

## ◆ 특집 ◆ 태양광 활용기술

# 태양광 조명 시스템

## Solar Daylighting System

✉ 김선호<sup>1</sup>, 김병철<sup>2</sup>  
✉ Sun-Ho Kim<sup>1</sup> and Byung Cheol Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 동의대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics Engineering, Dong-Eui Univ.)

<sup>2</sup> 한국에이비이엠건설주 (Hankook ABM Construction Co. Ltd.)

✉ Corresponding author: sunhokim@deu.ac.kr, Tel: 051-890-2259

Key Words: Lighting System(조명 시스템), Sunlight (태양광), Daylight (주광), Light-Collector(채광기), Light-Transporter (광 전송기), Light-Emitter(산광기)

### 1. 서론

태양광 조명 시스템은 빛을 필요로 하는 건물 내부로 태양광을 끌어 들여 이를 조명으로 활용하는 장치로 정의할 수 있다. 이 장치는 광을 모으는 채광부, 광을 필요로 하는 곳으로 집속된 광을 전송하는 광전송부, 전송된 빛을 발산시키는 산광부로 구성된다. 태양광은 계절, 시각, 기상상태에 따라 변화하기 때문에 태양광을 효율적으로 수집하고 전송하기 위해 다양한 기술들이 개발 적용되고 있다.<sup>1,4</sup>

인간이 태양광을 이용하는 방법으로는 태양광 발전, 태양열 발전, 태양열 이용 그리고 태양광 채광이 있다. 전자 세 가지의 경우에는 주로 에너지 측면에서 활용을 하고 있다면, 태양광 채광의 경우에는 에너지 측면과 더불어 생활환경개선 측면에서도 많은 장점을 활용하고 있다고 할 수 있다. 생활환경은 인간생활 향상에 도움을 주는 다양한 기능, 태양광이 갖는 질병예방기능, 살균, 탈취 기능 등이 될 것이다.

최근에는 화석연료의 부족 문제와 더불어 도시환경이 고층화, 고밀도화 됨에 따라 북측 공간, 창이 없는 공간, 지하 공간 등 자연광을 제공 받

을 수 없는 공간이 늘어남에 따라 인간의 정상적인 활동에 많은 문제점을 야기 하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 지구온난화 방지를 위한 자연 에너지 활용 측면과 생활환경개선 측면에서 높은 관심이 대두되고 있는 태양광 조명 시스템의 기술 개발동향에 관한 조사분석연구를 하고자 했다.<sup>1,4</sup>

연구방법으로는 문헌조사, 사용자를 대상으로 한 인터뷰, 홈 페이지 조사 그리고 일본 스웨덴 등 제조회사 방문을 통한 현지조사를 병행했다. 이러한 조사분석 결과를 바탕으로 태양광 조명 시스템의 발전방향을 제시하고자 한다.

### 2. 태양광의 효용가치

태양광이 갖는 효용가치는 에너지 측면과 생활환경 개선 측면에서 분석할 수 있다.

에너지 측면의 경우, 10,000 루멘(lumen) 채광이 가능한 시스템의 경우 100 W 백열등으로 환산하면 667 W 의 전력에 상당하며, 연간 2,000 시간을 사용한다고 가정하면 연간 소비전력 감소량은 1,334 Kwh가 된다. 이를 지구온난화 방지측면에서 연간 이산화탄소 배출량으로 환산하면 489 CO<sub>2</sub> kg

이 된다. 여기서 태양광의 조도는 룩스로 표현하는데 채광기의 광량은 조도(lux) × 채광면적(m<sup>2</sup>)=전광속(lm)으로 표시할 수 있다.<sup>1</sup>

생활환경개선 측면의 경우에는 정량적으로 평가하기에는 다소 어려움이 있지만, 생활환경개선, 질병치료 및 예방, 살균탈취, 범죄예방 측면에서는 많은 효과가 있음이 연구되고 있다.<sup>1</sup> 이를 Table 1에 정리했다.

Table 1 태양광이 인간에게 주는 효용성

구분	효용성	출처
생활환경개선	햇빛을 많이 받는 학생들은 적게 받는 쪽 학생보다 수학적 성적은 20% 독해는 20% 우수	뉴욕 타임즈
	충분한 자연조명이 들어오는 병실, 수술환자의 약품비용 21% 감소	피츠버그 몬테피오르 병원
	태양광에 의한 환경변화 성적 11% 향상	조지타운 대학
	소매상점에서는 1 제곱피트 당 24 센트의 전력 절감효과와 66 센트의 매출 증가효과가 발생	CNET News
질병치료 및 예방	아토피성 피부염 치료	KBS 뉴스
	전립선암 위험도 감소	영국 BBC 방송
	우울증, 심장병 환자의 치료효과	리처드 홉데이
살균탈취	박테리아, 진드기, 곰팡이, 바퀴, 진균 등 해충 박멸	과학동아
범죄예방	태양빛 아래에서 범죄 발생 감소	범죄불안감 특성 연구 논문

### 3. 시스템 구성<sup>1</sup>

태양광 조명 시스템의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 크게 3개의 모듈로 구성되는데, 채광부는 태양광을 수집하는 역할을 하며, 광전송부는 수집된 광을 산광부로 전송하는 역할을 하게 된다. 산광부는 전송된 빛을 발산하는 역할을 한다. 채광

과 전송은 다양한 기술이 적용된 장치들이 개발되어 있으나, 서로간의 조합은 특성에 따라 제한된다.

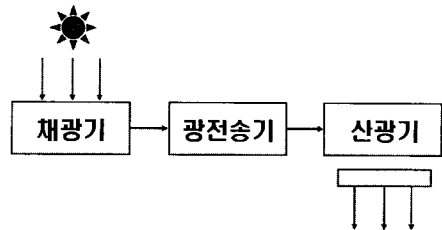


Fig. 1 Block diagram of solar daylighting system

태양광 조명 시스템은 크게 광 비집속형 방식(No Concentration)과 광 집속형 방식(With Concentration)로 나누어 진다. 광 비집속형 방식은 빛을 집속하지 않는 태양광 조명 시스템으로서 반사거울 방식, 광 덕트(광 파이프) 방식이 있으며, 광 집속형 방식으로는 빛을 집속하는 시스템으로 렌즈 방식, 반사거울 방식이 있다.

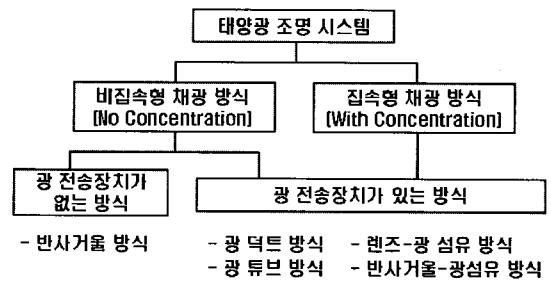


Fig. 2 Technology classification of solar daylighting system

반사거울 방식은 반사거울을 사용하여 별도의 장치가 없이 빈 공간을 통해 빛을 전송시키는 시스템으로 거울은 평면 또는 곡면형상을 가진 것이 사용되는데, 1 개를 사용하거나 여러 개를 사용하여 복합화 할 수도 있다. 이 방식은 건물이 고층화됨에 따라 발생하는 일조권 문제를 해결하기에 적합하며, 빛의 전송거리는 30m 정도가 한계인 것으로 알려져 있다.

광 덕트 방식은 1988년 스테판 서튼이 일사량이 적은 영국인이 겪고 있는 계절성 우울증에 대한 방안으로서 태양광 조명시스템을 개발하고 특허를 취득했고, 영국 모노드라프트(Monodraught)사가

이를 상용화하였다. 모노드라프사는 단순 기능을 가진 태양광 조명 시스템에서 환기와 채광이 가능한 시스템, 태양광발전 및 채광기능을 갖는 복합 시스템으로 제품을 발전시키고 있다. 이 방식은 건물 상단 외부에 채광기를 설치하고 내부로 입사되는 태양광을 광 덕트로 전송하는 방법으로서 유럽에서 가장 보편적으로 사용되는 시스템으로 구조는 원형, 둥형, 다이아몬드 형 등 다양한 형태에 소재는 PMMA(Polymer Methyl Methacrylate), PC(Poly Carbonate) 등이 적용되고 있다. 주로 주거 및 업무시설에 적용되며 생활공간, 아트리움, 지하공간, 수변전시설 등 자연광이 부족한 영역에 적용이 되고 있으며 태양의 조도에 무관하게 채광효율을 유지할 수 있는 장점을 가진다.

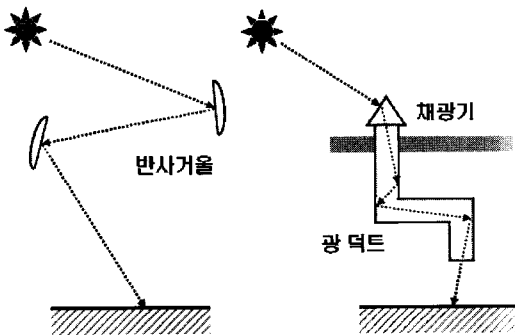


Fig. 3 Solar daylighting system with reflective mirror(left) and duct(right)

렌즈-광섬유 방식은 렌즈를 통해 집광된 빛을 광섬유를 사용하여 조명에 사용하는 방식으로 태양광을 집광하는 렌즈와 집광된 빛을 전송하는 광 섬유로 구성된다. 집광효율을 높이기 위해 태양광 추적장치가 사용되며 태양의 방위각과 경사각을 모두 추적하는 2축 방식과 경사각만을 추적하는 1축 방식이 있으며 광전송 거리가 길고 시공이 편리한 장점이 있으나 산란광 하에서는 사용이 불가능 한 단점이 있다.

반사거울-광섬유 방식은 1990년대 미국 오크리지 국립연구소에서 수행한 연구결과를 Sunlight Direct사가 스핀오프(spin-off) 한 제품이다. Sunlight Direct사는 지름이 4 피트인 대형거울을 이용하여 광을 수집하고 수집된 광은 광섬유를 이용하여 조명부로 전송하는 시스템을 개발하고 상용화를 추진하고 있다. 이 시스템은

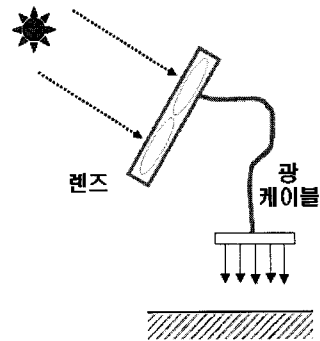


Fig. 4 Solar daylighting system with lens-optical fiber

파라볼라 거울을 이용해 1 차적으로 태양광을 모으고 집속된 광은 2 차적으로 광섬유로 전송되는 방식으로 렌즈-광섬유방식과 동일하게 집광효율을 높이기 위해 태양광 추적장치가 사용된다. 광전송 거리가 길고 시공이 편리한 장점이 있으나 산란광 하에서는 사용이 불가능하고 집광부에 고열이 발생하는 단점을 가진다.

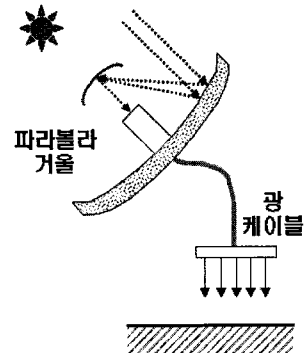


Fig. 5 Solar daylighting system with parabolic reflective mirror

#### 4. 채광부

태양광을 수집하는 역할을 하는 채광부는 태양의 움직임에 관계없이 고정되어 있는 고정형(Passive)과 태양의 움직임을 추적하여 집광을 극대화하는 추적형(Active)으로 나눌 수 있다. 고정형은 Daylight 라고 불리는 창, 반사 루버, 프리즘 라이트 가이드(Prism Light Guide) 등이 있다. 추적형은 Sunlight 라 불리는 미러(Mirror), 렌즈(Lens)-미러, 프리즘-미러, 렌즈-광 파이버(Fiber) 등이 있다. 태양의 추적방식은 1년 단위로 태양의 궤적을

프로그램 해두고 이를 이용하는 프로그램 방식, 태양의 궤적을 센서에 의해 측정하고 이를 기반으로 모터를 제어하는 방식, 그리고 이를 복합적으로 사용하는 하이브리드 방식이 있다. 또한, 태양의 방위각과 경사각을 모두 추적하는 2 축 방식과 경사각만을 추적하는 1 축 방식이 있다. 추적형으로 했을 경우 채광능력은 고정형보다 50% 정도 향상되는 것으로 보고되고 있다.<sup>4</sup>

고정형 채광 시스템은 유럽에서 널리 사용되고 있다. 구조는 원형, 돔형, 다이아몬드 형 등 다양한 형태에 소재는 PMMA, PC 등이 적용되고 있다. 유입되는 태양광에서 인체에 유해한 자외선을 제거하기 위한 다양한 방법이 적용되고 있다. 대표적인 기업으로는 영국 모노드라프, 제이드 마운틴, 오스트리아의 솔라 글로벌 사 등이 있다. Fig. 6 은 환기 기능을 갖는 모노드라프사의 대표적인 제품을 보여 주고 있다.<sup>6</sup>

그러나 각형 또는 구형 형상을 가진 채광부가 투명판으로 구성되는 경우, 태양의 방위각과 고도각의 위치에 따라 광 투과에 의해 광이 손실될 수 있다. 이에 대한 광 손실 개념을 Fig.7 에 나타내었다.

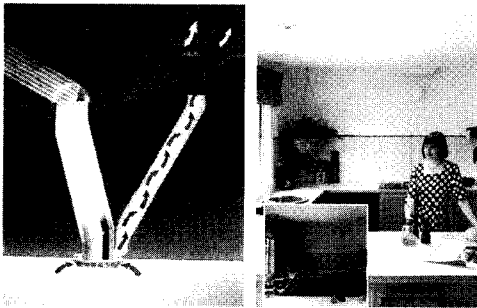


Fig. 6 Duct type solar daylighting system<sup>6</sup>

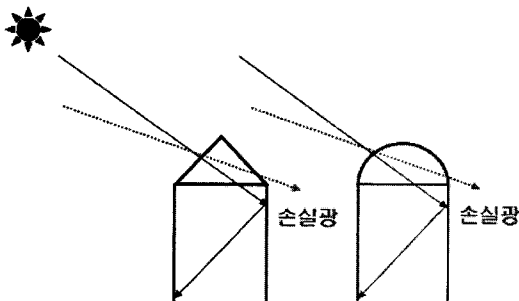


Fig. 7 Light-transporting loss

채광부의 광 투과에 의한 광 손실을 줄이기 위해 채광면을 프리즘 패널로 구성하여 빛을 원하는 방향으로 굴절 유도 하기 위한 기술이 개발되었다.<sup>7</sup> 여기서 프리즘의 각도는 태양의 방위각과 고도각을 고려하여 연중 수광 총량이 최대가 되도록 설계되었다. 이러한 기술은 빛의 분산효과와 수광 총량을 증대시키는 효과가 있는 것으로 평가된다.

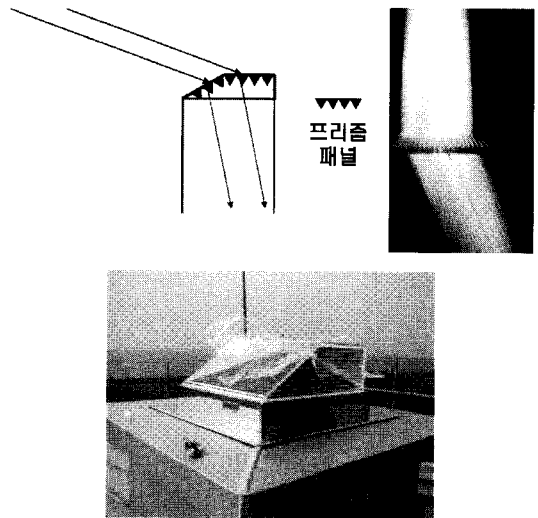


Fig. 8 Duct type solar daylighting system with prism panel<sup>7</sup>

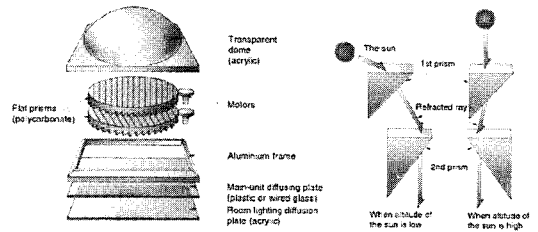


Fig. 9 Duct type solar daylighting system with dual prism panel controlled by solar tracker<sup>8</sup>

Fig. 9 는 두 개의 프리즘 패널을 태양의 방위각과 고도각 맞추어 제어함으로써 빛을 원하는 방향으로 제어한 시스템의 예를 보여 준다. 프리즘의 각도와 두 개의 패널판의 제어는 태양의 위치를 추적하기 위해 사용된다.<sup>8</sup>

추적형 채광 시스템은 일본기업들이 주도하고 있다고 할 수 있다. 대표적인 방식으로는 미러, 프

리즘-미러, 렌즈-광섬유를 들 수 있다. 일본 Tecnet 에서 개발한 네츄라이트(Natulite)는 태양의 궤적을 2 축으로 추적 제어 하는 기능을 가지고 있다.<sup>9</sup> 태양의 궤적과 반사거울을 동기 제어하는 방식으로 태양광을 유도한다. 미러는 평면 또는 곡면형상을 가진 것이 사용되는데, 1 개를 사용하거나 여러 개를 사용하여 복합화 할 수도 있다. 광의 전송은 별도의 장치가 없이 빈 공간을 이용한다. 전송거리는 30m 정도로 제한되는 단점을 가진다.

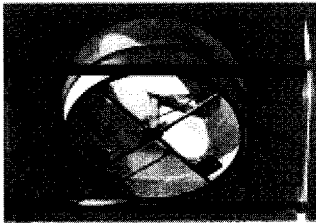


Fig. 10 Light-Collector with sun tracker mirror<sup>9</sup>

일본 Ryoko 에서 개발한 솔라리스(Solalis)는 프리즘 시트, 반사 거울, 확산판으로 구성된다.<sup>10</sup> 프리즘 시트는 입사되는 빛을 수직방향과 수평방향으로 분배하는 기능을 한다. 프리즘은 태양의 고도를 추적할 수 있는 1 축 제어 시스템을 가지고 있다. 반사 거울은 수평방향으로 분배된 빛을 수직방향으로 전환시키는 역할을 하게 된다.

확산 판은 프레즈넬 렌즈를 이용하는데 수직으로 전환된 빛을 모으거나 분산시키거나 조명범위를 조절하는 역할을 한다.

본 시스템은 건물이 고층화됨에 따라 발생하는 일조권 문제를 해결하기에 적합하며 빛의 전송 거리는 30m 정도가 한계인 것으로 알려져 있다. 광의 전송은 별도의 장치가 없이 빈 공간을 이용한다.

일본 La Foret 엔지니어링에서 개발한 히마와리(Himawari) 시스템은 렌즈-광 파이버 방식을 채택

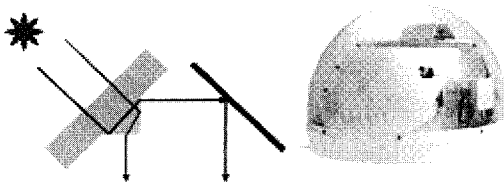


Fig. 11 Light-collector with reflective prism mirror<sup>10</sup>

하고 있다.<sup>11</sup> 렌즈의 직경은 95mm 이며 6 개의 렌즈가 1 조가 되어 광 케이블과 조명부와 연결된다. 따라서 채광 시스템은 6 배수의 렌즈로 구성된다. 렌즈에 의해 집광된 빛은 유리 광 파이버연결되어 전송된다. 광 파이버는 광 전송 효율, 내열 측면에서 많은 장점을 가지는 것으로 알려져 있다.

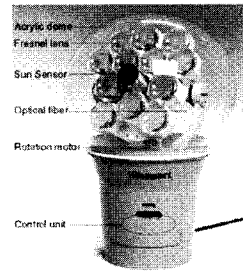


Fig. 12 Light-collector with lens-optical fiber<sup>11</sup>

미국 Sun Direct 가 개발한 채광기는 위성 안테나와 비슷한 구조를 가지고 있다.<sup>1</sup> 파라볼라 거울을 이용해 1 차적으로 태양광을 모으고 집속된 광은 2 차적으로 광 파이버로 전송된다. 이 시스템은 채광면적이 커서 효율적인 장점은 가지지만, 광 파이버 끝 단에 높은 열이 발생할 수 있고, 광을 효율적으로 분배하는 기능을 가져야 하는 단점이 있다.

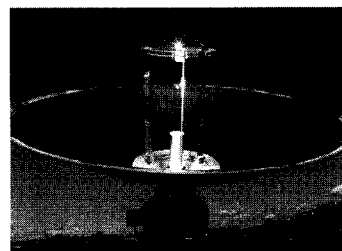


Fig. 13 Light-collector with parabolic reflective mirror

이상에서 소개한 대부분의 채광 시스템은 건물의 옥상에 설치할 수 있도록 제작되어 부피가 크다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 스웨덴 Paran 에서는 판형 구조의 채광기를 개발했다.<sup>12</sup> 이 시스템은 한 면이 고정된 구조를 가지기 때문에 태양의 궤적을 120 deg. 정도 추적할 수 있는 단점을 가진다. 그리고 구동 메커니즘이 복잡하여 높은 추적오차를 가지는 것이 단점으로 지적되고 있다.

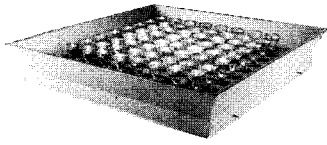


Fig. 14 Flat light-collector<sup>12</sup>

이러한 문제점을 해결한 태양위치 추적기능 갖는 판형 태양광 채광 시스템이 개발되었다. 기본적인 원리로는 두 개의 판을 두 개의 볼 조인트로 연결하는 방법을 적용하고 있다. 볼 조인트로 연결된 하나의 판을 고정하고 다른 하나의 판을 운동시키면 두 개의 볼 조인트를 지지하는 축이 고정판을 중심으로 제어된다. 이러한 방법은 메커니즘의 제작이 용이하고 태양추적을 위한 판 제어가 용이하다는 장점을 가진다.

Fig. 15는 2개의 볼 조인트를 이용한 태양추적 운동 메커니즘의 구조를 보여주고 있으며,<sup>13</sup> Fig. 16은 64개의 렌즈를 가지는 렌즈-광 파이버 방식의 채광 시스템을 보여 준다.<sup>7</sup>

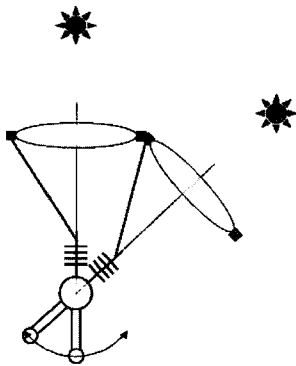


Fig. 15 Sun tracker mechanism with 2 ball joint<sup>13</sup>

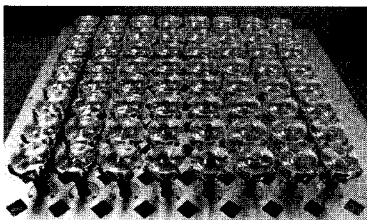


Fig. 16 Light-collector with 2 ball joint sun tracker mechanism<sup>7</sup>

### 5. 광 전송부

채광된 빛은 필요로 하는 곳으로 전송을 해야 한다. 일반적으로 고정형 채광기는 덕트, 튜브 또는 파이프 전송기가 사용되며, 반사형 채광기는 별도의 전송장치 없이 빈 공간을 활용하며, 렌즈형 채광기의 경우에는 광 파이버가 사용된다.

덕트형 및 파이프형은 시스템이 간단한 것이 최대의 장점이며, 산란광의 전달도 일부 가능하다는 장점도 있다. 덕트나 파이프 내부에는 빛을 손실 없이 전송하기 위해 알루미늄 증착 반사판이 사용된다. 이 경우 96% 정도의 반사율 보증할 수 있다. 그렇더라도 전송거리, 튜브의 단면적에 따라 광 전송 효율이 급격히 떨어지는 것은 피할 수 없다.

렌즈형에 주로 적용되는 광 파이버는 광 신호를 전송하는 코어(Core), 굴절율 차이로 광 신호가 바깥쪽으로 빠져 나가지 못하게 코어를 유지하는 크래딩(Cladding), 코팅(Coating), 피복으로 구성된다. 코어의 경우, 유리와 아크릴이 사용되는데 유리 파이버의 경우 150m 까지 전송이 가능한 반면 가격이 비싸다는 단점을 가진다. 아크릴 파이버의 경우에는 20m 정도가 한계인 것으로 알려져 있다.

Fig. 18은 집광된 광을 원거리로 전송하기 위한 광 파이버의 외관을 보여 준다. 유리 코어는 구부림에 대한 유연성 때문에 직경을 크게 하는데 많은 기술적 어려움이 있다.<sup>14</sup>

### 6. 산광부

산광부는 산란형과 전구형으로 나눌 수 있다. 산란형은 덕트 또는 파이프형 전송기에 적용되며, Fig. 19와 같은 전구형은 광 파이버에 적용된다.

최근에는 Fig. 20과 같이 산광부를 넓게 만들기 위해 LCD 판넬의 도광판의 원리를 적용하고자 하는 연구도 시도 되고 있다.<sup>4</sup>

비가 오거나 흐린 날의 경우에는 태양광 채광 시스템의 가동은 불가능할 수 있다. 그러나 맑은 날의 경우에도 구름의 이동에 따라 집광력이 변할 수 있다. 이는 산광부의 조도에도 직접적인 변화를 주기 때문에 이에 대한 대책도 필요하다. 하이브리드 전원 시스템은고 하나의 대책이 될 수 있다.

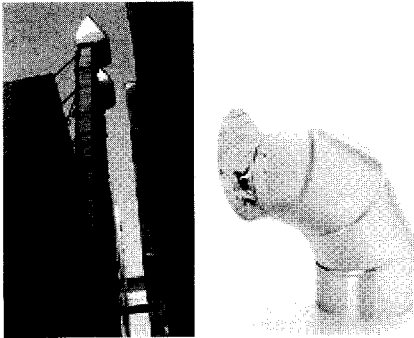


Fig. 17 Light-transporter with duct(left) and pipe(right)

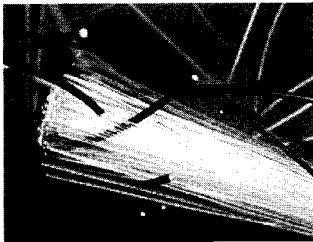


Fig. 18 Optical Fiber<sup>14</sup>

## 7. 결론

이상 정리한 바와 같이 태양광 조명 시스템은 지구온난화 방지를 위한 에너지 절감 기능과 생활환경개선 측면에서의 기능을 동시에 갖는다. 이는 지구환경보존 및 웰빙 문화라는 시대적 요구에 가장 잘 부합하는 기술이라고 할 수 있다.

그러나 지금까지 개발되어 있는 대부분의 시스템은 서구형 저층 건물구조에 적합하게 개발되어 있어 우리나라가 도입하기에는 적합하지 못한 모델들이라 할 수 있다.

최근, 우리나라의 건물의 특징은 고층화, 공간확대를 위한 남북 배치, 지하공간의 확대라고 요약 할 수 있다. 따라서 이러한 우리나라 건물환경에 적합한 태양광 채광 시스템의 개발이 필요하다 할 수 있다. 우리나라는 이 분야에 있어 개발연혁은 짧지만 광학기술, 기계기술, 메카트로닉스 기술이 발달해 있어 기술기반은 매우 우수하다고 할 수 있다.

정책적으로 본다면, 선진국인 일본의 경우, 1992년에 통상산업성의 후원 하에 태양광 채광 시스템 협의회를 구성하여 다양한 기술개발과 보

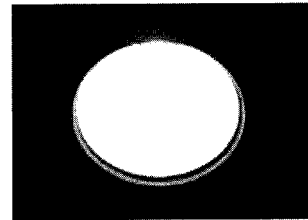


Fig. 19 Bulb type light-emitter

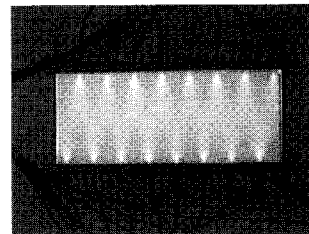


Fig. 20 Flat panel emitter<sup>4</sup>

급활동을 하고 있다. 초기에는 정부로부터 에너지需給構造改革投資稅制의 對象設備'로 지정 받은 바 있다. 지금도 국토교통성이 추진하는 '環境共生住宅市街地 모델사업'의 보조금 대상설비이며, 문부과학성이 추진하는 '학교시설의 정비에 관한 파이롯트 모델 사업'의 시설보조금 설비로 지정 운용되고 있다. 우리나라의 경우에도 이러한 정책적 지원이 필요한 시점이라고 판단된다.

## 참고문헌

1. Kim, S. H., Kim, B. C. and Yoon, G. S., "Investigation of Research & Development Trends for Sunlight System," Proceedings of the KSNRE Fall Conference, pp. 260-263, 2007.
2. Kim, G. and Kim, J. T., "Economic Feasibility Analysis on the Benefit of Daylighting Incorporation Device under Clear Skies," J. of SAREK, Vol. 19, No. 7, pp. 491-499, 2007.
3. Garg, V. and Sarana, D. C., "Harnessing Sunlight Through Fiber Optics," TERI Information Digest on Energy and Environment, Vol. 1, No. 1, 1997.
4. Wilson, M., Jacobs, A., Solomon, J., Pohl, W., Zimmermann, A., Tsangrassoulis, A. and Fontoynt, M., "Sunlight, Fibres and Liquid Optics: The UFO Project Report," EPIC, 2002.

5. Choi, J. S., Ko, J. S. and Jung, D. H., "Development of Tracking Method and MPPT Controller of Photovoltaic System," J. of KIIEIE, Vol. 21, No. 8, pp. 54-63, 2007.
6. <http://www.monodraught.co.uk>
7. <http://www.abmarch.co.kr>
8. <http://www.bominsolar.com/solux/>
9. <http://www.sun.or.jp>
10. <http://www.kkryoko.co.jp>
11. <http://www.himawari-net.co.jp>
12. <http://www.parans.com>
13. Korea Patent, Sun Tracking System, No.10-0803232, 2008.
14. <http://www.edmundoptics.com>