

# 실내조명용 화이버 광학 집광기의 성능에 관한 실험적 평가

한현주\*, 김정태\*\*

\*경희대학교 대학원 건축공학과(hjhan@khu.ac.kr), \*\*경희대학교 건축공학과(jtkim@khu.ac.kr)

## Experimental Evaluation of a Fiber Optic Concentrator for Daylighting

Han, Hyun-Joo\*, Kim, Jeong-Tai\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Kyung Hee University(hjhan@khu.ac.kr),  
\*\*Dept. of Architectural Engineering, Kyung Hee University(jtkim@khu.ac.kr)

### Abstract

A series of outdoor tests were conducted on a fiber optic solar concentrator system for its performance on daylighting. The system is comprised of four main components - a parabolic dish reflector, a convex mirror, a homogenizer tube and an optical fiber cable. Results show that the system could be successfully applied for indoor lighting if some improvements are made for light transmitting (optical) cables. A maximum concentration ratio of 90 was observed delivering the illuminance of 4,800 lux at a distance of 1.2m from the diffuser for the outdoor illuminance of 102,100 lux.

Keywords : 자연채광(Daylighting), 화이버 광학 집광기(Fiber optic concentrator), 옥외 시험(Outdoor tests)

### 1. 서 론

최근 교토의정서에 의한 온실 가스 배출 기준이 강화되어 새로운 건축물에 지속가능하고 자연친화적인 건축기술의 적용과 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는데 이것은 세계적인 추세이다.

자연광을 실내공간에 도입하는 것은 에너지 사용량의 20~30%를 줄일 수 있다고 보고된 바도 있으며, 보다 편리하고 쾌적한 삶을 추구함에 따라서 전기에너지의 소비는 계속 증가하여 전기에너지의 소비 중 조명에너지가 차지하는 비중이 20%로 매우 큰 비중을 차지하게 되었다.<sup>1)2)</sup>

투고일자 : 2008년 5월 14일, 심사일자 : 2008년 5월 18일, 게재확정일자 : 2008년 6월 24일,  
교신저자 : 김정태(jtkim@khu.ac.kr)

자연광은 무창 공간이나 실이 깊어 자연광이 도달하기 어려운 공간에 활력을 불어 넣어 동적인 공간을 창출하고 실내외의 공간을 연계시켜 주어 풍요롭고 자연 친화적인 환경 조성을 가능하게 하며 생리적인 리듬(biological rhythm)을 제공하게 되어 생산성 향상에 기여하게 된다.<sup>3)</sup>

특히, 주간에는 주로 사용하는 실내공간에서 자연 채광 시스템을 실내 공간에 보다 적극적으로 적용하여 개구부의 크기를 채광시스템의 성능에 따라서 조절하여 동절기에는 열손실을 줄이고, 하절기에는 창면으로부터의 과열로 인한 냉방 부하를 줄일 수 있어 에너지 소비 절감에 기여하게 되며 실내 현휘(glare) 조절이 용이하게 되어 쾌적한 시 환경 조성을 가능하게 한다.

본 연구에서는 직경 소형 포물형 반사경(직경<30cm)을 이용한 화이버 광학집광자연채광 시스템의 설계 및 제작에 관하여 소개하였으며 아울러 이의 성능을 옥외실측을 통해 검증하였다. 시스템은 기존에 상용화된 시스템과 달리 소형·경량으로 제작이 용이하도록 설계되었으며, 아울러 Modular 개념을 도입하여 시스템의 설치 및 작동에 있어 단순성을 극대화할 수 있도록 하였다.

## 2. 화이버 광학 집광기의 적용

화이버 광학 집광기를 적용하여 태양광을 실내 조명에 활용하기 위하여 현재까지 다양한 방법이 소개되고 있는데, 그 중 프란넬 렌즈나 작은 집광 장치를 이용한 시스템이 비교적 제일 실용적이고 효율적인 것으로 평가되고 있다.

그림 1은 화이버 광학 집광기 적용 자연채광시스템의 구성 체계를 보여주고 있는데, 빛을 처리하는 역할에 따라 집광부, 전송부 그리고 단말부로 대별된다.

넓게 퍼져 들어오는 태양광 중 직달광 성분을 모아 광화이버의 리시버 부분에 조사시

켜 실내로 태양광을 도입시키는 것이 화이버 광학 기술의 핵심이라 할 수 있는데, 태양광의 집광을 위하여 프란넬 렌즈 등 광학 기구를 적용하거나 여러 형태의 반사거울의 이용을 고려해 볼 수 있다.<sup>4)</sup>

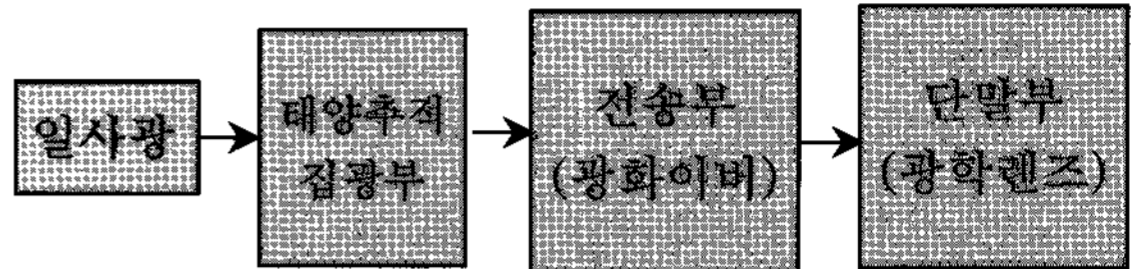


그림 1. 화이버 광학 집광기 적용 자연채광시스템 구성도

전자의 경우, 20여 년전에 이웃 일본을 중심으로 상용화 보급이 이루어졌으나, 그 효율성과 경제성에 대한 부담 때문에 국내에는 그 보급에 한계가 있었다고 할 수 있다.

본 연구에서 고려한 반사거울(반사경)을 이용한 화이버 광학 집광기는 이러한 기존의 문제점을 보완하고 자연채광을 보다 용이하게 구현하기 위하여 개발된 것으로서 소형의 접시형 반사경을 근간으로 각 구성 요소가 모듈라 형태로 설계되어 시스템의 제작 및 유지에 있어 편의성을 제고하였다. 즉, 직경 30cm 이하의 소형 접시형 반사경을 적용한 본 자연채광 시스템은 반사경의 제작에 있어 알루미늄 등의 금속 소재에 몇 단계의 간단한 기계적인 공정(압출, 성형 등)만을 필요로 하므로 fresnel 등을 사용하는 타 시스템(HIMAWARI, SOLUX, SO-LIGHT 등)에 비해 비교적 저렴하게 대량으로 생산될 수 있는 장점이 있다.<sup>5)</sup> 특히, 기존 시스템에 비해 물리적으로 그 크기가 작고 구성품이 대부분 기존의 표준화된 저렴한 광학 부품을 그대로 적용할 수 있어 유지·보수 면에서도 경제적이며, 대형 반사경을 적용한 시스템에 비해서는 상당한 가격 경쟁력이 지니고 있다고 할 수 있다. 이는 현재 US\$500 미만으로도 구입할 수 있는 다양한 소형 접시형 태양광 집광시스템이 그 좋은 예라고 할 수 있다.

본 논문에서 소개한 시스템은 또한 “Master Module”과 “Slave Module” 개념을 도입하여

태양추적장치를 장착한 하나의 소형접시반사경시스템(Master Module)으로부터 전달된 제어신호를 이용하여 나머지 시스템을 작동제어할 수 있도록 고려하였다. 이와같은 개념의 도입은 기존의 시스템과 달리 (별도의 지지대 없이) 다수의 모듈을 지붕에 낮게 설치하여 이용할 수 있게끔 함으로써, 강풍 등에도 충분히 안전성을 확보할 수 있도록 한다.

### 3. 시스템의 구성

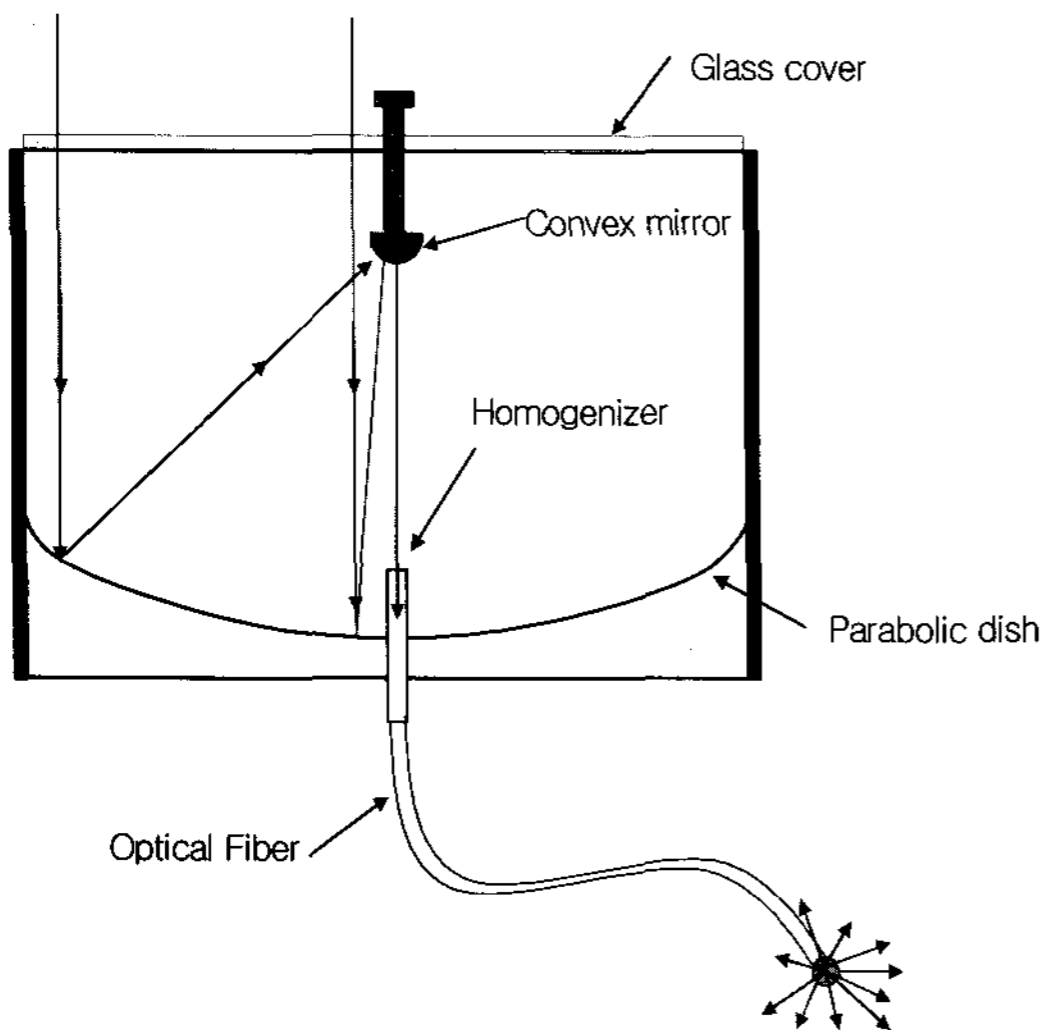


그림 2. 시스템의 작동 개요(특허출원 제 2007-20366호)

그림 2는 본 연구에서 소개하고자 하는 자연채광시스템의 주요 구성 요소와 작동 개념을 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 시스템은 크게 접시모양의 포물형 반사경, 볼록 거울, homogenizer 튜브 그리고 광화이버 케이블 등으로 이루어졌으며, 전술했듯이 간단한 조립 과정을 거쳐 하나의 완전한 시스템이 만들어 질 수 있도록 설계·제작되어 운반과 설치의 편의성을 제고하였다.

그림 3은 실제작한 집광 유닛의 주요 구성 요소의 실물 사진을 보여주고 있다. 접시 모양의 태양 집광 반사경 (그림 3의 (a))은 간단한 포물 형태(직경: 30cm, 초점 거리: 20.5cm, rim angle: 43.2°, 반사율: 0.94)를 이루고 있는

데, 투명 덮개(반사경이 직접외기에 접하는 것을 방지해 눈이나 비 또는 먼지 등으로 인해 그 표면이 변질되거나 반사율이 떨어지는 것을 방지, 투과율: 0.93)를 투과한 직달 태양광을 일차적으로 반사시켜 투명 덮개 내측면 중앙부에 부착된 2차 볼록 반사 거울(그림 3의 (b), (c), 직경: 1.95cm, 초점거리: 2.15cm, rim angle: 43.2°, 반사율: 0.94)에서 이차적으로 반사되도록 하는 역할을 수행한다.<sup>6)</sup>

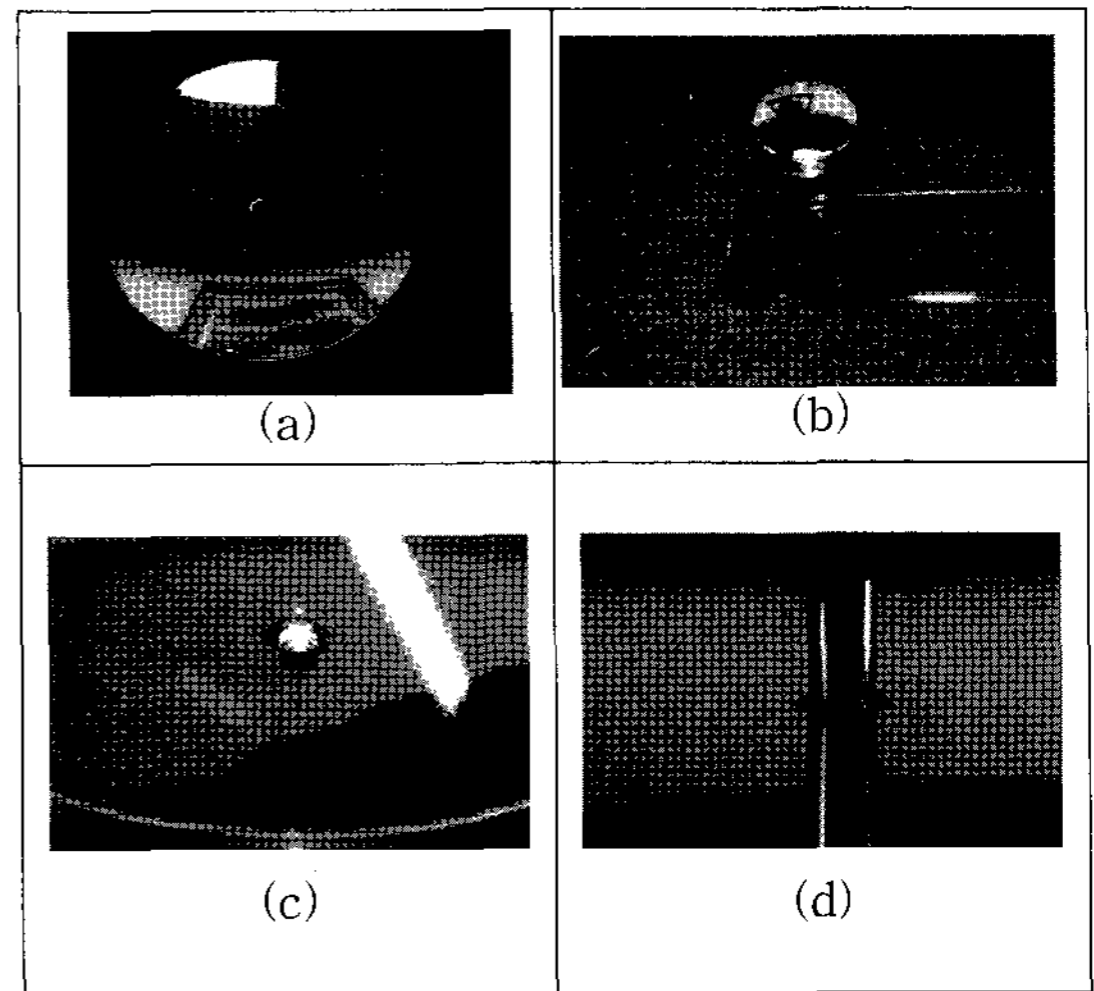


그림 3. 집광 유닛의 주요 구성 요소:  
(a) 접시 모양의 1차 반사경, (b) 볼록 2차 반사경,  
(c) 2차 반사경이 유리 덮개 부착된 모습,  
(d) homogenizer 튜브

2차 반사경의 경우 볼록 거울 이외에 평면경이나 오목 거울도 고려할 수 있는데, 평면경의 경우에는 그 초점이 짧아 homogenizer 튜브를 거의 유리 덮개 근처까지 근접시켜야 하므로 길어진 homogenizer 튜브에 의해 접시 반사경을 거친 태양광이 2차 평면경까지 도달하기 전에 상당 부분 손실될 수 있다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 평면경 적용의 경우, homogenizer를 침탐모양으로 고려할 수도 있으나 짧은 초점거리와 내부 가공의 어려움으로 인해 실용적이지 못하다고 할 수 있다.

한편, 오목 거울의 경우는 접시 반사경에서

반사된 평행광이 다시 평행한 광선을 이루어 homogenizer를 향하게 할 수 있으며, 이 때 오목 반사거울의 표면은 접시 반사경으로부터 반사된 빛이 초점을 지나 일정한 반지름을 가질 때 형성되는 면으로서 접시 반사경의 최외곽으로부터 반사되는 태양광까지 반사시킬 수 있도록 설계하여야 한다. 이 방식은 블록 반사경과 함께 homogenizer의 높이를 획기적으로 낮출 수 있어 빛을 더 효율적으로 모을 수 있을 뿐 아니라 시스템의 실제 제작에도 다양성을 제공한다.

한편, 이차적으로 반사된 태양광은 집광장치 중심부에 장착된 길이 20cm의 금속 소재(sus)의 homogenizer 튜브(그림 3의 (d))를 통과하게 되는데, homogenizer 튜브는 단면이 균일한 부분과 단면이 점점 좁아지는 리듀서(reducer) 부분으로 구성되어 있다. 후자는 직경이 작은 광화이버 케이블과의 접속이 용이하도록 고려되었으며, 완만한 각을 이루면서 단면이 점점 줄어들도록 제작되었다.<sup>7)</sup>

또, homogenizer 튜브의 내부는 반사율이 높게 유지될 수 있도록 가공하여, 그 내부를 흐르는 빛의 흡수를 최소화할 수 있도록 하여야 한다. 이는 실제 성능 측정에서도 자연채광장치의 전체 효율성에 적지 않은 영향을 줄 수 있는 것으로 관찰되었다.

Homogenizer 출구에 장착되는 광화이버 케이블은 quartz, polymer 그리고 glass 등의 소재로 제작된 광화이버 다발을 고려해 볼 수 있으며, 성능과 실용성 등을 전체적으로 감안하여 본 연구에서는 glass 광화이버 번들로 제작된 케이블을 적용하였다. 물론, quartz로 제작된 경우가 그 수송 성능이 제일 높게 나타나겠지만 건물의 굴곡진 부분으로의 광수송과 높은 가격 때문에 그 적용성에는 한계가 있다.

광화이버 외에도 플라스틱 소재의 유연성 있는 optical rod 등도 광수송에 적용해 볼 수 있으며, 이 때 중요한 것은 수송 효율과 고밀도의 태양광의 흡수에 의한 재질의 변형 등

이라 할 수 있다.

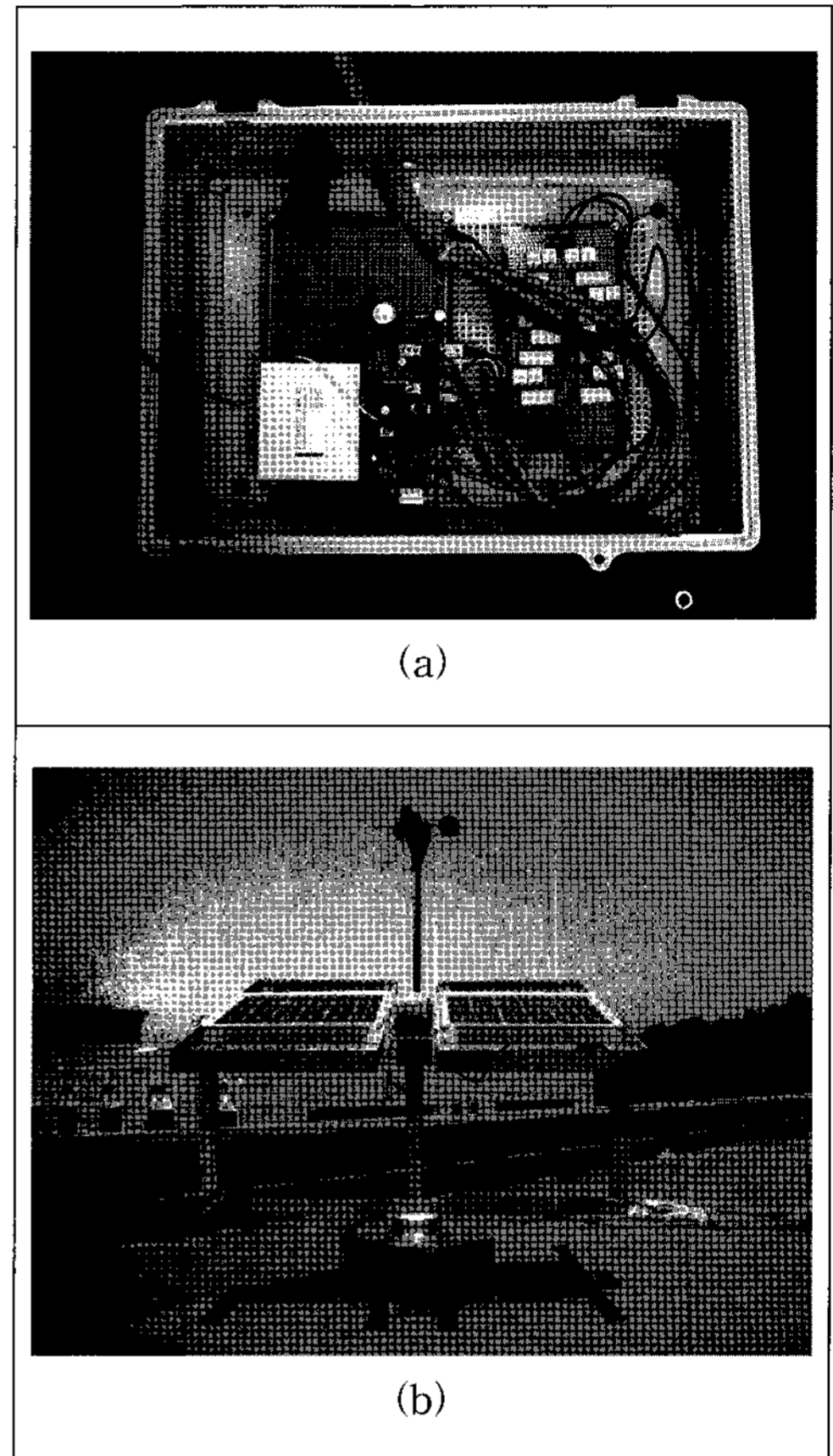


그림 4. 전원 독립형 태양 추적 Assembly의 주요 구성 요소: (a) Control unit, (b) Chassis

한편, 광화이버 케이블 단말부에는 여러 형태의 광학 렌즈를 장착할 수 있으며, 본 연구에서는 블록 렌즈를 이용하여 빛을 외부로 발산하도록 하였다.

일조 시간대에 태양의 움직임에 따라 태양 집광 장치는 입사되는 직달 태양광과 나란히 정렬되는데, 장치 내부에는 태양시계, 태양 센서 그리고 마이크로 프로세서로 제작된 컨트롤러 등이 장착되어 GPS 좌표계와 시간 등의 입력데이터를 이용하여 정확하게 태양의 위치를 계산할 수 있도록 되어 있다. 또 어떤 이유에서든 태양이 가려져도, 태양의 추적은 시간의 함수로 지속적으로 이루어져 천공 상태

의 변화에 민첩하게 대응할 수 있도록 고려하였다. 태양집광 장치는 건물의 지붕 등에 고정적으로 설치될 수도 있고, 이동 가능하도록 지지대를 설치한 후 장착될 수도 있다. 시스템의 작동에 필요한 동력은 계통선으로부터 공급 받거나 태양전지 모듈을 이용하여 해결할 수 있도록 하였다. 특히, 후자의 경우는 완전한 독립 전원 시스템으로 구축할 수 있는데, 필요한 모든 에너지를 태양에만 의존하는 자연채광시스템이 되는 것이다.

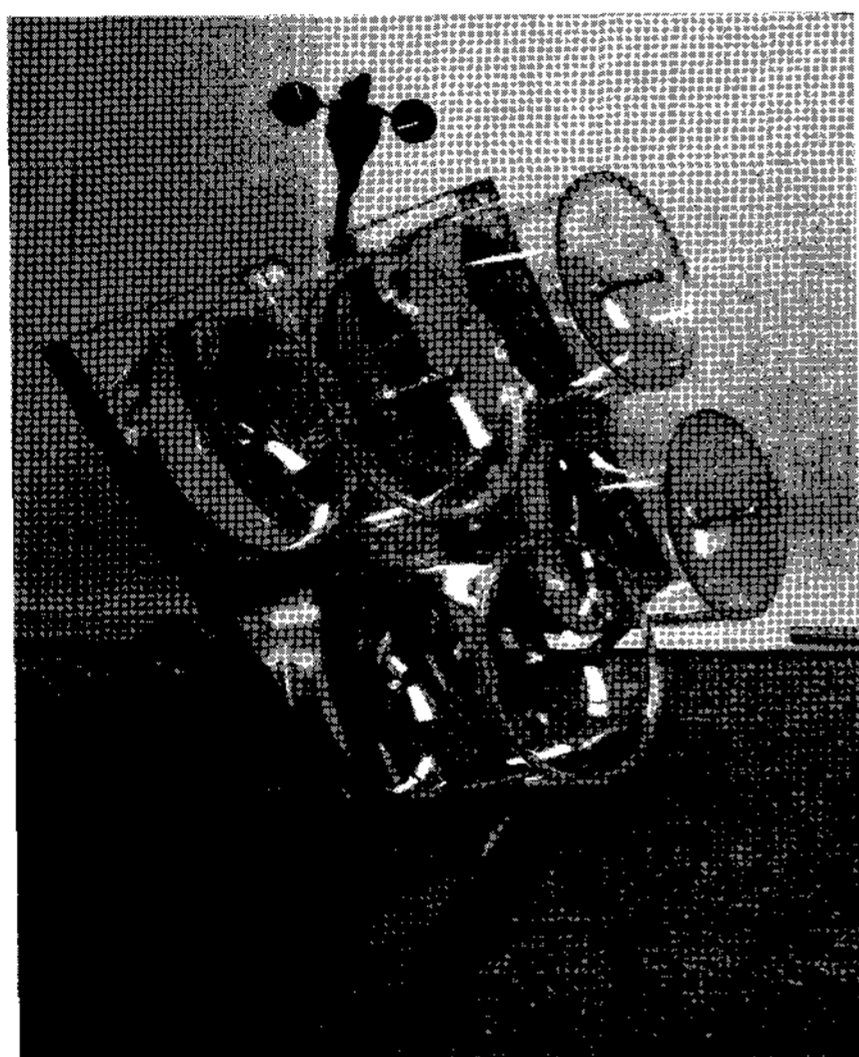


그림 5. Assembly에 장착된 반사경 유닛 (PV 모듈을 장착하지 않은 Assembly)

그림 5는 반사경 유닛의 장착을 위한 태양 추적 assembly chassis의 실제작 모습의 한 예를 보여주고 있는데, 4개의 유닛을 장착할 수 있도록 설계·제작되었다(PV 모듈이 assembly에 장착되지 않음).

#### 4. 시스템의 작동 성능 평가

본 연구에서 개발한 화이버 광학 집광기 적용 자연채광 시스템의 성능 실측을 위해 2월과 4월에 걸쳐 맑게 갠 날에 반복적인 실험을 수행하였다. 시스템은 태양을 추적하므로 청천공하에서는 시간에 따른 air mass의 변화와

대기에 떠있는 aerosol의 종류에 주로 영향을 받으므로 시간에 따른 천공의 상태 변화에 대한 지속적인 관찰이 필요하다.

청천공하에서 포물형 접시 반사경에 의해 고밀도로 집적된 태양광은 볼록 2차 반사경에 의해 그 방향이 접시 반사경의 중심을 향하게 되는데, 이 때 Homogenizer 튜브를 장착하기 전에 이의 집광비를 측정하면 외부일사량(접시에 조사되는 직달 및 산란 성분을 모두 포함한 전일사량)  $751.4W/m^2$ (사용된 일사량계: Eppley Precision Spectral Pyranometer)에서 최고 90배 ( $6.758 \times 10^4W/m^2$ )까지 도달하였다. 이 때 집광된 후의 일사량도 일사량계에 의해 전일사량으로 측정되지만 실제로는 조사된 태양광의 직달(평행광) 성분만을 모은 것이라 할 수 있다.<sup>8)</sup>

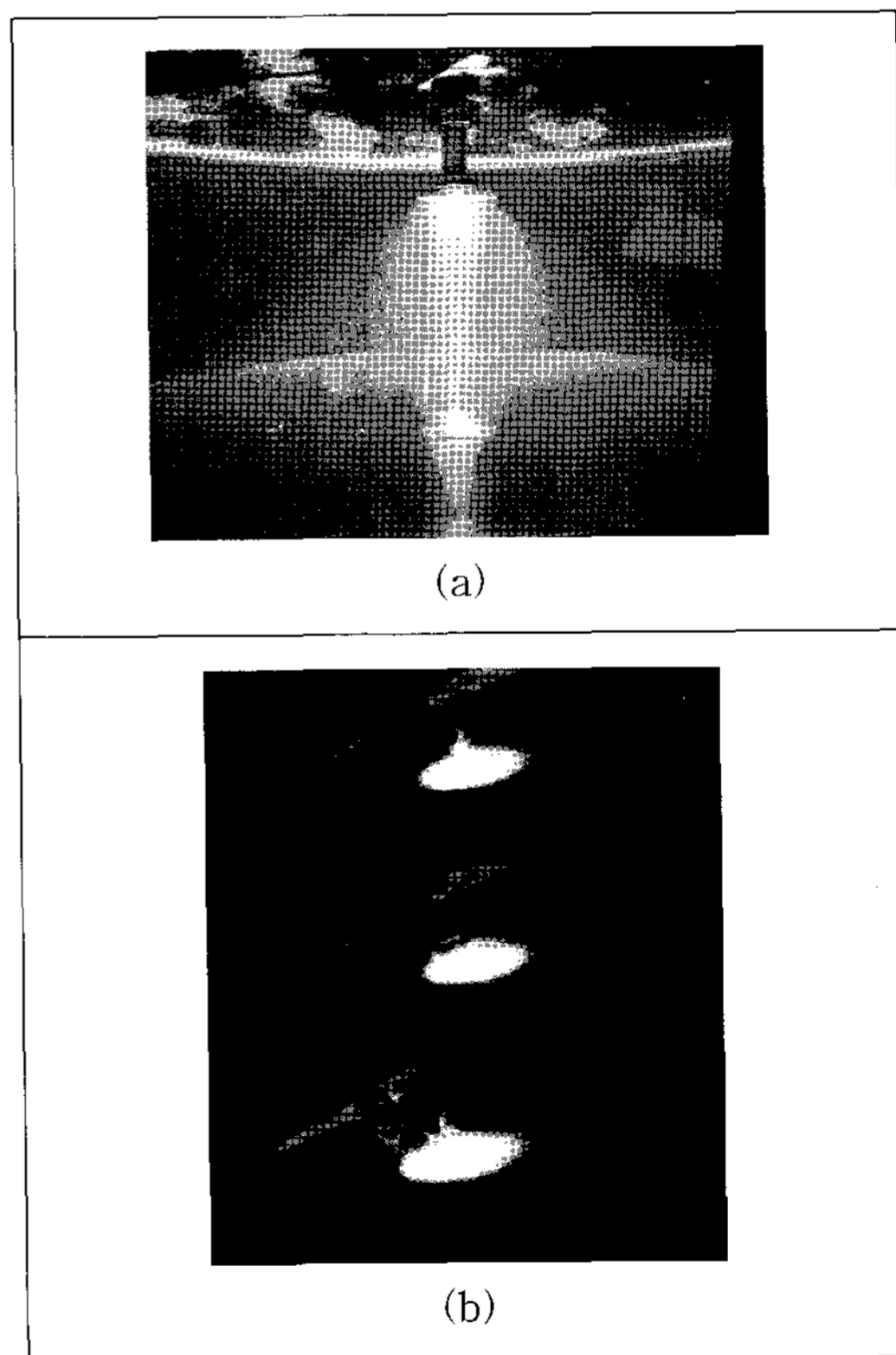


그림 6. 반사경 유닛에 의해 형성된 고밀도의 태양광: (a)태양광의 경로 가시화, (b) 고밀도 태양광의 intensity에 대한 시험

본 연구의 자연채광장치는 빛의 직달광을 이용하는 방식이므로 그 집광비는 천공의 상태에 상당한 영향을 받으며, 실제로 이는 자연채광장치의 성능에도 적지 않은 영향을 주는 것으로 관찰되었다. 즉, 일사량(irradiance) 조건은 크게 차이나지 않더라도 운량이나 대기의 상태에 따라 집광된 빛의 luminous intensity는 상당한 차이를 나타낼 수 있다.

그림 6의 (a)는 빛이 반사경에 의해 모아지는 모습을 보여주고 있는데, 투명덮개 내부로 연기를 주입시켜 빛의 경로를 보다 뚜렷하게 가시화하였다. 한편, 고밀도로 모아진 빛에 대한 intensity(solar flux)를 물리적으로 시험하기 위하여 반사경의 중심부 하단에 검은색 판지를 설치하였는데, (b)에서 보듯이 수초 안에 발화점에 도달하여 연기가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

또, 태양의 고도각(altitude angle) 따라 설치된 조도계에 의해 측정된 외부 조도는 최고 102,100 lux를 보여주었으며, 고밀도로 모아진 태양광의 조도는 사용된 lux meter의 한계치(200,000 lux)를 벗어나 측정이 불가하였다. 한편, 광케이블에 의해 전송되어 단말부의 볼록렌즈를 통해 실내로 조사된 빛의 조도는 단말부로부터 1.2m의 거리에서 최고 4,800 lux로 측정되었다.

단말부에 설치된 광학렌즈는 빛을 주위로 발산시키는 역할을 수행하는데, 본 연구에서 고려한 볼록렌즈 외에도 오목렌즈나 그 밖의 다양한 광학 렌즈를 필요에 따라 장착하여 사용할 수 있다.

물론, 이 때 단말부에서 나오는 빛의 배광분포는 사용된 광학렌즈의 물리적 특성에 따라 달라질 수 있으며, 이는 자연채광장치 이용의 효율성에도 적지 않은 영향을 줄 수 있어 이에 대한 충분한 고려가 있어야 한다.

그림 7은 단말부로부터 실내로 조사된 고밀도의 태양광에 대한 실측실험결과를 보여주고 있다. 본 실험에서 사용된 광화이버 케이블은 그 직경이 16.8mm 그리고 길이가 5m이었는데,

만약에 광화이버 케이블의 태양광 인입부로부터 단말부까지의 거리를 줄일 수 있다면 더 양호한 결과를 얻을 수 있었을 것으로 판단된다. 이는 사용된 광화이버가 유리 광섬유(glass optical fiber)인 점을 감안할 때, 그 손실율이 약 1 dB/m에 이를 수 있기 때문이다.<sup>9)</sup>

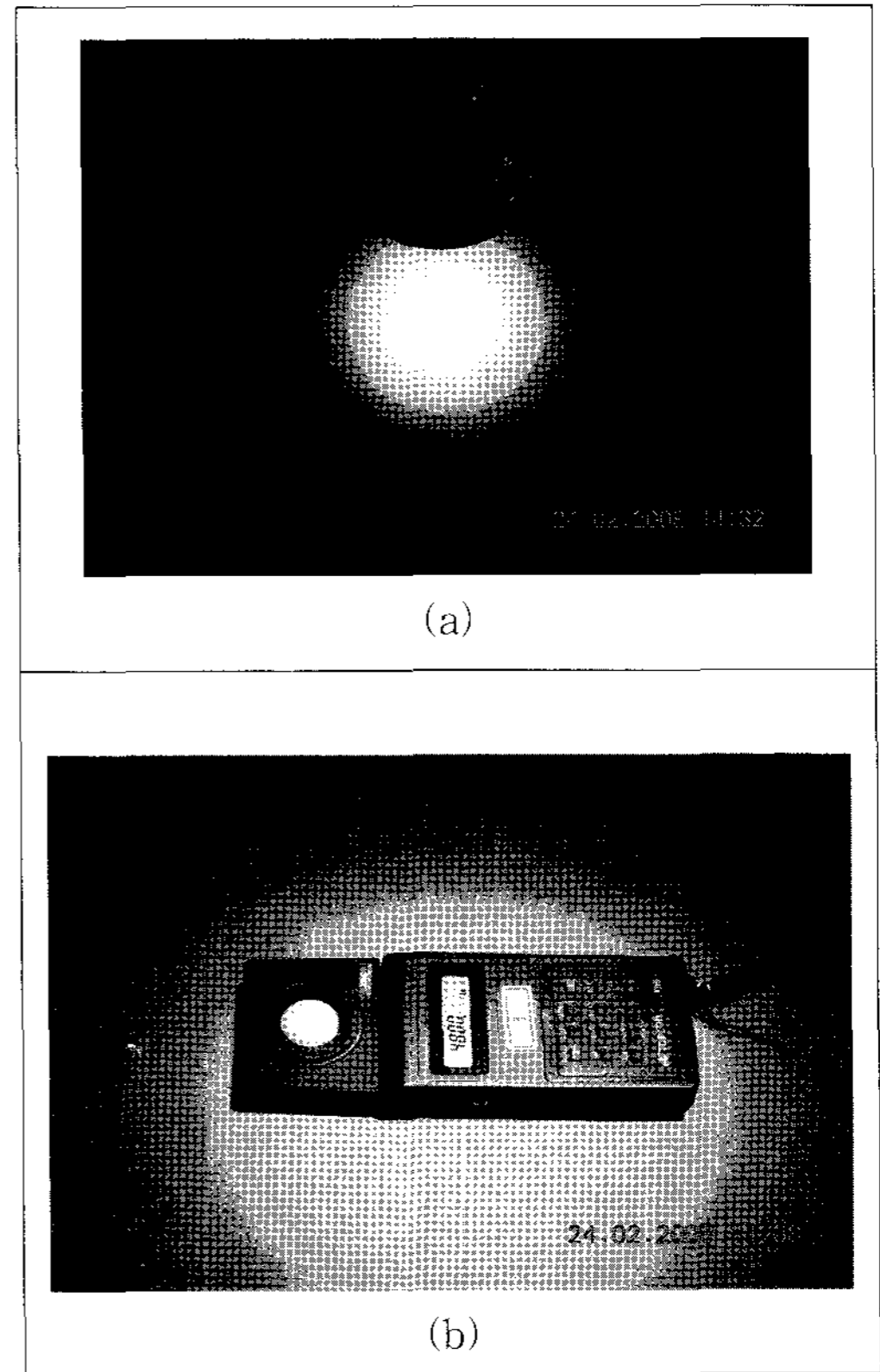


그림 7. 실내로 조사된 고밀도 태양광에 대한 실측 실험(옥외수평면주광 - 102,100 lux) : (a) 단말부로부터 1.2m 거리의 수평면에 조사된 빛의 모습, (b) (a)의 경우에 측정된 주광 조도

한편, 옥외 조도 102,100 lux 하에서 본 시스템의 total luminous flux는 392 lm으로 약 5.7%의 시스템 효율을 보여주었는데, 이는 유사한 조건하에서 기존의 Fresnel 렌즈<sup>4)</sup>를 이용한 자연채광 시스템의 효율 5%를 조금 상회하는 것으로 나타났다. 만약, 본 시스템에서 일반 glass fiber를 이용하지 않고 Fresnel 시스템에서 사용한 고효율의 optical fiber(fused

quartz fiber 등)를 적용한다면 효율을 더욱 향상시킬 수 있다. 일반적으로 집광된 태양광의 세기(집광된 일사량)는 외부 일사량이 크기에 따라 달라지지만 그 값이 비례적으로 변하지는 않는다. 즉, 일사량이 크게 차이하지 않는 한 외부의 천공 상태에 따라 오히려 그 값이 변화함을 보여주었는데, 표 1은 이에 대한 실측 결과를 나타내고 있다.

일반적으로 집광된 태양광의 세기(집광된 일사량)는 외부 일사량이 크기에 따라 달라지지만 그 값이 비례적으로 변하지는 않는다. 즉, 일사량이 크게 차이하지 않는 한 외부의 천공 상태에 따라 오히려 그 값이 변화함을 보여주었는데, 표 1은 이에 대한 실측 결과를 나타내고 있다.

표 1을 살펴보면 시간에 따른 일사량의 차이는 약 17W/m<sup>2</sup>의 편차를 보여주었으며, 이 때 집광비는 약 12.8의 편차를 나타내었다. 그러나, 표에서 보듯이 일사량이 제일 큰 757.845W/m<sup>2</sup>의 경우보다 오히려 일사량이 이보다 조금 작은 두 경우(751.758W/m<sup>2</sup>, 755.642W/m<sup>2</sup>)에서 더 큰 집광비를 보여주고 있다. 이는 전술한 바와 같이 반사경을 이용한 태양광의 집광에 있어서 일사광 중 직달광 성분의 중요성을 나타내고 있으며, 거의 같은 정도의 일사량을 보일 경우 시간에 따른 직달광과 산란광의 비율에 따라 집광비가 적지 않게 차이가 날 수 있음을 실증적으로 보여주고 있다.

표 1. 외부일사량과 집광비

시간	외부 일사량 [W/m <sup>2</sup> ]	집광된 일사량 [W/m <sup>2</sup> ]	집광비
14:37	757.845	5.88X10 <sup>4</sup>	77.6
14:55	730.453	5.45X10 <sup>4</sup>	74.6
15:02	751.758	6.43X10 <sup>4</sup>	85.5
15:14	755.642	6.84X10 <sup>4</sup>	90.4

그림 8은 표 1의 결과를 외부일사량과 집광비에 관하여 도식적으로 정리한 것인데, 이를 더 일목요연하게 살펴볼 수 있다.

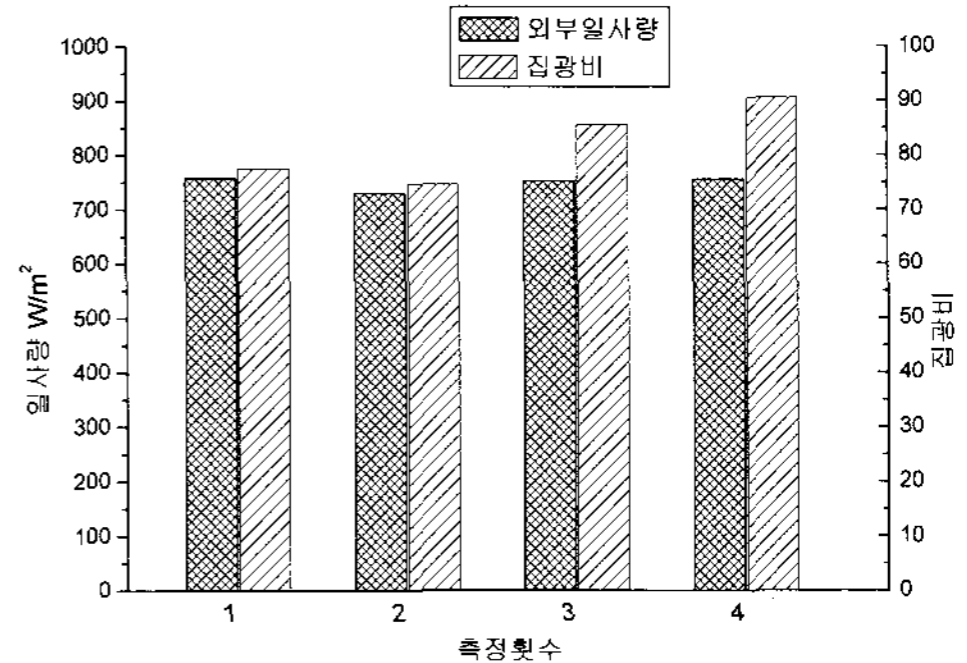


그림 8. 외부일사량과 집광비의 비교

한편, 측정 시간 동안의 luminous efficacy는 127lm/W에서 136lm/W사이의 범위로 측정(계산)되었는데(측정된 외부 조도를 측정된 일사량 값으로 나누어 산출),

$$\begin{aligned} \text{Luminous efficacy} &= \frac{\text{illuminance}}{\text{irradiance}} \\ &= \frac{lx}{W/m^2} = \frac{lm/m^2}{W/m^2} = \frac{lm}{W} \end{aligned}$$

이는 일반적으로 맑은 날의 천공의 값이 150lm/W인 점을 감안하면<sup>10)</sup> 천공의 상태가 비교적 양호하였음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 화이버 광학 집광기를 적용한 자연채광 시스템의 성능에 대한 실측 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 접시모양의 포물형 반사경은 볼록 2차 반사경과 함께 가장 효율적으로 태양광을 집광하여 광화이버 인입부(리시버 부분)로 전송할 수 있다.
- (2) 평면경이나 오목 거울도 2차 반사경으로 적용이 가능하지만, 짧은 초점거리나 상당한 정밀성 등을 필요로 해 그 적용에는 적지 않은 어려움이 상존한다.

- (3) 같은 정도의 일사량 하에서도 태양광의 직달 성분은 천공의 상태에 따라 달라지며, 이는 태양광의 집광도를 통해 시스템의 성능에 직접적인 영향을 미친다.
- (4) 소형 포물형 반사경(직경<30cm)의 최고 집광비는 약 90까지 획득이 가능하다. 청천공 하에서 실내에 설치된 단말부로부터 실내로 조사되는 빛은 공간의 특성에 따라 여러 개 적용하거나, 인공 조명과의 혼합시스템 (hybrid system)을 구성하여 적용한다면 실내 조명에 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 본 시스템의 효율은 5%를 조금 상회하는 것으로 측정되었는데, 보다 양질의 optical fiber를 적용하고 homogenizer tube 내부의 코팅을 통하여 전송 손실을 최소화할 수 있다면 그 효율은 상당히 개선될 수 있을 것으로 예상된다. 아울러, 본 시스템은 소형·경량의 단순한 구조로 제작될 수 있어 기존 시스템에 비해 충분한 가격 경쟁력을 확보할 수 있는 것이 큰 장점이라 할 수 있다.

효과적인 자연채광 설계를 위해서는 건물계획 초기 단계부터 기후조건, 설치장소와 요구되는 채광특성 등을 고려하여 최적의 채광시스템설계를 하여야 하며, 이러한 관점에서 시스템이 실내 공간에서 요구되는 빛을 선택적으로 활용할 수 있도록 자연조명의 스펙트럼 분석 등 실험적 연구를 수행하는 것도 바람직할 것으로 판단된다. 아울러, 이를 바탕으로 자연광의 양적인 조절과 함께 색수차(chromatic aberration)를 이용할 수 있는 자연채광시스템의 개발은 실내 공간의 빛환경의 질적 향상에 크게 기여할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 연구는 한국과학재단의 목적기초 연구사업(R01-2006-000-10712-0)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. KIER, A Report on the Analysis and Planning of Energy & Resource Technologies, 2005.
2. 김정태 외, IEA 첨단 채광시스템의 형상 및 특성에 관한 비교 분석, 한국생태환경건축학회논문집, 3권, 1호, 2003. 3.
3. Olgyay, V. W. Architectural Lighting, McGraw-HillEgan, M. D. andl, NY, 2002.
4. POHL, W. and ANSELM, C., "Review of Existing Heliostats", European Commission DG XII (2000)
5. <http://www.himawari-net.co.jp/>
6. Han, H. and Kim, J. T., Design and Preliminary Performance Test of a Daylighting Device with Mini-dishes, Proceedings of SET2006, Vicenza, Italy, 2006, pp. 225~228.
7. 한현주, 김정태, 자연채광을 위한 화이버 광학 집광기의 설계, 제작 및 성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 27권 4호, 2007. 12.
8. Hecht, J., Understanding Fiber Optics, Prentice Hall, 2006.
9. Duffie, A. D. and Beckmann, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, 1980.
10. Szokolay, S. V., Introduction to Architectural Science - The Basis of Sustainable Design, Architectural Press, 2005.