

# 태양광(Fiber Optical System) 조명 측정 평가

## (Measurement and Estimation of Fiber Optical System)

車光錫\*  
Kwang-Seok Cha

### 요 약

본 연구는 태양광시스템의 센서와 프로그램 (타이머스위치)을 혼용한 제어시스템을 측정한 결과이다. 집광부 렌즈 초점의 정확도에 따른 효율 저감을 평가한 결과 실제 그 차이는 조사부 50cm 떨어진 곳에서 0.1lx 에서 5000lx 값 차이를 나타냈다. 이는 태양광조명의 가장 중요한 핵심이 바로 태양추적의 정확성에 있는 것이다.

### Abstract

In this paper, Efficiency of fiber optical system which consist of optical sensor and program was estimated. According to the test results, the accuracy of sun-tracking was the most important of performance of the system.

## 1. 태양광조명(Fiber Optical System)이란?

태양광조명시스템은 태양의 위치를 자동 추적할 수 있는 장치에 특수한 렌즈(프레넬렌즈)를 장착, 태양광을 집광하여 일정크기의 초점을 만든뒤 광케이블의 선 단면(광케이블의 선단을 거울처럼 연마)과 일치시켜 태양광을 광케이블로 연결하여 필요한 거점까지 이송 가능한 구조로 되어 있음. 인체에 해로운 중계파자외선을 차단하고 그림의 변색방지를 위한 자외선의 제거는 렌즈에서 만들어진 집광축점과 광케이블의 인입선단의 거리 조절을 통하여 이루어진다. 이를 통해 인체에 유익한 빛만을 선택적으로 전달할 수 있다. 또한 광섬유의 종류와 순도에 따라 효율이 좌우된다. 콜렉터는 광학적 다층막 형성기술을 응용한 반사집중방식으로 태양광 에너지 중에서 가시광(380~780nm)만 뽑아내고 자외선과 적외선을 제거한다. 태양추적장치는 햇빛이 잘비추는 옥외에 설치된다. 따라서, 추적장치는 외부환경에 완전 노출되므로 부식에 강한 재질로 만들어져야하고 하절기에 고온과 동절기의 저온상태에서 전자제어장치가 보호되도록 처리되어있어야 한다.

### 1.1 태양광 조명 구성

태양광조명 시스템은 크게 집광부, 제어부, 전송부, 조사부로 나누어진다.

집광부는 특수 후리넬 또는 AS 렌즈를 사용하여 태양광을 집광하여 집광된 렌즈의 초점위치에 광섬유의 수광단부가 있어 농축된 태양광이 광섬유내부를 전반사하면서 조사단말부에 전송된다.

제어부는 전면에 태양의 위치를 감지하는 광센서가 있어 태양의 움직임을 추적해 내장된 제어장치로 보내면 제어장치는 집광부가 항상 태양과 일치하게 구동모터를 자동으로 제어한다.

전송부는 집광된 태양광을 광섬유내부에서 전반사하면서 조사단말부에 전송한다. 광섬유는 코어부에 고순도

석영을 사용하고 외부는 고순도 수지를 사용 고효율의 광섬유를 묶어 사용한다.

조사부는 광섬유로 전송되어온 태양빛을 단말 발광부로부터 45도 퍼지게 조사한다. 따라서 특별한 조명기구 사용하지 않아도 끝부분에 렌즈만 추가하여 요구하는 장소를 조명할 수 있다.

### 1.2 이용범위

- 1) 자연채광(IB빌딩, 아파트, 맨션, 박물관, 지하공간 등에 자연채광 도입)
  - 실내에 도입된 태양광은 가시광선 그대로로 물체의 색을 표현 사진촬영이나 미술품 조명원으로 활용
- 2) 건강미용(사무실, 휴게실 등의 휴식 공간, 병원 등 재활 시설, 질병치료를 위한 의료기, 노인 유아, 임산부를 위한 안전한 실내 일광욕 등으로 이용)
  - 실내에서 가볍게 일광욕을 즐길 수 있고, 자외선이 대부분 제거 되어 피부의 손상방지.
  - 거동이 불편한 노인이나 환자도 안심하고 태양 빛을 받을 수 있다.
- 3) 식물재배(맨션 공동화원, 지하상가, 식물재배 이용)
  - 실내에 태양광을 도입하여 식물의 재배 및 유지 관리가 가능
- 4) 어류 동물 사육(지하수족관, 해저공원 등에 이용)
  - 전기적 빛이 아님으로 물속에서도 사용이 가능
- 5) 특수 환경(연구시설, 원자력시설 등에 이용)

## 2 태양광조명 제어(태양추적)시스템 고찰

### 2.1 채광부 구동축의 배열 방식에 따른 분류

2축 구동형 태양추적 채광 시스템은, 태양의 위치를 추적하기 위하여 사용되는 구동축의 배열방법에 따라서 Polar 추적방식, Azimuth-Elevation 추적방식으로 나누어진다.

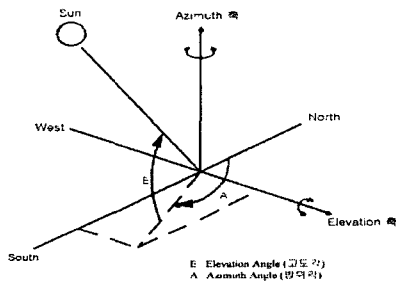
\* 正會員 : 현대건설 기술연구소

<<그림 1>>에서는 2축 Azimuth-Elevation 태양추적 채광 시스템의 추적축 배열방식을 나타낸 것이다.

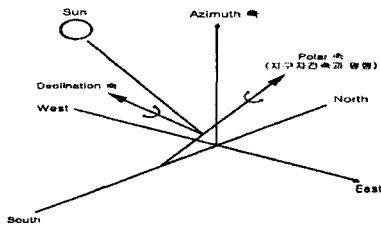
<그림 1>에서와 같이 Azimuth-Elevation 추적시스템에서의 채광부는 지표면에 수직인 축을 중심으로 회전하고(Azimuth 축), 동시에 지표면에 평행한 축을 기준으로 하여 회전(Elevation 축)한다.

<그림 2>는 Polar 추적 시스템의 추적축을 나타낸 것이다. Polar 추적 시스템에서의 채광부는 지구의 자전축과 평행한 축(Polar 축)에 대하여 시간당 15°회전하고, 동시에 이와 수직인 축(Declination 축)을 기준으로 하여  $\pm 23.5^\circ$ (최대0.0016°/ 시간)이내에서 회전한다.

일반적으로 1축 구동형 태양추적 채광 시스템은 2축 구동형 태양추적 채광시스템과 비교하여 태양추적의 정확성은 떨어진다. 따라서 특정 위치에 투영할 경우 채광 가능한 태양광의 양이 작으며, 이로 인한 집광효율도 떨어진다. 그러나 추적 장치의 단순성 및 경제성의 측면에서 비교하면, 1축 구동형 태양추적시스템이 2축 구동형 태양추적시스템보다 우위에 있으며, 고효율을 요구하지 않는 응용분야에서 많이 사용되고 있다



[그림 1] Azimuth-elevation tracking 시스템 구동축 배열



[그림 2] Polar tracking 시스템 구동축 배열

## 2.2 태양추적신호의 생성방식에 의한 분류

태양추적시스템은 태양추적 신호의 생성방식에 따라서 다시 크게 3가지 방식으로 나눌 수 있는데, 태양의 위치를 계산하여 시스템을 구동시키는 프로그램 방식, 광센서를 이용하여 태양의 위치를 찾아 구동시키는 센서식 그리고 프로그램센서를 동시에 사용하는 혼합식 시스템으로 분류될 수 있다.

본 연구에 사용된 태양광시스템은 센서와 프로그램(타이머스위치)을 혼용한 2축구동형 제어시스템이 적용되었다. 이와 같은 시스템은 정확도(센서 정확도)가 구동체와 연관(오차범위)관계가 밀접함으로 정확도 평가에는 센서와 구동체의 유기적인 정확도를 확인 할 필요가 있다.

## 3. 태양광조명 효율 측정

### 3.1 측정 계측장비 :

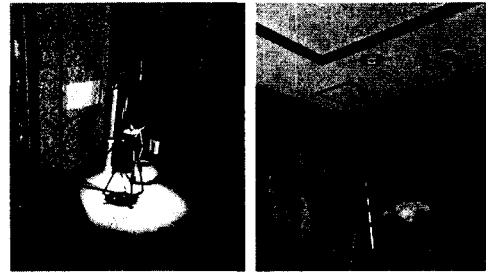
조도계(IM-3), 외부조도센서(ML-101S) 1개, 내부조도센서(MI-101S-I) 12개, 휘도계(LS-100) 1set, Dataloger(SOLAR-V) 2대, 적달일사 및 일조계(MS-091) 1set, 확산 일사계(NP-62) 1대, 분광계측계(HSR-8100) 1set

### 3.2 측정항목 :

태양광 조명의 효율 측정은 세대내 조사부로부터 Stand형의 경우 0.5m와 바닥면(1.2m)에서의 조도값을 측정하여 외부 조도와 비교 효율을 분석하였고 휘도 측정은 어두운면(벽면, 천정면)과 밝은면(작업면, 바닥면)의 휘도를 비교 측정하였다.

특히, 집광부의 렌즈 초점의 정확도에 따라 얼마의 효율 저감이 일어나는가를 평가하기 위하여 세대내 조사부의 조도값 측정도 비교하였다.

조사부의 광원은 분광계측기로 측정하여 빛의 색도와 파장을 측정 비교하였다.

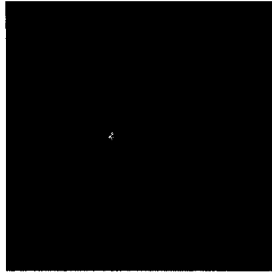


[그림 3] 세대내 측정 모습 및 외부 옥상의 기상 Data 측정 모습

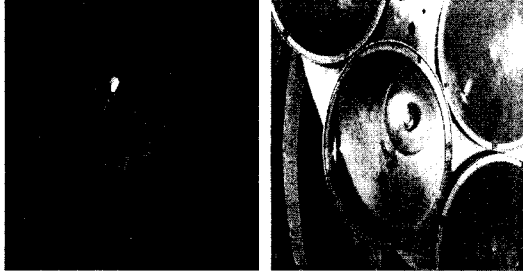


[그림 4] 태양광조명 외부 및 렌즈, 하우징 상세

### 3.3 집광부의 초점 정확도에 따른 천정 조사부의 조사 모습



[그림 5] 렌즈의 초점이 집광부 광케이블에서 완전히 벗어난 경우



[그림 6] 렌즈 초점이 하우징내 광케이블에 근처에 위치한 경우



[그림 7] 광케이블 보호내에 근접, 초점이 위치한 경우

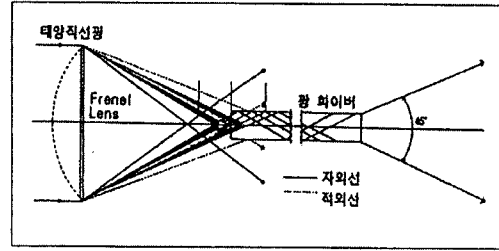


[그림 8] 집광부 광케이블에 렌즈 초점이 맞거나 정확한 중심부가 아닌 경우



[그림 9] 렌즈의 초점이 정확히 집광부 광케이블에 맞혀진 경우(최적 상태)

### 3.4 세대내 조사부로부터의 조도 각도



[그림 10] 태양광조명의 세대내 照射 각도

자외선 및 적외선 파장범위를 벗어나 초점이 생성됨으로 일부는 전송되지만 거의 차단되어 실내에 사입된다. 또한 조광기로부터 45도로 조사되는 조명 빛은 거리에 따라 일정수준의 조도 기준 값을 제공하고 있다.

## 4. 측정 결과

### 4.1 세대내 조도 측정 결과 및 분석

측정시 센서와 기계적인 오차로 인하여 연속적인 정확한 Data는 수집할 수가 없었다. 따라서 측정일에도 자동추적과 수작업에 의한 초점 확인 후 세대내 측정을 실시하여 Data 수집을 할 수 있었다.

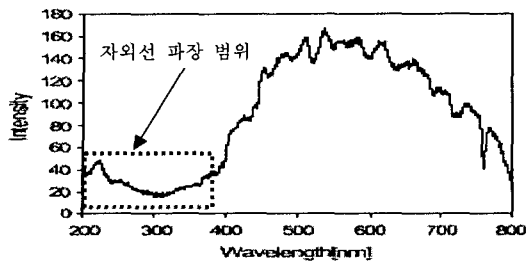
이번 측정 건물의 태양광 조명 세대내 효율측정 분석은 조사거리 50cm, 1.2m(스탠드형 바닥면)에서의 조도값을 측정 비교한 결과 조사부 근접시는 140000lx ~ 990000lx 값을 나타내었고, 50cm 떨어진 곳에서는 평균 5100lx ~ 4250lx로 나타났다., 바닥면에서는 평균 893lx의 조도값을 나타내었다. 천정부착형의 경우는 50cm 떨어진 거리에서 평균 2320lx ~ 1865lx, 바닥면(2.1m)에서 127lx ~ 78lx로 나타났다.

### 4.2 세대내 휘도 분포 측정 결과

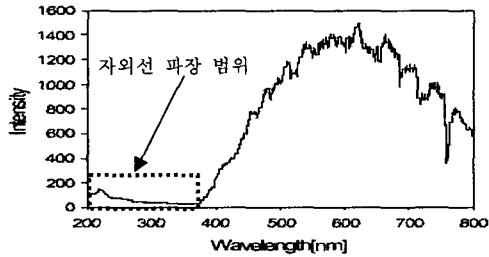
휘도분포의 경우 밀폐된 방에서 스탠드 밝은면 밑의 경우 47.2cd/m<sup>2</sup> 14.24cd/m<sup>2</sup> 벽면에서의 휘도는 1.9 ~ 2.4cd/m<sup>2</sup>로 측정되어 허용기준 근접면 1/3 원거리와 비 1/10의 범위를 넘어서나 심한 눈부심의 유발이 없기 때문에 블래클레이어의 발생은 거의 없는 것으로 평가되었다.

### 4.3 조사부 광원의 파장 분포

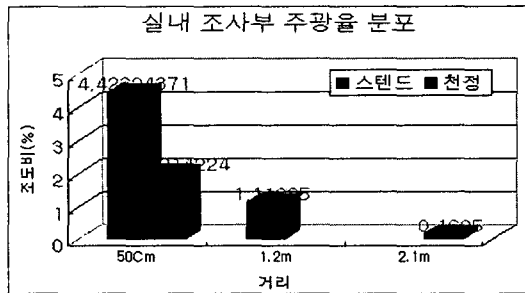
태양광의 파장은 자외선, 가시광선, 적외선등 다양한 범위의 파장 분포가 분포한다. 이중 우리가 눈으로 볼 수 있는 파장은 380 ~ 780nm의 가시광선만 확인할 수 있다. 특히 태양광조명은 자외선이 차단된 인체에 유익한 빛만을 투과하는 장점이 있으므로 이를 확인하기 위한 세대내 사입된 태양광의 파장을 측정하였다. 따라서 태양광원의 파장과 태양광조명장치를 통과한 빛의 파장을 측정한 결과 인체에 유해한 자외선이 거의 차단된 태양빛이 사입되는 것을 확인할 수 있었다.(그림 11, 12 참조)



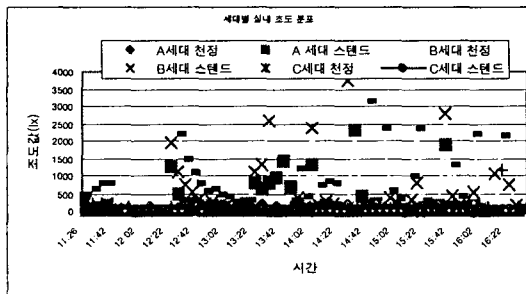
[그림 11] 태양광원의 파장 분포



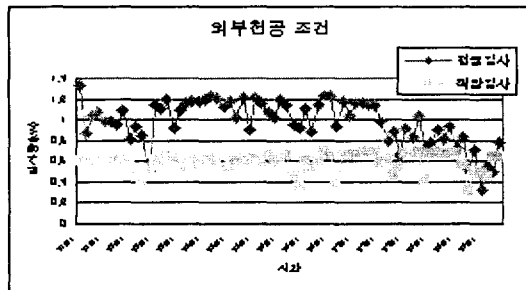
[그림 12] 집광렌즈와 광케이블을 통과한 세대내 조사부의 광원 파장(자외선이 거의 감소함)



[그림 13] 광케이블을 통한 조사거리에 따른 주광을 측정값 비교



[그림 14] 세대 측정 결과



[그림 15] 5~6월경의 적달일사, 천공일사, 일조시간의 변화 측정값

## 5. 결론

태양광조명의 세대내 효율과 빛의 파장은 세대와 관련된 광케이블 하우징내 집광부 초점을 일일이 확인하며 세대 조도를(근접, 50cm, 1.2m 높이) 측정 후 외부조도와 비를 계산하여 그 효율 적정성을 평가하였다.

여름철의 외부조도의 변화는 청천공의 경우 오전 10시부터 오후 4시 사이에 80,000lx 이상 110,000lx 까지 외부조도가 계속되었다. 이 경우 실내에서 활용 할 수 있는 일반적인 주광율은 거실의 경우 2%, 응접실, 현관 0.5%, 복도, 계단 0.3%이상으로 모두 활용이 가능하다. 따라서 집광부의 초점이 맞는 경우 스탠드형 4000lx 이상, 천정 부착형 1800lx ~ 2300lx로 주광율 2%이상을 유지함으로써 실내 및 부속공간의 조명원으로 활용이 가능하다. 또한 분광계를 사용 세대내 조사부에서 나오는 빛의 파장을 측정, 외부 태양광원과 비교 도출된 값의 적정성을 평가한 결과 자외선부 강도가 크게 감소 인체에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다. 그러나 태양광조명의 가장 핵심은 집광부의 초점작업으로 이는 연중 태양을 추적하는 광센서와 제어부의 Sun Tracking 정확도가 가장 취약한 것으로 초점의 위치에 따른 세대내 조사부에서의 광량의 차이를 위 그림들에서 확인할 수 있었다. 실제 그 차이는 조사부 50cm 떨어진 곳에서 조도를 측정한 결과 0.1lx에서 5000lx 이상의 값 차이가 발생하였다. 이는 태양광조명의 가장 중요한 핵심이 바로 태양추적의 정확성에 있다는 것을 입증하는 것이다. 따라서 태양광시스템의 정확도에 따른 효율 증가는 연구가 진행 중에 있다

## 참 고 문 헌

1. 김희서 외 : 건축환경 계획론, 태림문화사
2. 박준석, 여인수외, 태양광채광시스템의 스펙트럼 분석, 한국전기조명설비학회논문집, 1999.11
3. 태양광채광시스템의 조명적용 연구, 한국전기조명학회 논문집, Vol.15, No.4, pp. 1~6 July 2001
4. 원종주, 송규동 : 광학장치를 갖는 태양광전달시스템의 수치모델 개발 및 검증에 관한 연구, 한국건축학회학술발표논문집. 제18권, 2호, pp.865-870.
5. 원 종주 : 太陽光照明시스템 集光裝置의 性能豫測을 위한 數值 모델 開發, 공학석사학위논문, 1999. 6
6. Johnson, K. 1993, Technical Report: Advanced Optical Design for Centralized Daylighting System, LBL windows and Daylighting Group, October
7. Howard, T; W. place; Bandersson 외: 1984, Experimental Evaluation of Variable - area Lighting-Reflecting Assemblies LBL-15989, May 11