

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 22, No. 1, 2002

# 프레넬 필름을 이용한 태양광 채광시스템 연구

정학근\* · 한수빈\* · 정봉만\* · 이의준\* · 임상훈\*

\* 한국에너지기술연구원

## A Study on Solar Light Collector using Fresnel Lens Film

H.G. Jeong\*, S.B. Han\*, B.M. Jung\*, E.J. LEE\*, S.H. Lim\*

\* Korea Institute of Energy Research

### Abstract

Solar daylighting system provides free and comfort lighting, but its design and control has been key issue due to heavy light collecting system. One of the solutions for the heavy weight issues would be using a light framed film such as fresnel and prism lens.

This prototype system consists of light collector, light transformer and light guide luminaire. The light collector which is installed at window or the rooftop concentrates solar light, the collected beam is converted to suitable light by the light transformer, and the prism light guide luminaire has been used to distribute light emitted from light transformer for illumination. In this paper, the design concept and performance of light collector in this prototype system are presented.

**Key words** : fresnel lens, light collector, light transformer, light guide luminaire

### 1. 서론

무한한 태양 에너지 자원과 시환경이 우수한 자연광을 조명에 이용하는 자연 채광 시스템은 조도

제어 시스템과 연계하여 많은 건물에 설치되고 있다. 현재의 집광 시스템은 집광 렌즈와 태양을 추적하는 제어시스템으로 구성되는데, 이중 원형의 렌즈로 구성된 집광장치의 과중량 및 과체적으로

인해 설계 및 비용 문제 그리고 설치공간의 제약 등의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 집광부의 과중량 및 과체적으로 인한 설계 및 공간문제를 해결할 수 있는 경량 프레넬 필름 및 프리즘 렌즈를 이용한 집광 시스템을 제안하고, 시제품을 제작, 그 성능을 실험을 통하여 확인하여, 시스템의 유용성을 검증하고자 한다.

새롭게 제안되는 조명시스템은 태양 빛을 모으는 집광부 외에도 집광된 빛을 조명이 필요한 장소로 전송하고 조명에 필요한 빛으로 변환하는 변광부와 배광부를 필요로 한다. 현재 광전송 수단에 사용되는 광파이프는 효율면에서 문제가 있고 광섬유는 조명용의 대량의 광 전송에는 비경제적이 되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 시도로서 프리즘 효과를 이용한 빛의 이동수단이 개발되었다.<sup>1)</sup> 이후 광 운송재료의 개발은 비약적인 발전을 하였고 아크릴 패널 대신 얇은 필름을 이용하게 되었으며 이를 이용한 미세 프리즘 개발까지 이어졌다. 현재는 미세 프리즘이 여러 용도로 개발되고 있으며, 본 논문에서는 그 중 미세 프레넬 렌즈 필름을 이용하여 광을 집광하고, 다양한 각도의 프리즘 필름을 이용하여 광을 변조하고 배광하는 시스템을 설계하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 집광부(light collector), 변광부(light transformer), 배광부(light pipe)의 3 단계로 구성된다.

태양이 잘 비치는 창가나 옥상 등에 설치되는 프레넬 렌즈를 이용한 태양 집광장치는, 프레넬 렌즈에 도달한 태양 빛을 원하는 방향으로 굴절시켜 하나의 초점 선상에 빛을 모으게 된다. 이렇게 모여진 빛은 변광부로 들어가고, 변광부 내벽에 붙어있는 전반사필름을 통해 다시 배광부에서 필요한 광의 형태로 변환된다. 배광부에 들어온 빛은 입사각도에 따라 전반사 되거나 투과되는 원리에 의해 실내를 균일하게 조명하게 된다.

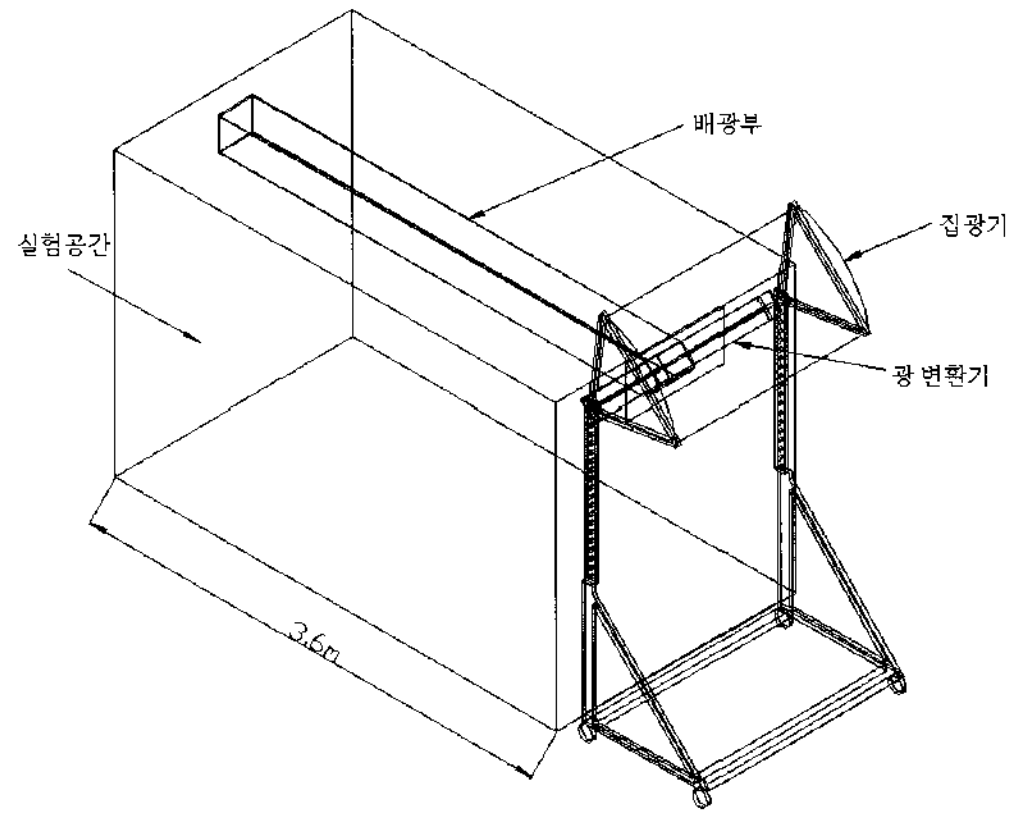


Fig. 1 태양광 채광시스템의 개념도

## 2. 집광시스템

태양은 지구로부터 멀리 떨어져 있는 광원이므로 지구로 도달하는 광선은 평행한 빛으로 고려할 수 있다. 평행한 빛은 렌즈를 통해 하나의 점 초점을 형성하게 된다. 따라서 태양광 에너지를 많이 모으기 위해서는 집광부의 면적이 커야함은 자명한 사실이나, 면적이 커지면 집광장치를 구성하고 있는 렌즈의 무게가 상당할 뿐만 아니라 제작하기도 쉽지 않다.

현재 3M사에서 생산하고 있는 프레넬 필름은 아크릴이나 폴리탄산에스테르를 소재로 하여 제작하였으며, 무게가 가볍고 잘 구부러지는 특징이 있으므로 본 시스템에서는 프레넬 렌즈 필름을 이용하여 집광장치를 구성하였다. 본 시스템에서는 프레넬 필름은 빛을 모을수 있는 렌즈를 길이 방향으로 확장된 것을 채용하여 초점을 하나의 점이 아니라 선의 형태로 나타나게 하여 효율을 향상시키고자 하였다.

그림 2는 프레넬 필름의 전체적인 형상 및 단면 형상을 보여주고 있다. 프레넬 필름에는 위치에 따라 굴절률이 달라지도록 렌즈가 형성되어 있어 태양 빛이 항상 일정한 위치에 도달하도록 한다.

따라서 집광장치에 수직으로 도달하는 태양 빛은 렌즈의 각을 조금씩 달리하여 등근 형태로 구성하면 하나의 초점 상에 모을 수 있다.

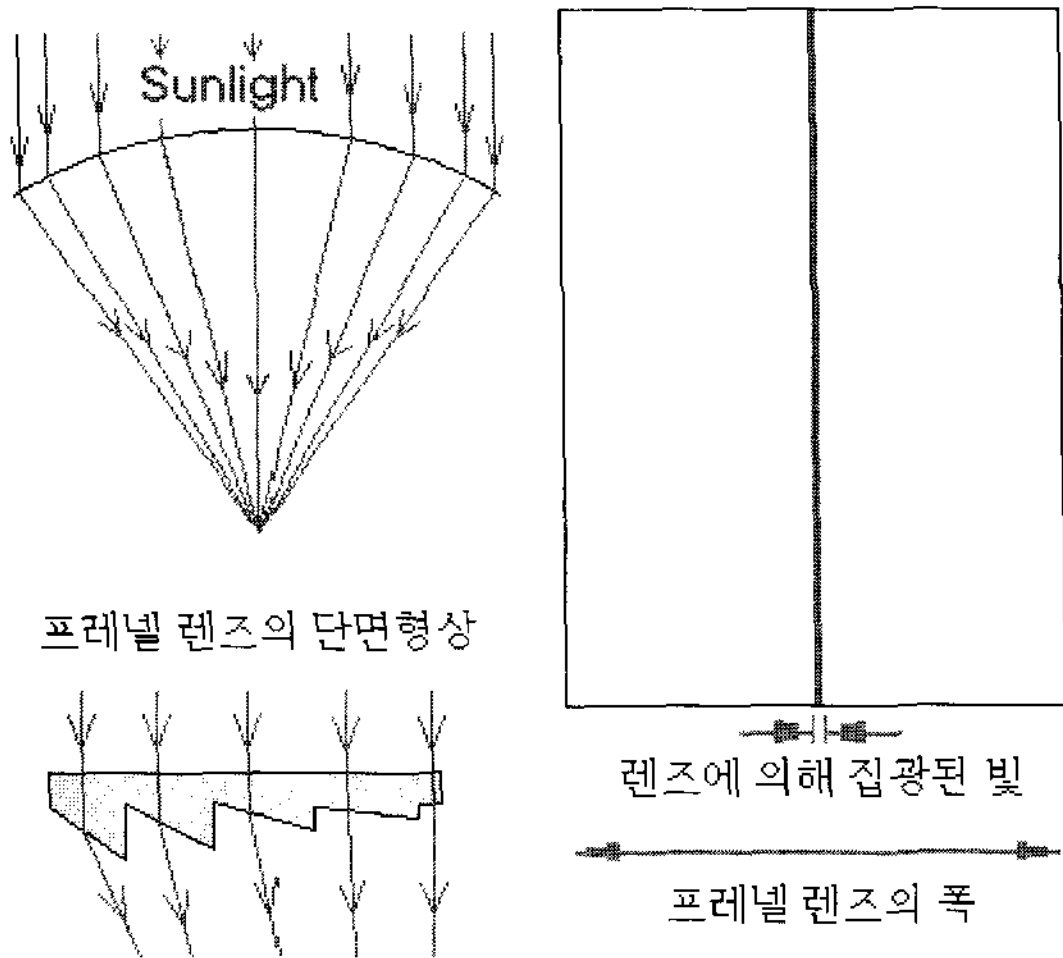


Fig. 2 프레넬 렌즈의 원리

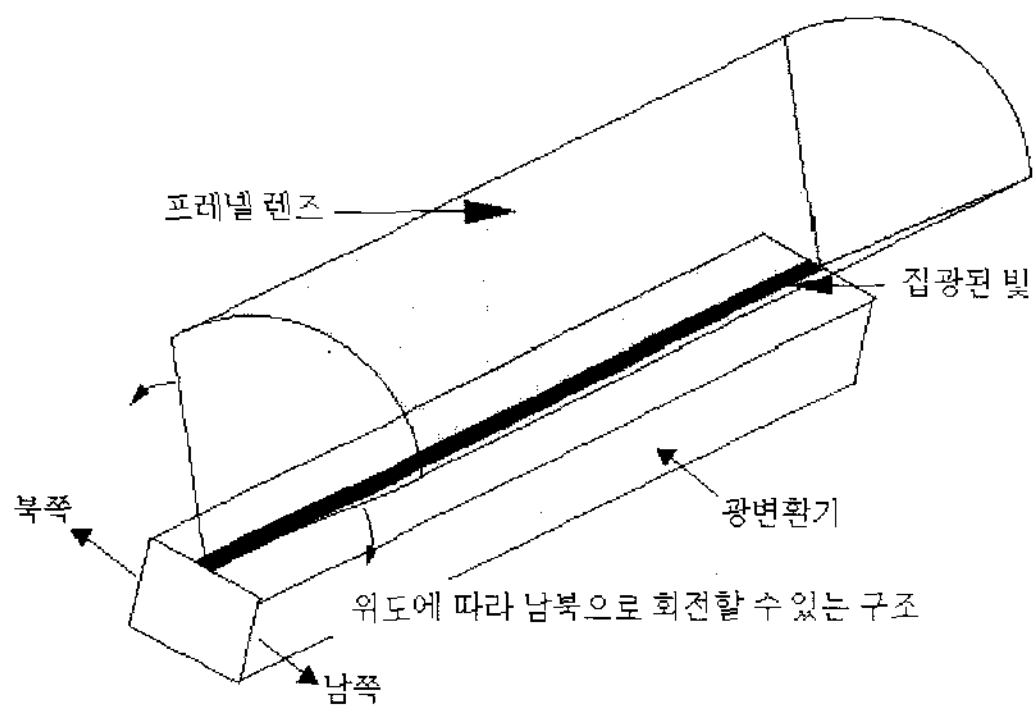


Fig. 3 집광장치의 구조

초점의 위치는 렌즈의 곡률과 빛의 입사각에 따라 바뀌게 된다. 태양이 시간에 따라 항상 위치가 변하기 때문에 초점의 위치도 바뀌게 되므로 초점을 항상 일정하게 유지하기 위한 방법이 필요하다. 초점을 일정하게 유지하기 위한 방법은 태양

의 위치에 따라 렌즈의 곡률을 변경하는 방법과, 입사각을 일정하게 유지할 수 있도록 집광기의 방향을 변경하는 방법이 있다. 렌즈의 곡률을 변경하는 방법이 공간적인 문제에 있어서는 유리하지만, 제작상의 어려움이 있다. 본 논문에서는 시스템의 유용성을 검증해보는 단계이므로 집광기의 방향을 변경하는 방법을 고안하여, 그림 3에서 보는 것과 같이 태양의 위치 변화에 따라 남북으로 회전할 수 있는 구조로 설계하였다.

### 3. 변광부 및 배광부

변광부는 집광부를 통해 들어온 긴 라인의 입력 빛(line focus solar light)을 배광부에서 요구하는 형태의 입사각으로 조절하여 보내주는 역할을 수행한다. 변광부 입구부에는 그림 4에서 보는 바와 같이 70°혹은 90°의 프리즘 필름을 연결하여 집광된 빛을 변광부 안으로 투과시킨다. 70°의 프리즘 필름에 의해 빛은 굴절되어 변광상자 안으로 들어가게 되고, 변광 상자 안의 90°전반사 필름에 의해 빛은 계속해서 전반사로 이동하다가 변광부 출구에서 다시 70°프리즘 필름에 의해 굴절되어 광변환기를 빠져나가게 된다.

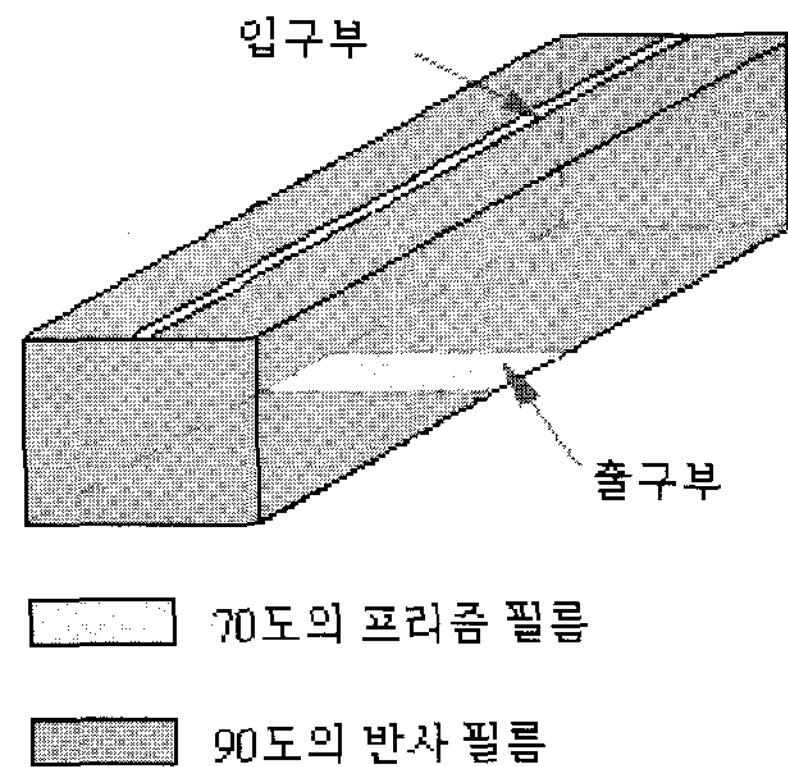


Fig. 4 광변환기의 구조

변광부를 통해 나온 빛은 광파이프를 따라 실내로 유입된다. 광파이프로 유입되는 빛은 광파이프를 둘러싼 90°프리즘 필름에 의해 전반사되면서 전송된다. 광파이프를 구성하는 90°프리즘 필름은 도달하는 빛의 입사각이 임계각 이내가 되면 빛은 전반사를 하게 되고 입사각이 임계각보다 크게 되면 광파이프 외부로 투과되는 특성을 가진다.<sup>2), 3)</sup>

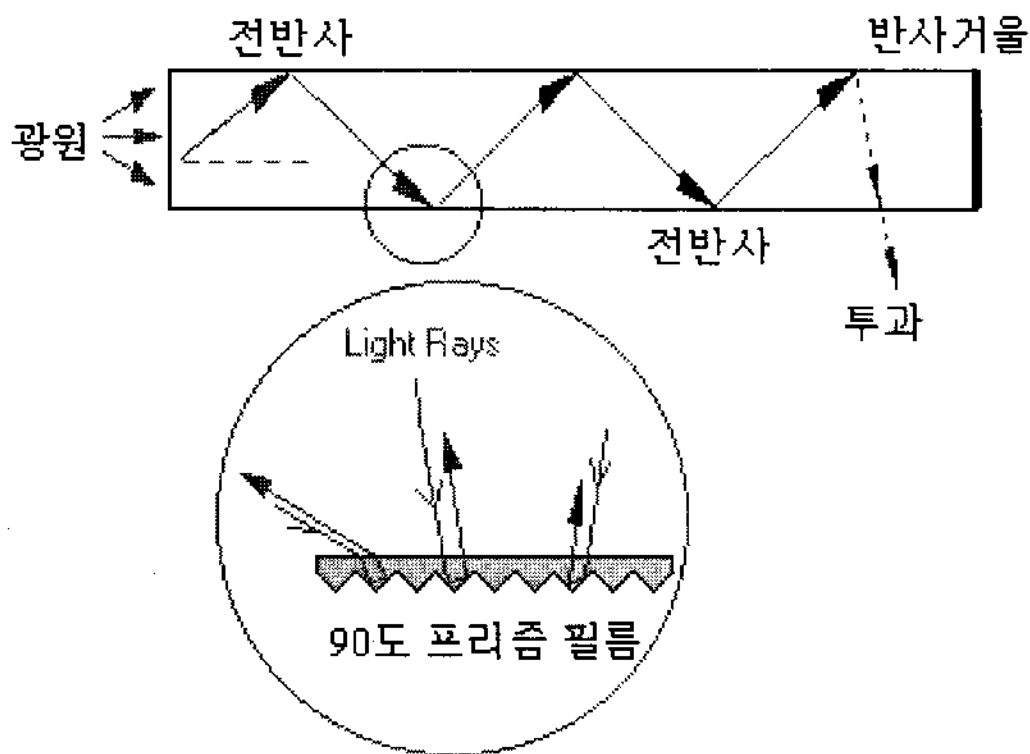


Fig. 5 광파이프 배광부의 구조

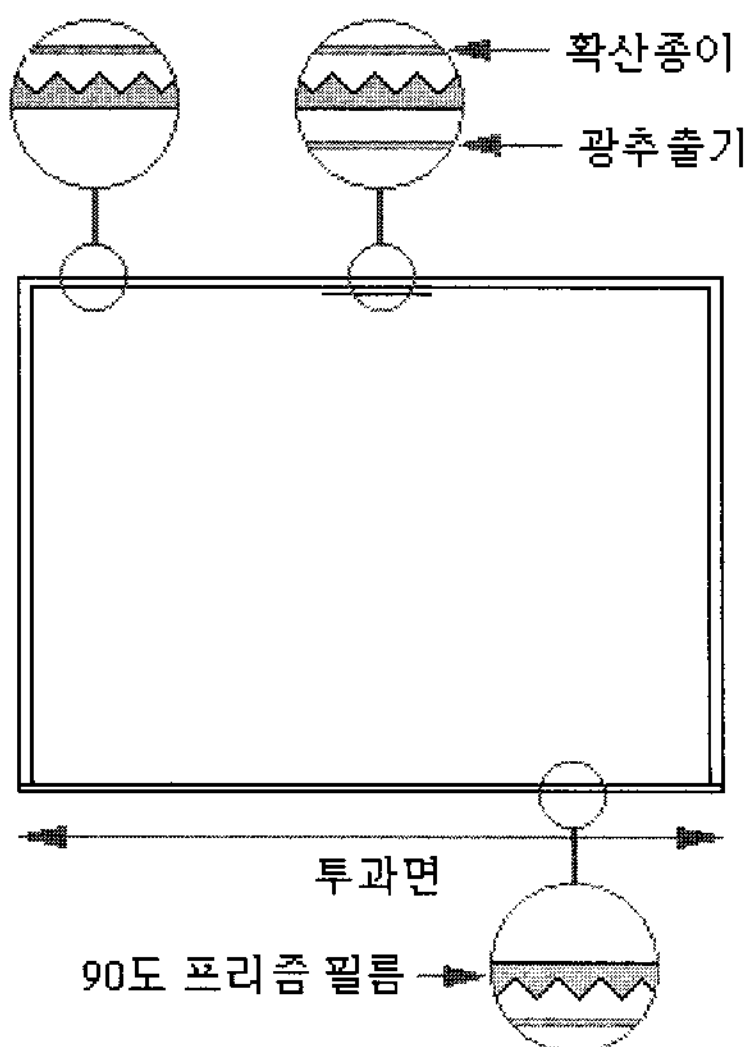


Fig. 6 광파이프 배광부의 단면

변광부에서 나온 빛은 임계각 이내로 입사하여 광파이프 배광부에서 전반사 과정을 통하여 전송되는데, 빛의 입사각을 임의로 변환하여 프리즘 필름을 투과할 수 있도록 그림 6에서 보는 것과 같이 광파이프내 광추출기를 설치하여 원하는 만큼의 빛을 투과시키게 된다.

#### 4. 제작 및 실험

시스템을 제작하기에 앞서 설계된 시스템에 대하여 이상적인 효율을 측정해 보기 위해서 광분석 프로그램인 Trace-Pro를 이용하여 모의실험을 수행하였다. 이 실험에서 태양광은 지구에서 멀리 떨어진 광원으로 가정하여 빛의 분산은 고려하지 않았으며 평행하게 이동하는 것으로 가정하여 수행하였다.

실제 시스템에서의 광원은 태양이며 태양광이 시스템의 집광부(Light Collector)를 통해 들어와 변광부(Light Transformer)를 거쳐 배광부(Light Pipe)를 통해서 실내로 유입되는 것이지만, 모의실험에서는 집광부의 프레넬 렌즈는 편의상 기존의 렌즈로 모델링하였다. 그리고 광파이프 조명 시스템 전체에 대해서는 렌즈에 도달한 태양광을 시스템의 입력값으로 정하여 수행하였다. 따

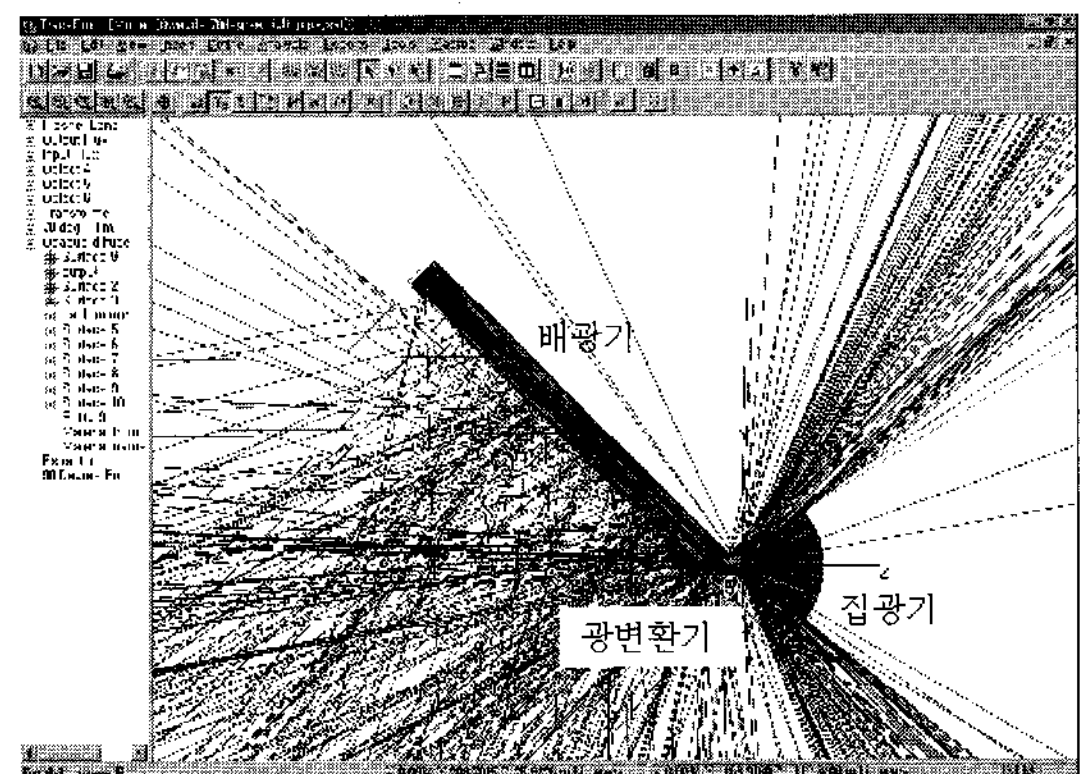


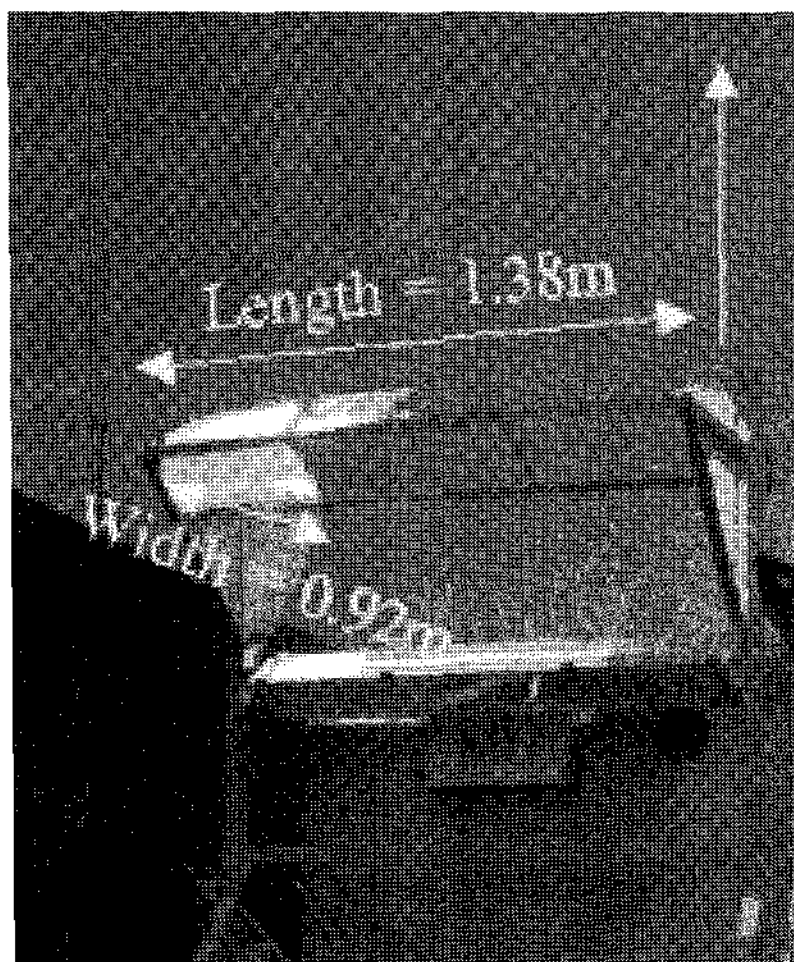
Fig. 7 모의실험(Ray-Tracing)

라서 여기서 얻어낸 효율은 프레넬 렌즈에서의 효율은 고려하지 않은 값이다. 모의실험을 통해 얻어낸 시스템 전체 효율은 표 1에 정리하였다.

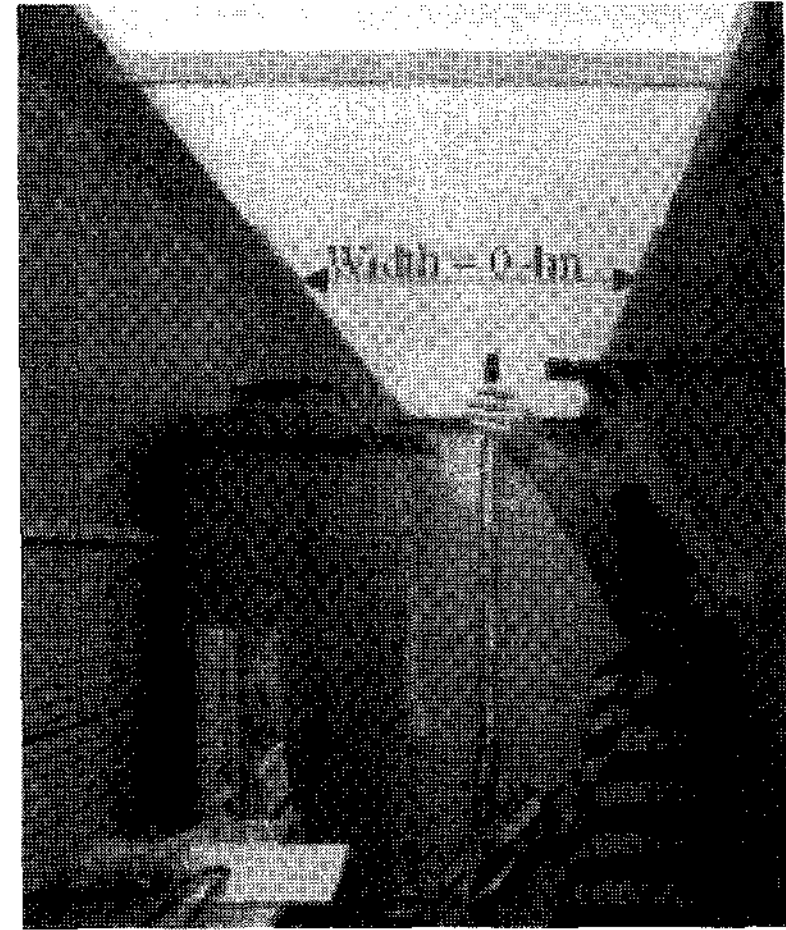
Table 1. 모의실험 결과

Altitude angle	Input	Output
0.	100	9.52
5.	100	8.55
10.	100	9.86
15.	100	7.90
20.	100	8.59
25.	100	6.76
30.	100	6.40
35.	100	5.10
40.	100	4.72

그림 8은 모의실험을 통하여 얻어진 결과를 바탕으로 집광부, 변광부 및 배광부를 제작한 것이다.



(a) 집광장치와 광변환기



(b) 배광장치

Fig. 8 시스템의 크기 및 모습

시스템 효율은 집광부 프레넬 렌즈 표면에 도달한 전체 광속에 대하여 광파이프 배광부를 통하여 실내로 유입되는 광속의 비로 나타낼 수 있으며, 조도측정기를 이용하여 광속을 측정하여 효율을 구하였다. 결과는 표 2에 정리하였다.

Table 2. 실험 결과

시 간	입력광량 (lm)	출력광량 (lm)	효율(%)
10:00	112,360	989	0.9
10:30	124,675	1,544	1.24
11:00	131,023	1,878	1.43
11:30	141,814	3,084	2.17
12:00	147,274	5,397	3.66
12:30	148,670	7,379	4.96
13:00	149,432	6,140	4.11
13:30	144,734	4,591	3.17
14:00	141,306	2,175	1.54
14:30	132,673	1,843	1.39
15:00	125,436	1,424	1.14
15:30	113,248	865	0.76



실험은 방위각(Azimuth Angle)은 고정시키고 고도(Altitude Angle)만을 변화시킴으로써 이루어졌으며, 표 2에서 보면, 12:30분을 기준으로 태양고도가 74°이고 변광부의 기울기가 약 55°이므로 표 1에서의 태양고도가 20°일 때의 효율을 보여야 한다. 그러나 실제 실험을 통해 얻은 결과 값은 4.96의 효율을 보이고 있으며 이는 프레넬 렌즈에서의 광손실과 정확한 초점 형성이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

## 5. 결론

현재 국제적인 연구 동향이나 건축물의 설계 동향을 보면, 시환경과 에너지 환경을 고려하고 있다. 따라서 본 논문에서는 차세대 자연채광 조명 시스템으로 프리즘을 이용한 태양광 채광시스템의 설계 및 성능 시험 결과를 언급하였다.

본 논문에서는 제안된 새로운 조명 시스템의 실현가능성 정도만 확인한 단계여서, 전체적인 시스템의 효율에 대해서 크게 고려치 않았지만, 향후에는 모의실험을 위한 프로그램의 개선과 효율을 향상시키는 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (2000-N-NL-01-C-291) 지원으로 수행되었음

## 참 고 문 헌

1. Whitehead, L. A. & Hoffmann, K. : Method for Estimating the efficiency of prism light guide luminaires, paper #11, 1998.
2. Whitehead, L. et al. : Hollow light guide technology and applications, 1999.
3. Nils Larsson : Case study Analysis of the C-2000 Energy Criteria and National Energy Code, CANMET, 1996.
4. Hong Ma : The Roller Blind Heliostat "Engineering Physics Projects", The University of British Columbia, 1999.
5. Lambda Research Corporation : Trace-Pro User's Manual, 2000.
6. N. Baker et al. : Daylighting in architecture a european reference book, pp 4.1-pp 4.18, 1993.