

추적식 자연채광시스템 현황 및 기술 개발에 관한 연구

김원식 · 정해준 · 천원기 · 한현주* · 임상훈[†]

제주대학교 에너지공학과, *제주대학교 건축공학과

(2016년 10월 14일 접수, 2016년 11월 28일 수정, 2016년 11월 30일 채택)

A study on the utilization status and technical development of solar tracking daylighting systems

Won Sik Kim · Hae Jun Jeong · Wongee Chun · Hyun Joo Han* · Sang Hoon Lim[†]

Department of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University

*Department of Architectural Engineering, Jeju National University

(Received 14 October 2016, Revised 28 November 2016, Accepted 30 November 2016)

요 약

자연채광 시스템은 자연광의 건물 실내 유입을 통한 실내조명에 상당히 효율적으로 적용될 수 있다. 특히, 건물에서 사용되는 에너지 중 28%는 조명에너지에 사용되는 점을 감안하면, 인공조명에의 의존도를 낮출 수 있는 자연채광시스템의 역할은 상당히 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 최근 국내에 보급된 다양한 추적식 자연채광시스템(Active Daylighting System)의 특성 및 이용 현황에 대한 조사와 분석을 수행하였다.

주요어 : 태양에너지, 자연채광시스템, 추적식 집광, 성능 분석, 보급 현황

Abstract - Daylighting systems offer substantial advantages over conventional ones in illuminating the building interior. Especially, considering that lighting accounts for about 28% of total energy consumption in buildings, the use of daylighting systems deem very important in lessening the dependency on artificial lighting. This work has carried out a survey and analysis to explore the characteristics and current status of various daylighting systems with solar tracking features recently introduced in Korea.

Key words : solar energy, daylighting systems, solar tracking collector, performance analysis, utilization status

1. 서론

1-1. 개요

현재, 범국가적인 차원에서 온실가스 배출감소와 환경 친화적 에너지의 사용량을 증가를 위해 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령[시행 2015.7.31.] [대통령령 제26316호, 2015.6.15., 일부개정]이 제정되어 청정 자연에너지인 태양에너지를 건축

물에 보다 적극적으로 이용하도록 권장되고 있다. 또한, 건물에너지 소비 중 조명에너지에 의해 소비되는 [1], 조명에너지와 하절기의 냉방부하의 절감으로 인해 기대되는 경제적 효과는 다른 에너지 소비원에 비에너지량이 총 에너지 사용량의 28%인 것을 고려할 때 매우 크다고 할 수 있다[2]. 특히, 산업부문의 경우에 에너지 소비량을 감축하는데 한계가 있어 건축물의 에너지 효율성 제고 및 정부차원의 정책 강화와 에너지 효율적인 신재생에너지 시스템 설비가 요구되고 있다.

본 연구에서는 국내에서 연구·개발 및 설치 되어 있는 채광 시스템들 중 추적식 자연채광시스템(Active

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-64-754-3646 E-mail: shlim@jeju.ac.kr

Daylighting System)을 적용한 사례들을 조사하였으며 본 연구실에서 개발한 시스템과 비교 분석하여 조명에너지 절감을 위한 방안을 제시하고자 한다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

태양광의 방향 전환을 통해 실내 유입을 꺾히는 패시브 개념의 자연채광 기법인 광가이드 시스템(Light Guide System)은 광선반(light shelf) 애니돌릭(anidolic) 등 여러 형태가 개발되었으나, 이러한 시스템들은 남측면의 실이 깊은 공간의 자연채광은 수직형 창면으로의 자연채광보다는 유리하나 다른 향과 다양한 형태의 공간 적용 시에 많은 한계점이 있다. 광전송 시스템(Light Transport System)은 보다 적극적으로 자연광을 건물의 실내 깊은 곳까지 이용하기 위한 태양광의 효율적 집광과 전송 그리고 배광을 위한 다양한 구성 요소를 갖추고 있다. 즉, 이 시스템은 자연광의 수집을 위한 집광부와 재료의 다양한 광학적 특성을 극대화한 광파이프와 광화이버 등 폐쇄형 광전송부 그리고 눈부심을 최소화하고 균일한 실내조명을 위한 배광부로 구성되어 있다. 전술했듯이 광선반이나 애니돌릭 등 대표적인 광 가이드 시스템은 건물의 코어 부분이나 창이 없는 건물의 자연채광에는 많은 어려움이 있으므로[3], 자연광의 실내로의 유입을 용이하게 하기 위해 보다 효율적인 광전송 시스템의 적용은 필수적이라 할 수 있다. 많은 자연광의 실내 유입을 위해서는 집광부의 성능이 무엇보다 중요하다 할 수 있는데, 광전송 시스템(Light Transport System)의 경우 추적 방식에 따라 일반적으로 자연형 집광(Passive Collection)과 설비형 집광(Active Collection)의 형태로 구분될 수 있다. 국내의 경우, 후자의 개발과 적용에 학계와 산업계를 중심으로 적지 않은 연구와 상용화를 위한 노력이 이루어졌는데, (주)엔엘에스사(www.nlskorea.com)의 반사 거울 형식 자연채광시스템(ELIOS-R2, ELIOS-2U, ELIOS-4U), Whilkor사(www.whilkor.com)의 광섬유형 자연채광시스템(WDF)과 건물일체형 자연채광시스템(Xodid WDBH 700) 그리고 반사 거울 형식 자연채광시스템(Xodid HSR) 등을 대표적으로 들 수 있다. 한편, 파라볼릭 1차 반사경과 CPC 2차 반사경을 이용하여 태양광의 고효율 집광을 이룬 자연채광 시스템도 최근에 상당한 관심을 모으고 있다. 본 연구에서는 보다 효율적으로 태양광을 수집하여 건물의 자연채광을 위한 자연채광시스템의 원리와 현황 및 적용된 기술의 사양과 특징을 분석하였다.

2. 자연채광시스템

2-1. 시스템 구성 및 원리

전술했듯이 자연채광 시스템은 현재 다양하게 개발과 보급이 이루어지고 있는데, 그 기능적 정의를 위하여 국제 에너지 기구(International Energy Agency)는 이를 “공간에 빛을 유입하거나 조절하는 것이 가능하도록 다양한 물리적(광학적) 요소들을 건축학적 요소와 유기적으로 결합시킨 시스템”이라고 정의하고 있다[4].

일반적으로 자연채광시스템은 전술한 광전송 시스템을 가르킨다고 할 수 있으며, 집광부(Light Collector), 전송부(Light Transmitter), 산광부(Light Distributor)로 구성된다[5]. Fig. 1은 자연채광시스템의 모식도를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 자연채광시스템은 집광부를 통하여 태양광을 집광한 후에 광섬유나 광섬유 등을 활용하여 자연광을 전송한 후 산광부를 통해 확산광을 실내로 조사하게 된다.

2-2. 자연채광 시스템 분류

자연채광시스템은 다양하게 연구·개발되어지고 있으며 매우 광범위하여 분류하는데 어려운 점이 있지만, 총괄적으로 각 시스템의 특성에 따라 나눌 수 있다.

집광부의 추적방식은 전술했듯이 자연형 시스템(Passive System)과 설비형 시스템(Active System)으로 분류할 수 있다. 또한, 태양 추적 방식에 따라 광학적 방법과 천문학적 방법으로 구분되어 지고, 추적의 구조적 구현 방식에 따라 1축 제어와 2축 제어로 분류된다.

자연형 집광시스템은 태양의 움직임에 관계없이 시스템이 고정된 상태로 외부의 빛을 실내로 전송시키는 방법이며 특정각도에서만 빛을 수집할 수 있어 집광부와 전송부에 넓은 공간을 필요로 한다[3]. 설비형 집광

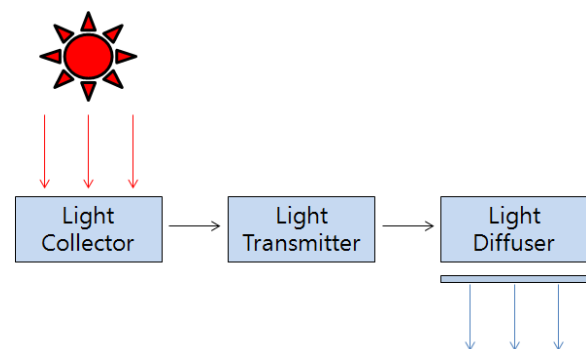


Fig. 1. Structure of Daylighting System

시스템은 태양추적 시스템을 적용하여 태양의 움직임에 따라 연속적으로 태양을 추적하여 실외의 빛을 실내로 전송시키는 방법이다.

설비형 집광시스템 중 Mirror Sunlightng System, Fresnel Lenses, Parabolic Dish 등의 시스템들은 전술한 태양 추적 방식(광학적 추적, 천문학적 추적) 및 제어 방식(1축 제어, 2축 제어)을 적용하고 있다.

태양의 위치에 따라 집광부의 법선벡터를 일치시키기 위한 광학적 방식의 태양 추적은 광센서의 출력신호 비교에 의해 작동하는 방식이고, 천문학적 방식은 황도 좌표를 근간으로 설치장소에서의 태양의 고도 값과 방위각을 수치적으로 산출하여 지속적으로 태양을 추적하는 방식이다. 광학적 방식에 의한 태양 추적은 광센서에 의해 작동하므로 흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우 정확한 태양추적이 되지 않는 단점이 있으며, 이런 점을 보완하기 위해 천문학적인 추적 방식과 병행하여 사용된다. 한편, 1축 제어방식은 태양의 고도 혹은 방위각 중 하나를 고정시켜 놓고 한 각도만 추적하는 방식이며, 2축 제어방식은 태양의 고도 각과 방위각을 동시에 고려하여 태양을 추적하는 방식이다. 1축 제어 방식은 그 효율이 2축 추적방식에 비해 다소 떨어진다[6][7].

2-3. 태양 집광부의 형태와 작동 원리

Table 1은 집광부의 형태, 태양 추적 방식 및 집광 원리에 따른 체계와 실제 적용 예를 보여주고 있다.

2-3-1. 고정식 집광부

집광부가 그 형태와 광학적 특성 따라 항상 어느 특정 방향을 향하도록 하여 태양광의 집광을 도모한 것으로 빛의 방향을 바꾸기(LCP)나 이를 모으는 형태의 집중형(Concentrating)으로 구분할 수 있다. 특히, 후자는 결상형(imaging optics)과 비결상형(non-imaging optics) 모두 집광부를 통과하기 이전에 비해 높은 일사(에너지) 밀도를 보인다. 고정식 집광부의 주요 형태는 아래와 같이 정리해 볼 수 있다:

- LCP (Laser Cut Panel)

LCP는 Laser Channeling Panel이라고도 불리는데, 얇고 평행한 아크릴 소재의 판을 일정 간격으로 그 표면을 레이저 가공으로 처리한 것이며, 외피에 도달한 태양광은 순차적으로 굴절 및 반사 과정을 거쳐 실내로 유입된다[3].

- 애니돌릭 집광(Anidolic Concentrators)

Anidolic Concentrators (혹은 Compound Parabolic Concentrator)는 반사율이 높은 재료로 제작되며, 장치의 상단으로 들어오는 태양광을 집광하여 하단의 작은 리시버 출구면으로 보낸다[9]. 이 형태는 고정식과 태양추적식 모두에 적용이 가능하다.

-Fluorescent Fiber Solar Concentrator

PMMA 및 3가지 형광섬유로 구성되어있는 광섬유를 지붕에 위치시켜 집광된 빛을 실내로 이동시키는데 이용한다[10]. 3가지색의 광섬유는 서로 혼합되어 끝단에서 백색광으로 나오게 된다[11]. 3 가지 색상의 광섬유를 사용함으로써 태양광의 모든 스펙트럼 영역의 빛을 커버한다[12]. 이 역시 고정식과 태양추적식 모두에 적용이 가능하다.

- 추적식 집광부

가장 많은 양의 자연광을 획득할 수 있는 위치에 집광부를 고정시키는 방식에 비해, 추적식 집광은 태양을 추적하여 집광하는 방식으로 지속적인 실내로의 광전송이 가능해 고정식 집광보다 효율적인 채광방식이라 할 수 있다[3].

2-3-2. 태양광의 리디렉션(Redirection)

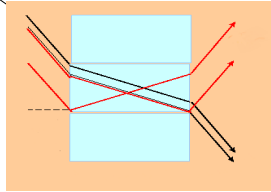

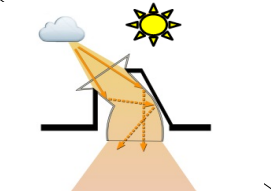

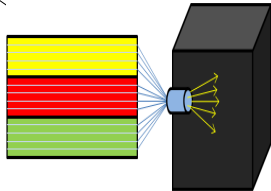
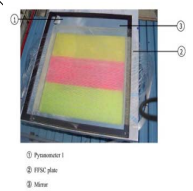
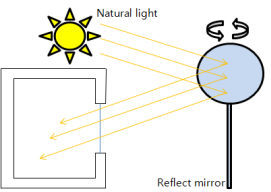

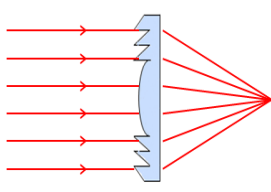

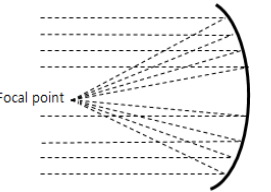
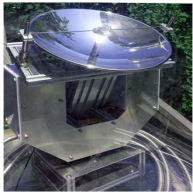
반사거울 집광이 그 대표적인 예이며, 반사부는 평면, 단일곡면 또는 픽셀형식 등으로 제작되며 고반사율의 거울을 사용하여 자연채광이 요구되는 장소에 빛을 보낼 수 있도록 설계된 방식이다[13]. 반사거울을 이용하는 채광은 직달광의 직진성을 이용하는데, 이 방식은 좁은 공간에만 빛이 비춰지거나 높은 휘도차이로 눈부심 현상을 야기시킬 수도있다[14]. 태양의 위치를 지속적으로 추적하며 반사시키는 고정밀제어기술이 필요하며, 장시간 외부에 설치되어 있어 구동되는 내구성의 문제와 여름철마다 오는 태풍의 영향에도 안전하게 설계되어야 한다[15].

2-3-3 집중형 집광

- 파라볼릭 접시(Parabolic Dish)

파라볼릭 접시를 이용한 집광장치는 포물면을 갖는 1차반사경 및 2차반사경으로 이루어져있다. 이 형태의 집광장치는 초점지역에 고열을 발생시키는 문제점이 있으나, 본 연구에서 조사한 국내 시스템은 1차반사경의 직경이 30cm이하로 다른 시스템에 비하여 열 발생이 적으며 95~98%의 높은 반사율 및 적외선 필터적용 등을 통하여 열 발생

Table 1. A classification of collectors in light transport systems[3][8]

	구 분	집광 원리	명칭	모식도	실제적용사진
집광부	Passive	Light Redirection	Laser Cut Panel		
		Concentrating	Anidolic Concentrators, Compound Parabolic Concentrator		
			Fluorescent Fiber Solar Concentrator		
	Active	Light Redirection	Mirror Sunlighting System		
		Concentrating	Fresnel Lenses		
			Parabolic Dish		

문제를 해결할 수 있는 것으로 조사되었다[16].

- 프란넬 렌즈(Fresnel Lenses)

이 형태의 집광은 광학설계디자인에서 높은 유연성을 가져 그 적용성이 뛰어나며, 기존의 거울을 이용한 집광 방식에 비해 광학설계 및 제조 오차율도 적대[17]. 또한, 일반 유리에 비해 두께가 얇고 작게 만들 수 있어 경량이며, 짧은 초점거리와 낮은 가격이 큰 장점이다[18].

2-4. 추적식 집광시스템

태양광의 추적은 태양추적신호의 생성 방식에 따라서 크게 3가지 방식으로 분류가 가능한데, 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램 방식, 광센서를 이용 태양의 위치를 추적하는 센서식, 프로그램/센서를 동시에 사용하는 혼합식으로 분류할 수 있다. 혼합식 태양 추적 방식의 경우, 프로그램 방식이나 광센서만을 이용했을 때의 단점인 기계적인 요소로부터 발생

되는 오차[19], 구름에 때문에 생기는 산란광에 의한 추적오차 등을 보완할 수 있다[7].

일반적으로 고효율의 채광시스템은 능동적으로 태양을 추적하거나, 수동적으로 태양광 또는 천공광의 방향을 제어할 수 있게 설계된다[20].

2-5. 추적 알고리즘

2-5-1. 프로그램방식 추적

천문학적 추적방식은 태양의 고도각과 방위각을 계산식으로 구하고 시스템이 설치된 위치를 설정함으로써 태양추적이 가능하다. 고도각과 방위각의 계산식은 (1)과 (2)와 같다[21].

$$\sin\theta_e = \cos\phi\cos\delta\cos H + \sin\phi\sin\delta \quad (1)$$

$$\sin\theta_a = \text{sign}(H) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos(90-\theta_e)\sin\phi - \sin\delta}{\sin(90-\theta_e)\cos\phi} \right) \right| \quad (2)$$

여기서 θ_e 는 태양 고도각, θ_a 는 태양 방위각을 나타내며, δ 는 적위, ϕ 는 설치장소의 경도, H 는 태양의 시간각을 나타낸다.

2-5-2. 센서식 추적

종래에 가장 범용적으로 사용되고 있는 센서식 태양추적 방식은 빛의 밝기에 따라 저항 값이 바뀌는 CdS(cadmium sulfide) 센서의 성질을 이용하여 전기 특성신호를 검출하고 장치의 각도를 조절하는 방법이다. 한편, 컬러트래킹방식 태양추적 시스템은 컬러영상처리 센서CTS(Color Tracking Sensor)를 사용하여 태양 영상의 중심의 색상, 사이즈, 밝기 등의 정보를 취득한 후 연속적으로 변화하는 태양의 위치를 추적하게 된다.

3. 태양 집광시스템 효율성

3-1. 태양집광 시스템 전송 효율

자연채광시스템에서 태양광 실내 전송 시, 각 시스템의 특성에 따라 광전송 효율은 다르게 나타나며, 광전송 효율을 구하는 식은 아래와 같이 주어진다:

$$\eta_t = \eta_C \times \eta_T \times \eta_D \quad (3)$$

$$\eta_t = \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_C \times \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_T \times \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_D \quad (4)$$

태양광을 이용한 자연채광 시스템의 효율(η_t)은 집광부(η_C), 전송부(η_T), 산광부(η_D)에서 각각의 효율을 구함으로써 얻어질 수 있다.

$$\eta = \frac{(\Phi_o)_D}{(\Phi_i)_C} \quad (5)$$

식 (5)은 식(4)를 정리하여 간단하게 나타낸 식으로써, $(\Phi_i)_C$ 는 태양에서 집광부로 도달하는 전체광속(Total Lumens)을 나타내고 있다. 집광부에서 나가는 광속 $(\Phi_o)_C$ 은 전송부로 들어가는 광속 $(\Phi_i)_T$ 과 같은 값이고, 전송부에서 나오는 광속 $(\Phi_o)_T$ 은 산광부로 들어가는 광속 $(\Phi_i)_D$ 과 같은 값이다. 최종적으로는 산광부에서 실내로 보내는 광속 $(\Phi_o)_D$ 이 실내조명에 활용된다[18].

광 전송효율은 자연채광시스템의 유용성을 일차적으로 파악할 수 있으며, 적용하고자 하는 공간에의 적합성을 평가할 수 있어, 자연채광관련 전문가 뿐 아니라 사용자에게도 자연채광설비 선택 시 중요한 기술적 자료를 제공하게 된다.

3-2. 추적식 집광의 효율성

태양 집광의 효율성은 추적방식에 따라 크게 달라질 수 있다. 1축 제어를 통한 태양추적을 했을 경우, 고정식에 비해 그 집광의 효율성이 약 13% 정도 높게 나타난 것으로 보고된 바 있다[22]. 한편, 청천공 조건 하에서 2축 제어의 태양추적은 고정식에 비해 약 30-50% 정도 더 높은 집광 효율을 나타낸다[23]. 집광의 효율성은 환경적인 조건에 따라서도 달라지는데, 평균 직달일사량(Direct Normal Irradiance :DNI)이 850W/m²이상인 청천공 상태에서 추적식 자연채광시스템은 비추적식에 비해 상당히 높은 시스템 효율을 보였다[24].

4. 추적식 자연채광 시스템의 국내 개발 및 보급 현황

4-1. 주요 개발 및 보급 사례

현재, 국내에서 자연채광 시스템의 보급은 여러 업체

에서 꾸준한 연구와 개발 그리고 상용화를 위한 연구를 진행하여 다양한 시스템을 소개하는 형태로 이어지고 있으며, 특히 공공건물을 중심으로 추적식 자연채광 시스템의 보급이 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이들 중 상대적으로 기술의 신뢰성과 보급성이 양호한 시스템의 특성과 작동 메커니즘을 살펴보고 아울러 적용 예를 소개하고자 한다.

4-1-1. ELIOS-R2, ELIOS-2U, ELIOS-4U

- 개발 업체명 : (주)엔엘에스

- ELIOS-R2 :

(주)엔엘에스에서 개발한 시스템 <ELIOS-R2>는 태양광센서를 이용하여 실시간으로 태양의 위치 추적이 가능하며 고도각과 방위각을 조절할 수 있는 2축 구동방식이다. 위 시스템은 태양광을 타원형의 1차 반사경을 통해 37개의 픽셀로 구성된 2차 반사경으로 반사시킨다. 픽셀형의 2차 반사경은 1차 반사경을 통해 입사된 태양광을 원하는 지점의 위치, 면적, 개소수에 따라 분산 및 집광을 하여 사용이 가능하도록 시스템이 구성되어 있다. Table 2는 ELIOS-R2의 구성에 따른 제원을 나타내며, Fig. 2는 ELIOS-R2가 실제 설치된 모습을 보여주고 있다.

ELIOS-R2의 2차 반사경은 픽셀형식으로 되어있어 하나의 반사경으로 분할된 여러 장소로 채광이 가능하다. 또한 평균소요전력이 1~3Watt에 지나지 않아 전기사용량이 매우 적으며, 태양전지를 사용할 경우

자체적으로 구동전력을 해결할 수 있다. 현재, 화성 봉담 센트럴 푸르지오 아파트, 서울시 동작구 재개발 아파트의 인근학교, 서울시 노원구 빌라 등에 설치된 사례가 있다.

-ELIOS-2U :

이 역시 (주)엔엘에스에서 개발한 시스템으로 전술한 ELIOS-R2에 비해 ELIOS 2U는 타겟 오차에 대한 점검 횟수를 증가시켜 초정밀 태양광 추적이 가능하다. 또한, 다양하게 시스템의 설치가 가능하도록 하여, 일반적인 수평면은 물론 수직 벽면에도 설치가 용이하다. ELIOS 2U의 시스템 제원은 Table 3과 같으며, Fig. 3은 실제 ELIOS-2U가 설치된 모습을 보여주고 있다.



Fig. 2. Photograph of ELIOS-R2

Table 2. Specification of the ELIOS-R2

구분	제원
반사경구성	1차(타원형)/2차(픽셀형)
1차반사경 규격	단축 500mm, 장축 707mm
2차반사경 규격	픽셀규격 : 100mm X 100mm, 픽셀수 : 37 EA
거울종류	유리거울(Solar Mirror), 반사율 95%
높이	2,190mm
중량	70kg
채광가구수	1가구
제공 조도	4,000
구동부 사양	태양위치 대응 2축 구동
태양추적방식	광센서/ DC모터
구조체 재질	스테인레스 스틸

Table 3. Specification of the ELIOS-2U

제품명	일조채광시스템 ELIOS2U
태양추적 방식	당사 개발 알고리즘/프로그램
제어 정밀도	최고±0.01° (±0.02°적용)
제어 범위	고도각±85° / 방위각300°
경면	반사율 91%, 보호필름 부착
타겟 오차 점검	초당 50회(분당 3,000)회
전기료	한 달 1천원 이하



Fig. 3. Photograph of ELIOS-2U

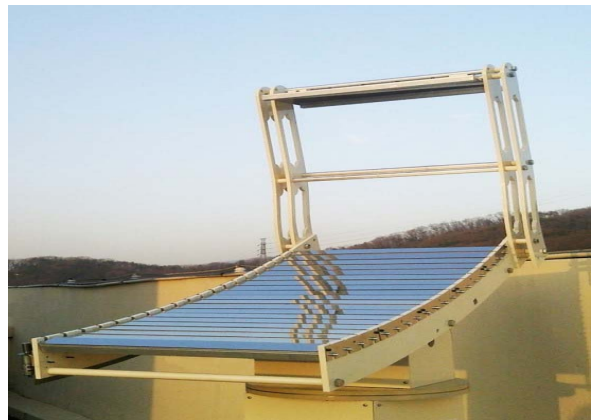


Fig. 4. Photograph of ELIOS-4U

-ELIOS-4U :

ELIOS-4U는 1차 반사경 RPA (Reflection Pixel Array)과 2차반사경 DR(Diffusion Reflector) 및 제어부로 구성되어 있으며, ELIOS-R2와 마찬가지로 광센서와 DC모터를 이용해 고도각과 방위각 조절이 가능하다. Fig. 4는 ELIOS-4U의 모습이다. 1차 반사경은 픽셀형식 또는 단일곡면으로 이루어져 있으며, 1차 반사경의 곡면은 태양광 공유곡선 SSC (Sunlight Sharing Curve)로 상호 간섭 없이 태양광의 수집을 도모하며 이를 다시 분산하여 전달하는 구조로 설계되어 있다. Fig. 5는 햇빛공유곡선의 모식도를 나타낸 것이다.

ELIOS-4U는 (주)엘리오스사에서 자체적으로 개발한 알고리즘을 장착하여 설치 장소에 대한 기본 정보(경도, 위도, 표준시)를 입력하면, 태양의 위치를 자동 추적할 뿐아니라, 담청공시에 발생하는 광센서부의 추적오차를 해결할 수 있도록 하였다.

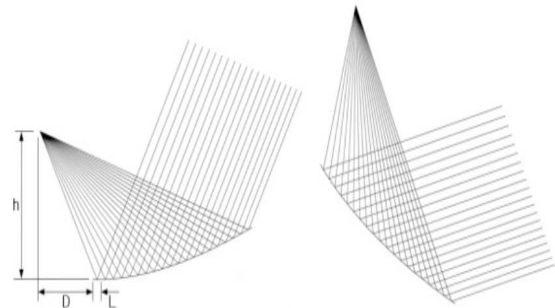


Fig. 5. Sunlight Sharing Curve[25]

4-1-2. WDF, Xodid WDBH 700, Xodid HSR

-개발 업체명 : Whilkor

-WDF :

WDF은 광섬유형 자연채광 시스템으로 집광부, 도광부, 산광부로 구성되어있으며 Fig. 6에 그 구성 체

계를 모식도로 나타내었다. 집광부에는 지름300Ø 7개의 집광렌즈를 이용하여 고밀도의 태양광을 도광부로 보내주며, 도광부는 낮은 감쇄율을 가진 광섬유를 이용하여 제작되었다. 산광부는 하이브리드방식으로 일 반조명과 자연채광을 호환하여 사용하는 방식을 사용 하였다. 이 시스템은 사각 격벽 센서를 이용하여 태양 추적을 하며 특히, 광량측정 장치를 추가로 적용하여 외기의 밝기에 따라 산광부에서 36단계의 디밍제어로 밝기를 조절하게 된다. 이에 실내는 항상 동일한 조도 값을 유지하게 된다.

-Xodid WDBH 700 :

Xodid WDBH 700은 추적형 광덕트 자연채광 시스템으로 집광부에 360° 로 회전을 할 수 있는 2개의 축을 두어 태양 추적을 용이 하게 하였으며, 2개의 반사거울을 설치하여 태양광을 전송부로 보내준다. 전송 부는 광덕트 및 광파이프 형태로 연결이 되어 태양광 을 하단으로 보내주며, 하단부에 설치되어있는 반사거 울은 다시 태양광을 반사시켜 산광부에 태양광을 보 내주도록 설계되었다. 산광부는 산란패턴 아크릴을 사 용하여 전송된 태양광을 실내로 분산시키도록 되어 있다. Xodid WDBH 700 자연채광 시스템의 모식도, 제원 및 실제 설치된 모습은 Table 4, Fig. 7 그리고



Fig. 6. Structure of the WDF[26]

Fig. 8에 각각 나타내었다.

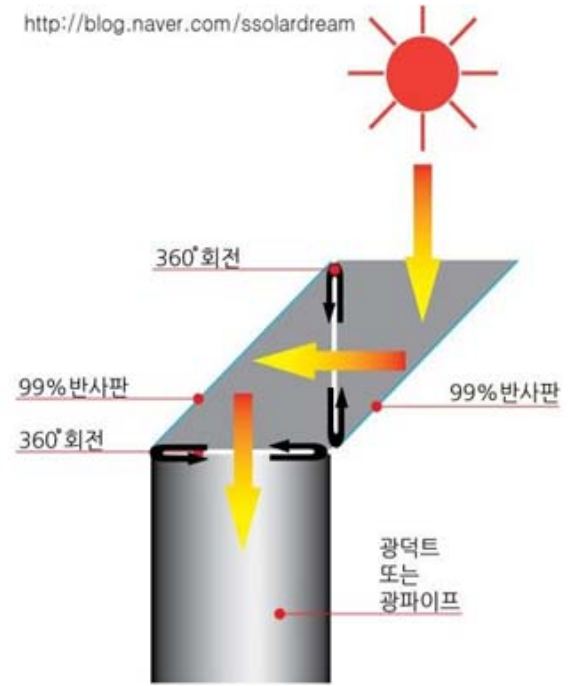


Fig. 7. Schematic of the Xodid WDBH 700

탄천 물 재생센터 성능 테스트



Fig. 8. Photograph of Xodid WDBH 700

Table 4. Specification of the Xodid WDBH 700

집광면적	$\theta = 500\text{mm}$
SIZE	1.205mm X 650mm X 800mm
전원방식	독립형태양광발전
구동전압	D/C 12V
구동모터 규격	S60

-Xodid HSR :

태양 추적형 반사 거울시스템으로 1차 반사경은 광 센서를 이용하여 태양을 정밀 추적하고, 2차 반사경은 고정되어 반사광을 원하는 지점에 유입시키도록 설계되었다. 때문에 천문학적 추적 시스템만을 사용한 자연채광 장치보다 추적오차를 줄일 수 있으며 추적형 자연채광 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다. 자세한 HSR의 제원 및 실제 설치된 모습은 Table 5 및 Fig. 9에 각각 나타내었다.

4-1-3. 하이브리드 추적 방식 자연채광 시스템

최근 국내에서는 광학적방법과 천문학적방법을 동시에 활용하는 하이브리드 추적 방식을 적용하는 기술이 개발되고 있다. 이 기술은 단일 추적방법만을 적용한 자연채광 시스템보다 태양 추적이 용이하고 보다 고밀도로 태양광을 집적하여 실내의 자연채광에 이용할 수 있는 장점이 있다. 광학적 방법은 광센서의 출력 신호 비교에 의해 작동하는 방식이고 천문학적 방법은 수치적 계산에 의하여 실시간으로 설치장소에서의 태양의 고도 값과 방위각을 추적하는 방식이다.



Fig. 9. Photograph of HSR

Table 5. Specification of the HSR

소비전력	40W
입력	AC 220V
출력	DC 24V/ 6.5A
회전각	상·하-0~90°/ 좌·우-0~180°
구동방식	Stuffing Motor 지원 구동 방식
시스템방식	Dual CPU 시스템

Table 6. Specification of the Hybrid System

구분	제원
SIZE	30cm X 37cm X 58cm
반사경	Parabolic dish: 30Ø, 50Ø
	Fresnel lens: 30cmX 30cm, 50cm X 50cm
구동방식	2축 구동
태양추적 방식	CdS센서, 천문학적추적방식 동시적용
전송 방식	Fiber optic

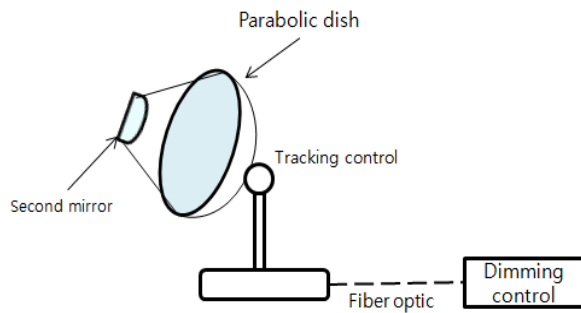


Fig. 10. Structure of the Hybrid System



Fig. 11. Photograph of Hybrid System

광학적 제어에 의한 태양추적기는 광센서에 의해 작동하므로 흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우 정확한 태양추적이 되지 않는 단점이 있으며, 천문학적인 방법은 추적 오차가 누적되는 단점이 있다. 하지만 전술했듯이, 하이브리드 추적 방식을 적용한 시스템은 광학적방법과 천문학적 방법을 동시에 적용하였기 때문에 집광의 효율성이 높아 보다 성능이 양호한 자연채광 기술을 구현할 수 있다.

Fig. 10과 Table 6은 이 시스템 구성의 한 예를 상세히 나타낸 것으로 집광부는 두 개의 반사경(1차 포물반사경과 2차 Hyperbolic 반사경) 또는 프란넬 렌즈로 구성되며, 태양광을 모아 고밀도로 집광시킨 후 광화이버 케이블 입구로 전송시킨다. Fig. 11은 남측 발코니에 설치되어 작동 중인 시스템의 모습을 보여주고 있다.

Fig. 11에 보여지는 시스템은 일반 전기조명과 자연채광을 병행하여 사용하는 하이브리드 방식으로써, 실내 작업면 조도를 적정범위 이내로 일정하게 유지시키고 이를 통하여 전기 에너지소비를 절감하였다.

5. 결론

국내에 보급된 자연채광시스템 중 비교적 그 성능과 신뢰성이 입증된 추적식 시스템을 중심으로 그 기술적 특성과 적용성에 대하여 살펴보았다. 추적식 시스템은 크게 두 가지 형태로 분류될 수 있었는데, 태양광을 고밀도로 포집하여 광섬유 케이블을 통해 실내로 전송하는 방식과 반사거울을 통해 태양광을 원하는 지점에 조사시키는 방식이다. 태양 추적의 정밀성은 시스템의 자연채광 성능에 직접 영향을 미치게 되는데, 천문학적방법과 광센서 적용의 광학적방법을 혼용한 혼합식 추적 기술의 보급이 활발히 진행되고 있는 것으로 파악되었다. 한편, 산광부는 일반조명과 자연채광을 호환하여 사용하는 하이브리드 방식이 기존의 태양광만을 이용하였을 경우보다 일사·기후조건에 능동적으로 대처할 수 있으며, 아울러 실내 작업면 조도를 적정범위 이내로 일정하게 유지시키며 전기 에너지 소비를 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

향후, 추적식 태양광 집광 기술의 발전은 다양한 자연채광 장치의 출현을 가능케 할 것이며, 이는 사용자에게 보다 효율적이고 합리적인 방식으로 태양광을 실내조명에 활용하게 함으로써 전기에너지 절감 뿐만 아니라 지속가능한 에너지원으로서의 태양에너지의 역할을 한층 더 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

1. 본 연구는 한국연구재단 기초연구사업 “저열원의 하베스팅을 위한 TM(Thermal to Mechanical energy) 발전변환시스템 개발” 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2014R1A2A01006421)
2. 본 연구는 한국연구재단 기초연구사업 “혼합형 자연채광 기술의 고효율화 연구” 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호: 2014R1A2A1A11050878)

References

1. Lee, C. S., Kim, J. M., Park, Y. M., Sung, T. K., Joung, C. B., Kang, S. H., Kim B. C., 2013, Development of Tracking daylighting System Using Multi-Parabolic Reflector, Journal of the Korean Solar energy Society, Vol. 33, No. 2, pp.

- 56-63
2. Lee, J. Y., Song, K. D., 2003, Developing Computer Models for the performance Evaluation of Daylighting system and Lighting Control, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 19, No. 3, pp. 211-218
 3. MTech, M. N., Ramamurthy, K., Ganesan., 2012, Classification of indoor daylight enhancement systems, *Lighting res. Technol*, Vol. 46, pp. 245-267
 4. "Daylight in buildings", *Energy Conservation in Buildings & Community Systems & Solar Heating and Cooling Programmes*
 5. Vu, N. H., Shin, S. Y., 2016, Cost-effective optical fiber daylighting system using modified compound parabolic concentrators, *Solar Energy*, Vol. 136, pp. 145-152
 6. Oh, S. J., Lee, Y. J., Kim, N. J., Hyun, J. H., 2011, Development of an AVR MCU-based Solar Tracker, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 353-357
 7. Park, Y. C., 2000, Sun Tracking System for Active Daylighting System, *The Society Of Air-Conditioning And refrigerating Engineers Of Korea*, Vol. 11, pp. 47-58
 8. Song, H. Y., Lee, J. Y., Song, K. D., 2008, A study on the application Methods Characteristics of Daylighting Systems to Building, *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 11, pp. 47-58
 9. Littlefair, P. J., 1995, Light shelves: computer assessment of daylighting performance. *Lighting Research and Technology*, Vol. 27, No. 2, pp. 79-91
 10. Zastrow, A., Wittwer, V., 1986, Daylight with mirror light pipes and with fluorescent planar concentrators, *SPIE. Materials and Optics for Solar Energy Conversion and Advanced Lighting Technology*, Vol. 692, pp. 227 - 234
 11. Wang, C., Abdul-Rahman H., Rao, S. P., 2010, Daylighting can be fluorescent: Development of a fiber solar concentrator and test for its indoor illumination. *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 717 - 727
 12. Earp, A. A., Geoff, B. S., Jim, F., Paul, S., 2004, Optimisation of a three-colour luminescent solar concentrator daylighting system, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 84, pp. 411 - 426
 13. Park, B. Y., Choi, C. H., 2011, A Study on Daylighting performance of an Inner Court with Reflecting Mirror System, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 4, pp. 112-121
 14. Um, J. Y., Yoo, K. D., Park, H. R., Suh, S. J., 2004, A Study on Overview of Daylight System and the Application of Heliostat for Underground Spaces, *ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA*, Vol. 24, No. 1, pp. 706-709
 15. Hwang, T. G., Jung, J. J., 2014, Daylight System of Reflection Mirror for Precision Sun Tracking, *KSPE*, Vol.5 pp. 907-908
 16. Oh, S. J., Han, H. J., Jeon, Y. I., Chun, W. G., 2012, A Computational Analysis on Candela Distribution Curves and Performance Prediction of a Fiber Optic Dish Daylighting System by Photopia, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 3, pp. 104-113
 17. Lin, M., Sumathy, K., Dai, Y. J., Zhao, X. K., 2014, Performance investigation on a linear Fresnel lens solar collector using cavity receiver, *Solar Energy*, Vol. 107, pp. 50 - 62
 18. Tripanagnostopoulos, Y., Siabekou, C., Tonui, J. K., 2007, The Fresnel lens concept for solar control of buildings. *Solar Energy*, Vol. 81, pp. 661-675
 19. Stone, K. W., Jones, S. A., 1999, "Analysis of solar Two Heliostat Tracking Error Sources", SAND99-0239C
 20. "Daylight in Buildings", *A SOURCE BOOK ON DAYLIGHTING SYSTEMS AND COMPONENTS*
 21. Duffie, J. A, Beckman, W. A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley
 22. Deepthi, S., Ponni, A., Ranjitha, R., Dhanabal, R., 2013, Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Vol. 2, pp. 425-430

23. Ayoub, H., 2012, Improving the energy capture of solar collectors, A thesis submitted in partial fulfilment for the requirement of the degree Master of Science Sustainable Engineering: Renewable Energy Systems and the Environment
24. Ko, J. H., 2012, Designed and Performance Analysis of High Efficiency Concentrated Photovoltaic System using III-V Compound Semiconductor, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 26, pp. 33~39
25. <http://www.nlskorea.com/>
26. <http://www.whilkor.com/>