는 원통형 형태의 렌즈로 구성된다. 본 연구에서도 이러한 형태를 기본으로 하여 등명기 설계를 하였다.

5mm LED의 특성을 바탕으로 한 LED Array의 특성과 5mm 하나의 LED에 대한 렌즈부의 설계를 바탕으로 LED Array를 사용한 해상용 등명기의 렌즈 설계가 이루어졌다.

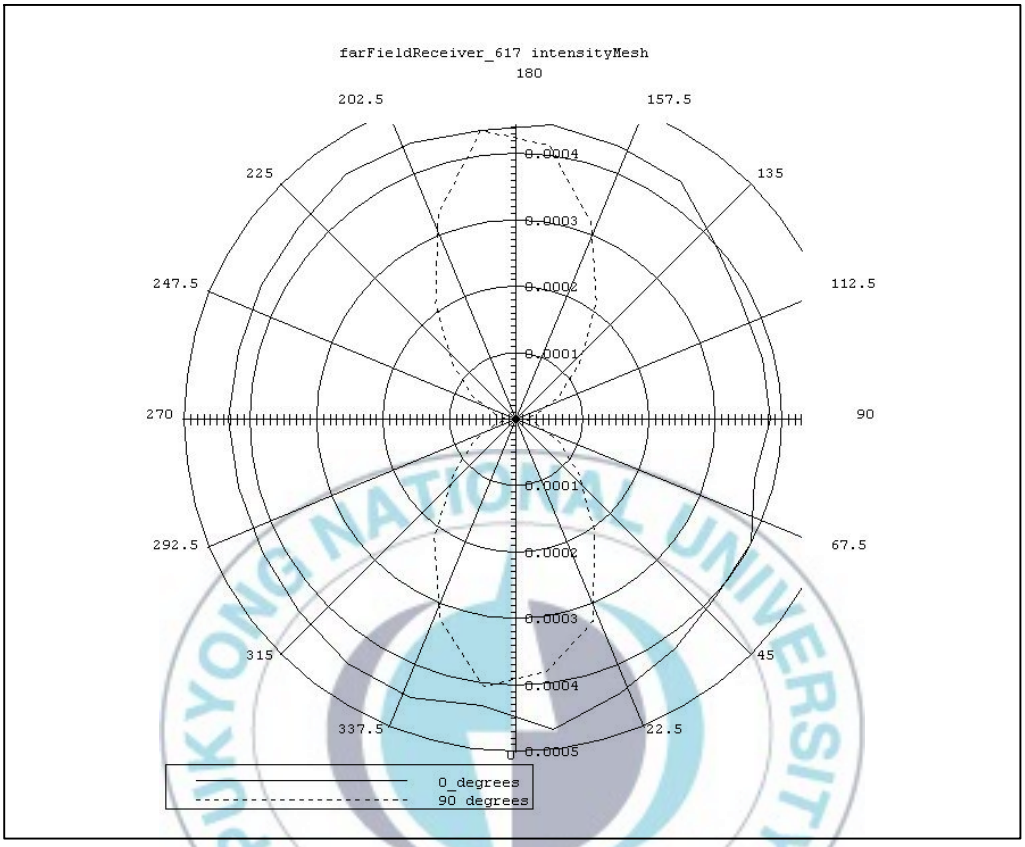
1. Circle Lens를 이용한 회전렌즈

LED Array는 앞서 광원부에서 이루어진 분석을 통해 가장 적합한 배광곡선을 가지는 75개의 LED를 사용하였으며, 렌즈는 앞서 설계된 구면 렌즈를 회전 대칭시켜 LED Array에 적합하도록 하였다. 이때 LED Array와 LED 렌즈 사이의 간격을 앞서 하나의 LED의 렌즈에서 설계한 간격과 동일하게 유지하였다.

이렇게 설계된 LED 해상용 등명기는 다음과 같은 광특성을 가지는 것을 시뮬레이션을 통해 확인되어졌다.

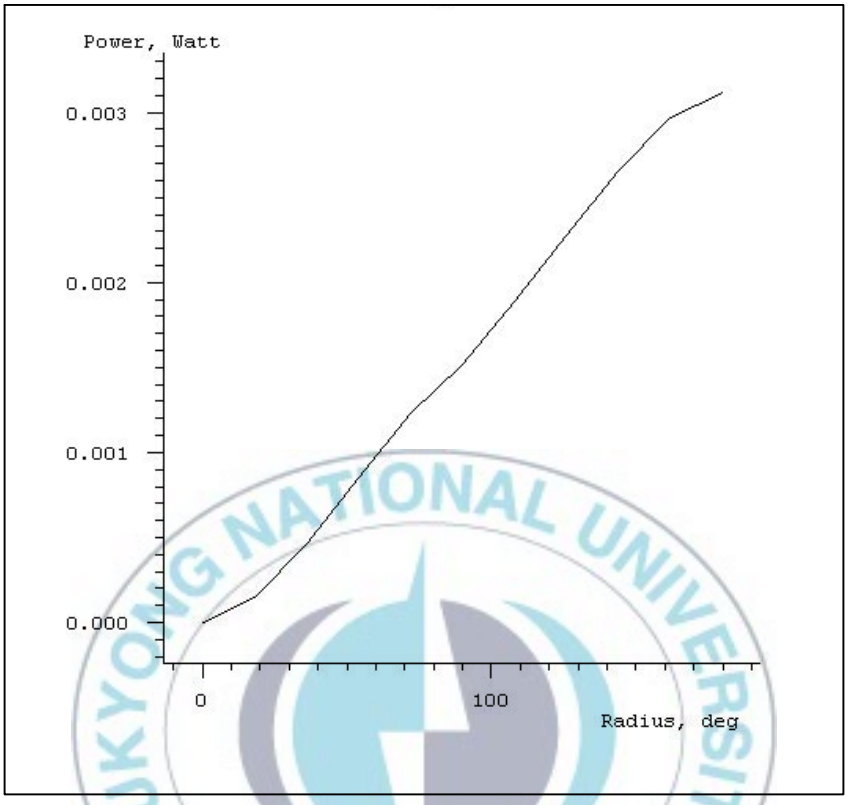


[그림 35] 75개 LED + circle 회전렌즈



[그림 36] circle 회전렌즈를 이용한 등명기의 배광특성

회전 Circle 렌즈에 의한 배광특성은 하나의 5mm LED와 circle 렌즈에서의 배광특성에 비해 그 지향성이 현저하게 떨어지지만 LED array를 한 배광특성보다는 그 지향성이 약간 증가한다. 이는 원형으로 이루어진 렌즈를 회전하기 때문에 렌즈의 곡률 부분이 LED array 방향의 축에서는 없어지게 되고 그 수직 방향에 대한 곡률이 존재하게 되므로 실제 하나의 5mm LED에 대한 circle 렌즈보다 그 성능이 떨어지게 되는 것이다.



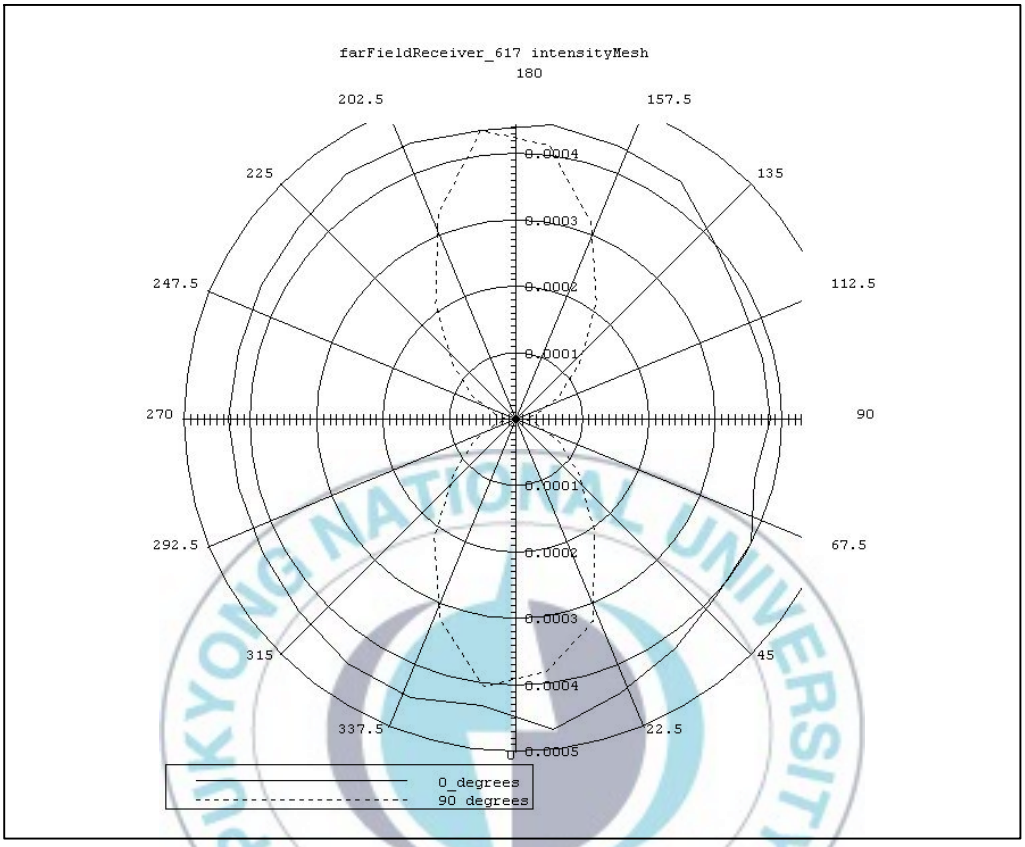
[그림 37] circle 회전렌즈를 이용한 등명기의 encircled energy

2. 타원 Lens를 이용한 회전렌즈

LED Array의 회전 렌즈 부분으로 타원렌즈를 사용하여 분석하여 보았다. 앞의 원형 렌즈에서도 렌즈의 회전에 의해 LED Array 방향의 곡률이 LED 광원에 영향을 미치지 못하는 것을 보았다. 이는 타원의 형태를 가진 지는 곡률의 특성에 더 영향을 미치게 되므로 타원형태의 회전 렌즈는 원

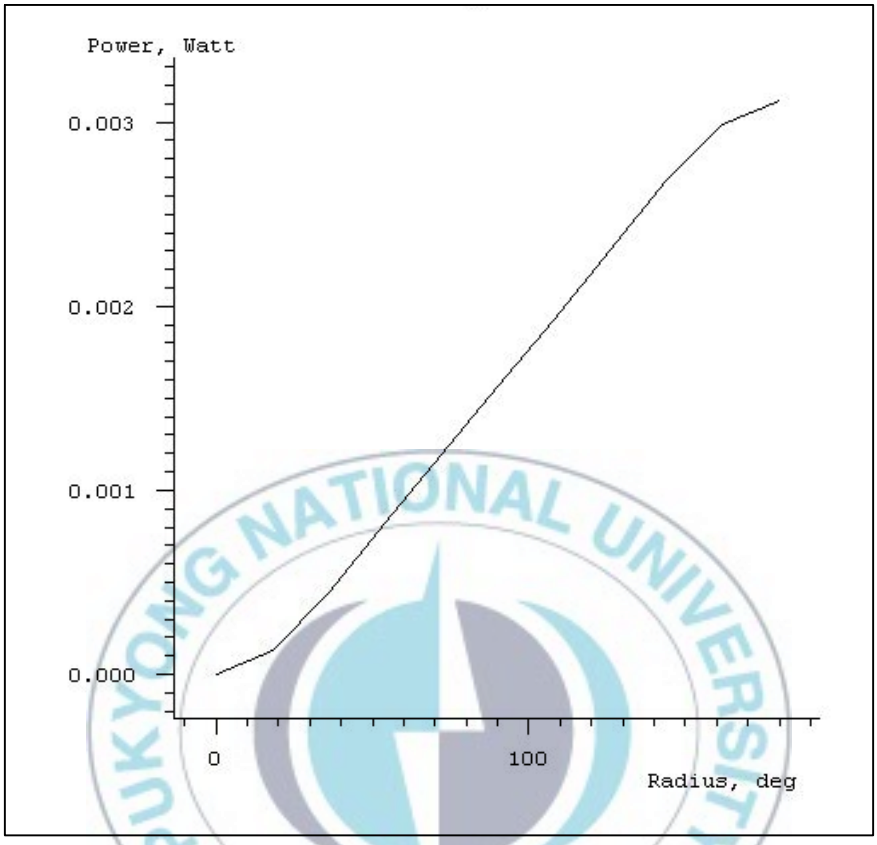
형의 회전 렌즈보다 배광 특성의 성능을 더 떨어뜨리게 될 것이다.

[그림 38] 75개 LED + ellipse 회전렌즈



[그림 39] ellipse 회전렌즈를 이용한 등명기의 배광특성

렌즈의 회전에 의해 타원의 형태가 아닌 실린더 형태가 되어 배광특성이 변화됨을 볼 수 있다. 특히 실린더 형태의 렌즈가 되어서 원형의 회전렌즈와 타원의 회전 렌즈가 각각 가지는 광학적 성능이 변화하게 되어 전체 시스템에서 그 광학적 성능의 차이가 줄어들게 되었다. 회전렌즈에서 원형과 타원의 배광특성을 비교하면 이를 확인할 수 있다. 실제 시뮬레이션의 결과 이 둘의 차이가 없어져 둘은 같은 특성을 가짐을 볼 수 있다.



[그림 40] ellipse 회전렌즈를 이용한 등명기의 encircled energy

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

제 Ⅷ장 결론

해상용 등명기의 성능을 향상하기 위해 차세대 광원으로 주목받고 있으며, 현재 여러 신호의 광원으로 사용되고 있는 LED를 이용한 해상용 등명기의 렌즈를 설계하였다. 해상용 등명기의 신호는 해상에서 전 방향으로 퍼져 나가야 하므로 LED를 원형으로 Array이 하였다. 사용되는 LED는 신호용으로 가장 흔히 사용되는 5mm LED를 사용하였다.

이러한 LED를 array할 때, 그 Array의 크기와 LED의 수에 따라 그 배치가 달라진다. 여기서는 200mm 크기의 등명기를 설계하기 위해 그 광원인 LED array의 반경을 80mm로 정하였다. Φ 5mm LED를 원형으로 array할 때, LED를 75개 사용한 array는 space angle이 4.8°를 이루며 그 광학적 성능이 다른 것에 비해 조금 뛰어났다.

등명기에 사용될 렌즈는 먼저 하나의 LED에 대한 렌즈 설계가 이루어진 뒤, 이를 바탕으로 회전 대칭하여 array용 렌즈를 설계하였다.

LED 등명기 렌즈는 구면과 비구면으로 나누어 고려하였으며 비구면 렌즈는 타원형태로 설계하였다. 이 두 경우 모두 렌즈의 초점에 광원인 LED의 가상 초점을 위치시켜 렌즈를 통과한 빛이 평행이 되도록 설계를 하였다. 구면 렌즈의 경우 LED에서 나온 빔각이 아주 좁아져서 그 광이 멀리 나갔으나 비구면 타원 렌즈를 통과한 후의 빛이 더 좁은 발산각으로 가져 그 광달거리가 더 길어졌다.

array에 사용될 렌즈는 회전대칭으로 이루어지기 때문에 하나의 LED에 대한 구면 렌즈나 타원 렌즈에서와 같은 광 특성이 나타나지는 않는다. 따라

서 구면 렌즈와 타원렌즈에 대한 회전 렌즈를 모두 설계하여 그 분석을 하였다.

렌즈의 회전에 의해 타원의 형태가 아닌 실린더 형태가 되어 배광특성이 변화됨을 볼 수 있다. 특히 실린더 형태의 렌즈가 되어서 원형의 회전렌즈와 타원의 회전 렌즈가 각각 가지는 광학적 성능이 변화하게 되어 전체 시스템에서 그 광학적 성능의 차이가 줄어들게 되었다. 회전렌즈에서 원형과 타원의 배광특성을 비교하면 이를 확인할 수 있다. 실제 시뮬레이션의 결과 이 둘의 차이가 없어져 둘은 같은 특성을 가짐을 볼 수 있다.

이러한 회전 렌즈의 특성을 고려하여 하나의 LED에 대한 렌즈로 실린더 형태를 생각해 볼 수 있으며, 하나의 LED에 대한 렌즈의 설계시 또한 회전에 의해 그 특성의 변화가 적어지도록 하기 위한 변수에 대한 고려가 요구되어진다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

참고문헌

[1] ISENA Nationl conference 2004 LED Paper, "The Emergence of LEDs-Luminance to Illumination".

[2] Ryer, Alex. 1998. *Light Measurement Handbook*. Newburyport, MA : International Light. Available at http://www.intl-light.com

[3] 해양수산부, 2002.12. "LED (Light Emitting Diode) 등명기 연구 개발"

[4] 한국표준과학연구원, 2005.03, "LED-200mm 등명기 렌즈설계"

[5] 해양수산부, 2006.12, "항로표지 기능향상 개선방안 및 업무편람 개정 연구용역(최종보고회)"

[6] MA Cayless and AM Marsden, 1993, "Lamps and Lighting (third edition)"

[7] Danial A. Steigerwald, Jerome C. Bhat, Dave Collins, Robert M. Fletcher, Mari Ochiai Holcomb, Michael J. Ludowise, Member, IEEE, Paul S. Martin, and Serge L. Rudaz, "Illumination With Solid State Lighting Technology", *IEEE journal on selected topics in quantum electronics*, VOL.8, NO.2, MARCH/APRIL 2000

[8] Dr. Mark Rea and Dr. Jhon Van Derlofske of Lighting Research Center; Dr. William Cassarly and Stuart David of Optical Research Center. 2000. *Illumination Fundamentals. Available at http://www.opticalres.com/*

[9] 신경호, 2005. (석사학위논문) "렌즈를 이용한 고출력 LED 스포트라이트 설계"

[10] 조현석, 2005. (석사학위논문) "해상용 랜턴으로 사용하는 원통형 프레넬 렌즈 조명 시뮬레이션과 제작"

감사의 글

2년이라는 시간이 정말 어떻게 지났는지 모를 정도로 빨리 지나간 거 같다. 2년이라는 휴학 기간을 가지고 난 후 4학년 졸업을 앞두고 무작정 찾아가 대학원에 진학하겠다고 찾아온 나를 서슴없이 받아주시고 많은 것을 가르쳐주신 김종태 교수님께 감사드립니다. 그리고 학과에 대해 잘 모르던 나를 챙겨주신 대학원 선배들과 나를 따라준 후배에게도 고마웠다는 말을 하고 싶습니다. 마지막으로 나의 길을 믿고 지켜봐주신 부모님께 감사드립니다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교