

## 반사거울형 태양광 채광시스템의 성능 평가

(A Performance Evaluation of Solar Mirror Sunlighting Systems )

이범석\* · 김정태\*\*

(Beom Seok Lee · Jeong Tai Kim)

\* 경희대학교 건축공학과 석사과정, \*\* 경희대학교 건축공학과 교수

### Abstract

태양광 채광시스템은 자연광의 유입이 어려운 공간에 주광을 유입하기 위하여 개발된 장치로써 에너지를 절약하고 인간의 쾌적성을 향상시키는 등 지속가능한 건축을 위해 도입 및 확대가 크게 기대되는 장치이다. 이에 본 연구는 기존에 본 연구실에서 개발된 시스템의 문제점을 보완하고 개선하여 건축물 적용시의 채광성능을 평가하는데 연구목적이 있다.

본 시스템의 설치는 2004년 10월 25일 (주) 동아산전과의 공동작업으로 설치되었으며, 수원에 있는 K대학 공과대학 5층 옥상 파라펫에 설치하였다. 평가실험은 2005년 4월 5일 9시30분부터 15시30분까지 청천공 상태에서 실시하였고, 총32개의 측정점을 선정하여 주광조도비로 채광성능을 평가하였다

실험결과, 반사거울을 설치 시 창이 있을 경우 실내의 주광조도비는 평균 20.3[%] 상승하였고 창을 제거할 경우 실내의 주광조도비는 평균 38.2[%]정도 상승하여 채광학적으로 유효한 것으로 분석되었다. 따라서 본 시스템은 건축물의 실내 및 옥외의 음영진 곳에서 유용하게 사용될 수 있음이 입증되었다.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 목적

인간을 둘러싸고 있는 자연환경 중 빛은 인간의 삶 전체에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다. 그러나 현재 우리의 주거환경은 도시의 과밀화와 건축물의 고층화 현상으로 인해 생활공간으로의 자연광의 유입이 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 태양광을 이용한 채광시스템이 개발되었고 선진국에서는 이미 다양한 태양광 채광시스템이 개발되어 건축물에 적용되고 있다.

태양광 채광시스템은 자연광의 유입이 어려운 공간에 주광을 공급하기 위하여 개발되어진 설치장치로 에너지를 절약하고 인간의 쾌적성을 향상시키는 등 지속가능한 건축을 위한 태양에너지 활용시스템의 하나로 도입 및 확대가 크게 기대되는 장치이다[3].

지금까지의 태양광 채광시스템의 연구를 살펴보면, 지하공간 활성화를 위한 반사거울형 채광장치의 성능평가[1], 반사거울형 태양광 채광시스템의 개발에 관한 연구[2], 그리고 고성능 태양광 채광시스템의 채광성능평가[3] 등의 연구가 선행되었

다.

이에 본 연구는 선행된 논문을 분석하고 기존에 개발된 시스템의 문제점을 보완·개선하여 보다 정밀한 태양광 채광시스템을 적용·평가함으로써 우리나라의 건축문화에 적합한 태양광 채광시스템의 적용가능성을 제시하고 앞으로의 발전방향을 모색하는데 연구목적이 있다.

#### 1.2 연구내용 및 방법

반사거울형 태양광 채광시스템을 개발하기 위한 연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

- ① 반사거울형 태양광의 개발 현황 및 건축적 적용사례를 문헌 및 인터넷을 통하여 조사·분석하였다.
- ② 기존에 개발된 시스템의 문제점을 분석하여 보다 정밀한 측정이 가능하도록 태양광 채광시스템의 사양을 제안·적용하였다.
- ③ 제작된 채광시스템은 K대학 공과대학 5층 옥상에 설치하여 북측에 면한 지하1층 실내의 채광성능을 평가하였다.
- ④ 조사·분석자료와 평가자료를 바탕으로 결론 및 문제점을 제시하였고 앞으로의 발전방향을 모색하였다.

## 2. 반사거울형 채광시스템의 특성

태양광 채광시스템은 자연광의 유입이 어려운 공간에 여러 가지 하드웨어를 사용함으로써 주광을 공급하기 위하여 개발되어진 설치장치이다.

태양광 채광시스템은 크게 3부분으로 구성된다. 즉, 센서나 프로그램에 의해 태양광을 추적·집광하는 추미·채광부, 채광된 태양광을 전송하는 전송부, 그리고 실내공간에 전송된 태양광을 산광시키는 조사부의 세 부분으로 구성되어 있다.

태양광 채광시스템의 구성은 그림 1과 같다.

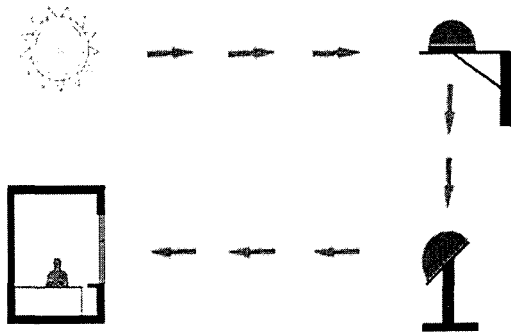


그림 1. 태양광 채광시스템의 구성

표 1. 반사거울형 채광시스템의 개발현황

개발국	개발회사	제품명	시스템의 구성		
			추적장치	채광부	전송방식
오스트리아	KUZELKA	Tageslicht System	無	반사거울	공중전송
	Bartenbach Lichtlabor	Solar Illumination System	無	반사거울	공중전송
독일	BOMIN SOLAR	Lightron	프로그램	반사거울	공중전송
	Egis	Solar Tracker	프로그램	반사거울	공중전송
일본	미즈이조선	베क्टर로닉스 시스템	프로그램 + 센서	프리즘·반사거울	공중전송
	료코	Solaris	센서	반사거울	공중전송
	TECNET	Natulite	센서	반사거울	공중전송
	미즈시타진공	자연광 채광시스템	센서	반사거울	공중전송
한국	현대기술연구소	자연광 유도채	無	반사거울	공중전송
	개발된 태양광채광시스템		프로그램 + 센서	반사거울	공중전송

## 3. 태양광 채광시스템의 개발

### 3.1 채광시스템의 개발 및 활용현황

태양광 채광시스템의 개발 및 활용현황은 표 1 및 표 2와 같다.

표 2. 반사거울형 채광시스템의 활용현황

건축유형	개발회사	비고
단독주택	TECNET	거실채광
	료코	거실채광
공동주택	마츠시타진공	아트리움채광
	BOMIN SOLAR	욕실과 주방채광
업무시설	TECNET	아트리움과 환관홀채광
	BOMIN SOLAR	지하 사무실, 계단실
공공건물	마츠시타진공	식재육성
	Heliobus	지하공간, 카페테리아
기타시설	BOMIN SOLAR	예배실, 지하철역, 터미널의 승객대기실, 기념비역할

### 3.2 채광시스템의 개요

개발된 태양광 채광시스템은 지름 0.8[m]의 채광돔과 베이스, 1·2차 반사거울, 추적제어장치와 구동부, 그리고 시스템 설치대 등으로 구성되었다. 본 연구에 사용된 시스템의 사양은 기존 논문[4]에 설명되어 있으며, 개발된 태양광 채광시스템의 형상은 그림 2와 같다.

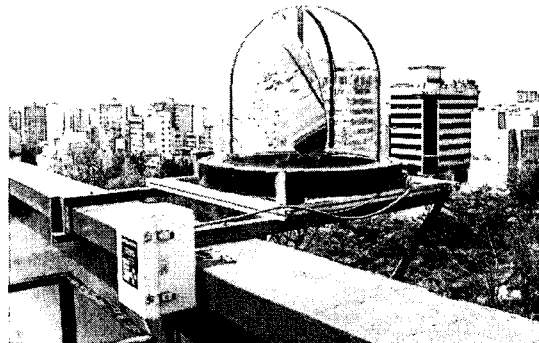


그림 2. 태양광 채광시스템의 설치장면 (K내약 공과대학 옥상)

### 3.3 반사거울의 제작

1차 반사거울은 태양을 추적하여 태양광을 집광하는 장치로 직경이 0.75[m]이고 반사율이 70[%]인 평판원형의 반사거울을 사용하였다. 2차 반사거울은 1차 반사거울에서 반사된 태양광을 실내로 유입시키는 장치로 도로반사경을 구입하여 사용하였다. 이 반사경은 0.80[m]×0.65[m]의 블록사각형 형태로 반사율은 35[%]이다.

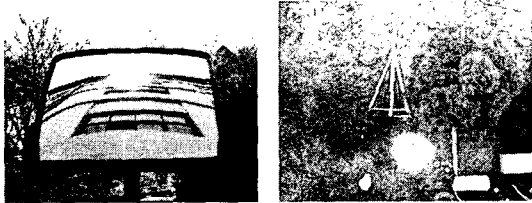


그림 3. 2차반사거울의 중심확인작업

### 3.4 태양광 추적 및 제어

태양의 위치를 추적하고 태양광을 집광하기 위해서 프로그램 및 센서병용방식의 태양광 추적 시스템을 적용하였다. 본 시스템은 태양을 자동으로 추적하며 필요시 수동으로 보정할 수 있도록 개발되었다[4].

1차 반사거울을 제어하는 구동기구는 방위 구동기와 고도 구동기로 구성되었다. 방위구동기의 구동각도는 360[°]이고, 고도 구동기의 구동각도는 수평을 제로로 했을 때 최대 90[°]까지 제어할 수 있다.

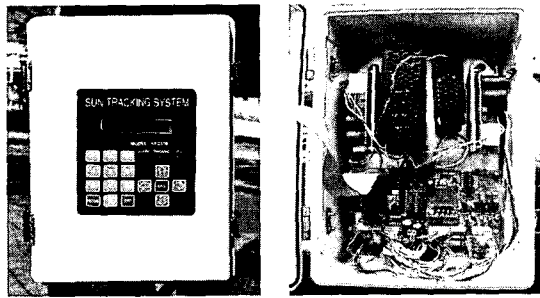


그림 4. 제어용 콘트롤 박스

## 4. 채광성능평가방법

### 4.1 태양광 채광시스템의 설치

개발된 태양광 채광시스템의 설치는 2004년 10월 25일 (주) 동아산전과의 공동작업으로 설치하였으며, 수차례에 걸쳐 채광시스템의 성능을 평

가·보완하였다. 본 시스템의 성능을 평가하기 위해 수원에 있는 K대학 공과대학 5층 옥상 파라팻에 설치하였다.

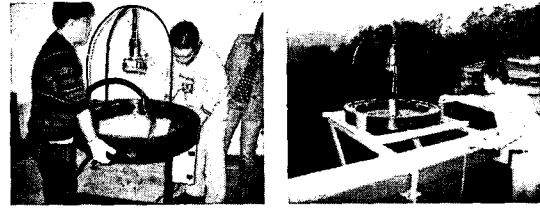


그림 5. 1차 반사거울의 설치

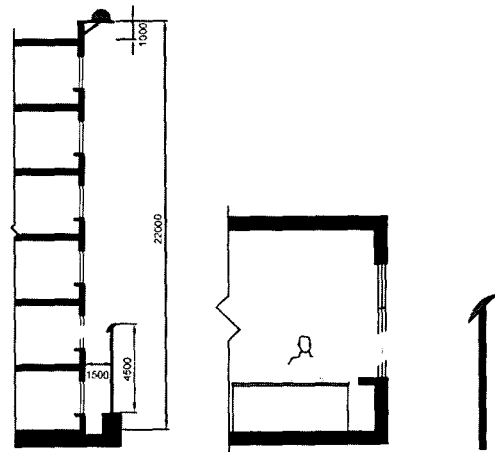


그림 6. 반사거울의 설치면면

실험대상 강의실은 지하1층에 위치해 있으며 북측 창만으로 채광을 하는 곳으로 주간에도 인공조명을 점등해야 조건을 갖추고 있다. 실험대상 강의실은 16.5[m]×7.5[m]×3.5[m]의 장방형의 강의실로 북측면에 3개의 창 개구부를 가지고 있으며 방법을 위한 철망이 설치되어 있다.

본 실험은 철망이 설치된 상태에서 실시하였으며 전체강의실 중 가운데 창 개구부를 중심으로 측정하였다. 측정 시 주변부의 창 개구부를 암막으로 처리하였으며 조명이 꺼진 상태에서 측정하였다. 강의실의 형상은 그림 7과 같다.



그림 7. 실험대상 강의실의 형상

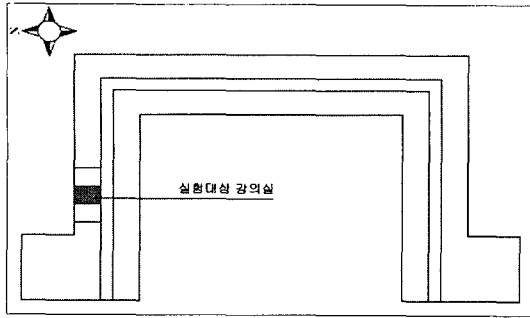


그림 8. 실험대상 강의실의 배치도

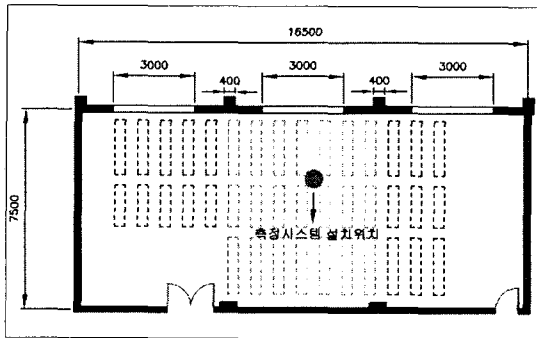


그림 9. 실험대상 강의실의 평면도

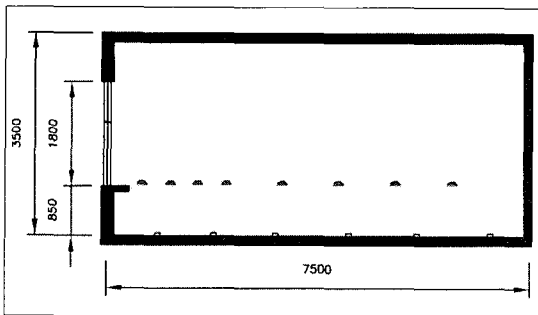


그림 10. 실험대상 강의실의 단면도



그림 11. 2차반사거울의 설치

#### 4.2 채광성능 평가실험

개발된 태양광 채광시스템의 채광성능을 평가하기 위한 실험은 표 3과 같이 2개의 변수를 선정하여 3번의 실험을 실시하였다. 평가실험은 청천공

상태에서 실시하였고, 총 32개의 측정점을 선정, 실내주광조도 및 실외직사일광조도를 2005년 4월 5일 9시30분부터 15시30분까지 측정하였다.

#### 4.2.1 측정 시스템

태양광 채광장치의 채광성능을 평가하기 위한 시스템은 측정시스템과 데이터취득시스템으로 구성되며 그림 12와 같다. 측정시스템은 Li-cor사의 실내외조도센서, Millivolt adaptor로 구성되어 있고 데이터취득시스템은 Agilent사의 단자채널, 데이터로거, PC로 구성되어 있으며 Agilent 4.1 프로그램을 사용하여 센서를 제어하였다[5].

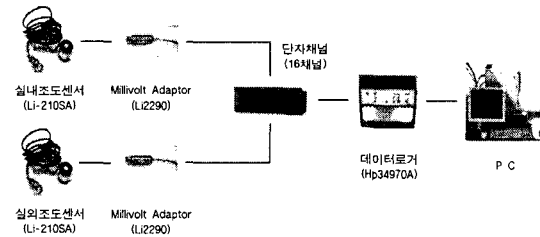


그림 12. 측정 시스템의 구성도

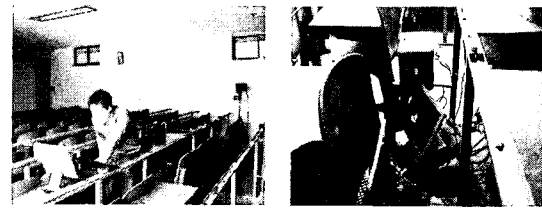


그림 13. 측정 시스템의 조작

#### 4.2.2 측정점의 선정

측정점의 선정은 창에 수직인 방향을 기준으로 하여 창의 중심선과 창의 끝부분에서 실내의 깊이 방향으로 선정하는 것이 원칙이다[6]. 그러나 창 개구부의 창틀 중심과 반사거울의 중심부가 일치하여 반사광을 가려 센서에 그늘을 형성하여 조도의 변화량을 측정하기가 곤란하므로 다음과 같이 측정점을 변경하였다.

채광성능을 평가하기 위해 실 깊이 방향으로 2[m]까지는 창으로부터 0.5[m] 간격으로 4개의 측정점을 선정하였고, 2[m]부터 6[m]까지는 1[m]간격으로 4개의 측정점을 선정하여 모두 8개의 측정점을 선정하였다. 또한 창의 너비 방향으로 창 중심선으로부터 0.45[m]간격으로 2열의 측정점을 선정하였고 그 옆로부터 0.9[m]간격으로 2열을 추가하여 모두 4개의 열을 선정하였다. 측정점은 총

32개를 선정하였으며 실내 조도 측정을 위한 작업 면의 높이는 창의 수직중심선에서 0.85[m]하여 실내 조도를 측정하였다. 측정센서의 사진 및 측정점의 위치는 그림 14 및 그림 15와 같다.

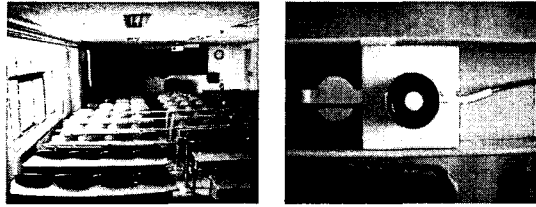


그림 14. 측정점의 선정 및 센서 설치

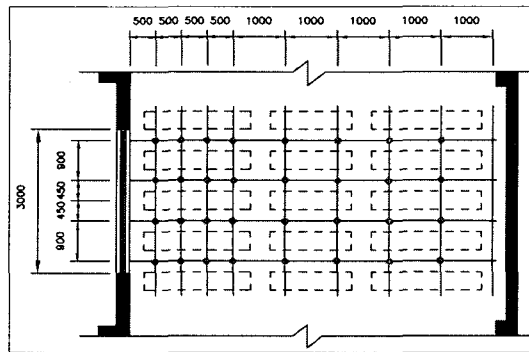


그림 15. 실험대상 강의실의 측정점 선정

#### 4.2.3 측정내용 및 방법

채광성능평가를 위한 측정은 32개의 측정점을 대상으로 2005년 4월 5일 9시 30분부터 14시 30분까지 15초 간격으로 5분씩 20번을 측정하였다.

실험대상 강의실의 측정값을 비교하기 위하여 일영도를 분석하였고 우리나라의 방위에 적합한 일영도를 적용하여 태양의 움직임을 파악하였다 [7][8].

이를 토대로 측정시간을 선정하여 측정을 실시하였다. 측정변수는 표 3과 같으며 측정방법은 표 4와 같이 실시하였다.

표 3. 평가실험의 측정변수

구 분	측정변수		측정내용
	반사거울	창문	
실험1	없음	있음	1. 실내주광조도
실험2	불록	있음	
실험3	불록	없음	2. 직사일광조도

태양의 고도가 같은 9시 30분과 15시 30분, 10시 30분과 14시 30분, 그리고 11시 30분과 13시 30분을 비교하였다. 12시 30분을 기준으로 하여 그 이전의 측정은 반사거울을 설치하지 않은 상태에서 측정하였고 이후에는 반사거울을 설치한 상태에서 측정하였다. 12시 30분 이후에는 두 가지의 측정을 실시하였는데 측정시작 시간으로부터 5분간은 반사거울의 반사광을 측정하였고 나머지 5분간은 창 개구부의 창을 제거한 상태에서 측정하였다. 측정시간을 선정하기 위해 사용된 일영도는 그림 17과 같다.



그림 16. 반사거울에 의한 실내의 채광

표 4. 측정방법

구 분	9시 30분	10시 30분	11시 30분	13시 30분	14시 30분	15시 30분
측정시간	5분	5분	5분	5분	5분	5분
측정간격	15초	15초	15초	15초	15초	15초
측정횟수	20번	20번	20번	20번	20번	20번
측정대상	반사거울 미설치시			반사거울 설치시		
	반사거울 미설치시			창문 제거시		

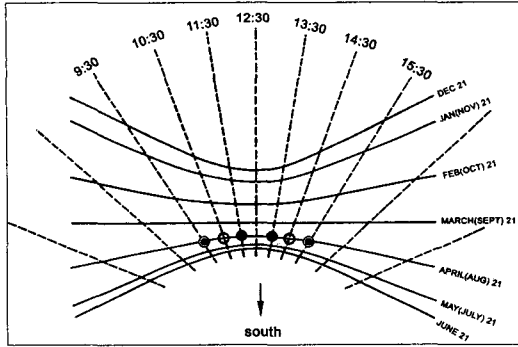


그림 17. 일영도(위도 - 북위 37.16, 수원)

### 4.3 실험결과 및 분석

실험대상 강의실의 실내 주광성능은 주광조도비 (실내주광조도/옥외직사일광조도×100)를 이용하여 평가하였다.

#### 4.3.1 9시30분과 15시30분의 실험결과

9시 30분과 15시 30분에 측정된 실내주광조도 및 주광조도비는 그림 18 및 표 5와 같다. 측정시의 외부직사일광조도는 실험 1의 경우 평균 74,300[lx], 실험 2의 경우 평균 72,500[lx], 실험 3의 경우 평균 73,200[lx]로 측정되었다.

실내주광조도는 실험1의 경우 36[lx]~1,350[lx] (평균 398[lx]), 실험 2의 경우 39[lx]~1,936[lx] (평균 471[lx]), 실험 3의 경우 40[lx]~2,137[lx] (평균 553[lx])로 측정되었다.

주광조도비는 실험 1의 경우 0.05[%]~1.82[%] (평균 0.53[%]), 실험 2의 경우 0.05[%]~2.67[%] (평균 0.65[%]), 실험 3의 경우 0.05[%]~2.92[%] (평균 0.73[%])로 측정되었다.

실험결과, 실내주광조도(주광조도비)는 실험 1과 비교하여 실험 2의 경우 73[lx](22.6%)정도 증가하였고, 실험 3의 경우 155[lx](37.7%)정도 증가하였다.

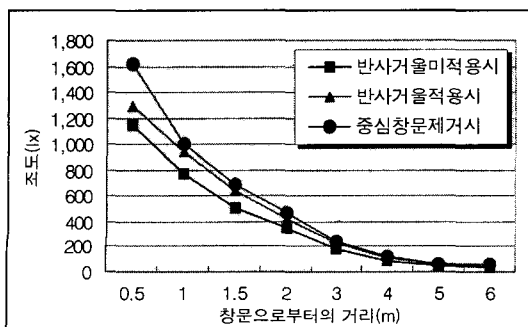


그림 18. 9시30분과 15시30분의 실내주광조도

표 5. 측정점의 거리(m)에 따른 주광조도비(%)

	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
실험1	1.54	1.04	0.69	0.47	0.25	0.12	0.06	0.05
실험2	1.79	1.30	0.89	0.58	0.32	0.15	0.08	0.07
실험3	2.22	1.37	0.94	0.65	0.33	0.16	0.08	0.08

#### 4.3.2 10시30분과 14시30분의 실험결과

10시 30분과 14시 30분에 측정된 실내주광조도 및 주광조도비는 그림 19 및 표 6와 같다. 측정시의 외부직사일광조도는 실험 1의 경우 평균 77,900[lx], 실험 2의 경우 평균 77,300[lx], 실험 3의 경우 평균 77,500[lx]로 측정되었다.

실내주광조도는 실험1의 경우 38[lx]~1,389[lx] (평균 400[lx]), 실험 2의 경우 40[lx]~1,487[lx] (평균 464[lx]), 실험 3의 경우 40[lx]~2,291[lx] (평균 540[lx])로 측정되었다.

주광조도비는 실험 1의 경우 0.05[%]~1.78[%] (평균 0.51[%]), 실험 2의 경우 0.05[%]~1.92[%] (평균 0.60[%]), 실험 3의 경우 0.05[%]~2.96[%] (평균 0.70[%])로 측정되었다.

실험결과, 실내주광조도(주광조도비)는 실험 1과 비교하여 실험 2의 경우 64[lx](17.6%)정도 증가하였고, 실험 3의 경우 140[lx](37.3%)정도 증가하였다.

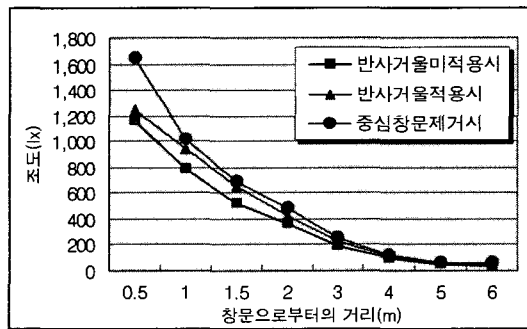


그림 19. 10시30분과 14시30분의 실내주광조도

표 6. 측정점의 거리(m)에 따른 주광조도(%)

	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
실험1	1.49	1.01	0.67	0.46	0.25	0.12	0.06	0.05
실험2	1.61	1.22	0.84	0.54	0.30	0.14	0.08	0.06
실험3	2.12	1.31	0.89	0.62	0.32	0.16	0.08	0.08

### 4.3.3 11시30분과 13시30분의 실험결과

11시 30분과 13시 30분에 측정된 실내주광조도 및 주광조도비는 그림 20 및 표 7와 같다. 측정시의 외부직사일광조도는 실험 1의 경우 평균 83,800[lx], 실험 2의 경우 평균 82,400[lx], 실험 3의 경우 평균 82,600[lx]로 측정되었다.

실내주광조도는 실험1의 경우 41[lx]~1,267[lx](평균 399[lx]), 실험 2의 경우 42[lx]~1,591[lx](평균 476[lx]), 실험 3의 경우 38[lx]~2,291[lx](평균 553[lx])로 측정되었다.

주광조도비는 실험1의 경우 0.05[%]~1.51[%](평균 0.48[%]), 실험2의 경우 0.05[%]~1.93[%](평균 0.58[%]), 실험3의 경우 0.05[%]~2.77[%](평균 0.67[%])로 측정되었다.

실험결과, 실내주광조도(주광조도비)는 실험 1과 비교하여 실험 2의 경우 77[lx](20.8%)정도 증가하였고, 실험 3의 경우 154[lx](39.6%)정도 증가하였다.

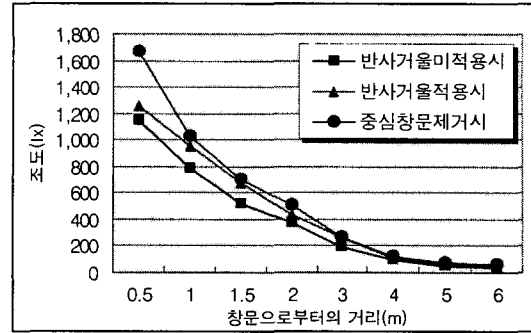


그림 20. 11시30분과 13시30분의 실내주광조도

표 7. 측정점의 거리(m)에 따른 주광조도비(%)

	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
실험1	1.38	0.93	0.62	0.44	0.23	0.11	0.06	0.05
실험2	1.53	1.15	0.82	0.53	0.32	0.14	0.08	0.06
실험3	2.01	1.24	0.85	0.61	0.32	0.15	0.08	0.08

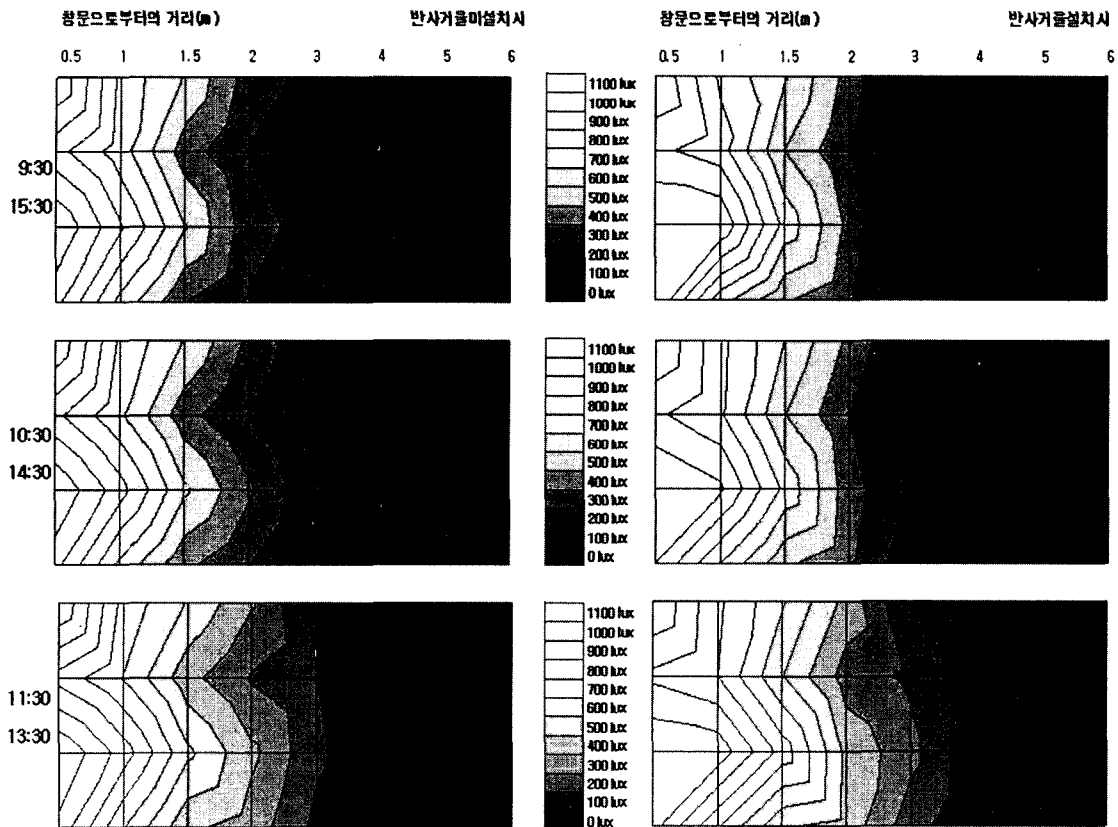


그림 21. 시간별 작업면 조도 분포도

## 5. 결 론

반사거울방식의 태양광 채광시스템은 다양한 건축적 적용과 상용화 및 보급을 고려해 볼 때 선진국에서 이미 그 실용성이 입증된 태양광 채광시스템이다. 이에 본 연구는 개발된 채광시스템의 성능을 평가하였으며, 종합적으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 반사거울형 태양광 채광시스템은 주로 유럽과 일본에서 다양한 형태로 개발되고 있다. 유럽에서는 대형건물의 적용을 위해서 주로 개발되었으며, 일본의 경우에는 소규모 주택에서부터 대규모시설까지 다양한 형태의 시스템이 개발되었다. 그러나 국내에서는 아직 태양광채광시스템에 대한 연구가 미흡한 실정이며 설치된 사례도 실험적인 정도로 그치고 있다. 비교적 우리와 유사한 주거환경과 기후적 조건을 가진 일본의 경우와 비교해 볼 때 많은 연구와 개발이 필요한 실정이다.

2) 개발된 태양광 채광시스템의 적용결과 실내주광조도(주광조도비)는 실험 1과 비교하여 실험 2의 경우 평균 71[lx](20.3[%])정도 증가하였고 실험 3의 경우 평균 150[lx](38.2[%])정도 증가하였다. 반사거울을 설치할 경우(실험 2의 경우) 실내주광조도(주광조도비)는 평균 71[lx](20.3[%])로 실내에 채광량이 증가하여 채광학적으로 유효한 것으로 분석되었다. 창문을 제거한 상태에서 반사거울을 설치할 경우(실험3의 경우) 실내주광조도(주광조도비)는 평균 150[lx](38.2[%])정도 증가하여 창문제거 시 더 많은 채광량을 확보할 수 있으므로 반사거울을 설치하기 전 주변 장애요인에 대한 충분한 고려가 필요하다.

3) 반사거울형 태양광 채광시스템을 적용·평가함으로써 나타나는 문제점들을 지적해 보면 다음과 같다.

- 적용대상 강의실의 규모가 기존논문의 사무실보다 커서 반사거울설치 시 채광성능의 증가가 크지 않았다.
- 태양광 추적을 위해 적용된 자동 제어 시스템의 정확성이 떨어져서 측정 시 자동 제어와 수동 제어를 병행하여 실험하였다.
- 실험 3의 결과 설치된 창에 의해 조도의 증가량이 감소되는 것으로 분석되었다.

## 참 고 문 헌

- (1) 정유근, 김정태, “지하공간 활성화를 위한 반사거울형 채광장치의 성능평가”, 대한건축학회논문집, 17권 5호(통권151호), p.197~202, 2001, 5.
- (2) 김정태, 정유근, 황민구, 강용혁, 임상훈, “반사거울형 태양광 채광시스템의 개발에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 18권 6호(통권164호), p.109~116, 2002, 6.
- (3) 김정태, 황민구, 정유근, “고성능 태양광 채광시스템의 채광성능평가”, 한국태양에너지학회 논문집, vol.22, No.2, p49~59, 2002.
- (4) 황민구, 김정태, “반사거울형 태양광채광시스템의 개발 및 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대학교 박사학위논문, 2003.
- (5) 정인영, 김정태, “복합투과방식을 적용한 실내환경의 채광성능평가”, 경희대학교 박사학위논문, p.33, 2005.
- (6) 이연구, 박진철, 신인중, 권영철, “건축환경측정 및 실습”, 도서출판 세화, p.159, 2002.
- (7) Claude L.Robbins, “DAYLIGHTING : design and analysis”, 1986.
- (8) <http://www.kao.re.kr/>
- (9) <http://www.dasi.co.kr/>
- (10) <http://www.bomin-solar.de/>
- (11) <http://www.sun.or.jp/>
- (12) <http://www.heliobus.com/>
- (13) <http://www.kma.go.kr/>