



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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

프리즘 태양광 채광장치의
설계 및 성능분석 연구



2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

윤 지 영

공 학 석 사 학 위 논 문

프리즘 태양광 채광장치의
설계 및 성능분석 연구

지도교수 김 종 태

공동 지도교수 정 연 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

이미지시스템공학과

윤 지 영

윤지영의 공학석사 학위논문을 인준함.

2011년 2월 23일



주 심 공학박사 김 종 수 인
위 원 공학박사 김 지 흥 인
위 원 공학박사 정 연 태 인

목 차

목차	i
그림 차례	iii
표 차례	iv
Abstract	v
제 I 장. 서론	1
제 II 장. 조명 개요	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. 조명계산과 측정	13
가. 직사 조도계산	13
나. 상호반사를 고려한 조도계산	15
제 III 장. 태양의 위치 계산 및 일사량 산출	19
1. 태양의 위치 계산	19
가. 태양의 적위 계산	20
나. 태양의 고도각 계산	20
다. 태양의 방위각 계산	20
라. 태양의 일영각 계산	21
2. 일사량 산출	23
가. 연직면 직달일사량	23

나. 천공일사량 -----	23
제 IV 장. 프리즘 개요 -----	25
1. 프리즘 패널의 채광원리 -----	25
2. 프리즘의 최소 편향각 및 정각 -----	26
3. 기본적 물성 및 주요특징 -----	28
가. Acrylic -----	29
나. Rigid vinyl -----	29
다. Polycarbonate -----	30
제 V 장. 프리즘 태양광 채광 시스템 설계 -----	33
1. 부산지역의 태양 일사량 및 프리즘 최적 각도 분석 -----	33
가. 태양광 전 일사량 추이 -----	33
나. 프리즘 각도 산출 방법 -----	38
다. 프리즘 패널의 부분별 최적 각도 -----	41
2. Solar Tracking을 이용한 채광장치 분석 -----	43
가. Solar Tracking -----	43
나. 부산지역 일사량 Data 산출기준 -----	44
다. 프리즘 태양광 채광장치 효율평가 -----	46
제 VI 장. 결 론 -----	50
참고문헌 -----	52
감사의 글 -----	53

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] 코사인 법칙	14
[그림 8] 평행평면의 상호반사	16
[그림 9] 구내의 상호반사	17
[그림 10] 태양의 고도각 및 방위각의 개념도	19
[그림 11] 스넬의 법칙 (Snell's Law)	25
[그림 12] 광선의 편향	26
[그림 13] 다양한 플라스틱 재료들의 투과 범위	28
[그림 14] Acrylic의 파장에 대한 투과도 그래프.	30
[그림 15] Rigid vinyl의 파장에 대한 투과도 그래프.	31
[그림 16] Polycarbonate의 파장에 대한 투과도 그래프.	31
[그림 17] 부산지역 월평균 수평면 일사량	35
[그림 18] 부산지역 경사면 일사량 평균값	35
[그림 19] 계절별 최적 경사각에 따른 채광장치 설계기준	37
[그림 20] Dome type Fresnel Lens Profile	38
[그림 21] 프리즘 패널 각도의 설계 기준	39
[그림 22] 상부면 프리즘 규격	41
[그림 23] 하부면 프리즘 규격	42
[그림 24] Solar Tracking	43
[그림 25] 부산지역 춘·추분 일사량 Data	45
[그림 26] 프리즘 채광장치 효율-춘·추분(3월 21일)	46
[그림 27] 프리즘 채광장치 효율-하지(6월 21일)	47
[그림 28] 프리즘 채광장치 효율-동지(12월 21일)	48

표 차례

<표 1> Radiometry와 Photometry의 단위 비교 -----	12
<표 2> 부산지역에서의 태양의 위치 (북위 35.17° 기준) -----	22
<표 3> 일사량 산정 계수 A, B, C -----	24
<표 4> Plastic materials의 물리적 성질 -----	29
<표 5> Optical plastic의 각 파장별 굴절률 분포 -----	32
<표 6> 전국 16개 지역 월평균 수평면 일사량 (kcal/m ² /day) -----	34
<표 7> 부산지역 경사면 일사량 (kcal/m ² /day) -----	36
<표 8> 부산지역 계절별 최적 어레이 경사각 -----	37
<표 9> 부산지역 계절별 일출·일몰 시각 -----	44
<표 10> 일사량 Input 값 [1,000]에 따른 결과 값 -----	49
<표 11> 계절에 따른 프리즘 채광장치의 효율 -----	51



**The design and analysis of a prismatic Dome type
sunlight collecting device**

Ji Young Yun

**Department of Image System Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University**

Abstract

We designed prism solar daylighting system being noticed for its energy-saving effect and as an eco-friendly energy source and analyzed its performance in this study. Our study was to design a dome-shaped prism solar daylighting system for omnidirectional lighting, to find out the optimum angle of the prism with the maximum efficiency and to compare its energy efficiencies. To design prism solar daylighting systems, a lighting design program which is capable of both designing a lighting system and performing its optical analysis was used. In addition, to measure and analyze the solar daylighting systems, Solar Tracking Utility which provides the specific daylight at a certain place or a certain time range was used. In the experiments, daylights' positions varied with seasons, and the seasonal variation of the amounts of light flows into the daylighting system.

As you can see in this study, the efficiency test using Solar Tracking enables efficiency test and optical analysis of solar daylighting systems without actual prototypes. Consequently, we could realize the optimum prism angle with minimum light loss, analyze the optical characteristics of prism solar daylighting systems, and design a dome type Fresnel lens with maximum efficiency.

제 1 장. 서론

종래에 사용되던 광학소자들은 빛의 반사, 굴절을 이용한 것이 대부분이었다면 최근 회절 광학에 대한 관심이 높아지면서, 회절 광학소자인 Fresnel Lens에 대한 연구와 이용이 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 Fresnel lens 원리를 이용한 태양광 채광시스템에 대해 소개하고자 한다.

태양광 채광시스템은 고효율, 고밀도, 반영구적 수명 등의 특징을 가지고 있어 에너지 절감 및 친환경 에너지원으로 주목받고 있다. 기존 연구결과에 따르면 국내 에너지 총 소비량 중 건물 부분이 차지하고 있는 에너지 소비 비율은 약 30% 이상이며 그 중에서도 조명분야에서 소비되는 비율이 30%를 넘고 있다는 연구 결과가 있다. 그렇기 때문에 조명 부문에 태양광 채광시스템을 적용함으로써 조명용 에너지 비용의 절감뿐만 아니라 지하공간의 효용 및 환경 친화적 공간형성 등의 효과를 기대할 수 있다. 그 외에도 유지보수비가 절감되고, 누수·폭발·누전·단락 등의 운전 장애요인이 발생하지 않으며, 재실자의 건강을 증진시킨다는 장점이 있어 공장, 사무실, 학교 등에 태양광 채광시스템의 이용이 점차 확대되고 있다.

태양광 채광시스템이 실내조명용 에너지원으로 이용될 수 있는 방법에는 채광기술에 따라 자연형과 설비형 시스템으로 나눌 수 있다. 그 중 복잡한 기계부품이 들어가지 않는 자연형 방식은 태양위치에 따라 움직이는 추적 장치 없이, 자연적인 방법으로 태양광을 집열, 저장하는 방법이다. 반면에 기계 장치를 이용해 강제적 방법으로 태양광을 집열, 저장하는 설비형 시스템의 경우에는 모터구동과 그 제

어 프로그램, 고정밀의 비구면 집광렌즈 등의 다양한 전문지식이 요구되며 설치비용 등의 경제적 문제들로 인해 실제로는 잘 사용되고 있지 않은 실정이다. 현 시점에서는 위와 같은 국내 상황을 고려하여 자연형 방식의 태양광 채광시스템을 설계하되, 기존의 성능에서 한층 더 향상된 채광시스템을 설계하여야 한다. 태양광 채광시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 용도에 알맞은 시스템의 크기, 설치 위치 등이 뒷받침되어야 하고, 그 외에도 태양광 및 천공광을 실내로 유입시키기 위한 적절한 디자인도 요구된다.

본 연구에서는 전방향 채광에 적합한 돔형 형태의 프리즘 채광시스템을 설계하였다. 먼저 돔형 채광시스템의 지름은 500mm로 정하여 돔형 채광시스템의 기본 틀을 설계하였다. 그 뒤 최적의 효율을 지닌 프리즘 각도 구현 통해 채광성능 및 에너지 효율을 비교하였다. 이때, 돔형 프리즘 채광시스템의 설계는 채광기의 설계 및 광학적 분석도 함께 이룰 수 있는 조명설계 프로그램을 사용하였다. 또한 설계된 채광 시스템의 효율평가 및 분석을 위해, 원하는 장소 또는 특정 시간대의 태양광을 가상으로 형성할 수 있는 Solar Tracking Utility를 이용하였다. 그 결과, 가상으로 얻은 태양광을 설계된 채광시스템에 적용함으로써, 시제품으로 직접 만들지 않고도 채광시스템의 효율평가 및 광학적 분석을 살펴볼 수 있었다.

제 II 장 조명 개요

총괄적인 연구 내용을 이해하기 위해서는 조명광학계에 대한 기본적인 배경지식이 요구된다. 조명 광학계에 대한 사항 중 꼭 필요한 사항들은 아래와 같다.

1. Radiometry Photometry

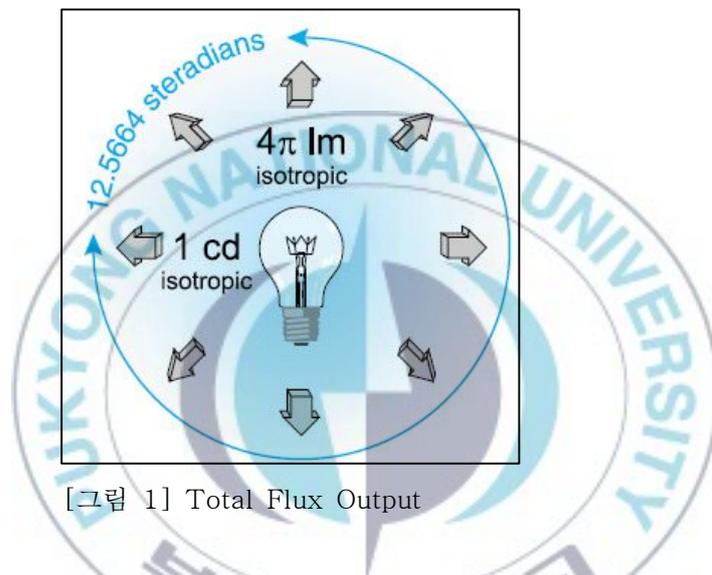
복사측정학(Radiometry)은 복사량을 측정하는 광학으로서 전자기 스펙트럼의 전체에 걸쳐 적용되는 반면에 측광학(Photometry)은 복사측정학의 한 부분으로 빛의 지각과 같이 사람의 눈에 의해 감지되는 스펙트럼의 일부에만 적용된다. 대부분의 복사측정학의 양들은 복사(Radiant)라는 수식어를 갖고 있으며 이것들을 나타내는 모든 기호에는 전자기(electromagnetic)를 나타내는 첨자 e 를 붙인다. 그리고 대부분의 측광학의 양들은 발광(luminous)이라는 수식어를 가지고 있으며, 이것들의 모든 기호에는 시각(visual)을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

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

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(복사전속)와 Luminous Flux(광전속)

전자파로서 전달되는 에너지를 총칭하여 방사라고 한다. 복사전속(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 복사전속(Φ)이라 한다. 단위는 와트(Watt : W)이다. ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$)



[그림 1] Total Flux Output

광전속(Luminous Flux, Φ_v) 단위시간에 전달되는 복사에너지를 시각적으로 측정하는 것으로 일반적으로 전광속 (Total Luminous Flux)의 개념으로 사용되기도 한다. 방사전속은 모두가 가시광선은 아니므로, 방사전속 중에서 빛으로의 느낌을 받을 수 있는 가시범위 (380~760 nm) 내의 방사속을 눈의 감도를 기준으로 해서 측정한 것을 광속이라고 한다. 즉, 광전속이란 복사전속(Radiant Flux)에 그 파

장에서의 표준 관측자의 눈이 느끼는 가중치를 곱한 것을 전 가시광선 영역에 걸쳐 적분하고 K_m 을 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_m 은 밝은 빛 시감에서의 최대 분광시감효능 (maximum spectral luminous efficacy)으로 $683.002 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ 이다. 즉, 광선속이란 복사선속에 그 파장에서의 표준관측자의 눈이 느끼는 가중치를 곱한 것을 전 가시광선영역에 걸쳐 적분하고, K_m 을 곱해준 것이다. 즉, 표준관측자의 눈이 느끼는 빛(광)의 총량을 의미한다.

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

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

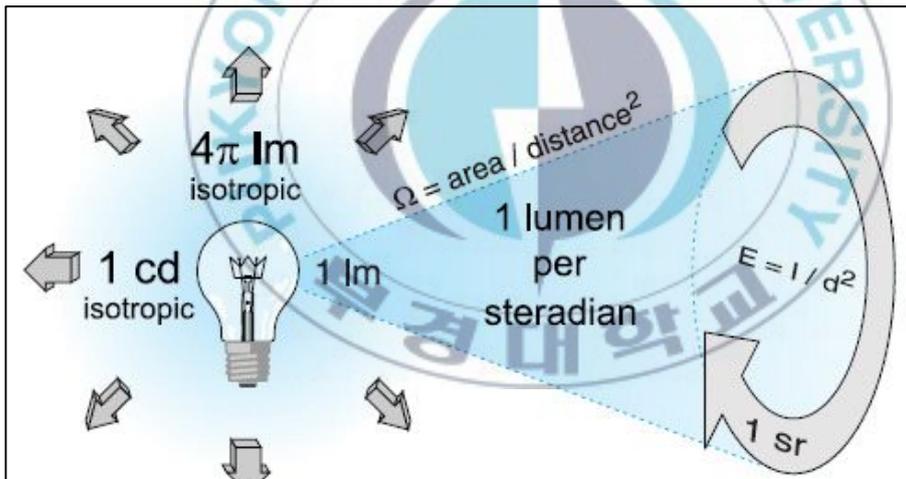
이러한 복사선속과 광선속의 단위 변환은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Radiant flux } 1\text{W} &= 683.0 \text{ lm at } 555\text{nm} = 1700.0 \text{ scotopic lm at } 507\text{nm} \\ 1\text{J} &= \text{W} \times \text{s} = 10^7 \text{ erg} = 0.2388 \text{ gram} \times \text{calories} \end{aligned}$$

Luminous flux $1 \text{ lm} = 1.464 \times 10^{-3} \text{ W at } 555\text{nm} = 1/4\pi \text{ cd}$
 $1 \text{ lm} \times \text{s} = 1 \text{ talbot(T)} = 1.464 \times 10^{-3} \text{ J at } 555\text{nm}$

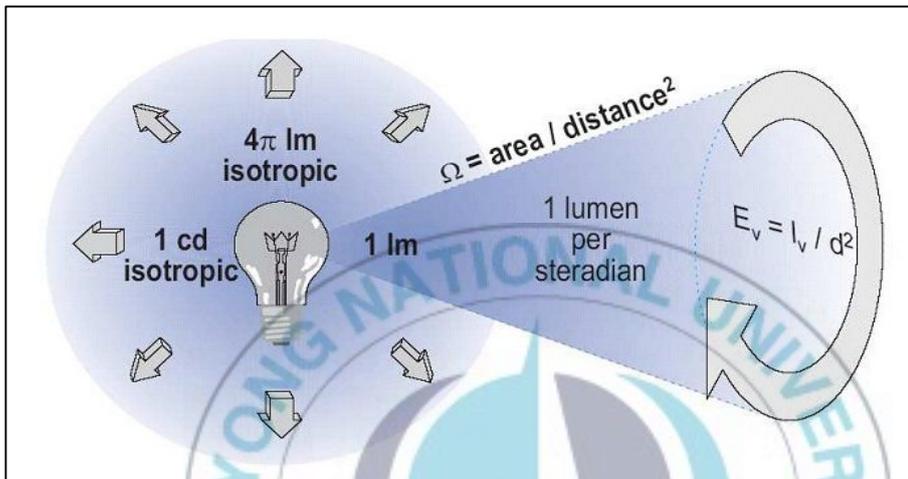
나. Radiant Intensity(복사광도)와 Luminous Intensity(휘도광도)

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 10 배 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. 휘도광도는 백금 응고점의 온도에서 흑체 방사의 휘도를 $60 \text{ (cd/cm}^2\text{)}$ 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.

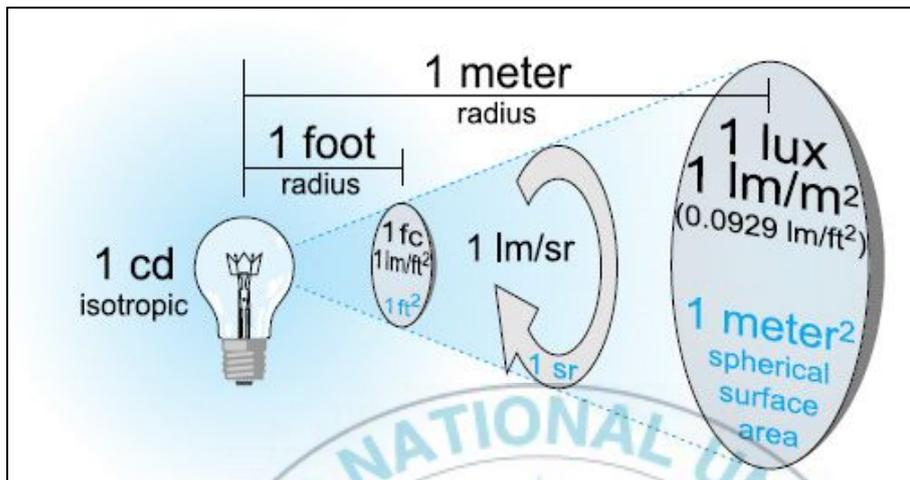


[그림 3] Luminous Intensity

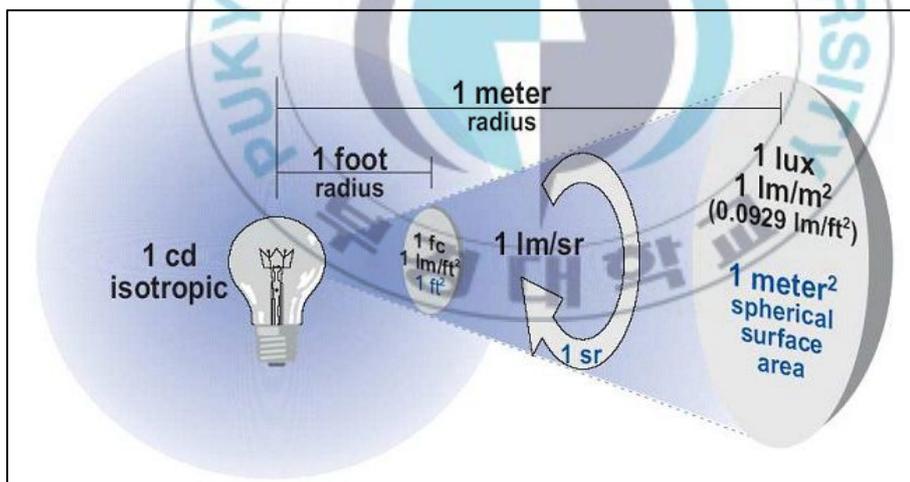
다. Irradiance(복사조도)와 Illuminance(조도)

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



[그림 4] Irradiance



[그림 5] Illuminance

조도의 단위에는 *lux* 와 *phot*가 있는데, *lux*는 1 m²의 면적에 1 *lm*의 광속이 입사되고 있을 때의 조도이고, *phot*는 1 cm²의 면적에 1 *lm*의 광속이 입사 될 때의 조도이다.

$$1 \text{ lux} = 1 [\text{lm/m}^2]$$

$$1 \text{ phot} = 1 [\text{lm/cm}^2]$$

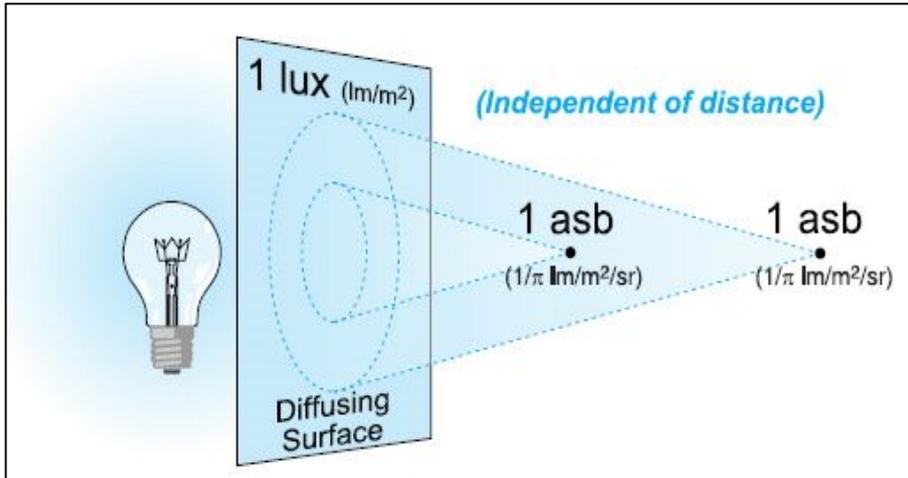
$$1 \text{ phot} = 10,000 [\text{lux}]$$

즉, “1 m²의 넓이에 1 *lm*의 광속이 균일하게 분포되어 있을 때의 면의 조명도, 즉 1차(cd)의 점광원으로부터 1 m 떨어진 곳이 있는 광선에 수직인 면의 조명도가 1 *lx*이다”

다시 말하면, 모든 방향의 광도가 1 cd 인 점광원이 반지름 R [m] 인 구의 중심에 있을 경우 구면 위 모든 점의 조도는 *lux*로 된다. 광원의 광도에 비례하고 광원으로부터 빛이 멀리 뺏어나갈수록 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/m²/sr이고, 확산광원에 대해서는 거리에 독립적이며, 람베르시안 면적에서 복사도(L)은 복사출력 M과 관련있다. (L = M/π)



[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.

$$1 \text{ [sb]} = 1 \text{ [cd/cm}^2\text{]}$$

$$1 \text{ [nt]} = 1 \text{ [cd/m}^2\text{]}$$

$$1 \text{ [sb]} = 10,000 \text{ [nt]}$$

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^2 의 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.

quantity	radiometry		photometry	
	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)
illrradiance & 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. 조명계산과 측정

가. 직사 조도계산

(1) 역제곱 법칙

점광원으로부터 거리가 증가할수록 같은 광 에너지가 더 넓은 면적에 분배된다. 결과적으로 조도는 감소한다. 빛에 대한 역제곱 법칙(inverse square law)은 다음과 같다.

$$E = I/d^2$$

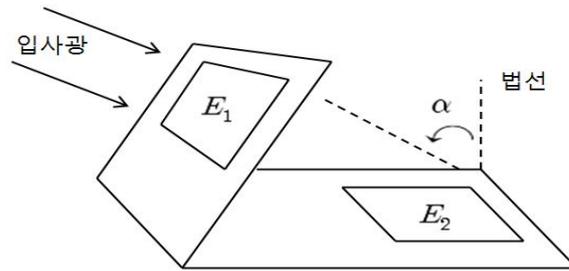
여기서 E : 조도[lx], I : 광원의 광도[cd], r : 점광원으로부터의 거리[m]이다.

(2) 코사인 법칙

표면에 직각이 아닌, 법선과 각도 α 를 이루며 입사하는 광 에너지는 더 넓은 표면에 분배된다. 예를 들어 [그림 7]에 보이는 것과 같이, 영역 E2는 영역 E1보다 넓다. 빛에 대한 코사인 법칙(cosine law)은 다음과 같다

$$E_2 = E_1 \cdot \cos \alpha$$

여기서 E : 조도, α : 법선과 입사광 사이의 각도



[그림 7] 코사인 법칙

(3) 점광원

등기구의 최대 크기보다 5~10배 이상이 되는 거리에서는 실용적으로 그 등기구를 점광원으로 볼 수 있다. 점광원에 의해 빛을 수직으로 받는 경우에 조도는 광도에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다.

① 경사진 면에 입사하는 빛

경사진 면에서 조도를 계산하기 위하여, 면의 법선과 광원과 계산하려는 점 사이를 연결하는 선 사이의 각도 α 를 구하고, 등기구에 대하여 주어진 측광 데이터 또는 표로부터 광도를 찾은 후, 다음의 식으로 조도를 계산한다.

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

여기서, E : 조도[lx], I : 광원의 광도[cd], r : 점광원으로부터의 거리[m], α : 법선과 입사광 사이의 각도이다.

② 여러 개의 광원에 의한 빛

임의 점에서의 조도는 그 점에 입사하는 모든 광원에 의한 조도의 합이다. 조도는 다음의 식으로 계산한다.

$$E = \frac{I_1}{r_1^2} \cdot \cos \alpha_1 + \frac{I_2}{r_2^2} \cdot \cos \alpha_2 + \dots$$

여기서, E : 조도[lx], I_n : 광원의 광도[cd], r_n : 점광원부터의 거리[m], α_n : 법선과 입사광 사이의 각도이다.

나. 상호반사를 고려한 조도계산

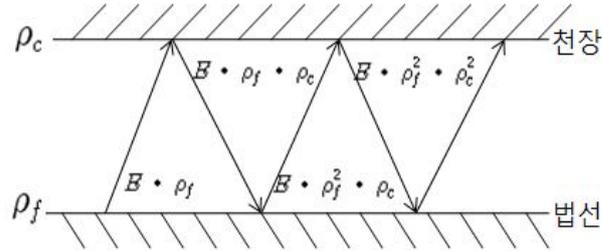
(1) 평행평면의 상호반사

[그림 8]에서 천장 C와 바닥 F가 평행하며, 또한 무한히 넓다고 가정하고, 바닥에 직사조도 E [lx]를 줄 경우, 상호반사에 의하여 바닥 및 천장의 조도가 어떻게 되는가를 계산한다.

바닥의 반사율을 ρ_f , 천장의 반사율을 ρ_c 라 하면, 직사조도 E [lx]에 의하여 바닥의 광속발산도는 $E \cdot \rho_f$ [lx]로 된다.

바닥도 천장도 무한이므로 바닥으로부터 반사된 광속은 전부 천장에 부딪히므로 천장의 조도는 바닥의 광속발산도와 같은 값이며, $E \cdot \rho_f$ [lx]로 된다. 이 조도에 의하여 천장의 광속발산도 $E \cdot \rho_f \cdot \rho_c$ [lx]를 일으키고, 바닥에 조도 $E \cdot \rho_f \cdot \rho_c$ [lx]가 생긴다.

이와 같이 반사가 반복되어 천장 및 바닥에 축차적으로 생기는 조도는 [그림 8]와 같이 된다.



[그림 8] 평행평면의 상호반사

최종의 조도는 이들의 총계로 다음 식으로 표시된다.

바닥의 조도,

$$E_f = E + E\rho_f\rho_c + E(\rho_f\rho_c)^2 + \dots = E[1 + \rho_f\rho_c + (\rho_f\rho_c)^2] = \frac{E}{1 - \rho_f\rho_c} [lx]$$

천장의 조도,

$$E_c = E\rho_f + E\rho_f^2\rho_c + E\rho_f^3\rho_c^2 + \dots = \frac{E\rho_f}{1 - \rho_f\rho_c} [lx]$$

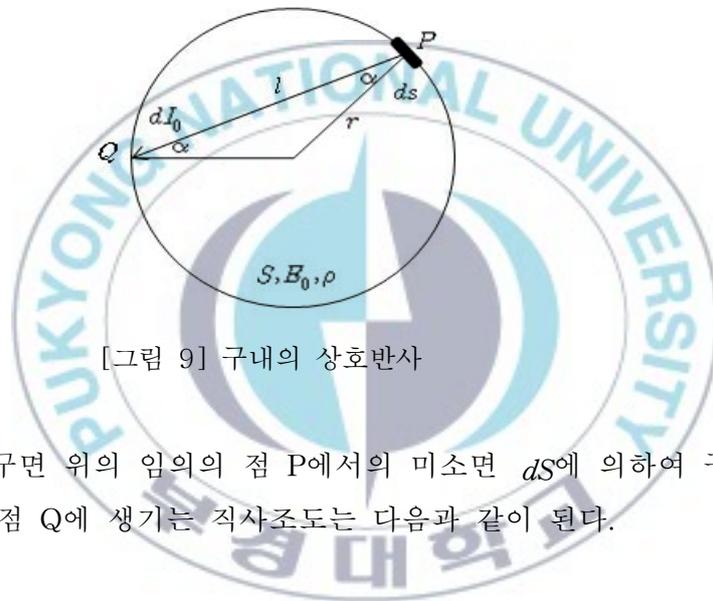
(2) 구내의 상호반사

[그림 9]에 표시한 반지름 r[m]의 구의 내면의 반사율을 ρ라 하자. 광속 F[lm]에 의하여 구내에 직사조도 E_0 [lx]의 분포가 생겼다고 하면 다음 식이 성립한다.

$$F = \int E_0 dS [lm]$$

여기서, S: 구의 내부 표면적 [m²]

직사조도 E_0 는 보통 구면의 각부에서 같지 않으나, 이것에 의하여 구의 내면은 $L = \frac{\rho}{\pi} E_0 [cd/m^2]$ 의 휘도를 가지는 2차 광원으로 되며, 이것으로 구면 위에 생긴 직사조도 E_1 은 다음과 같이 구면의 각 부분에서 같게 된다.



[그림 9] 구내의 상호반사

[그림 9]의 구면 위의 임의의 점 P에서의 미소면 dS 에 의하여 구면 위의 임의의 점 Q에 생기는 직사조도는 다음과 같이 된다.

$$dE_1 = \frac{dI_a}{l^2} \cos \alpha = \left(\frac{\rho}{\pi} E_0 dS \cos \alpha \right) \frac{\cos \alpha}{(2r \cos \alpha)^2} = \frac{\rho E_0}{S} dS [lx]$$

이것을 구면 전체에 대하여 적분하면 다음과 같다

$$E_1 = \int dE_1 = \frac{\rho}{S} \int E_0 dS = \frac{\rho E_0}{S} [lx]$$

결과적으로 반사된 전광속을 구면 위에 균일하게 배분한 값으로 되며, 점 Q의 위치에 관계가 없는 것을 알 수 있다. 이 E_1 인 조도에서 전체 구면이 $E_1 S = \rho F [lm]$ 만큼의 광속을 받아서 $\rho^2 F [lm]$ 의 광속을 반사하므로 그에 의한 직사조도는 위와 같이 균일하며 다음 식과 같다.

$$E_2 = \frac{\rho^2 F}{S} [lx]$$

상호반사를 반복한 결과의 조도는 다음과 같다.

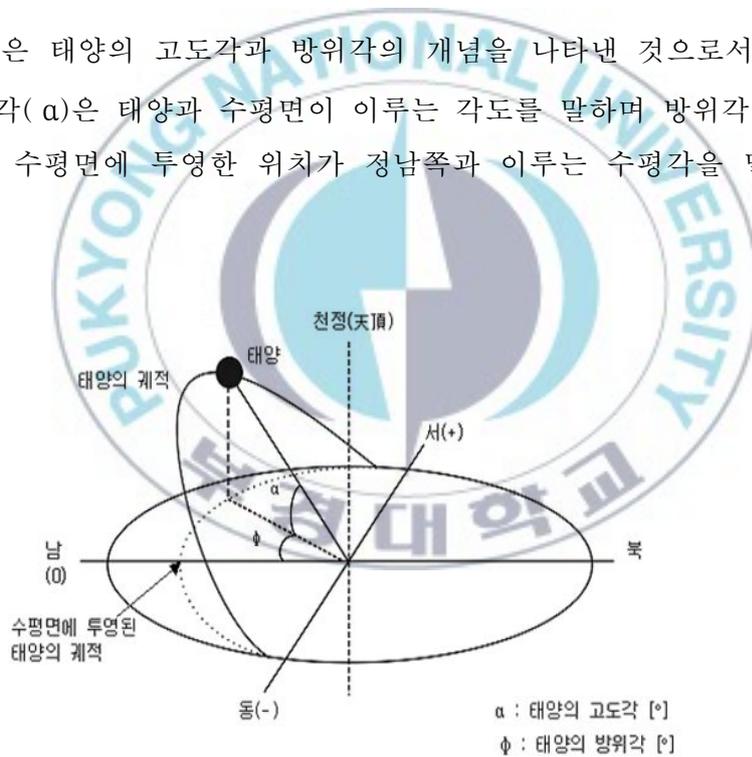
$$E = E_0 + \frac{\rho F}{S} + \frac{\rho^2 F}{S} + \frac{\rho^3 F}{S} + \dots = E_0 + \frac{\rho}{1-\rho} \frac{F}{S} [lx]$$

오른쪽 변의 제1항은 직사조도이며, 제2항은 상호반사에 의한 조도의 증가분이다. 구형광속계로 광속을 측정할 때에는 광속계의 센서로 향하는 직사광을 막아서 센서의 E_0 를 0으로 하고 광원의 광속에 비례하는 $\frac{\rho}{1-\rho} \frac{F}{S} [lx]$ 의 조도만을 측정한다.

제 III 장 태양의 위치 계산 및 일사량 산출

1. 태양의 위치 계산

[그림 10]은 태양의 고도각과 방위각의 개념을 나타낸 것으로서 태양의 고도각(α)은 태양과 수평면이 이루는 각도를 말하며 방위각(ϕ)을 태양을 수평면에 투영한 위치가 정남쪽과 이루는 수평각을 말한다.



[그림 10] 태양의 고도각 및 방위각의 개념도

건물의 방위각과 태양의 고도각, 방위각을 이용하여 건물에 대한 태양 방위각과 일영각을 표현할 수 있다. 태양의 고도각과 방위각은 다음 방법에 의해 정확하게 계산할 수 있다.

가. 태양의 적위(δ) 계산

태양의 적위(δ)는 지구의 중심과 태양의 중심을 잇는 선이 지구의 적도와 이루는 각도이며 아래 식에 의해 구한다.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left[\frac{360(n+284)}{365}\right]$$

단, n은 1월 1일을 기준으로 한 계산 대상일의 일수
(예 : 1월 1일은 1, 12월 21일은 355)

나. 태양의 고도각(α) 계산

태양의 고도각은 아래 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega)$$

단, ϕ : 대지의 위도[°], δ : 태양 적위 [°]

ω : 시각 (예 : 1시간은 15°, 24시간은 360°)

다. 태양의 방위각(ϕ) 계산

태양의 방위각은 아래 식에 의해 구한다.

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha} \right]$$

라. 태양의 일영각(P)계산

건물에 대한 태양의 일영각은 아래 식에 의해 구한다.

$$P = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha}{\cos \phi_{ws}} \right)$$

단, ϕ_{ws} : 구조물의 태양방위각 = $|\phi_w - \phi| [^\circ]$

위의 식들을 적용하여 부산지역의 연간 365일에 대하여 오전 8시에서 오후 4시 사이의 8시간 동안 사이에 1시간 간격으로 태양의 위치를 계산하였다. 아래 표는 년 중 대표일인 춘추분(3월 21일, 9월 21일), 하지(6월 21일), 동지(12월 21일)에서의 태양위치를 나타낸 것이다.

날 짜	전철일	시간	고도각	방위각	일영각 [남측벽 기준]
춘 분 03월 21일	80	8	23.87	71.26	54.02
	80	9	35.03	59.71	54.26
	80	10	44.74	44.74	54.36
	80	11	51.77	24.72	54.41
	80	12	54.43	0.00	54.43
	80	13	51.77	24.72	54.41
	80	14	44.74	44.74	54.36
	80	15	35.03	59.71	54.26
	80	16	23.87	71.26	54.02
하 지 06월 21일	172	8	37.17	85.60	84.23
	172	9	49.42	85.74	86.36
	172	10	61.48	73.91	81.44
	172	11	72.48	52.06	79.01
	172	12	78.28	0.00	78.28
	172	13	72.48	52.06	79.01
	172	14	61.48	73.91	81.44
	172	15	49.42	85.74	86.36
	172	16	37.17	85.60	84.23
추 분 09월 21일	264	8	24.00	71.43	54.43
	264	9	35.17	59.88	54.54
	264	10	44.90	44.90	54.60
	264	11	51.96	24.83	54.62
	264	12	54.63	0.00	54.63
	264	13	51.96	24.83	54.62
	264	14	44.90	44.90	54.60
	264	15	35.17	59.88	54.54
	264	16	24.00	71.43	54.43
동지 12월 21일	355	8	8.38	53.42	13.89
	355	9	17.52	42.86	23.30
	355	10	24.85	30.37	28.22
	355	11	29.68	15.86	30.65
	355	12	31.38	0.00	31.38
	355	13	29.68	15.86	30.65
	355	14	24.85	30.37	28.22

	355	15	17.52	42.86	23.30
	355	16	8.38	53.42	13.89

<표 2> 부산지역에서의 태양의 위치 (북위 35.17° 기준)

2. 일사량 산출

일사(Solar Irradiation, 단위 : W)는 태양으로부터 유입되는 복사에너지 중 적외선의 단위면적당 열량을 나타내는 것으로서 태양 일사량에 발광효율(lm/W)를 곱하여 태양으로부터 유입되는 광량을 계산해 낼 수 있다. 일사는 태양으로부터 직접 유입되는 직달일사량과 천공으로부터 유입되는 천공일사량으로 구분되며 다음과 같은 방법으로 계산되어진다.

가. 연직면 직달일사량 (Direct Nomal Solar Irradiation)

복사가 태양에서 지구 대기권외에 도달해 대기를 투과하여 직접 지표면에 도달한 것을 직달일사라고 한다. 이 일사량은 대기 중의 수증기와 먼지, 태양고도와 수조면의 각도 등에 의해 영향을 받는다.

$$I_{DN} = \frac{A}{B \cdot e^{\sin \alpha}} [W/m^2]$$

단, A : Air Mass=0 일 때 지표면 연직면 일사량 [W/m^2]

B : 대기권의 흡수를 고려한 계수

α : 태양 고도각 [°]

나. 천공 일사량 (Diffuse Sky Irradiation)

태양에서의 비교적 짧은 파장은 공기분자, 먼지 등에 의해 산란을 일으켜 천공천체로부터 방향성이 없는 일사가 되어 지상에 도달하는데 이를 천공일사라고 한다. 수평면에 받은 천공일사량은 태양고도가 높을수록, 그리고 대기혼탁도가 클수록 크다. 천공일사성분은 청명일에 대기권에서 산란에 의하여 일사의 방향이 달라진 후 지표면에 도달하는 일사량과 담천일에 구름에 반사된 일사량으로 나눌 수 있다.

$$I_{ds} = C \cdot I_{DN} \cdot F_{ss} [W/m^2]$$

단, C : 직달일사에 대한 천공일사의 비율

F_{ss} : 수조면과 하늘과의 각도계수 (Angle Factor)

수직면 (ldv) : $F_{ss} = 0.5$

수평면 (ldh) : $F_{ss} = 1.0$

경사면 (ldt) : $F_{ss} = (1 + \cos \beta) / 2$

월	A [W/m^2]	B	C
1	1230	0.142	0.058
2	1215	0.144	0.060
3	1186	0.156	0.071
4	1136	0.180	0.097
5	1104	0.196	0.121
6	1088	0.205	0.134
7	1085	0.207	0.136
8	1107	0.201	0.122

9	1151	0.177	0.092
10	1192	0.160	0.073
11	1221	0.149	0.063
12	1233	0.142	0.057

<표 3> 일사량 산정 계수 A, B, C

제 IV 장 Prism 개요

1. 프리즘 패넬의 채광원리

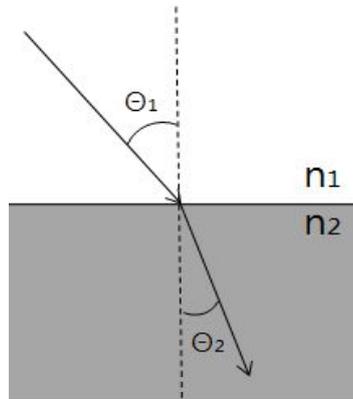
프리즘은 두 개의 서로 다른 매질을 통과하는 빛에 있어 매질상의 빛의 속도 차에 의해 매질의 경계면 상에서 빛의 진행 방향이 변하는 빛의 굴절효과를 이용한 것으로, 빛의 굴절각은 입사각 및 두 매질의 굴절률(진공상태의 굴절률 1을 기준으로 물질마다 고유의 굴절률을 갖는다. 예 : 유리의 굴절률1.5)의 비로 결정된다. 이것은 스넬의 법칙 (Snell's Law)이라고 하며 다음과 같이 정의 된다.

[그림 11] 스넬의 법칙 (Snell's Law)

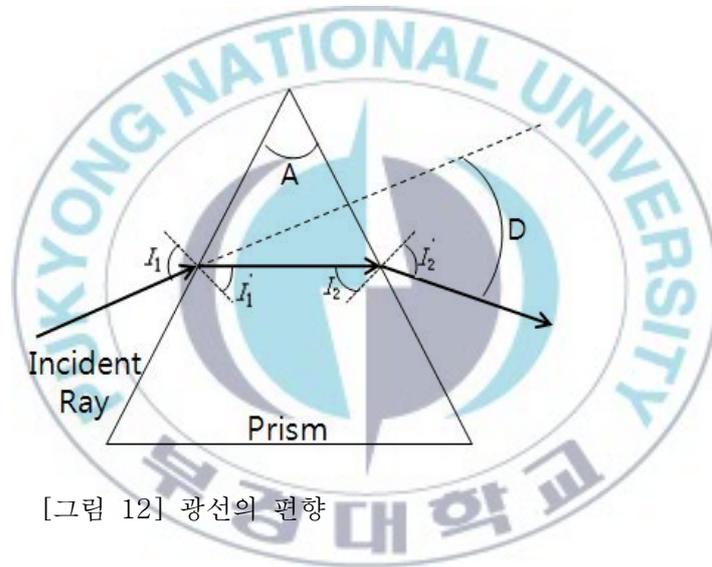
$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

단, $\theta_1, \theta_2 =$ 빛의 입사각, 굴절각이며 $n_1, n_2 =$ 매질의 굴절률

2. 프리즘의 최소 편향각 및 정각



[그림 12]와 같이, 두 개의 평면이 정각 A를 이루며 대하고 있고 정각과 마주보는 면이 밀면, 빛의 방향이 바뀌는 각도를 편향각 D라 한다.



[그림 12] 광선의 편향

$$I_1 = I_1'$$

$$I_1' = I_2 = I_2' - \frac{A}{2}$$

$$D_1 = D_2 = \frac{D}{2} = I_1' = I_2 = I_2' - \frac{A}{2}$$

$$I_2' = \frac{A}{2} + \frac{D}{2}$$

여기에 스넬의 법칙 $n \cdot \sin I = n_0 \cdot \sin I'$ 을 두 번째 면에 대하여 적용하면,

여기서 n_0 는 프리즘 $n_{prism} \cdot \sin I_2 = n_0 \cdot \sin I_2'$ 바깥의 굴절률이다.
 I_2 에 관하여 풀면

$$\sin I_2' = \left(\frac{n_{prism}}{n_0} \right) \cdot \sin I_2$$

$$\sin \left(\frac{A+D}{2} \right) = \left(\frac{n_{prism}}{n_0} \right) \sin \left(\frac{A}{2} \right)$$

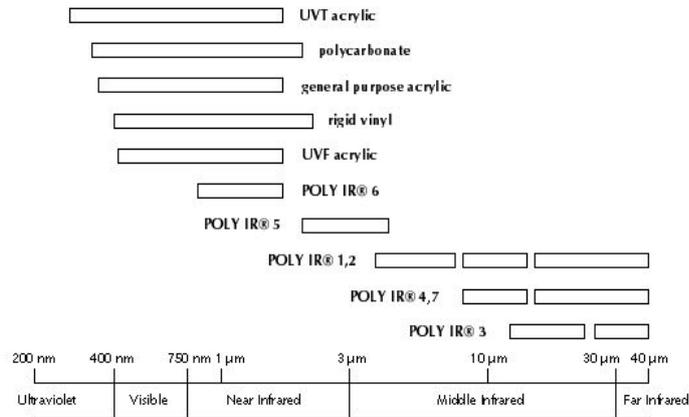
$$\therefore \frac{n_{prism}}{n_0} = \frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

이것이 프리즘 공식이며, 최소 편향각을 결정한다. 빛이 대칭적으로 진행하지 않는 경우에는 더 많이 굽어간다.

3. 기본적 물성 및 주요특징

Fresnel Lens는 큰 Lens가 필요한 광학계에 사용되므로 직경이 3 또는 4 inch 이상인 Lens는 glass lens 제조와 관련하여 그 비용이 아주 높아질 수 있다. 또 다른 우려할 점은 그러한 Lens의 무게와 사용할 공간이다. 반면에 Fresnel Lens는 flat 하고 플라스틱으로 만들어지기 때문에 비용이나 무게 면에서 그러한 문제점들이 배제될 수 있다.

일반적으로 가시광선 영역의 응용 분야에 사용되는 Lens 재료에는, acrylic, polycarbonate, rigid vinyl이 있다. 이 재료들은 근적외선 영역의 응용 분야에도 적당하다. [그림 13]은 다양한 plastic 재료들의 유용한 투과도 범위를 보여준다. 재료를 선택하는데 있어 첫 번째 단계는 응용 분야의 분광 범위와 재료를 조화시키는 것이다. 다른 고려 사항들은 두께, 강도, 사용 온도, 내후성, 그리고 다른 물리적 성질들을 [표 4]에 나타낸다.



[그림 13] 다양한 플라스틱 재료들의 투과 범위

	Acrylic	Rigid Vinyl	Polycarbonate
Index of refraction	1.49	1.54	1.586
Tensile modulus	325-470	350-600	345
Flexural modulus(10^3)	390-470	300-500	340
Thermal expansion($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	76	76	68
Specific gravity	1.19	1.45	1.20
Service temperature($^{\circ}\text{C}$)	80	70	120

<
표

4> Plastic materials의 물리적 성질

가. Acrylic

Acrylic은 가장 넓게 응용되는 재료로서, 가시광선 영역에서 일반적으로 잘 이용되고 있다. 그 투과도는 자외선에서 근적외선까지 거의

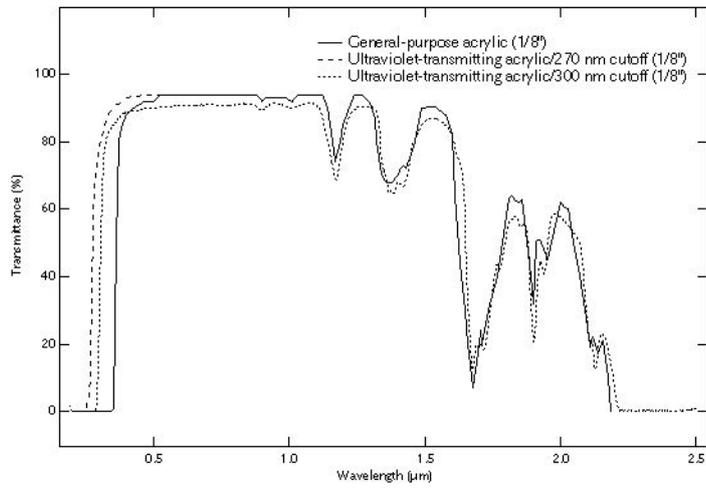
92%이다. acrylic은 UV transmitting(UVT acrylic)나 UV filtering(UVF acrylic)을 하기 위한 조건으로 사용된다. [그림 14]는 일반적인 목적으로 사용된 acrylic과 Ultraviolet transmitting acrylic의 파장에 대한 투과도의 그래프를 보여주고 있다.

나. Rigid vinyl

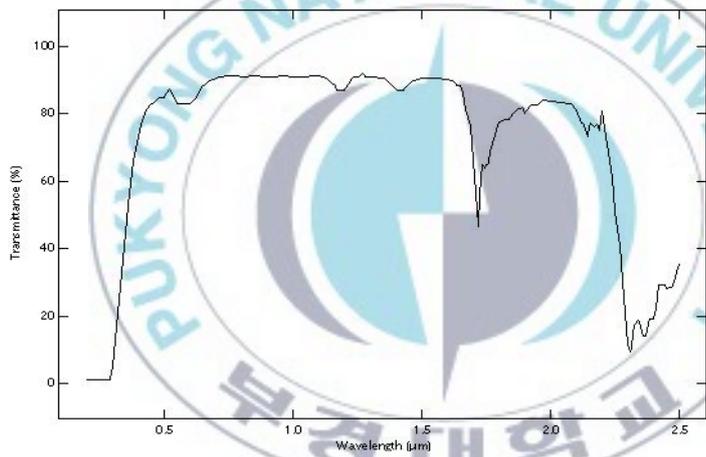
Rigid vinyl은 특정한 응용 분야에 적당한 여러 특성을 가진다. 먼저, 고 굴절률의 물질이고, 적당히 비용이 저렴하고, 쉽게 그 모양이 흐트러지지 않고 아주 얇은 두께의 Lens 제작 시에 아주 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 poly-carbonate는 rigid vinyl에 관련된 문제를 제외하고는 매우 유사한 성질들을 가진다. 그리고 그것의 사용은 새로운 응용 분야에서 rigid vinyl의 성질을 능가한다. Rigid vinyl은 acrylic과 같은 온도 범위를 가지고, 연소 방지의 성질도 가진다. $0.2\mu\text{m}$ 과 $2.5\mu\text{m}$ 사이의 Rigid vinyl 투과도를 [그림 15]에 나타낸다.

다. Polycarbonate

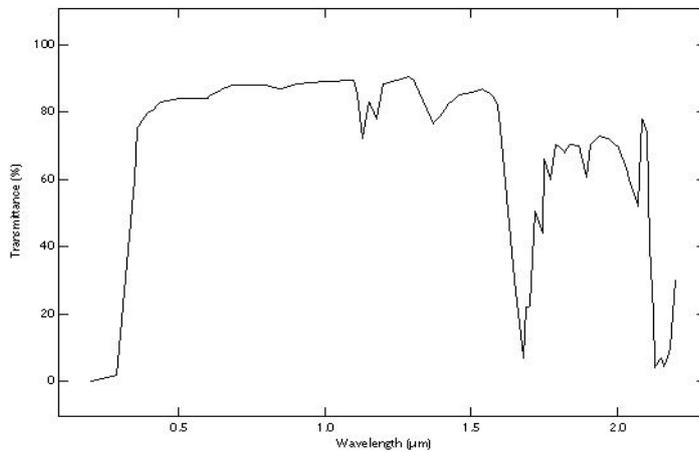
Polycarbonate는 분광학적으로 acrylic과 유사하지만, 더 높은 온도에서 사용이 가능하고 아주 높은 충격 저항력을 가진다. $0.2\mu\text{m}$ 과 $2.2\mu\text{m}$ 사이의 polycarbonate 투과도를 [그림 16]에 나타낸다.



[그림 14] Acrylic의 파장에 대한 투과도 그래프.



[그림 15] Rigid vinyl의 파장에 대한 투과도 그래프.



[그림 16] Polycarbonate의 파장에 대한 투과도 그래프.

Wavelength (nm)	PMMA	PS	PC	SAN
1013.98(nt)	1.483115	1.572553	1.567248	1.551870
852.11(ns)	1.484965	1.576196	1.570981	1.555108
706.52(nr)	1.486552	1.581954	1.576831	1.560119
656.27(nc)	1.489201	1.584949	1.579864	1.562700
643.85(nc')	1.489603	1.585808	1.580734	1.563438
589.29(nd)	1.491681	1.590315	1.585302	1.567298
587.56(nd)	1.491757	1.590481	1.585470	1.567440
546.07(ne)	1.493795	1.595010	1.590081	1.571300
486.13(nF)	1.497760	1.604079	1.599439	1.579000
479.99(nF')	1.498258	1.605241	1.600654	1.579985
435.84(ng)	1.502557	1.615446	1.611519	1.588640
404.66(nh)	1.506607	1.625341	1.622447	1.597075
365.01(ni)	1.513613	1.643126	1.643231	1.612490
Glass Code	492-574	590-309	585-299	567-348

* PMMA : Poly methyl meth acrylate

* PS : Polystyrene, * PC : Polycarbonate

* SAN : Copolymer Styrene-Acrylonitrile(492-574, 590-309, 585-299, 567-348)

** Reference : SPIE Vol. 237 380 (1980)

<표 5> Optical Plastic의 각 파장별 굴절률 분포

제 V 장 프리즘 태양광 채광 시스템 설계

1. 부산지역의 태양 일사량 및 프리즘 최적 각도 분석

Light Tools 프로그램을 사용하여 채광장치에 적용되는 프리즘 각도의 타당성을 분석하고, 가장 효율적인 최적의 프리즘 각도를 도출하고자 하였다.

가. 태양광 전 일사량 추이

[표 6]에 표시한 것과 같이 전국 16개 지역 월평균 수평면 일사량을 살펴보면, 연 평균치로 계산하였을 때 전국이 하루에 약 $3.57 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ 정

도의 태양광 에너지를 받는 것으로 나타났다.

또한 계절별 수평면 전 일사량 조건을 일 년을 기준으로 분석하여 보면 태양조건이 가장 좋은 계절은 봄철과 여름철로 나타났으며, 연평균 일사량 보다 각각 24%, 21% 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면에 가을철과 겨울철의 태양광 조건은 각각 13%, 33% 정도 상대적으로 낮게 나타났다.

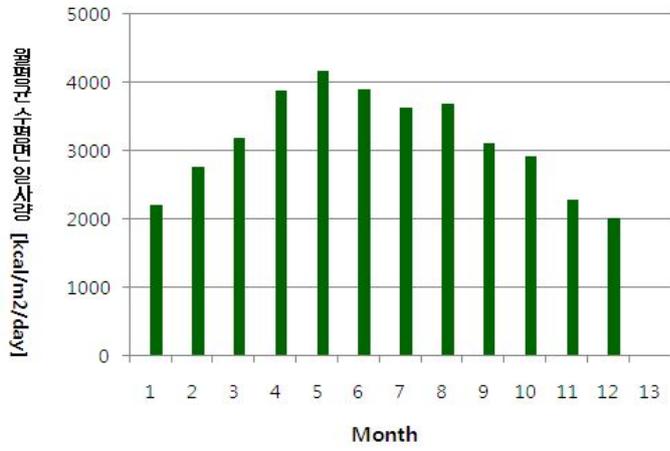
경사면 일사량 분석결과를 살펴보면 남향 수직면에서 받는 일사량은 동, 서향 수직면에 비해 1.5배 정도로 나타났으며, 북향수직면에 비해서는 무려 4배나 높게 나타났으며, 남향에서 지표면에 대한 경사각도가 30도 일 때 최대 일사량을 받는 것으로 나타났다. 또한 부산지역의 월평균수평면 일사량은 5월이 가장 많은 양을 받고 있음을 알 수 있다.



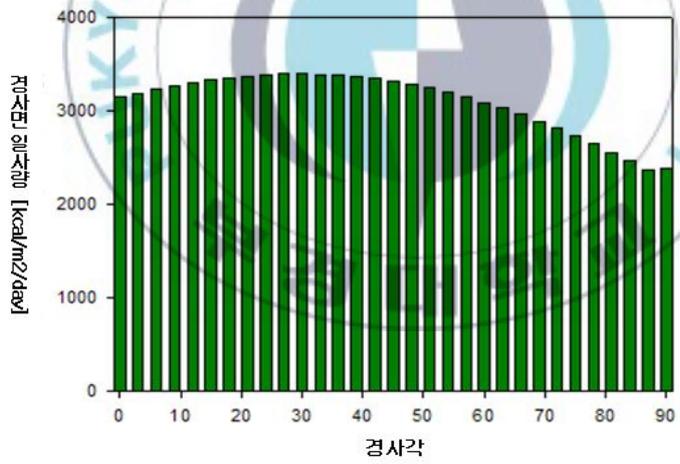
월 지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
춘 천	1759	2415	3112	3921	4260	4179	3465	3590	3224	2540	1738	1510	2976
강 릉	2042	2575	3153	3967	4271	3883	3453	3250	3081	2719	2014	1815	3019
서 울	1699	2366	2986	3760	3988	3723	2820	3064	3055	2606	1730	1458	2771
원 주	1802	2438	3071	3921	4228	4095	3417	3543	3252	2724	1846	1593	2994
서 산	1973	2694	3371	4171	4535	4295	3522	3736	3503	2955	1950	1693	3200
청 주	1897	2588	3144	3989	4344	4067	3528	3542	3298	2825	1924	1645	3066
대 전	1942	2644	3288	4142	4300	3977	3612	3646	3290	2894	2014	1747	3125
포 향	2102	2682	3175	4029	4321	3957	3500	3460	2988	2782	2200	1947	3095
대 구	2006	2587	3255	4008	4266	3952	3514	3387	3058	2778	2064	1835	3059
전 주	1795	2388	3015	3875	4107	3829	3378	3391	3154	2793	1892	1591	2934
광 주	1987	2637	3295	4078	4310	3930	3569	3692	3414	3036	2108	1766	3152
부 산	2200	2766	3198	3872	4170	3898	3636	3691	3107	2926	2276	2007	3146
목 포	2005	2685	3438	4277	4551	4232	3886	4186	3605	3194	2219	1776	3338
제 주	1251	2004	2818	3808	4227	3983	4205	3859	3212	2834	1901	1302	2950
진 주	2346	2936	3492	4174	4371	3948	3723	3718	3332	3108	2371	2134	3304
영 주	1988	2584	3300	4126	4478	4144	3555	3551	3321	2838	2033	1780	3142
평 균	1925	2562	3194	4007	4295	4006	3549	3582	3243	2847	2018	1725	3079

<표 6> 전국 16개 지역 월평균 수평면 일사량 (kcal/m²/day)

※ 한반도 태양에너지 자원의 분석·평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구 보고서
(‘06. 5. 31. 에너지기술연구원)



[그림 17] 부산지역 월평균 수평면 일사량



[그림 18] 부산지역 경사면 일사량 평균값

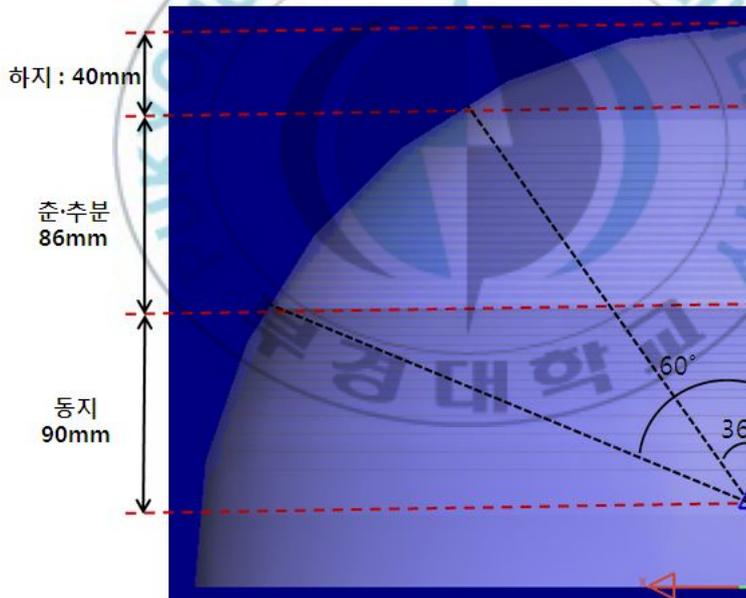
경사각 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
0°	2200	2766	3198	3872	4170	3898	3636	3691	3107	2926	2276	2007	3145.6
3°	2304	2851	3249	3896	4171	3891	3633	3703	3141	3000	2371	2114	3193.6
6°	2401	2930	3295	3915	4167	3878	3624	3710	3170	3069	2460	2213	3236
9°	2493	3004	3336	3928	4158	3861	3612	3713	3196	3133	2544	2307	3273.8
12°	2580	3074	3373	3937	4143	3840	3595	3711	3217	3192	2624	2397	3307
15°	2663	3137	3404	3940	4124	3815	3575	3704	3233	3245	2698	2483	3335.2
18°	2740	3195	3430	3938	4100	3785	3550	3693	3245	3293	2768	2563	3358.4
21°	2812	3247	3451	3931	4071	3751	3521	3677	3251	3335	2832	2638	3376.3
24°	2877	3293	3465	3918	4037	3712	3488	3655	3253	3370	2890	2707	3388.9
27°	2937	3333	3474	3899	3998	3669	3451	3629	3250	3400	2942	2771	3396
30°	2991	3366	3477	3874	3953	3622	3409	3598	3241	3423	2988	2829	3397.5
33°	3038	3392	3474	3844	3903	3570	3363	3562	3227	3439	3028	2880	3393.4
36°	3079	3411	3464	3807	3848	3513	3313	3520	3208	3449	3062	2926	3383.4
39°	3113	3424	3449	3765	3787	3452	3258	3473	3184	3453	3089	2965	3367.7
42°	3140	3430	3427	3716	3722	3387	3199	3422	3154	3449	3110	2997	3346.1
45°	3161	3429	3399	3662	3650	3317	3136	3365	3119	3439	3124	3023	3318.6
48°	3174	3420	3365	3602	3574	3243	3069	3303	3079	3421	3131	3042	3285.4
51°	3181	3405	3325	3536	3493	3165	2998	3236	3033	3397	3132	3055	3246.3
54°	3181	3383	3279	3464	3407	3082	2923	3165	2983	3367	3125	3060	3201.5
57°	3173	3353	3227	3387	3315	2996	2844	3088	2927	3329	3113	3059	3151.1
60°	3159	3317	3169	3304	3220	2906	2762	3008	2867	3285	3093	3051	3095
63°	3138	3274	3105	3216	3120	2812	2676	2923	2801	3235	3067	3036	3033.6
66°	3110	3224	3036	3123	3015	2715	2587	2833	2732	3178	3034	3015	2966.8
69°	3075	3168	2961	3025	2907	2614	2494	2740	2657	3114	2995	2987	2894.9
72°	3034	3105	2881	2923	2794	2511	2399	2643	2579	3045	2949	2952	2818
75°	2986	3036	2796	2816	2679	2405	2301	2542	2496	2970	2897	2911	2736.3
78°	2931	2961	2706	2706	2560	2296	2201	2438	2409	2889	2839	2863	2650
81°	2870	2880	2612	2591	2438	2186	2099	2331	2319	2802	2775	2809	2559.4
84°	2803	2793	2513	2473	2313	2073	1995	2221	2225	2711	2706	2749	2464.6
87°	2731	2701	2410	2351	2187	1959	1889	2109	2128	2614	2630	2683	2366
90°	2695	2693	2438	2424	2286	2046	1961	2179	2162	2618	2601	2643	2395.6

<표 7> 부산지역 경사면 일사량 (kcal/m²/day)

계절별	월별	경사각 범위	비고
봄, 가을	3, 4, 9, 10	30° ~ 39°	기준 36°
여름	5, 6, 7, 8	0° ~ 6°	기준 3°
겨울	11, 12, 1, 2	57° ~ 63°	기준 60°

<표 8> 부산지역 계절별 최적 어레이 경사각

[표 8]의 계절별 최적 경사각 범위를 참고하여, 프리즘 채광장치 설계 시, 계절별 일사량이 가장 많이 들어오는 경사각을 기준으로 채광장치를 나누어 설계하였다.

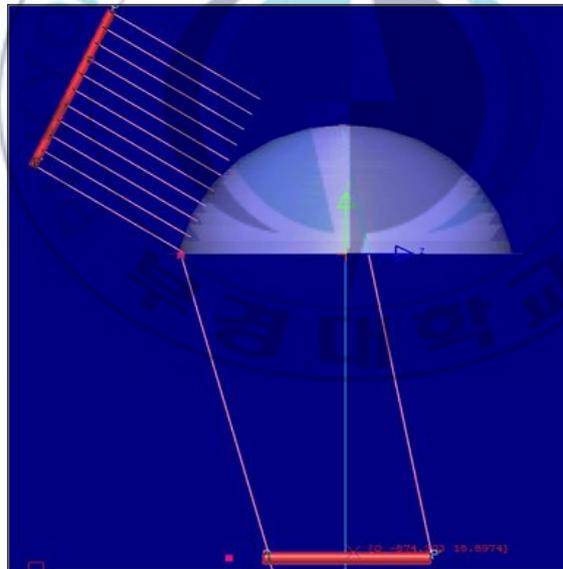


[그림 19] 계절별 최적 경사각에 따른 채광장치 설계기준

[그림 19]와 같은 방법으로 채광장치를 나눈 이유는 춘·추분에 해당하는 구역의 최적 프리즘 각도와 동지에 해당하는 구역의 최적 프리즘 각도를 따로 적용함으로써 채광장치의 효율을 높이기 위함이다. 이때, 하지의 경우 고도각 자체가 거의 90도에 가까움으로 오히려 채광장치의 상부 쪽에 프리즘을 사용하지 않고 공간을 최대한 남겨, 많은 양의 입사광이 들어올 수 있도록 설계하였다.

나. 프리즘 각도 산출 방법

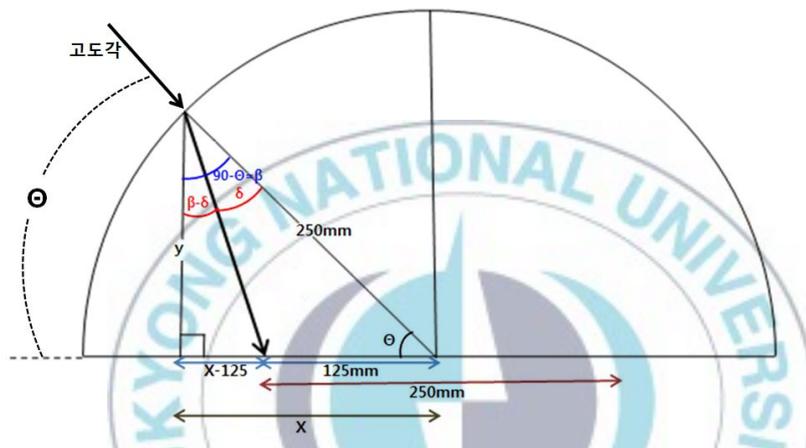
프리즘은 패널의 각도에 따라 채광장치에 들어오는 입사광을 차단 또는 굴절 시킨다. 그래서 본 연구에서는 태양의 계절별 고도각에 기초하여, 채광장치에 가장 많은 빛이 굴절되어 전달할 수 있도록 최적의 프리즘 각도를 도출하고자 하였다.



[그림 20] Dome type Fresnel Lens Profile

채광장치 설계 시, [그림 20]과 같이 광전송 부분의 공간제약을 최소화하기 위해 채광장치 지름 1/2지점에서 광 분포가 가장 균일하도록 Fresnel lens를 설계하고자 하였다.

프리즘 각도 산출 방법은 [그림 21]을 통해 설명할 수 있다. 계절별 태양 고도각에 따른 광 진로를 유추하여, 채광장치 지름 1/2지점에 입사광이 도달하도록 하였다. 이때, 태양의 고도각 θ 가 채광장치에 들어오는 입사광이 된다.



[그림 21] 프리즘 패널 각도의 설계 기준

기본적인 sin, cos법칙을 이용하여 x와 y의 값을 알 수 있다.

$$x = \cos \theta \times 250 \quad (\text{식 1})$$

$$y = \cos (90 - \theta) \times 250 \quad (\text{식 2})$$

이때, 입사광 θ 는 프리즘이 없을 경우에 해당하는 것으로, 프리즘

으로 인해 빛이 굴절되는 정도를 스넬의 법칙을 이용하여 계산하였다.

$$n' \cdot \sin \theta' = n \cdot \sin \theta$$

(식 3)

(식 3)은 스넬의 법칙으로 n' 은 공기의 굴절률, θ' 은 프리즘에 대한 입사각인 태양 고도각이며, n 은 프리즘 재질인 PMMA의 굴절률이 된다. 따라서 원하는 위치에 빛을 보내기 위한 입사각 θ 는 (식 4)로 정리할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{n' \cdot \sin \theta'}{n} \right)$$

(식 4)

그런 다음, 프리즘을 통과한 편기각 δ 를 유추하면, (식 7)로 정리할 수 있다.

$$\frac{x-125}{y} = \tan(\beta - \delta)$$

(식 5)

$$\beta - \delta = \tan^{-1} \left(\frac{x-125}{y} \right)$$

(식 6)

$$\therefore \delta = \beta - \tan^{-1} \left(\frac{x-125}{y} \right) = 90 - \theta - \tan^{-1} \left(\frac{x-125}{y} \right)$$

(식 7)

즉, 프리즘 렌즈에 의한 편기각으로써, 500mm 직경 채광기 중심부 250mm에 편기 되도록 결정하는 상수인 δ 는 (식 3)을 (식 7)에 적용

함으로써 (식 8)로 결정된다.

$$\therefore \delta = 90 - \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{n' \cdot \sin \theta'}{n} \right) \right\} - \tan^{-1} \left(\frac{x-125}{y} \right) \quad (\text{식 8})$$

다. 프리즘 패널의 부분별 최적 각도

(1) 채광장치 상부면의 최적 각도

프리즘의 상부에 해당하는 부분은 춘·추분에 따른 태양 고도각 54°를 적용하여, 입사하는 광선을 바닥면으로 굴절시킬 수 있도록 프리즘 각도를 결정하였다. 프리즘 재질은 PMMA로서 굴절률이 1.49이라고 하면, 프리즘에 의한 편기각은 (식 9)로 주어진다.

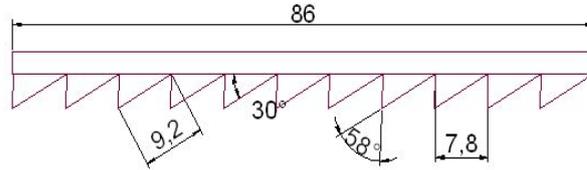
$$n = \sin[(\delta + A)/2] / \sin(A/2) \quad (\text{식 9})$$

이때, 구하고자 한 프리즘의 정각은 (식 10)으로 정리한다.

$$\therefore \alpha = 2 \times \sin^{-1} \left(\frac{\cos \delta/2}{\sqrt{(n - \sin \delta/2)^2 + \cos^2 \delta/2}} \right) \quad (\text{식 10})$$

여기서, δ 는 입사각 54°에 대한 편기각이고, 굴절률 1.49에 대하여 프리즘의 정각 A를 구하면 약 58°를 갖는 프리즘 형태를 결정할 수 있다. 따라서 상부면 프리즘 형태는 [그림 22]와 같은 형태가 되어야

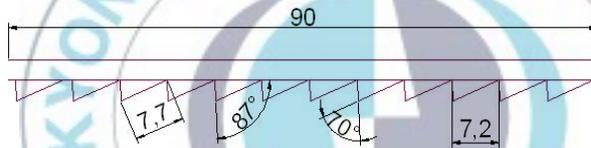
한다.

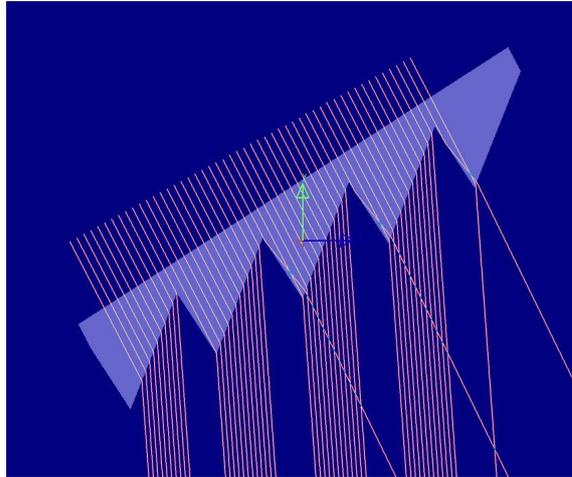


[그림 22] 상부면 프리즘 규격

(2) 채광장치 하부면의 최적 각도

프리즘의 하부에 해당하는 부분은 동지에 따른 태양 고도각 30° 를 적용하여, 입사하는 광선을 바닥면으로 굴절시킬 수 있도록 프리즘 각도를 결정하였다. 상부와 마찬가지로 굴절의 법칙을 이용해 프리즘 정각 각도를 70° 로 결정할 수 있다.





[그림 23] 하부면 프리즘 규격

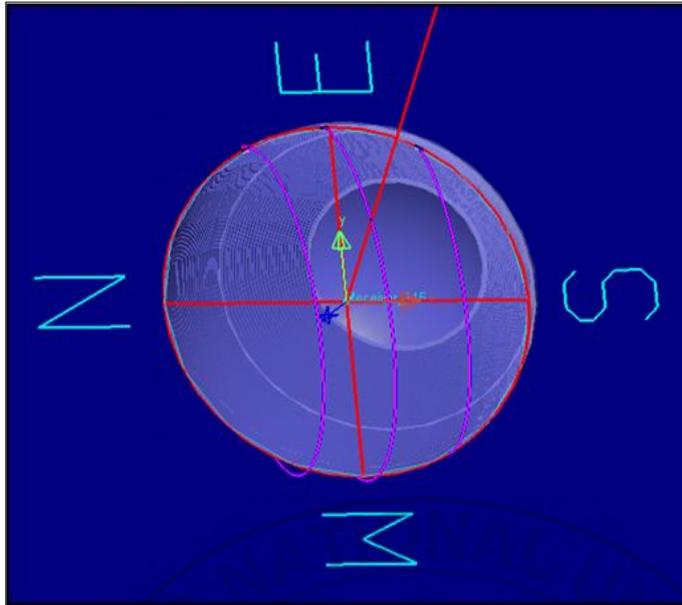
그리고 하지의 대표 태양 고도각 경우에는 거의 90° 에 가깝기 때문에 채광장치의 상부 쪽에 프리즘을 사용하지 않고 공간을 최대한 남겨, 많은 양의 입사광이 들어올 수 있도록 하였다.

2. Solar Tracking을 이용한 채광장치 분석

가. Solar Tracking

완성된 채광장치는 Solar Tracking Utility를 이용해 가상의 태양광을 적용해 봄으로써, 채광기의 효율 및 성능을 분석해 볼 수 있다. 이때, 춘추동에 따라 태양광의 위치를 변화시켰다. 이를 통해 각각의 계절에 따라 채광장치에 유입되는 광량을 살펴 볼 수 있다.

이와 같이 Solar Tracking Utility를 통한 태양광 시뮬레이션은 많은 시행착오를 겪지 않고, 성능이 뛰어난 태양광 채광장치를 완성하는데 큰 도움이 된다.



[그림 24] Solar Tracking

나. 부산지역 일사량 Data 산출기준

Solar Tracking을 통해 채광장치의 성능을 분석할 때에는 특정 지역의 일사량 Data가 필요로 한다. 이때, 일사량 Data에는 Direct insolation값과 Diffuse insolation값이 필요로 하며, 각각의 값들은 Meteornorm 프로그램을 이용하거나 txt파일로 직접 작성해 봄으로써 적용가능하다.

본 연구에서는 부산지역의 txt파일을 작성하여 채광장치에 적용하고자 하였다. 하지만 일사량을 정의하기에는 많은 변수가 있었다. 지역은 물론, 시간, 날짜, 날씨에 따라 변하는 일사량은 어느 특정 시간대의 일사량만을 이용해 채광장치의 효율을 분석하기에는 기준이 불분명하기 때문이다.

그래서 본 연구에서는 Direct와 Diffuse의 insolation값을 [1,000]으로 기준

을 잡은 뒤, solar tracking을 통해 채광장치를 통과하는 광량 값을 알아보았다. 즉, [1,000]이라는 input 값이 들어갔을 때, 채광장치를 통과한 output 값을 비교해 봄으로써 채광장치의 효율을 분석할 수 있기 때문이다.

한국천문연구원의 자료 [표 9]를 통해 계절별 일출·일몰 시각을 알 수 있었고, 이를 참고하여 춘·추분 각각의 부산지역 일사량 Data를 작성하였다. [그림 25]는 2010년의 부산지역 춘·추분 계절에 해당하는 일사량 Data를 txt파일로 작성한 것이다. 이와 같은 방법으로 부산지역의 하지와 동지 Data를 만들어 설계된 프리즘 태양광 채광장치에 적용해 보았다.

부산 [위도:35.180, 경도:128.930]			
	춘·추분[10.03.21]	하지[10.06.21]	동지[10.12.21]
일 출	06시 26분 50초	05시 09분 53초	07시 27분 56초
일 몰	18시 35분 35초	19시 41분 09초	17시 15분 21초

<표 9> 부산지역 계절별 일출·일몰 시각

[그림 25] 부산지역 춘·추분 일사량 Data

다. 프리즘 태양광 채광장치 효율평가

아래 [그림 26]은 Solar Tracking을 통해 얻은 부산지역 춘·추분 결과 값이다. 이때, “Peak Total Electrical Power”란 채광장치[receiver]로 들어오는 태양광의 최대 에너지로써 input insolation 1,000에 따른 output 값을 뜻한다. 그리고 “Summed Total Electrical Energy”라 함은 광량분포의 전체면적을 뜻하는 수치이다. 이 외에도 시간대별 광량분포가 어떻게 변하는지 그래프를 통해 확인할 수 있다. 모든 결과는 Simulation시, 태양으로부터 나오는 Input ray를 250,000개로 주었을 때 나타난 수치이다.

Pusan-춘추분.1 - 메모장

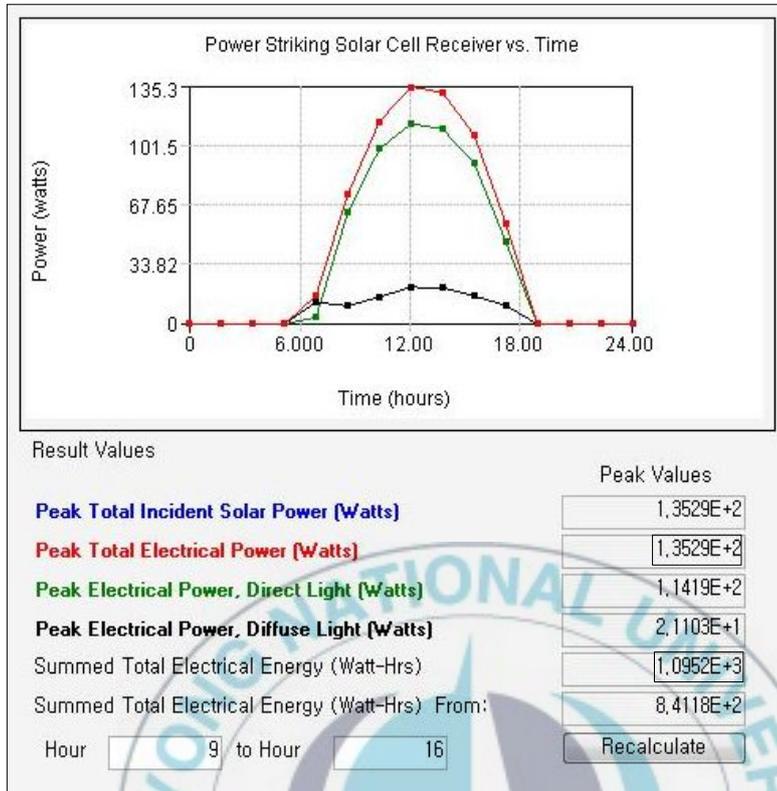
파일(F) 편집(E) 서식(Q) 보기(V) 도움말(H)

```

# Sample Sunny Day Diffuse Insolation Data Set (Source: NREL, Elevation 339 m)
# Data format:
# '#' indicates a comment line
# Location (not used for calculations)
# Description (not used for calculations)
# Latitude (Decimal, +=> N, -=> S)
# Longitude (Decimal, +=> E, -=> W)
# Timezone (+=> West of Greenwich, +=> East of Greenwich)
# Year (Model is valid from 1950 through 2050)
# Month number
# Day
# Time1 Insolation Value1
# Time2 Insolation Value2
# ...
# TimeN Insolation ValueN ....
# insolation assumed to be in Watts/m^2 (typically, NREL charts are given in WattHours/m^2/Hour => Watts/m^2)
#
DFAT VERSION 1.0
Pusan
Sunny Day
35,100
128,930
9
2010
3
21
DIFFUSE_DATA_BEGIN
1 0
2 0
3 0
4 0
5 0
6 1000
7 1000
8 1000
9 1000
10 1000
11 1000
12 1000
13 1000
14 1000
15 1000
16 1000
17 1000
18 1000
19 1000
20 0
21 0
22 0
23 0
24 0
DIFFUSE_DATA_END
DIRECT_DATA_BEGIN
1 0
2 0
3 0
4 0
5 0
6 1000
7 1000
8 1000
9 1000
10 1000
11 1000
12 1000
13 1000
14 1000
15 1000
16 1000
17 1000
18 1000
19 1000
20 0
21 0
22 0
23 0
24 0
DIRECT_DATA_END

```



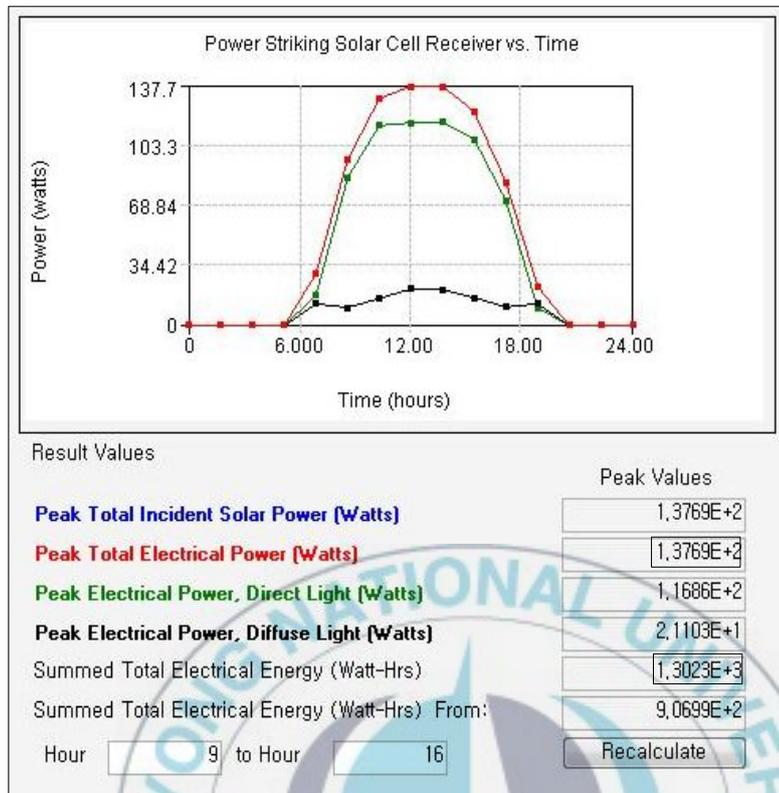


[그림 26] 프리즘 채광장치 효율-춘·추분(3월 21일)

[그림 27] 프리즘 채광장치 효율-하지(6월 21일)

[그림 27]은 Solar Tracking 시, 설계된 채광장치에 부산지역 하지의 일사량 Data를 적용한 결과 값이다. 춘·추분의 결과 값인 [그림 26]과 비교해 보면, 채광장치[receiver]로 들어오는 태양광의 최대 에너지는 큰 차이가 없지만 광량분포도를 비교 했을 때, 하지의 경우가 더 많은 광량이 들어옴을 그래프를 통해 쉽게 확인할 수 있다.

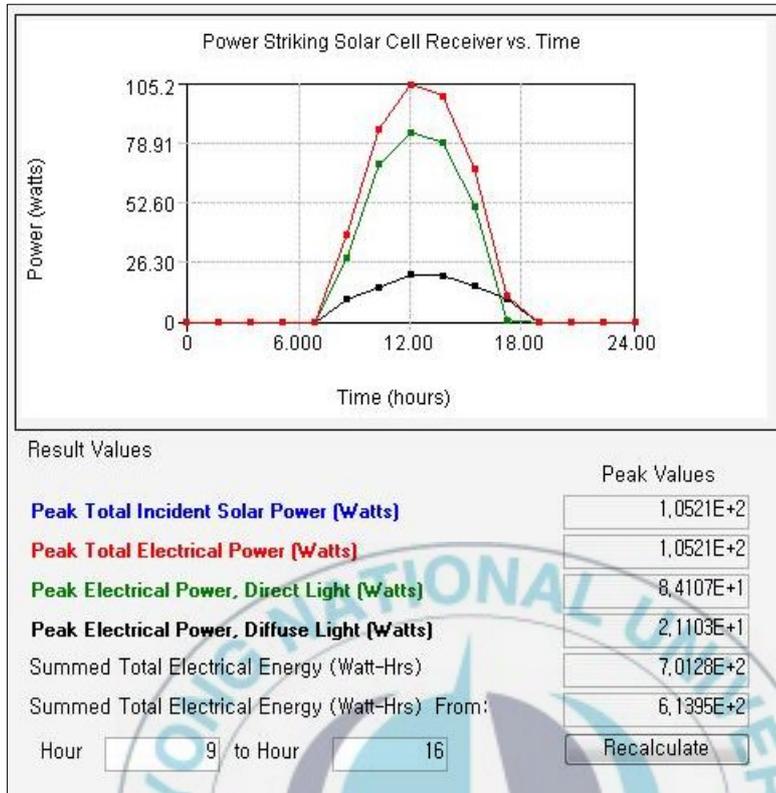
이는 하지 때가 춘·추분에 비하여 채광장치를 통해 들어오는 태양광이 더 많음을 뜻하며, 즉 일출·일몰 시간이 긴 하지 때가 채광장치 효율이 더 뛰어나음을 알 수 있다.



[그림 28] 프리즘 채광장치 효율-동지(12월 21일)

[그림 28]은 Solar Tracking 시, 설계된 채광장치에 부산지역 동지의 일사량 Data를 적용한 결과 값이다. 그래프를 통해 결과를 살펴보면, 동지의 경우가 춘·추분과 하지에 비해 적은 광량이 들어옴을 확인할 수 있다. 즉, 태양이 떠 있는 시간이 짧은 동지 때에는 프리즘 채광장치의 효율이 다소 떨어짐을 뜻한다.

이는 동지에 해당하는 채광장치 구역의 프리즘 각도를 더욱 다양하게 적용함으로써 채광장치의 효율을 높일 수 있을 것이라 생각된다.



Input [1,000]에 따른 계절별 Output 결과 값	춘·추분 [3월]	하지 [6월]	동지 [12월]
	135.29Watt	137.69 Watt	105.21 Watt

<표 10> 일사량 Input 값 [1,000]에 따른 결과 값

[표 10]은 [1,000]이라는 input 값이 일사량으로 주어졌을 때, 채광장치를 통과한 Output값을 계절별로 비교하기 위해 표로 작성한 것이다. 표를 살펴보면, 일사량 [1,000]에 대해 춘·추분의 경우는 약 13.5%인 135정도의

일사량이 채광장치를 통해 들어오는 것이다. 즉, 채광장치를 통과하는 최대 일사량은 동지 때가 효율이 낮으며, 하지가 다른 계절보다 다소 높은 값을 나타내었다.



제 VI 장 결론

본 연구에서는 에너지 절감 및 친환경 에너지원으로 주목받고 있는 프리즘 태양광 채광장치를 설계하였다. 그리고 완성된 채광장치는 Solar Tracking Utility를 이용해 가상의 태양광을 적용해 봄으로써 그 성능을 분석할 수 있었다.

채광장치 설계는 일사량이 가장 많이 들어올 수 있도록 춘·추분에 해당하는 구역의 프리즘 각도와 동지에 해당하는 구역의 최적 프리즘 각도를 따로 적용하여 채광장치의 효율을 높였다. 이때, 프리즘 각도는 태양의 계절별 고도각에 기초하여, 채광장치 지름 1/2 지점에서 광 분포가 가장 균일하도록 프리즘 각도를 도출하였다. 그 결과 춘·추분은 고도각 54°에 대해 약58°, 동지는 고도각 30°에 대해 약70°의 프리즘 각도를 결정할 수 있었다. 그리고 하지의 경우는 고도각 자체가 거의 90도에 가까움으로 채광장치 상부 쪽에 공간을 최대한 남겨, 많은 양의 일사량이 들어올 수 있도록 설계하였다.

설계된 채광장치는 Solar Tracking Utility를 통해 부산지역 일사량 Data를 적용하여 그 효율을 분석할 수 있었다. 이때, 일사량은[1,000]이라는 input 값을 주고, 채광장치를 통과한 output값을 비교해 봄으로써 채광장치의 효율을 분석하였다.

[표 10]이 Solar Tracking을 통해 나타난 채광장치 효율 값이다. 이때 모든 결과는 태양으로부터 나오는 Input ray를 250,000개로 주었을 때 나타난 수치이다. 효율을 살펴보면, 채광장치[receiver]로 들어오는 태양광의 최대 에너지인 "Peak Total Electrical Power"는 input insolation 1,000에 대해, 하지가 135.29Watt로 춘·추분과 동지에 비해 다소 높음을 알 수 있다.

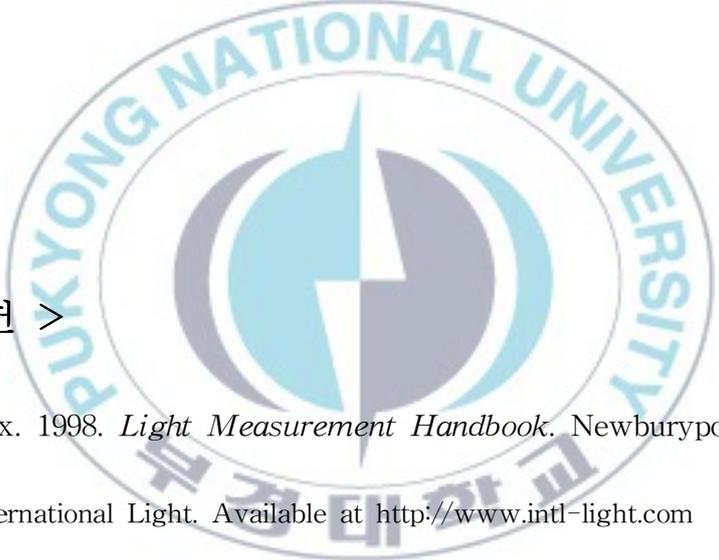
	춘·추분 [3월]	하지 [6월]	동지[12월]
Peak Total Electrical Power	135.29Watt	137.69 Watt	105.21 Watt
Summed Total Electrical Energy	1095.2 Watt-Hrs	1302.3 Watt-Hrs	701.28 Watt-Hrs

<표 11> 계절에 따른 프리즘 채광장치의 효율

그리고 광량분포의 전체면적을 뜻하는 수치인 "Summed Total Electrical

Energy”는 태양의 일출·일몰 시간이 긴 하지가 1302.3Watt-Hrs로 다른 계절에 비해 월등히 높음을 확인할 수 있었다. 따라서 전체적인 결과 값을 살펴보면, 일출·일몰 시간이 짧은 동지가 다른 계절과 비교했을 때 효율이 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 부분은 동지에 해당하는 채광장치 구역의 프리즘 각도를 더욱 다양하게 적용함으로써 채광장치 효율을 높일 수 있을 것이라 생각되어진다.

< 참고문헌 >

- 
- [1] Ryer, Alex. 1998. *Light Measurement Handbook*. Newburyport, MA : International Light. Available at <http://www.intl-light.com>
- [2] LightTools Solar Tracking Utility User's Guide
- [3] Bijana Tadic, “Optical System Design”
- [4] Luque, A “Handbook of photovoltaic science and engineering”

- [5] 한양대학교 건축환경시스템 연구실, 2006, “국내 건축환경에 적합한 독립채광시스템 개발 및 성능평가 연구”
- [6] 한국 ABM 건설(주), 자연형 집광채광 시스템
- [7] 서울산업대학교 에너지 기술인력 양성센터, 고효율 조명기술
- [8] M A Cayless, A M Marsden, Lamps and Lighting
- [9] 경희대학교 채광조명시스템 연구실, 태양광 채광시스템
- [10] 김미령, 2002. (석사학위논문), “Fresnel Lens를 이용한 조명 광학계의 설계 및 분석”

< 감사의 글 >

이 글을 적고 있다는 것이 저한테는 너무 벅찬 일인 것 같습니다. 대학원 2년, 많은 것을 느끼고 배우면서 제 자신이 한층 성숙할 수 있었습니다. 그리고 이젠 그 2년이라는 세월을 돌이켜 보니 후회되는 일도 많은 것 같습니다. 하지만, 항상 제 곁을 지켜주며, 제가 “화이팅!”할 수 있도록 도와준 저의 가족에게 감사하다는 말을 전하고 싶고, 학부 3학년 때부터 저를 아껴주며, 많은 것을 가르쳐 주셨던 김종태 교수님께도 감사드립니다.

이젠 사회인이 되어, 지금껏 겪어보지 못한 많은 일들이 있겠지만,

대학교·대학원 생활경험을 바탕으로 계속 성장할 수 있는 윤지영이
되겠습니다.

