

# 광파이프 시스템의 조명기술 및 건축적 활용 연구

## A study on light pipe system technology and its application

신 주 영\*                      김 곤\*\*                      김 정 태\*\*\*  
Shin, Ju Young              Kim, Gon                      Kim, Jeong Tai

### Abstract

The use of natural light can improve the quality of indoor environment and also occupants health. In recent years, with an increasing awareness of sustainable development, various innovative methods of integrating daylight into the building have been developed. One such device is the light pipe system. The light pipes are innovative daylighting system that allow the transmission of daylight into the hard-to-reach indoor space. The system consist of mainly three parts. First, a top collector which is mounted on the outside of the roof and gathers skylight and sunlight. Second, light-reflective tube which is coated with highly reflective mirror finish material to transmit the daylight into the diffuser. Third, a diffuser which is installed on the ceiling in the room and spread the daylight into the room. Light pipes have been widely used and researched in many countries such as Australia, America, Canada and Britain. However, despite the significant daylight potential, little work have been carried out in Korea compare to the other countries. In this study, recent lighting technology and application of light pipe system in both Korea and other countries have been compared. For the results, the benefits of each light pipe system and suitable application in Korea is also discussed.

키워드 : 광파이프 시스템, 자연채광, 채광성능, 건축조명

Keywords : Lightpipe system, daylighting, daylighting performance, Architectural lighting

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

자연광은 실내환경의 질적 개선을 증대시켜 재실자의 건강과 정서적 만족감을 증진시킨다. 최근 선진국에서는 자연채광으로 인한 시환경의 쾌적성에 큰 관심을 갖고 있으며 주광을 이용한 조명에너지 절약에 착안하여 첨단 고성능 채광시스템을 개발하여 적용하고 있는 실정이다. 자연채광장치는 고밀하고 고층화된 도시공간의 일조확보 및 지하공간 등 자연채광이 어려운 모든 실내공간에 태양광의 도입이 가능해 토지이용률의 극대화와 환경친화적인 실내환경을 조성할 수 있다. 유럽이나 미국과 같은 국외의 경우 여러 채광장치 중에서 광파이프 시스템의 시공성, 경제성, 채광성능을 높이 평가하여 많은 건물에 적용이 되고 있다.

광파이프시스템은 주간과 같이 밝을 때에는 집광부를 이용하여 주광을 조명광원으로 활용하고 야간이나 혹은 담천공의 경우에는 전기에너지가 절감되는 무전극램프나 메탈할라이드램프, LED램프를 사용하여 조명광원으로 활용하게 된다. 자연채광을 조명광원으로 활용할 수 있어 시

환경개선, 등기구의 눈부심 감소, 전기조명에너지절감을 동시에 실현할 수 있다. 국외의 경우, 시뮬레이션이나 현장실험 등을 이용하여 광파이프 시스템의 개발 및 채광 성능평가에 대한 연구가 활발한 반면 국내의 경우는 연구의 범위와 적용사례가 국외에 비해 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 광파이프 시스템의 국내 활성화를 위하여 국내의 개발현황 및 건축적 적용방법을 분석하는데 연구목적이 있다.

#### 1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 광파이프 시스템의 조명기술 및 건축적 활용을 분석하기 위하여 첫째, 광파이프 시스템의 정의 및 구성을 문헌고찰을 통하여 조사하고, 광파이프 시스템의 채광성능에 대한 선행연구를 분석하였다. 둘째, 국내외 광파이프 시스템의 개발현황을 문헌과 인터넷 검색을 통하여 조사, 분석하였다. 셋째, 국내외 광파이프 시스템의 건축적 적용사례를 분석하기 위하여 개발회사별로 분류하고 시스템이 설치된 건물의 용도, 위치, 시스템의 특징을 분석하였다, 이를 종합하여 광파이프 시스템의 국내 적용방안에 대한 문제점을 분석하였다.

\* 경희대학교 대학원 석사과정  
\*\* 국립강원대학교 교수, 건축학박사  
\*\*\* 교신저자, 경희대학교 교수(jtkim@khu.ac.kr)

2. 광파이프 시스템의 이론적 고찰

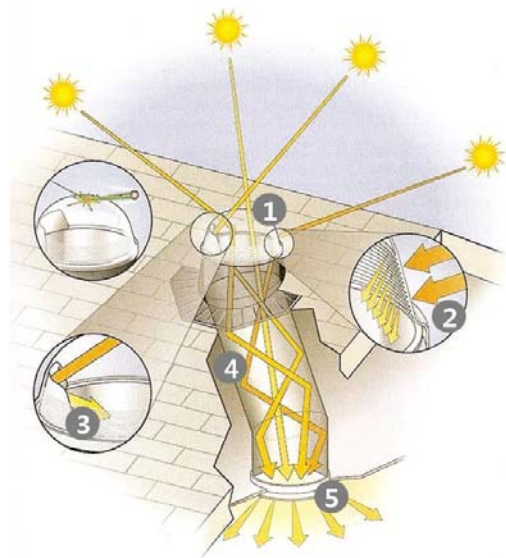
2.1 광파이프 시스템의 개요

광 파이프 시스템은 지붕에 설치한 아크릴 돔 또는 반사거울 등에 의해 태양광을 집광하는 채광부(collector), 수집된 태양광을 실내로 전송하기 위해 알루미늄 또는 실버 필름 등으로 내부를 처리한 고 반사율의 유도관(light pipe), 그리고 실내에 빛을 조사하는 확산부(diffuser)로 구성된다. 표2.1에 광파이프 시스템의 개요를 나타낸다.

표 2.1 광파이프 시스템 개요

번호	설명
① 채광부	채광부의 돔으로서 플라스틱 재질로 만들어지는 것이 일반적이며 여기서 태양광을 집광하여 파이프로 전송하게 된다.
② 보조 장치	태양고도가 낮을 경우에는 ②의 보조 장치가 태양광을 집광
③ 보조 장치	돔 내부에 북향으로 반사체를 설치하여 태양광을 집광
④ 유도관	고 반사율을 갖는 재질로 구성되며 자외선이나 가시광선을 배제한 빛을 유입
⑤ 디퓨저	파이프 하단의 디퓨저를 통해 실내로 빛 유입. 다양한 형태로 실내 분위기 연출

개념도



광 파이프 시스템은 자외선이 제거된 태양광을 실내에 유입할 수 있는 우수한 채광장치로 다른 시스템에 비해 값이 싸고 시공 및 유지관리가 비교적 간단하며 조광기의 설치로 필요시 부족한 자연광의 보완 및 인공조명과 통합설계가 가능하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 설치 후 변경이 어렵고 유도관이 긴 경우 채광 성능이 떨어져 자연광의 유입이 실내 근거리에서 제한되는 단점을

지니고 있다. 담천공 상태에서는 필요시 부족한 태양광을 보완할 수 있는 시스템 내부에 보조 조명장치가 필요하다. 광 파이프 시스템은 주택 소규모 건물에서 주로 이용되고 있으며, 설치 후에는 변경이 어려우므로 설계단계에서 시스템에 관한 충분한 고려가 필요하다.

표 2.2 광파이프 시스템 설계요소

구분		요소
외부 변수	기후	대지위치, 태양고도, 주광량
	대지	외부 장애물
내부 변수	실	방위, 실내면 반사율
시스템 변수	채광부	형태
	전송부	길이와 지름의 형상비, 반사율
	확산부	디퓨저 형태

2.2 광파이프 시스템에 관한 선행연구

광파이프 시스템에 관한 연구는 국내, 국외 모두 1990년대 후반부터 중점적으로 이루어졌다. 국내에서는 김종진(1998)은 10cm직경의 PVC 파이프에 95% 반사율을 지닌 Mylar film으로 마감된 광파이프 시스템으로 입사장치의 유무, 형상비, 각도에 따라 채광성능을 분석하였다. 결과로는 광파이프 시스템은 반사횟수가 많을수록 효율이 감소하고 시스템의 관경은 크고 길이가 짧을수록 채광성능이 높아진다고 하였다.

김정태(2001)는 집광부는 투명아크릴돔, 유도관은 지름 40cm에 길이 62cm이며, 반사율 95%의 격자형 그릴로 구성된 광파이프 시스템의 채광성능을 돔 형상, 그릴 설치 및 제거에 따른 채광성능을 분석하기 위하여 광파이프 시스템으로부터 50cm간격으로 6지점을 측정하여 결과로는 시스템에서 1.5m떨어진 지점부터 채광량 유입이 적다고 하였다. 또한 그릴 설치 시 실내조도가 균일하게 분포되지만 실내유입 조도는 감소한다고 분석하였다.

최근에는 신혜미(2008)가 직경 250mm, 길이 500mm, 멀티레이어 알루미늄 광학필름으로 구성된 광파이프 시스템의 채광성능을 실내바닥면 조도 9점, 수직 축 조도1점을 측정하여 광 중심에서 6m내에서는 사무실 공간에서 작업시 양호한 채광성능을 갖는 것으로 분석하였다.

또한 공효주(2008)는 경기도 용인시 S건설 아파트 옥상에 6m x 6m x 4m 형상의 컨테이너를 설치하여 광파이프 채광성능을 측정하였다. 실내 바닥면 상하좌우 0.8m 간격으로 49점에 조도센서를 설치하여 조도를 측정한 결과, 청천공시 광원중심에서 0.8m 멀어질수록 0.4%감소, 담천공시에는 1.3%감소하는 것으로 나타났다.

이 외에 주광대신 인공조명을 이용한 광파이프시스템의 연구고찰에서는 정학근(2001)의 경우 프레즈넬 렌즈를 이용한 복합조명시스템으로 32W 2기 형광등에 상응하는 조명효과를 나타냄을 증명하였다.

국외의 경우 L Shao(1997)는 330mm지름에 직경 1.2m, 반사율 95%, 아크릴 돔으로 구성된 Sunpipe사의 광파이프

시스템의 채광성능 분석을 실 내벽이 백색과 검정색인 경우를 청천공과 담천공시 각각 비교하였다. 그 결과 내벽이 백색인 경우와 청천공 시 채광성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. G. Oakley(2000)는 Monodraught사의 광파이프 시스템에서 지름이 330mm, 435mm이고 환경이 2.7m, 90mm, 1.2m로 서로 다른 크기의 광파이프 시스템을 각기 다른 공간에 설치하여 채광성능을 분석하였다. 이 결과 광파이프 바로 아래는 1538lx로 가장 밝고, 가장 어두운 부분은 41lx, 평균 366lx로 나타나 평균 0.48%의 주광률을 나타냈다. 또한 지름이 크고 환경이 짧은 광파이프 시스템의 채광성능이 가장 뛰어나게 분석되었다.

최근의 연구로는 M. Paroncini(2007)가 250mm지름에 직경 1m, 폴리카보네이트 돔, 3M미터 필름을 이용한 광파이프 시스템의 채광성능을 1년동안 모니터링 한 결과를 분석하였다. 그 결과 평균 겨울과 봄의 주광률은 비슷하게 나타났으며, 집광부의 돔이 아침의 주광을 입사시키는데 큰 효율이 있는 것으로 분석하였다.

국내외 모두 현장측정을 한 실험연구가 대부분 진행되었는데 국외의 경우는 계절, 태양위치, 시스템 크기, 천공상태 등 구체적 변수에 따른 실험이 활발히 진행된 반면 국내의 경우는 다양한 변수를 적용한 채광성능 분석이 미흡하다고 판단되었다. 표2.3에 국내외 선행연구를 정리한다.

표 2.3 국내외 광파이프 시스템 선행연구

구분	연구자	논문제목	연구내용
국내	김종진 외 (1998)	광파이프 시스템의 주광전달효율	반사횟수 많을수록 시스템 효율 감소
	김정태 외 (2001)	광파이프 시스템의 채광성능평가	시스템에서 1.5m 외부에서 채광량 유입 적음
	정학근 외 (2001)	광파이프 전송 및 조명기술연구	32W 2기 형광등에 상용하는 조명효과
	신혜미 외 (2008)	라이프파이프의 채광성능에 관한 예비평가	광 중심에서 6m 내에서의 시작업 양호한 조도 분포
	공효주 외 (2008)	천공상태에 따른 수직형 광파이프 시스템의 채광성능 평가	청천공, 담천공 모두 일반사무실 KS권장조도기준 만족
국외	L Shao (1997)	A study of performance of lightpipes under cloudy and sunny condition in the UK	청천공의 백색마감 2200lx, 흑색마감 1600lx, 담천공 백색마감 1600lx, 흑색마감 590lx
	G. Oakley (2000)	Daylight performance of lightpipes	환경 크고, 직경 짧을수록 효율 좋음
	M. Paroncini	Monitoring of a Lightpipe system	겨울과 봄의 평균주광률 비슷함

### 3. 광파이프 시스템의 개발 및 적용

현재 여러 종류의 광파이프 시스템이 상용화 되어 있는데 보다 효율을 높이기 위하여 집광부분을 렌즈를 사용하거나 프레넬 필름을 사용하는 등의 많은 형태가 존재하고 태양광의 변화를 추적하여 시간의 변동에 무관하게 많은 양의 집광을 시도하는 시스템도 존재한다. 또한 자연통풍을 위하여 환기장치와 통합된 시스템도 개발되어 상용화되고 있다. 본 논문에서는 국외 광파이프 시스템은 Monodraught사에서 개발한 Sunpipe와 자연환기 시스템이 통합된 Suncatcher 시스템, Solatube사에서 개발한 Brighten Up® Series와 SolaMaster® Series, Velux사에서 개발한 Sun tunnel 시스템을 분석하였으며, 국내에서는 (주)SIT시스템의 Solaspot과 휠코리아의 광파이퍼형과 광덕트시스템을 분석하였다. 표3.1에 본 연구에서 분석한 광파이프 시스템 개발현황을 나타낸다.

표 3.1 광파이프 시스템 국내외 개발현황

회사	국가	시스템명
Monodraught Ltd	영국	Sunpipe, Suncatcher
Solatube Inc	미국	Brighten Up® Series, SolaMaster® Series
Velux	덴마크	Sun tunnel
(주) SIT 시스템	한국	Solaspot
(주)휠코리아	한국	광덕트형, 광파이퍼형

#### 3.1 국외 광파이프 시스템의 개발 및 적용

##### 3.1.1 Monodraught Ltd

Monodraught사는 1982년 자연환기시스템 개발회사로 시작하여 1996년 Sunpipe를 개발하여 영국에서 시판하였으며 Monodraught사의 Sunpipe는 대부분 유럽과 북미에서 적용되고 있다. 현재는 Sunpipe시스템과 자연환기와 자연채광이 통합된 시스템을 개발하여 상용화하고 있다.

Monodraught사의 자연채광시스템은 Sunpipe란 시스템으로 지붕형태나 길이에 제한 없이 설치할 수 있도록 개발된 시스템이다. 현재 주거시설부터 학교, 병원, 지하공간 등 다양한 공간에 설치되어 있다. 상부는 폴리카보네이트 돔으로 제작되어 먼지와 오염물질이 파이프 안으로 들어오는 것을 방지하며, 고 반사율 튜브를 통해 입사된 빛은 실내 천정에 설치된 다양한 모양의 디퓨저를 통해 실내로 입사된다.

상부의 돔은 다이아몬드형 돔으로 태양의 고도가 낮을 때에도 빛이 유입될 수 있는 형태와 일반형인 둥근 돔이 제작되고 있다. 폴리카보네이트 재질로 자외선을 차단하고 외부환경에 저항성을 높여야 할 때에는 4mm두께의 아크릴 재료를 사용하여 깨지지 않도록 하였다. 튜브는 98%의 반사율을 갖는 은색의 코팅된 알루미늄 필름을 사용한다. 이때 코팅은 PVD라는 재료를 이용하여 자외선을 차단하고 자연광의 연색성을 높이는 역할을 하게된다. 크

기는 400mm-1500mm까지 제작된다.

주거시설이나 한 공간만을 채광하는 소규모 공간에서는 230mm-530mm의 다이아몬드형 돔을 갖는 제품을 주로 이용하며 공장, 강당과 같은 대규모 공간에서는 530mm-1500mm의 대형 Sunpipe를 이용하여 채광한다.

Monodraught사의 자연채광과 자연환기가 통합된 시스템으로는 Suncatcher, Monovent suncatcher, Sola-vent라는 시스템이 있다. Suncatcher 시스템은 모든 방향에서 신선한 외기가 실내로 유입될 수 있도록 설계되었다. 바람의 움직임은 4면으로 뚫려있는 기기로 들어와 덕트를 통해 실내로 유입된다. 이같은 환기방법은 굴뚝효과 원리를 이용한 것으로 온도차의 변화와 자연적인 바람의 순환에 의하여 이루어지며, 필요시에는 수동모터나 자동모터를 시스템 하부에 설치하여 환기량을 조절하게 된다. 시스템 중앙에는 썬파이프가 설치되어 실내로 자연광을 유입하게 된다.

본 시스템의 가장 큰 장점은 4면에서 바람을 유입할 수 있기 때문에 바람의 방향이 바뀌게 되면 시스템의 공기 유입과 방출의 기능도 변환되어 환기를 한다. 또한 온도와 공기질을 조절하는 센서와에 따라 댐퍼의 운영이 조절되도록 설계되었다. 즉 여름철에는 야간에 댐퍼가 열려있도록 프로그래밍되어 신선한 외기가 도입되도록 하며, 겨울철에는 댐퍼가 부분환기만 되어 적정 실내 내부 온도를 조절한다.

Monovent suncatcher시스템은 절약형 Suncatcher 시스템으로 주로 주거시설이나 소규모 공간에서 이용할 수 있도록 개발된 시스템이다. Suncatcher 시스템과 같은 원리이지만 더 작은 형태로 제작되었으며, 모든 형태의 지붕에 설치될 수 있다. 천정의 환기구는 개구면적을 조절할 수 있으며 크롭이나 황동으로 마감한다. Sola-vent 시스템은 콤팩트 형광등2개, 태양열로 움직이는 배기덕트가 하나의 시스템으로 통합된 제품이다. 태양열은 PV판넬을 이용하며 태양열로 전력이 부족하면 배터리 충전도 가능하게 되어있다. 저녁시간에는 콤팩트 형광등으로 빛을 대체하게 된다. 본 제품은 230mm, 300mm로 제작되어 주로 주거시설에 설치된다.

### 3.1.2 Solatube International Inc

Solatube사는 광파이프 시스템에 있어서 다음 네가지의 기본 요소를 갖는다. 첫째, Raybender3000이라는 자연광 유입 돔 렌즈로 태양고도가 낮은 자연광도 유입하며, 여름철의 자연광은 감소시키며 실내에는 균일한 조도분포로 입사되도록 한다. 둘째, 돔안에 태양추적장치로 연중 균일하게 빛이 입사될 수 있다. 셋째, Spectralight infinity tubing기술로 99.7%의 고반사율을 갖는 튜브를 개발하여 유입된 빛을 전송시킨다. 넷째, 다양한 디퓨저는 자외선을 차단하고 유틸컬 렌즈를 이용하여 글레어를 조절하고 시각적 편안함을 고려하였다. 제품에는 Brighten Up® Series와 SolaMaster® Series가 있다.

Brighten Up® Series는 자연채광과 환기를 통합하여 사용할 수 있는 시스템으로 크기에 따라 Solatube

160DS, Solatube 290DS로 구분되며 주로 소규모나 중규모 공간에 설치된다. 자연광이 돔안에 유입되어 다시 반사되는 면적을 유효자연광유입면적 (Effective Daylight Capture Surface (EDSC))이라고 하는데 추적장치가 없는 기본형 250mm인 시스템의 경우 유효자연광유입면적이 506㎡인데 반해 태양추적장치가 부착된 Brighten Up® Series 제품은 1032㎡로 산출되었다.

SolaMaster® Series는 상업공간, 학교, 병원 등 대규모 공간을 위한 광파이프 시스템으로 Solatube 21-C와 Solatube 21-O제품이 있다. Solatube 21-C는 둥근 튜브를 사각형 디퓨저로 마감될 수 있도록 제작되어 일반적인 상업공간의 천정에 보다 쉽게 시공될 수 있도록 하였다. Solatube 21-O는 자연광의 직접적인 유입을 위하여 천정마감을 하지 않는 방식으로 주로 공장, 창고, 체육관 등에 설치하는 제품이다. 타 시스템에 비해 빛 손실이 적어 더 많은 자연광이 유입되는 장점이 있다.

### 3.1.3 Velux company Ltd

Velux의 광파이프 시스템은 Sun Tunnel시리즈로 제작되어 설치 형태에 따라 고정형의 TMR, TGR, TWR시스템, 가변형의 TMF, TGF, TWF 시스템으로 구분되며, 집광부 형태에 따라 돔형과 사각형으로 구분된다.

돔형 Sun Tunnel 시스템은 자외선 차단돔, 경사지붕에 설치 가능한 어답터, 일체형 금속 플래싱, 고정형 은색 튜브로 구성된다. 금속 플래싱은 돔과 일체형으로 빛의 누출을 방지하며, 돔이 더러워지거나 부식되는 것을 방지한다. 금속 플래싱은 경사진 플래싱과 수평형 플래싱이 있는데 경사진 플래싱은 남향 빛을 유입하는데 더욱 효과적이며 지붕과 같은 라인을 형성하여 심미적으로 눈에 덜 띄는 효과가 있다. 반면 수직형 플래싱은 균제도가 높은 실내 조명환경을 제공한다. 은색튜브는 거울효과를 지닌 튜브로 자연광을 백열등의 빛이 실내로 유입되도록 한다. 고정형 설치는 경사지붕과 수직형 파이프의 비율이 3:12에서 8:12까지만 가능하며 그 이상일 경우에는 가변형 튜브를 사용하게 된다.

사각형 Sun Tunnel 시스템은 4mm강화유리 측창을 지붕구조에 고정된 광파이프 시스템이다. 외부에서 보기에 지붕의 측창과 같은 형태로 되어있어 심미성을 강조한 형태이다. 플라스틱이 아닌 유리를 사용하여 수명이 길고 자연광의 연색성이 더 높은 장점이 있다. 그러나 지름이 350mm만 제작되므로 설치에 제약이 따르는 단점이 있다. 빛이 들지 않는 주거시설의 복도, 화장실 등의 소규모 공간에 적절하며 디퓨저에서 실내로 입사되는 채광면적은 약 9㎡이다.

고정형 시스템의 권장 설치 길이는 튜브의 상부에서 천정의 마감된 곳까지 1.45m-1.85m거리가 적당하며, 가변형 시스템의 경우는 0.4m-2m안의 거리가 적당하다. 또한 지붕의 경사각도는 15°에서 60°사이인 경우에 설치가 가능하다. 시스템의 부속품으로는 인공조명과 연계할 수 있는 조명도구, 경사 지붕 마감용 타일 플래싱, 허리케인이나 자연재해로부터 보호할 수 있는 강화 모형 시스템 등이 있다.

표 3.2 국외 광파이프 시스템 특징

회사	방식	자연환기+ 자연채광			자연채광
Mono draught Ltd	제품명	Suncatcher	Monovent Suncatcher	Sola-vent	Sunpipe
	크기	400-1500mm	230mm, 300mm, 450mm	230mm, 300mm	230mm - 1500mm
	특징	Sunpipe + Windcatcher 사각형, 둥근형 형태 있음 모든 방향에서의 환기가 가능 굴뚝효과 + 자연기류흐름 하부 모터에서 환기량제어 모든 공간에 적용가능	저가형 환기+채광시스템 원리 Suncatcher와 동일 소규모공간에 적용	PV모듈로 전력공급 (필요 시 배터리 충전) 자동 환기 제어 230mm - 약7.5㎡ 빛 분포 300mm - 약14㎡ 빛 분포 소, 중규모 공간	돔: 사각형, 다이아몬드형 98%반사율 알루미늄 튜브 일반형, 오팔형 디퓨저 환기시스템(Windcatcher)과 함께 설치 가능 모든공간, 지붕에 사용가능
	형상				
회사	방식	자연환기+ 자연채광			자연채광
Sola tube International Inc.	제품명	Solatube 160DS	Solatube 290DS	Solatube 21-C	Solatube 21-O
	크기	250mm	350mm	530mm	530mm
	특징	평면형, 굴곡형 디퓨저, 다양한 실내 분위기 모든 지붕형태에 설계 부속품: 자연광조절기, 환기, 인공조명		튜브를 사각형 디퓨저로 마감하여 상업공간 천정에 더 쉽게시공 오피스, 병원 등 설치	오픈형 광파이프 시스템 천정 마감 없이 사용 자연광 유입 더 많음 대형공간에 사용
	형상				
회사	방식	자연채광 (돔형)		자연채광 (사각형)	
Velux Company Ltd	형태	고정형	가변형	고정형	가변형
	크기	253mm, 355mm	253mm, 355mm	350mm	350mm
	특징	·균제도 높은 조명환경 ·빛 입사 힘든곳에서 채광성능 높음 (북향) ·장기간 사용 가능	· 빛 가장 잘 입사 · 시공 빠르고 간결 · 경사지붕 심미성 강조	·튜브길이 1950mm ·설치거리: 1.45m -1.85m (연장 튜브 사용 가능) ·설치각도:15°- 60°	·튜브길이: 2200mm ·설치거리:0.4m -2m ·설치각도:15°- 60°
	형상				

3.2 국내 광파이프시스템 개발현황

3.2.1 (주)도엘 시스템

SOLARSPOT은 (주)도엘시스템에서 개발한 제품이다. 본 제품은 돔 내부에는 광학장치인 RIR이 장착되어 있으며, 이는 빛을 튜브모양의 반사관안으로 재 굴절 시키는 역할을 한다. RIR장치는 환기구와 같은 원리로 프리즘 렌즈를 통해 빛을 포집하고, 재굴절시킬 수 있고, 태양의 고도에 따라 미리 설정할 수 있다. 또한 반사관을 통해 반대편 쪽에 있는 확산기에서 빛을 증폭하여 해가 뜬 직후 혹은 해가 지기 직전까지의 빛을 받을 수 있도록 설계되어 기상상태나 계절에 상관없이 태양이 떠 있는 시간이면 항상 채광이 가능하도록 하였다. 신소재인 반사관은 다층의 반사필름 DF2000MA와 알루미늄 기술로 제작되었다. 돔은 건물의 지붕위에 방수용 철판을 설치하여 투명한 둥근창을 지지하게 된다. 폴리카보네이트 재질로 제작되어 비가시광선 대역의 자외선과 적외선의 유해활동을 차단하면서 빛을 받을 수 있도록 외부에 설치하며 다양한 크기로 제작할 수 있다. 반사관은 Angle adaptor로 인하여 장소에 구애받지 않고 설치될 수 있다. 디퓨저는 최종적으로 빛을 발산 조명하는 등 기구로서 실내에 설치되며 여러 종류로 제작되어 실내 분위기를 연출한다.

(주)도엘의 지름650mm, 길이 1300mm의 광파이프 시스템을 6m(W)×6m(D)×4m(H)의 무창공간에 설치하고 채광 성능을 분석한 결과, 평균 33500lx의 담천공에서는 실내 수평면조도가 최대 380lx, 최소 180lx, 평균 270lx로 나타났다. 옥외수평면조도가 73500lx인 청천공에서는 최대 850lx, 최소 330lx, 평균 560lx의 조도분포로 나타났다. 표3.3에 SOLAR SPOT의 특징을 나타낸다.

표 3.3 (주) SIT시스템 시스템 특징

구분	특징
형상	
크기	375mm, 530mm, 650mm
튜브 angle adaptor	0°/30° 
	0°/90° 
디퓨저	 [Prismatic] [Fresnel lens] [Vision] [Lamp diffuser]

3.2.2 (주)월코리아

(주)월코리아에서는 광파이버시스템(WHD-90F)과 광덕트시스템(WHD-700D)을 개발하고 있다. 광덕트시스템은 1개층에 태양 빛을 집중적으로 집광하는 대용량 자연채광 시스템으로 저층 구조물, 체육관, 창고, 공공건물에 활용도가 높으며 안정된 조도를 유지할 수 있다. 광파이버 시스템은 다층형 자연채광으로 태양빛을 발광하며 이동하는 시스템으로 기존의 건물의 위치 및 형태에 제약받지 않는다. 또한 원거리로부터 빛의 유입이 가능하고 빛 손실율이 낮아 가장 효율적이지만 위치 추적장치와 고밀도 집광장치가 필수이기 때문에 시설비용이 가장 높은 단점이 있다.

시스템은 크게 집광부, 도광부, 발광부로 구성되어 있다. 집광부는 기존의 태양 위치 추적 장치는 광센서 및 위치 추적 프로그램을 이용하지만 두 시스템은 태양 그림자를 이용한 시스템으로 보다 정교하고, 위치추적과 경량화를 하였으며 고정밀 특수 렌즈를 이용한 초 고밀도 태양집광시스템으로 구성되어 작은 집광부 표면적으로 대량의 태양빛을 도입하도록 설계되었다. 도광부는 두 시스템이 다르게 설계되는데, 파이버형 시스템의 도광부는 석영(Glass fiber)이나 플라스틱 파이버(PMMA)와 렌즈를 이용하여 빛을 전송시키며, 덕트형 시스템의 경우는 고휘도 반사관(WSS-10)을 사용하여 광덕트를 설치 후 1개층에 대용량으로 10m 이상까지 자연채광이 가능하다. 발광부는 확산커버, 기능용 렌즈를 이용하여 실내에 자연스럽고 부드러운 빛이 유입되도록 설계되었다. 표3.4에 광파이버 및 광덕트 시스템의 특징을 나타낸다.

표 3.4 (주)월코리아 시스템 특징

구분	특징
적용	광파이버형: 다층형 자연채광 광덕트형: 1개층 대용량 자연채광
집광부	고정밀 특수렌즈를 이용한 초 고밀도 시스템으로 작은 집광부 표면적으로 대량의 태양빛 도입 
도광부	

**3.3 국내외 광파이프 시스템 적용현황**

표3.5에 국내외 광파이프 시스템 적용현황을 회사별로 정리하여 나타낸다. 영국 Monodraught사의 경우 다양한 제품의 종류의 형상으로 주거시설, 사무소와 같은 소규모 공간부터 경기장, 학교와 같은 대규모 공간까지 폭넓게 적용되고 있다. 특히 썬파이프, 썬캐처 시스템 설치할 경우 필요에 따라 윈드캐처 시스템을 병용하여 자연환기 및 채광이 동시에 이루어지도록 하였다.

Sutton Arena 경기장에는 지름750mm의 썬파이프 14대와 지름1m의 윈드캐처 8대를 병용 설치하여 쾌적한 실내 환경을 조성하였으며, The Priory neighbourhood centre에는 지름1200mm의 썬캐처와 750mm의 썬파이프를 함께 설치하여 자연채광성능을 극대화하였다. 또한 영국BMW 본사 사무소에는 26대의 윈드캐처와 회사 로고를 이용한 디퓨저를 이용한 썬캐처를 통합 설치하여 심미적인 효과도 증대시켰다.

표 3.5 광파이프 시스템 적용현황

구분	시스템	위치	건물 용도	특징	적용모습		
					실외	실내	
국외 적용현황	Monodraught Ltd.	Sun pipe	Sutton Arena Surrey, UK	경기장	750mm 썬파이프 14대 + 1m 윈드캐처 8대 병용, 주간에는 인공조명 불필요, 무동력, 유해가스 무방출		
		Sun catcher	The Priory neighbourhood centre, Hastings, UK	공공 시설	1200mm 썬캐처 +750mm 썬파이프 병용 설치, 카페와 IT 센터에 설치, 환기 및 채광성능 증진		
		Sun catcher	BMW head office, Oxford, UK	사무소	3000m <sup>2</sup> 실내에 26대 윈드캐처+썬캐처 병용 설치, 회사로고 디퓨저에 활용, 쾌적성 증대, 작업능력 향상		
	Sola tube International Inc.	Sola tube 21-O	Federated Logistics and Operations, CA, USA	공장	530mm 썬라튜브 + 프레즈넬 디퓨저, 약 800대 설치, 604, 408kWh 전력 절약		
		Sola tube 21-C	Community college of Southern Nevada NV, USA	교육 시설	SolaMaster series, 530mm 썬라튜브 + 오픈뷰 디퓨저 + 주광디머 실내 75% 주광 입사		
	Velux Company Ltd	TCR 022	Customer Service Centre, Greenwood, SC, USA	사무소	어답터 상자, 플라즈마 디퓨저 + 고정형 튜브, 실내로 균일하게 빛입사, 작업면조도 50fc 만족		
국내 적용현황	(주)도엘시스템	Sola spot	금호타이어 곡성 공장	공장	프리즘 렌즈로 구성된 RIP광학장치 +다층 반사, 필름인 Vegalux 반사판 이용하여 실내에 주광 입사		
	(주)휠코리아	덕트형 시스템	원주 동부선교원	종교 시설	폴리카보네이트돔 + 95% 반사율의 알루미늄 파이프, 연중 일정한 조도 유지		

미국 Solatube사는 Federated Logistics and Operations 공장 작업장에 지름530mm의 플라즈마틱 디퓨저로 구성된 Solatube 21-C를 약800대 설치하여 기존 작업조도 및 바닥면 조도를 만족시켰다. 공장의 최대 전력량이 258.3kW일 때 연간 약604,408kWh이 절약되는 것으로 나타났다. Community Southern Nevada 대학에는 지름 530mm, 오퍼뷰 디퓨저와 주광조절 디머로 구성된 Solatube 21-C 제품을 설치하였다. 그 결과 설치된 실의 75%가 기준조도를 만족하는 것으로 나타났다.

Velux사의 제품명 TCR 022 썬터널 시스템은 미국 사우스 캐롤라이나 행정건물의 고객센터에 설치되었다. 본 시스템은 고정형 튜브로서 겹겹이 끼워서 제작하는 관으로 시공하여 시공성을 증대시켰다. 설치 결과로는 평균 작업면 조도를 540lux로 만족시켰으며, 빛이 실내에서 균일하게 입사되었으며, 모니터에 의한 눈부심이나 글레어 현상이 나타나지 않았다.

국내의 적용현황을 분석해보면 국외의 경우보다 적용 사례도 적고, 적용방법도 다른 시스템과 병용없이 독립적으로 시스템만 설치한 사례가 대부분인 것으로 나타났다. (주)도엘사의 Solaspot제품은 금호타이어 곡성공장에 설치되어 작업장에 주광이 입사되도록 하였다. (주)월코리아의 덕트형 시스템은 원주 동부선교원에 설치되어 연중 일정한 조도를 유지하도록 하였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 광파이프 시스템의 건축적 활용과 조명기술에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 광파이프 시스템에 대한 이론적 고찰을 토대로 국내외 광파이프 시스템 개발현황을 개발 회사별로 구분하여 분석하고, 각 시스템의 건물 적용방법을 분석하였다. 결론은 다음과 같다.

1) 광파이프 시스템의 문헌고찰 결과, 광파이프 시스템은 태양광을 집광하는 돔 형태의 채광부, 수집된 태양광을 실내로 전송하는 고반사율 광학필름으로 처리된 유도관, 실내에 빛을 조사하는 확산부로 구성된다. 채광 성능에 대한 연구현황에서 국외의 경우는 계절, 태양위치, 시스템 크기, 천공상태 등 구체적 변수에 따른 실험이 활발히 진행된 반면 국내의 경우는 다양한 변수를 적용한 채광 성능 분석이 미흡한 것으로 판단되었다.

2) 광파이프 시스템의 개발현황 분석 결과, 국외의 Monodraught사, Solatube사, Velux사에서 다양한 형상 및 크기의 광파이프 시스템을 개발하고 있다, 특히 Monodraught사는 자연환기 일체형 시스템을, Solatube사는 부착형 환기 시스템을 각각 개발하여 광파이프 시스템과 병용하여 설치할 수 있도록 하였다. 국내의 경우 (주)도엘시스템과 (주)월코리아에서 광파이프 시스템을 개발하고 있지만 환기 통합형 시스템은 아직 개발되지 않은 것으로 나타났다.

3) 광파이프 시스템은, 국외의 경우 다양한 형태 및 크기, 환기시스템과의 병용 설치로 공간의 규모 및 용도에 제약 없이 광범위하게 적용되었으며, 국내의 경우 적용범

위가 제한적이며, 국외의 경우와 비교하여 시스템 적용이 활성화되어있지 않은 것으로 나타났다.

광파이프 시스템은 채광성능이 뛰어나고 구조가 간단하며, 시공 및 경제성이 우수한 시스템으로 특히 일조량 및 일조시간이 풍부한 우리나라의 경우 건축적 활용성이 높은 시스템이다. 또한 일조가 부족한 다세대 가구, 밀도가 높은 주택단지, 지하공간에도 좋은 해결책인 것으로 사료된다. 따라서 광파이프 시스템의 활성화를 위해서는 국내 실정에 적합한 시스템의 개발 및 성능평가에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

#### 후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R11 - 2008-098-00000-0).

#### 참고문헌

1. 신화영, 김정태, “태양의 위치에 따른 광파이프 시스템의 실내 주광환경평가”, 한국태양에너지학회논문집, 28권6호, pp. 78-86, 2008.12
2. 공효주, 김정태, “천공상태에 따른 수직형 광파이프 시스템의 채광성능 평가”, 한국생태환경건축학회논문집, 8권3호, pp. 101-106, 2008.06
3. 신혜미, 박훈, 김정태, “수직형 라이트파이프의 채광성능에 관한 예비평가”, 한국생태환경건축학회논문집, 8권1호, pp. 53-60, 2008.02
4. 김정태 외5인, “광파이프 시스템의 채광성능 평가”, 대한건축학회논문집(계획계), 17권4호, pp.119-224, 2001.04
5. 정학근 외4인, “광파이프 전송 및 조명 기술연구”, 대한설비공학회 동계학술발표대회논문집, pp.536-541, 2001
6. M. Paroncini, B. Calcagni, F. Corvaro, “Monitoring of a light-pipe system”, Solar Energy, Vol.81, pp.1180-1186, 2007.03
7. P.Zazzini, F.Chella, A.Scarduzio, “Numerical and experimental analysis of light pipes performance: Comparison of the obtained results”, Proceedings of PLEA2006, 2006.9
8. Mohammed Al-Marwae, David Carter, “Tubular guidance systems for daylight: Achieved and predicted installation performances”, Applied Energy, Vol.83, pp.774-788, 2005.10
9. R.Caniziani, F.Peron, G.Rossi, “Daylight and energy performances of a new type of light pipe”, Energy and Buildings, Vol.36, pp.1163-1176, 2004.5
10. G. Oakley, S. Riffat, L. Shao, “Daylight Performance of Lightpipes”, Solar Energy, Vol.69, No.2, pp.89-98, 2000
11. <http://www.monodraught.com/>
12. <http://www.velux.com.au/products/SunTunnels/>
13. <http://www.solatube.com/commercial/>

투고(접수)일자: 2009년 1월 19일

심사일자: 2009년 1월 20일

게재확정일자: 2009년 2월 20일