

천공상태에 따른 수직형 광파이프 시스템의 채광성능 평가

Daylighting Performance of Lightpipe under Different Sky Conditions

공 효 주* 김 정 태**
Kong, Hyo Joo Kim, Jeong Tai

Abstract

The use of daylighting has been increased recently due to energy and visual comfort. The aims of interior daylighting are to adequately illuminate visual tasks, to create an attractive visual environment, and to save electrical energy. Lightpipe can improve the distribution of light to interior spaces.

This study aims to evaluate the comparative daylighting performance of lightpipe under different sky conditions with mock-up model, sized 6m×6m×4m (w×d×h). For the purpose, perpendicular lightpipe system was designed as 650 diameter, with an aspect ratio of 2. Totally 49 measuring points of and two of outdoor illuminance on the horizontal plane were monitored from 09:00 to 18:30 on April 29 and May 15 2008. Agilent data logger and photometric sensor were used. Light factor were used to analyse daylight performance under different sky condition. Under overcast sky condition and clear sky condition, the lightpipe system is suitable for KS recommendation level of illuminance.

키워드 : 광파이프, 주광조도비, 조도

Keywords : Lightpipe, Light factor, Illuminance

1. 서 론

오늘날 고유가 문제 등 에너지 문제가 대두됨에 따라 자연채광은 쾌적하고 시작업 성능이 높은 실내환경을 연출할 수 있을 뿐만 아니라 주간에 조명에너지를 절약시킬 수 있으므로 주광의 가치는 새롭게 인식되고 있다.

자연광은 건축공간의 조명계획에서 좋은 광원이 된다. 건축을 디자인할 때 주광을 적극적으로 이용하면 경제적이며 쾌적한 시환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라, 건축 구조적인 문제를 동시에 해결함으로써 새로운 건축형태를 이뤄 낼 수 있다.

이러한 자연광의 이용을 증대하기 위해 선진국을 중심으로 자연채광의 일반적인 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 건축물의 창을 이용하지 않고 채광장치(헬리오스테이트, 헬리오버스, 프리즘방식 및 광파이프 등)를 이용하여 공산을 채광하는 방식으로는 반사거울형, 헬리오스테이트, 헬리오버스, 프리즘방식 및 광파이프 등이 있다. 이 중에서 반사거울형은 이미 실용화되어 채광성능 평가가 이루어지기도 하였다(김정태 외, 2002). 조도분포의 균일도가 높고, 채광상 이웃건물에 의한 영향을 거의 받지 않으며, 외부로부터 오염물질의 유입이 없어야 하는

곳에 유용한 광파이프 시스템에 대한 연구는 많은 이목을 받고 있는 실정이다.

광파이프와 관련된 연구로써는 다양한 위치인 연구소, 소규모 사무소 및 주택에 광파이프를 설치하여 실내의 채광성능을 비교 분석한 연구(G. Oakley, 2000) 등이 있으며, 국내에서는 실물대 모형을 이용하여 광파이프 시스템의 기초 데이터를 제시하기도 하였다(신혜미, 김정태, 2008).

이상의 연구들을 보면, 다양한 광파이프 시스템에 대하여 청천공 조건시의 채광성능을 평가하였다. 물론 최적 상태인 청천공 조건시의 채광시스템의 성능을 평가하는데 유용한 방법이지만, 외부 천공상태에 따라 광파이프 시스템이 실내에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 실제 실물대 모형(Mock-up Model)을 이용하여 천공상태(청천공, 담천공)에 따른 수직형 광파이프 시스템의 자연채광성능을 평가하는데 연구 목적이 있다. 채광성능의 평가 지표는 주광조도비를 이용하였다.

2. 실험방법

2.1 광파이프 시스템의 개요

광파이프 시스템이란 광원으로부터 멀리 떨어진 곳까지 빛을 옮기는 것을 뜻하는 것으로 파이프 안에 물이나

* 경희대학교 대학원 석사과정

** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수(jtkim@khu.ac.kr)

기름대신 빛을 흐르게 한다는 개념이다. 이에 대한 최초의 시도는 거울을 이용한 것으로서 1881년에 특허로 등록되었다.

광파이프 시스템의 적용 분야는 천장의 넓은 공간, 폭발위험이 있는 환경하의 조명, 열 및 오염물질의 유입이 없는 공간, UV에 의한 피해가 예상되는 공간, 장시간 작업이 진행되는 공간 및 부드러움과 안락함이 요구되는 곳에 많이 이용되고 있다.

그림 1과 같이 광파이프 시스템은 건물의 외벽부에 설치한 채광부(collector), 알루미늄 및 실버 필름 등으로 처리된 고 반사율 유도관(light pipe) 그리고 실내에 빛을 조사하는 산광부(diffuser)로 구성된다.



그림 1. 광파이프 시스템의 구성

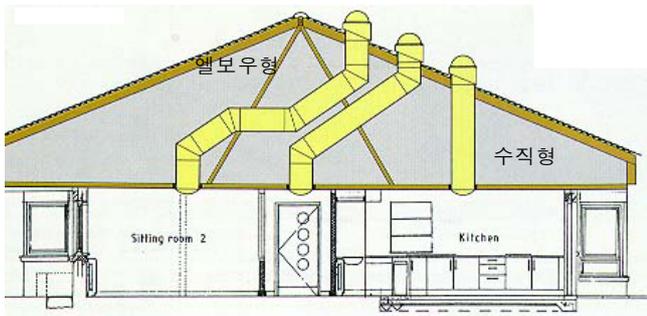


그림 2. 광파이프 시스템의 종류

2.2 광파이프 시스템의 적용사례

최근 고유가 시대가 도래해 연일 유가 폭등 사태가 이어지는 등 에너지에 대한 중요성이 날로 급증하고 있다. 그 중에서도 자연채광은 경제적인 측면뿐만 아니라 쾌적한 환경을 실내에 제공하기 때문에 많이 이용되고 있는 실적이다. 유럽 등 선진국들을 중심으로 광파이프 시스템 및 자연광 유도 시스템을 공장, 지하의 주차시설, 스포츠 시설, 및 전시관 등에 적용한 실제사례가 소개되고 있다(표 1). 그러나 우리나라에 광파이프 시스템은 기본적인 단계에 머물러 있는 시작단계에 불과하다.

표 1. 광파이프 시스템의 적용사례

건물명 (국가명)	건물 외관	실내 모습
Fretor - Puos D'Alpago (독일)		
Eurosped - Tavazzano - Lodi (이탈리아)		
Eco House (영국)		
Dubai ski dome (두바이)		
S교회 (한국)		

3. 연구대상 형상

3.1 Mock-up 모델 개요

광파이프 시스템이 설치된 실내공간의 채광성능평가를 위한 모형의 평가모델은 실길이 6m, 실넓이 6m, 천장높이 4m로 선정하였다. 실물대모형은 경기도 용인시 S건설 아파트 현장 옥상에 설치하였다. 또한 실의 천장 중심에 지름 650mm의 광파이프를 설치하여 자연광이 유입되도록 하였다. 실내마감은 모두 밝은 색의 표면으로 되어 있으며 가구는 배치되지 않았다. 표면의 색, 재료 및 반사율은 표 2와 같다.

표 2. 실내마감재료, 반사율 및 색상

	마감재료	반사율	색상
벽	샌드위치 패널 위에 도색	68	아이보리
천장	샌드위치 패널 위에 도색	68	아이보리
바닥	아스타일	53	옥색

실물대 모형은 아파트 옥상에 설치하여 일조에 영향을 받지 않도록 되어 있다. 연구대상의 평면도, 입면도 및 실제모습은 그림 3, 그림 4 및 그림 5 와 같다.

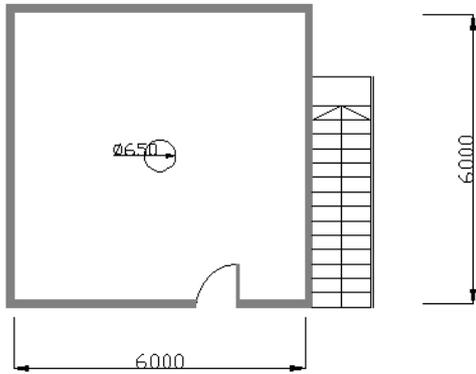


그림 3. 실물대 모형의 평면도

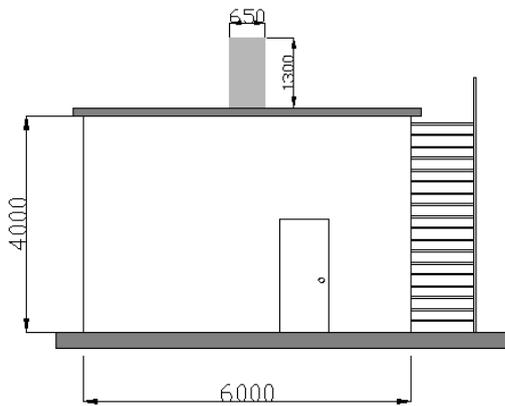


그림 4. 실물대 모형의 입면도



그림 5. 연구대상 실물대 모형의 실제모습

3.2 광파이프 시스템의 설계

본 연구에 사용된 광파이프는 수직형 광파이프 시스템이다. 광파이프 시스템은 SIT 시스템에서 설계 및 제작하였으며, 현재 유통되고 있는 광파이프 시스템 중에서 직경이 가장 큰 650mm를 사용하였다. 형상비는 1:2 (1.3m)로 설계하였다.

광파이프 시스템의 채광부는 외부환경에 대해 튜브를

보호하고 자외선 차단 기능이 있다. 전송부인 유도관은 알루미늄 광학 필름이 부착되어 있어 고 반사율을 가지고 있으며, 스카이 돔으로부터 자연광을 받아 디퓨저로 전송 시킨다. 디퓨저는 아크릴로 제작되었으며, 92%의 투과율을 가지고 있다. 또한, 채광부인 돔 안에는 반사판이 설치되어 있기 때문에 반사판은 일영 곡선도를 이용하여 남향으로 설치하였다. 그림 6은 광파이프 설치시 모습과 광파이프 돔 모습이다.



(a) 광파이프 설치 모습



(b) 광파이프 돔

그림 6. 광파이프 설치 모습 및 광파이프 돔

4. 실험방법론

4.1 조도 측정점 선정 및 방법

채광성능평가를 위한 측정점의 선정은 IEA SHC Task21의 연구결과에 따라 제시된 자연채광 모니터링 프로토콜을 적용하여 조명학적 물리량(실내조도, 실외조도)을 측정하였다. 실내 조도측정은 바닥면으로 하여 조도를 측정하였다.

측정점은 광파이프가 설치된 바닥중심점으로부터 상하좌우 0.8m 간격으로 총 49개의 측정점을 선정하였다. 또한 외부수평면조도와 수직면조도와 함께 동시에 측정하였고, 측정점의 평면상 위치도는 그림 7과 같다.

실험은 2008년 4월 29일 09:00분부터 18:30분까지 실시하였다. 또한 2008년 5월 15일 09:00분부터 18:30분까지 실시하였다. 조도 데이터는 1초 간격으로 획득하였고 획득한 데이터를 1시간 간격으로 분석하였다.

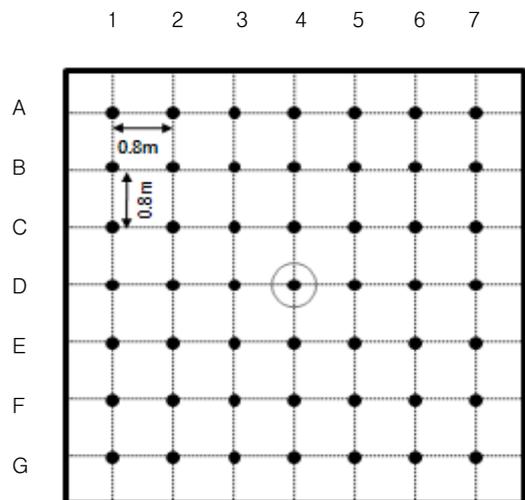


그림 7. 조도측정점의 위치

주광조도의 측정은 Li-cor사의 실내외조도센서와 mA를 mV로 전환해주는 Millivolt adaptor로 구성되었다. 데이터취득시스템은 조도센서와 데이터로거를 연결시켜 주는 Agilent사의 단자채널과 센서를 통하여 측정된 값을 수집하고 저장할 수 있는 Agilent 3 프로그램을 사용하여 센서와 데이터로거를 제어하였다.

측정시스템을 구성하는 LI 210SA조도센서는 실내외조도를 측정할 수 있도록 측정범위가 0-150,000lx이며, 데이터로거 HP34970A는 16개의 센서를 연결할 수 있는 단자채널을 3개 가지고 있어 동시에 다측정과 측정시간의 간격을 제어할 수 있고, 실시간으로 데이터의 변화를 파악할 수 있다.

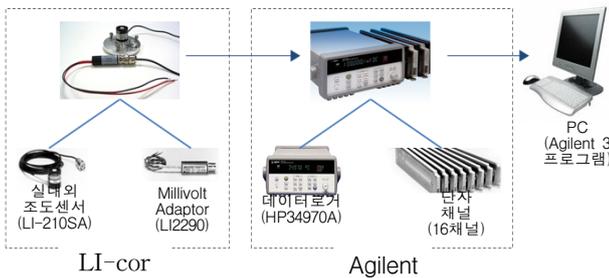


그림 8. 모니터링 시스템 구성도



그림 9. 측정 시스템의 구성모습

측정장비는 Li-cor사의 조도센서 51개, Agilent사의 HP34970Data Logger 2대와 센서를 Data Logger로 연결해주는 단자채널 6대를 사용하였다. 그림 8 및 그림 9는 조도 모니터링 시스템의 구성 및 측정시스템의 구성모습이다.

5. 채광성능평가

5.1 실험시 천공상태 및 외부 수평면조도

실험은 2008년 4월 29일 및 5월 15일 9시부터 18시까지 주변에 방해건물이 없는 경기도 용인시 하갈 S아파트 옥상에 설치된 실물대 모형에서 실시하였다. 청천공 상태인 5월 15일의 기상상태는 운량 1.5/10로서, 옥외 수평면 주광조도가 최대 109,181[*lx*], 최소 21,724[*lx*]로 나타났다. 또한, 담천공 상태인 4월 29일의 기상상태는 운량 9/10로서, 옥외 수평면 주광조도가 최대 58,531[*lx*], 최소 23,509[*lx*]로 나타났다(그림 10 참조).

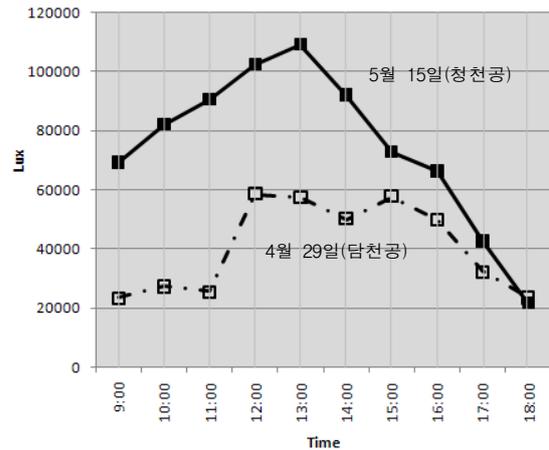


그림 10. 옥외 수평면조도 [*lx*]



(a) 4월 29일(담천공)

(b) 5월 15일(청천공)

그림 11. 측정일의 천공상태

또한, IEA SHC Task21의 자연채광 측정모니터링 프로토콜에 따라 옥외수평면조도는 건물 지붕 위 1[m]에서 실험시간의 경과에 따라 연속적으로 측정하였다.

5.2 실내 공간의 조도분석

담천공과 청천공 상태에서의 주광조도비를 분석한 결과는 그림 12와 같다.

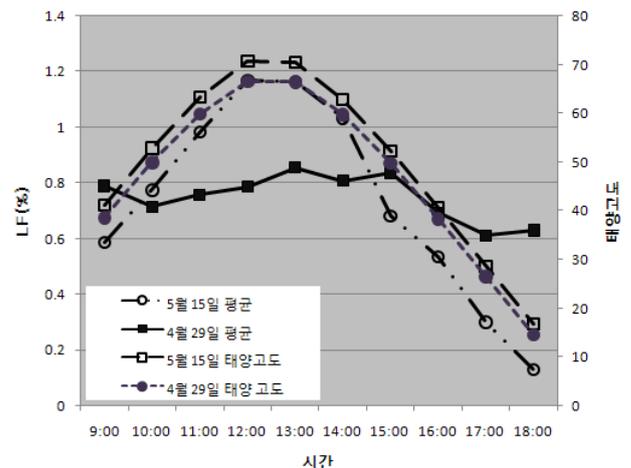


그림 12. 바닥면의 주광조도비[%]

청천공시 실내바닥면의 최대 주광조도는 오후 13시로 1,548[*lx*]로 나타났으며, 최소 주광조도는 오후 18시로 33[*lx*]로 나타났다. 이는 49개의 측정점중에 D4에 해당되는 지점이다. 또한 담천공시 실내 바닥면 최대 주광조도는 오후 13시 492[*lx*]로 나타났으며, 최소 주광조도는 오

표 3. 광파이프 설치시 실물대 모형 실내공간의 주광조도 분포도

시간	5월 15일 (청천공)	4월 29일 (담천공)
9:00		
12:00		
15:00		
18:00		

후 18시 149[lx]로 나타났다. 이는 측정점중에서 D4의 지점으로 청천공과 동일하다. 즉, 태양의 고도가 낮은 18시와 태양의 고도가 높은 13시의 빛의 입사 지점은 동일하게 나타났다. 이는 산광부인 디퓨저 및 유도관의 영향으로 실내의 직사일광을 제어하는 것으로 판단된다.

일반 사무실 환경에서의 KS 최소권장조도 300[lx]를 기준으로 분석하였다. 청천공시 일반사무실의 근무시간(9시~18시) 주광조도는 평균 91[lx](오후 18시)~809[lx](오후 13시)로 나타났으며, 담천공시 평균 주광조도는

149[lx](오후 18시)~492[lx](오후 13시)로 KS 최소권장조도값을 만족시키는 것으로 나타났다. 즉, 천장높이가 4m, 바닥면적 36m² 정도에 해당되는 주택, 사무소 및 공장 등에서 광파이프 시스템이 실내공간의 채광성능이 향상되어 재실자의 쾌적성 및 시작업 성능이 크게 향상 될 것으로 사료된다. 또한, 광파이프 시스템이 설치된 실내 공간에 인공조명의 필요성이 적기 때문에 에너지 절약 효과를 증대시킬 가능성이 크다.

시간대별 바닥면의 주광조도비를 측정된 결과, 청천공시

표 4. 시간대별 바닥면의 채광성능 (주광조도/주광조도비)

시간	청천공(5월 15일)			담천공(4월 29일)		
	최대(lux/%)	최소(lux/%)	평균(lux/%)	최대(lux/%)	최소(lux/%)	평균(lux/%)
09:00	468/0.68	278/0.40	407/0.59	367/1.14	97/0.41	186/0.79
10:00	844/1.22	998/0.40	537/0.77	398/1.01	205/0.38	354/0.71
11:00	998/1.44	382/0.55	682/0.98	400/1.18	325/0.49	393/0.76
12:00	1,412/2.04	346/0.50	809/1.17	691/1.18	289/0.49	461/0.79
13:00	1,548/2.23	317/0.46	806/1.16	787/1.37	283/0.49	492/0.86
14:00	1,102/1.59	355/0.51	716/1.03	591/1.79	273/0.49	439/1.12
15:00	713/1.03	241/0.35	472/0.68	668/1.16	310/0.54/	484/0.84
16:00	434/0.63	275/0.40	371/0.54	417/0.84	266/0.53	346/0.69
17:00	271/0.39	155/0.22	208/0.30	393/0.78	256/0.48	301/0.61
18:00	137/0.85	33/0.05	91/0.13	201/0.05	96/0.41	149/0.63

평균 주광조도비의 최대값은 2.23%이며, 담천공시는 1.79%로 나타났다. 또한, 청천공시 평균 주광조도비의 최소값은 0.13%, 담천공시는 0.61%로 나타났다. 즉, 청천공시 평균 주광조도비의 최소값과 최대값의 차이가 17배, 담천공시는 3배 차이가 나타났다.

청천공 조건시 시간대별 바닥면 주광조도분포도(표 3)를 분석한 결과, 광파이프가 설치된 바로 아랫부분의 중심으로부터 0.8m 떨어짐에 따라 주광조도가 평균 2.4%씩 감소하는 것으로 나타났다. 광원으로부터 최대 2.4m 떨어진 곳에는 6.5% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 담천공시에는 광원 중심으로부터 0.8m 떨어짐에 따라 주광조도가 평균 1.3%씩 감소하였으며 최대 2.4m 떨어진 곳에는 2.4% 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 감소량이 거의 변하지 않는 광파이프 시스템은 확산성이 높아 작업량이 많은 오피스 및 공장 등에 적합한 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구는 천공상태에 따른 광파이프 시스템이 적용되었을 경우 실내공간의 채광성능을 평가한 것으로써, Mock-up을 이용하여 담천공시와 청천공시의 채광성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

① 청천공시의 실내 평균 주광조도는 91[lx](오후 18시) ~ 809[lx](오후 13시)였으며, 최대 1,548[lx]로 나타났다. 담천공시 평균 주광조도는 149[lx](오후 18시)~492[lx](오후 13시)로 일반사무실의 KS 최소권장조도 300[lx]를 만족시키는 것으로 나타났다. 즉, 인공조명의 필요성이 감소하여 광파이프 시스템이 설치된 실내 공간에 에너지 절약 효과를 나타낼 것으로 사료된다.

② 청천공 및 담천공시 시간별 바닥면 주광조도분포도를 분석한 결과, 청천공은 광원을 중심으로 0.8m 떨어짐에 따라 평균 2.4% 감소하며, 담천공은 평균 1.3%씩 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 광파이프가 설치된 실물대 모형 내부에 균일한 주광조도비가 유지되고 있는 것으로 나타났다.

③ 바닥면의 주광조도비를 분석한 결과, 청천공시 평균 주광조도비의 최소값과 최대값의 차이가 17배, 담천공시는 3배 차이가 나타났다.

따라서 무창공간, 장시간 작업이 필요한 장소 및 안락함과 부드러움이 필요한 공간에 주광조도비 및 실내의 휘도분포 측면에서 실내에 효율적이고 쾌적한 자연채광을 창출해낼 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2006-000-10712-0).

참고문헌

- 김정태 외 5명, “광 파이프 시스템의 채광성능 평가”, 대한건축학회 논문집, 제17권 제4호, pp. 119-124, 2001.04
- 김정태 외 4명, “반사거울형 태양광 채광시스템의 개발에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제18권 제6호, pp. 109-116 2002.06
- 신혜미, 박훈, 김정태, “수직형 라이트파이프의 채광성능에 관한 예비평가”, 한국생태환경건축학회 논문집, 제8권 제1호, pp. 53-60, 2008.02
- 이경희, “건축환경계획”, 문운당, pp. 317-469, 2007
- D. Jenkis, T. Munner, “Modelling light-pipe performance - a natural daylighting solution”, Building and Environment, Vol. 38, pp. 965-972, 2003
- G. Oakley, S. B. Riffat and L. Shao, “Daylighting Performance of Lightpipes”, Solar Energy, Vol. 69, No. 2, pp. 89-98, 2000
- IEA SHC Task 21, “Daylighting in Buildings”, ECBCS Annex 29, 2000.06
- M. Paroncini, B. Calcagni, F. Corvaro, “Monitoring of a light-pipe system”, Solar Energy, Vol. 81 pp. 1180-1186, 2007
- S. Szokolay, “Environmental Science Handbook for Architects and Buildings, pp. 91, 1979
- <http://www.solarspot.it/it/>
- <http://www.whilkor.com/>

투고(접수)일자: 2008년 5월 20일
 심사일자: 2008년 5월 23일
 게재확정일자: 2008년 6월 20일