

設備型 自然採光 시스템

Daylighting System Using Mechanical Hardware

金正泰

(경희대학교 건축공학과 부교수 · 공학박사)

1. 머릿말

고도성장 시대에 건설된 건축물은 대부분 經濟性을 위주로 설계되어 왔다. 그러나, 현재는 人間性的 回復과 生活環境을 自然과 調和를 시키려는 움직임이 전개되고 있다. 이러한 상황을 배경으로 自然光에 의해서 얻을 수 있는 快適性이나 精神的 安定感이 중요시 됨으로써 自然採光의 중요성은 더욱 크게 인식되고 있다.

현재 都心部에 건설되는 오피스, 호텔 및 고층아파트 때문에 주변환경은 自然採光이나 通風面에서 여러가지 제약을 받고 있다. 이러한 제약을 기존의 自然採光 手法으로는 해결하기 어렵기 때문에 設備를 이용한 自然採光 시스템에 대해서 관심이 높아지고, 실제 도입 예도 증가하고 있다

즉, 도시가 高層化, 過密化 되면서 일상생활 중 自然의 太陽光을 접근하려는 인간의 要求가 점점 더 증가하고 있다. 이러한 時代的 要求에 따라 실제로 일본, 홍콩 및 구미에서는 단독주택, 맨션, 오피스 등 自然光이 필요한 공간이지만 建築的인 採光手法으로 실내에 自然光을 유입할 수 없는 곳에 여러가지 하드웨어를 사용함으로써 필요한 自然採光을 실시하고 있다. 필자는 이러한 자연채광 방식을 편의상 設備型 自然採光 시스템으로 부르기로 한다.

設備型 자연채광 시스템을 이용한 그 결과 人工照

명으로 조성된 공간보다 더 쾌적하고 건강한 環境을 창조하고 있다. 따라서 이 글은 최근 일본에서 사용되고 있는 設備型 自然採光시스템에 대하여 일본조명학회에 게재된 내용을 소개한 것이다. 각 裝置의 效率은 근래에 더욱 진보되어 여기에 소개된 것보다 몇배, 혹은 몇십배의 性能을 갖는 것도 나타나고 있다.

2. 設備型 自然採光 시스템의 종류와 適用方法

하드웨어를 이용하여 건물내에 태양광을 도입하는 방식은 太陽光이 요구되는 장소에 따라 크게 3가지로 분류할 수 있다.

(1) 建物の 日影部に 太陽光을 도입하는 方法.

건물 주변에 高層建物이 있어 採光하고자 하는 건물에 日影이 생길 경우에 日照를 확보하는 방법으로서 人工的인 방법으로 自然採光을 보완하는 것이다. 여기에는 太陽光 自動追尾方式과 自然光 手動追尾方式이 있다.

(2) 建物の 중정이나 아트리움에 太陽光을 도입하는 方法.

태양이 들지않는 中庭이나 아트리움에 나무를 심고, 커뮤니티 스페이스로서 쾌적한 장소를 제공함과 동시에 빌딩의 이미지를 연출한다. 여기에는 태양

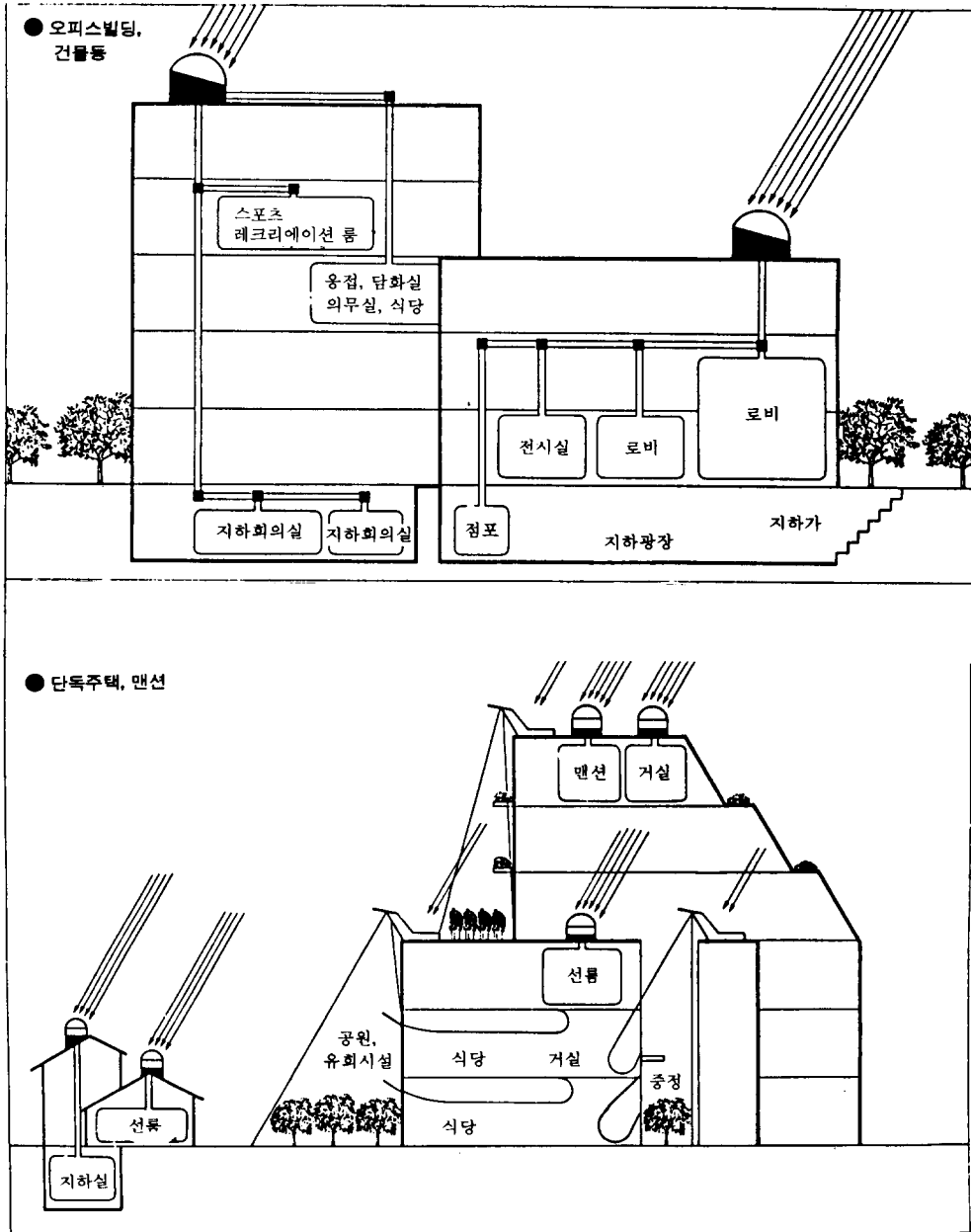
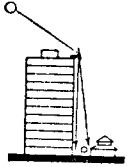


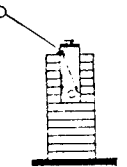



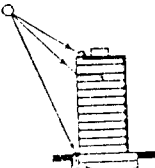

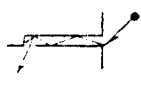
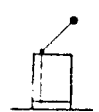


그림1. 설비형 자연채광 시스템의 적용 예

표 1. 설비형 자연채광 시스템의 종류

채광장소	채광방식	비 고	
건물의 일영부 	태양광 자동추미방식	태양의 위치에 맞추어 반사 거울을 제어하여 태양 직사광을 도입하는 방식. 태양광을 일정한 장소에 照射할 수 있고, 고층건축물에 사용가능.	
	태양광 수동추미방식	거울의 각도를 수동으로 제어하여 태양직사광을 도입하는 방식. 2~3시간 정도의 일조시간을 얻을 수 있는 간이타입으로 경제적으로 유리.	
중정 · 아트리움 	태양광자동추미방식	태양의 위치에 맞추어 반사거울을 제어하여 태양 직사광을 도입하는 방식. 태양광을 일정한 장소에 照射할 수 있고, 고층건축물에 사용가능.	
	블럭거울방식	건물상부의 정해진 각도에 배치된 거울을 이용하여 태양직사광을 내벽에서 산란시키면서 도입하는 방식. 건물이 中層인 경우 유리하고 내부전체가 밝아진다.	
	건축화 덕트방식	건물의 내벽에 고반사체를 붙이고, 천공광을 상호 반사에 의해 받아들이는 방식. 건물내부 전체가 밝아지고 익사이팅한 빛을 얻을 수 있다.	
건물의 내부 	툽라이트 방식	지붕에 설치한 돔으로, 천공광을 내장재의 반사에 의해서 실내로 받아들이는 방식. 가격이 저렴하여 이용하기 쉽다.	
	덕트방식	채광구로부터 입사하는 천공광을 고반사거울로 구성된 導光 덕트에 의해 빛을 실내로 도입하는 방식. 효율이 높고, 자연광에 가까운 빛을 얻을수 있다.	
	광화이버 방식	태양위치에 맞추어 최적각도로 제어된 렌즈로 태양직사광을 집광하고 광화이버 의해 건물내부로 도입하는 방식. 導光路를 임의로 굴곡시킬 수 있다.	

광 자동추미방식, 블럭거울(block mirror) 방식 및 建築化 덕트 방식이 있다.

(3) 건물의 內部나 지하실에 太陽光을 도입하는 방법.

自然光이 유입되지 않는 장소에 태양광을 도입하여 활기있는 空間을 제공한다. 여기에는 툽라이트방식, 덕트방식 및 광화이버(fibre)방식이 있다.

3. 太陽光 自動追尾方式

太陽光 自動追尾方式은 마이크로 컴퓨터를 이용하여 태양광을 자동적으로 추미하는 방식이다. 이것은 건물의 옥상에 自動追尾駒動裝置(반사거울)를 설치하여 거울의 反射光을 흡수부를 통해서 벽면 및 지상의 소정위치에 照射하는 방식이다.

이 장치는 制御裝置가 자동추미 구동장치에 구성

■ 技術解説

되어 있고, 태양위치의 변화(태양고도각, 태양방위각)를 시각 파라미터로서 演算制御部에 의해 산출하고 건물의 照射位置에 맞추어 반사거울의 고도, 방위각을 결정한다. 이각도를 電氣量으로 변환하여 구동장치에 전달함으로써 반사거울을 回轉制御한다. 설치장소의 위도, 경도, 시각, 照射方向을 입력하면 자동적으로 추미동작이 일어난다.

3.1. 시스템의 구성

이 시스템은 반사거울을 자동적으로 고정시키기 위한 고도측, 방위측 고정부, 풍속계 및 리모콘 발신기와 신호를 교환하는 안테나부로 구성되어 있다.

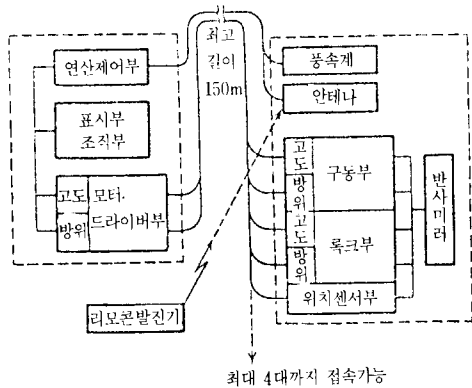


그림2. 시스템의 구성

制御装置는 태양위치의 변화에 따라 반사거울의 각도를 산출하는 演算制御部, 현재의 태양위치, 풍속 및 시각 등을 표시하는 표시부, 각종 조건을 입력하고 수동으로 조작하기 위한 操作部, 고도각 구동모터를 구동제어하기 위한 모터 드라이버부가 있다.

이 장치의 동작모드는 조건설정모드, 자동추미모드 및 메뉴얼 동작모드 등 크게 3개의 모드로 구성된다.

3.2. 추미원리

이 장치의 추미원리와 동작모델은 다음과 같다.

(1) 현재의 년월일, 시각, 설치장소의 위도, 경도 및 태양위치(태양고도각 · 태양방위각)를 산출한다. 여기서 태양위치는 다음 식으로 구한다.

$$\sin S_{\alpha} = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\sin S_{\beta} = \cos \delta \cdot \sin t \cdot \sec S_{\alpha}$$

여기서, S_{α} = 태양고도각(度)

S_{β} = 태양방위각(度)

ϕ = 설치장소의 위도(度)

δ = 태양적위(度)

t = 시각(度) <시각(진태양시)을 각도로 표시한 양으로서 1일을 360도에 대응

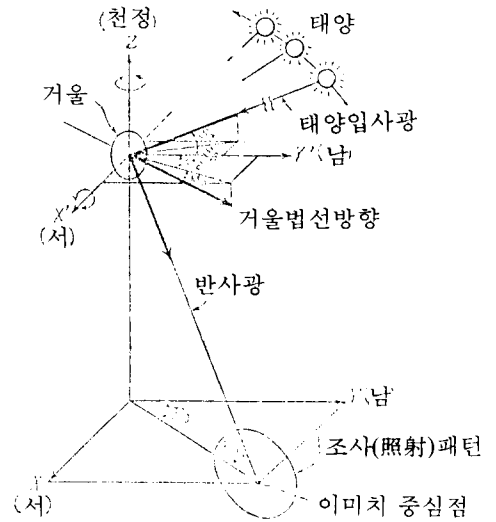


그림3. 태양광 자동추미방식의 동작 모델(여기서

M_{α} = 기울고도각, M_{β} = 거울방위각,

R_{α} = 반사고도 각, R_{β} = 반사방위각)

시켜, 정오를 0도, 오전 6시를 -90도, 오후 6시를 +90도로 한다.)

(2) 반사거울의 각도(거울의 고도각, 방위각)를 산출한다.(태양入射角과 그 反射光은 거울과의 법선방향과 축대칭인 것으로 산출)

(3) (2)에서 산출한 반사거울의 각도를 電氣量으로 변환하고 반사거울을 구동제어한다.

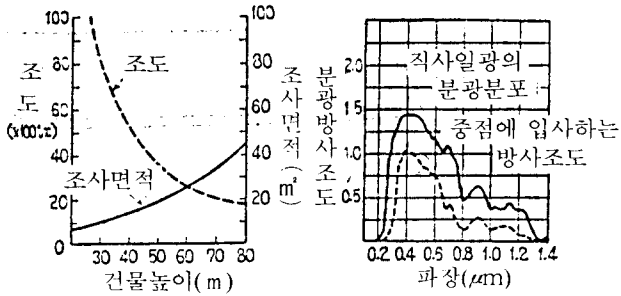
(4) (1), (2)를 시시각각 되풀이하여 소정의 위치에 태양光을 照射한다.

3.3. 이 장치에서 얻을 수 있는 조도와 빛 에너지

설치하는 장소의 위도, 경도, 계절, 시각, 천후, 건물의 조건에 따라서 변화한다. 照射하고 싶은 장소의 면적에 따라 反射装置로서 조사할 수 있는 면적

을 예측할 필요가 있다. 이 예측은 대형계산기에서 光路追跡法을 사용하여 구하며 豫測照度和 實測照度の 차는 보통 10% 이내이다.

그림4는 건물높이에 따른 照度和 照射面積의 변화, 또 조사될 빛에너지의 분포를 나타낸 것이다.



(Lighting handbook에서 인용)

그림4. 건물높이에 따른 조사면적의 변화와 빛에너지 분포
(동경의 3월 22일 AM 10:00, 태양광 직사조도 시뮬레이션 시스템에 의함)

3.4. 효과와 제원

이 장치의 설치효과는 다음과 같다.

- (1) 中庭의 풀이나 公園을 採光함으로써 건강하고 밝은 분위기의 공간을 얻을 수 있다.
- (2) 4,000lx 이상의 照度を 얻을 수 있고 樹木을 재배할 수 있다.
- (3) 건물의 日影部에 太陽光을 도입함으로써 일조 부족을 보충할 수 있다.(일본의 경우 아직까지 건축 기준법 6조 2항에 정해진 日影規制緩和로는 인정하지 않는다)

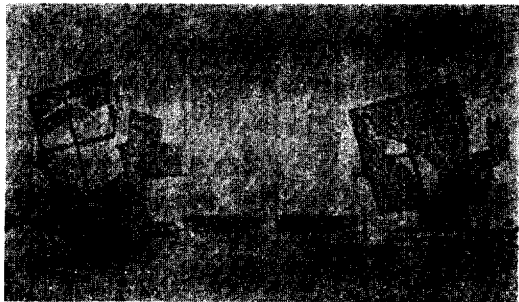


그림5. 태양광 자동추미 방식의 실시 예
(맨션의 중정을 채광하기 위해 2대를 설치)

표 2. 태양광 자동추미 방식의 제원

사	조사시간	9시간(9:00-17:00)
	조사조도	약5,000±900lx
양	조사면적	약20±5㎡
제어장치	외형치수	폭550×높이1030×깊이600(mm)
	중량	약 100kg
	제어대수	4대
	소비전력	100V 80W
	표시부	플라즈마 디스플레이
	조작부	터키, 메뉴방식, 리모콘 메뉴얼 가능
자동차	외형치수	폭1,600, 높이 1630(mm)
	중량	약 560kg
	고도회전각	약 -35°~+35°
	방위회전각	약 -75°~+75°
	내풍강도	60m/s(30m/s 자동고정)
반사기울	화학강화 유리(t=5, 반사율 85%, □ 1.2m 곡률 22m	

4. 太陽光 手動追尾方式

이 방식은 太陽光의 위치변화를 미리 컴퓨터로 계산하고, 最適 反射角度에 적합하도록 반사거울을 설정함으로써 反射光을 건물의 日影部와 中庭 등 소정의 위치에 照射하는 방식이다. 이 방식은 操作盤과 手動追尾驅動裝置(반사거울)로 구성된다. 설치장소의 위도, 경도, 시각, 조사방향에 맞추어 미리 설정되어 있는 각도로 2~3개월에 한번씩 遠隔操作으로 반사거울을 변화시킨다. 건물높이가 20m 이내일때 주로 사용하며, 유효하게 照射할 수 있는 시간은 약 3시간이다.

4.1. 시스템의 구성

太陽位置의 변화(태양고도각·태양방위각)를 시각의 파라메타로 해서 컴퓨터로 산출하고, 건물의 照射位置에 맞추어 반사거울의 고도각과 방위각을 결정하고, 이 각도로 구동장치를 고정시킨다. 반사거울의 각도는 1개월마다 계산하지만 그 차이가 5도 이내일 경우는 평균값을 취한다. 보통은 반사거울의 고도각

■ 技術解説

만을 움직이는 一軸驅動方式을 채용한다.

수동추미구동장치는 반사거울, 반사거울을 구동하는 高度角 驅動部, 회전위치를 검출하는 센서부, 일정한 각도로 반사거울을 고정시키는 高度軸固定部로 구성된다. 조작반은 미리 설정된 각도로 반사를 자동적으로 회전하고, 고정하기 위한 制御部(시퀀서 이용)와 수동운전을 하기 위한 作業部로 구성된다.

4.2. 이 장치로 얻을 수 있는 조도와 빛에너지

조도와 빛에너지 분포는 앞의 자동추미방식과 같지만 시간에 따른 太陽位置 변화에 맞추어 照射位置가 이동한다. 照射範圍는 주변환경에 따라 설정하며 有效採光時間은 약 3시간이다.

4.3. 효과와 제원

이 장치는 건물에 日影이 생겨 日照를 얻을 수 없는 장소나 실내의 식물에 태양광을 도입하는 것으로 하루 3시간씩 약 6,000lx를 조사한다. 3개월에 한번씩 원격조작으로 반사거울의 각도를 바꾼다.

표 3. 태양광 수동추미방식의 제원

사 양	조사시간	2~3시간
	조사조도	약5,000±900(lx)
조 작 반	조사면적	약20±10㎡(계절과 시간에 따라 변한다)
	외형치수	폭400×높이500×깊이200(mm)
수 동 추 미 구 동 장 치	중 량	약 20kg
	제어대수	4대
	소비전력	사용시 전원은 통전되지 않는다.
	표 시 부	LED
	조 작 부	턴키방식
수 동 추 미 구 동 장 치	외형치수	폭2,200, 높이1,620×깊이500(mm)
	중 량	약 180kg
	고도회전각	25도, 30도, 35도의 3단계
	방위회전각	0도
	내풍강도	60m/s
반 사 거 울	반사거울	화학강화 유리
		(t=5, 반사율 85%, Π 1.5M, 폭울 15m

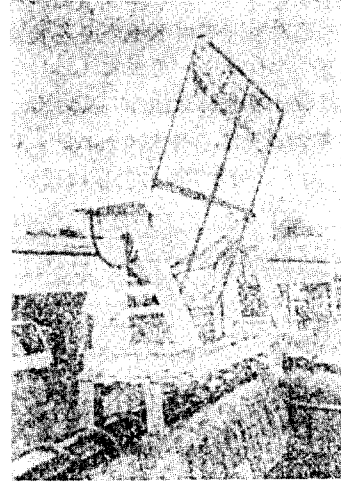


그림6. 태양광 수동추미방식의 예

5. 덕트방식

이 방식은 高反射率의 薄板鏡을 사용한 導光덕트에 의해 주로 天空散亂光을 효율적으로 실내로 입사시키는 장치이다. 야간이나 우천시에는 내장된 형광등으로 조명한다.

5.1. 종류

(1) 수직형 덕트방식(수직형 채광장치)

이 방식은 건물의 지붕, 옥상 등의 採光돔에서 채광하여 導光덕트에 의해 수직으로 필요한 실에 도입시키는 것이다. 덕트는 최장 10m까지 연결할 수 있고 2층 주택의 1층 실내부터 5층 건물의 1층까지 채광이 가능하다. 이 방식으로 日常生活에 영향을 받지 않는 수준의 안정된 조도를 얻을 수 있다.

(2) 수평형 덕트방식(수평형 채광장치)

이 방식은 건물 側壁의 채광돔에서 採光하여 수평으로 실내에 사입시키는 방식이다. 실내는 최장 10m까지 연결할 수 있고 맨션 등의 無窓室을 채광하는데 이용된다. 설치 위치와 방향에 따라 조도가 변화한다.

(3) 수직·수평 병용형 덕트방식

수직 導光덕트와 수평 導光덕트를 조합한 방식이다. 건물구조에 따라 다양하게 응용할 수 있으며 地下室의 採光 등에도 이용된다.

5.2. 시스템의 구성

(1) 수직형 덕트 방식

수직형 채광덕트는 採光部 유니트, 導光部 유니트, 放光部 유니트 등 3개의 유니트로 구성된다. 채광돔으로 입사한 빛은 도광덕트내(반사율 93%)를 평균 3회 반사하여 실내로 사입된다.

(2) 수평형 덕트 방식

수평형 채광덕트는 채광부 유니트, 도광부 유니트, 방광부 유니트 등 3개의 유니트로 구성된다.

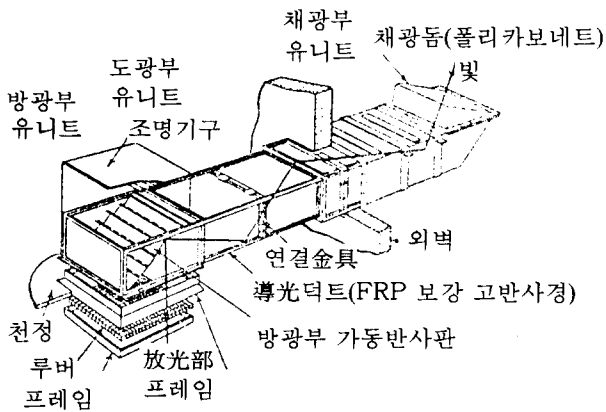


그림7. 수평형 채광덕트의 구성

표 4. 덕트방식의 제원

사	조사시간	7~11시간
사	조사조도	약150-300(lx)
양	전체길이	약10m까지 연결 가능
채광부	채광돔	폴리카보네이트 수지
	채광부 거울	FRP 보강 고반사경(t=1, 반사율 95%)
도광부	보강틀 거울	알루미늄 압출재 FRP 보강 고반사경(t=1, 반사율 95%)
	가동거울	FRP 보강 고반사경(t=1, 반사율 95%)
방광부	구동장치	인터쿠션모터
	조명기구	형광등 20W 5등(형광등 32W 6등)
	판넬	투명 프리즘

채광돔에서 입사한 빛은 도광 덕트내를 평균 10회 반사하여 실내로 사입된다. 반사에 의한 손실을 고려하여 수평형 덕트방식에는 고반사율(95%) 거울을 사용하고 있다.

5.3. 이 장치로 얻을 수 있는 조도와 빛에너지

설치하는 장소의 조건, 導光덕트의 형태와 크기에 따라 照度는 변화한다. 덕트내를 통과한 빛은 자외선, 적외선의 일부가 커트된 빛이 된다. 설치후에는 구성부분을 쉽게 변경할 수 없기때문에 設計段階에서 예측되는 시스템을 잘 고려해야만 한다. 導光덕트의 形態, 配光, 效率 및 설치시의 照明效果는 光路追跡手法을 이용하여 컴퓨터로 계산한다. 예측조도와 실측조도의 차이는 10% 이내이다. 수직형과 수평형 채광 덕트의 채광효율은 그림8과 같다.

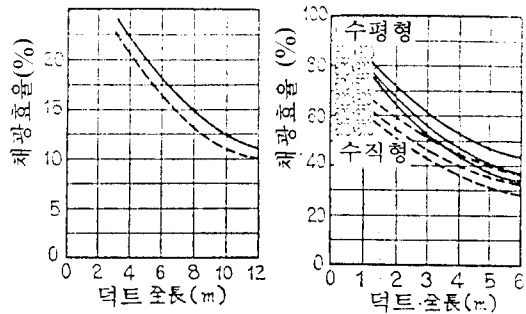


그림8. 수평형 · 수직형 채광덕트의 채광 효율

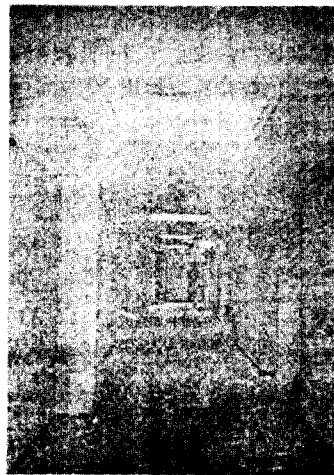


그림9. 덕트방식의 실시예(체육관 지하통로)

■ 技術解説

5.4. 효과와 제원

이 장치(그림9)는 체육관의 지하통로에 채광을 도입한 것으로 청천시 350lx의 조도가 확보된다. 이 장치의 제원은 표4와 같다.

6. 광화이버 방식

太陽光을 콜렉터로 集光하여 광화이버 케이블로서 건물 내부에 導光하는 방식이다. 콜렉터는 光學的多層膜 형성기술을 응용한 反射 集光方式으로 태양광 에너지중에서 가시광(380~780nm)만 뽑아내고 자외선과 적외선은 제거하고 있다. 광 화이버 케이블은 폴리마쿠라화이버를 사용하고 40m를 도광할 경우에 총효율은 12%이다.

6.1. 시스템의 구성

太陽의 位置變化(태양고도각 · 태양방위각)를 시각 파라미터로 하여 演算制御部로 산출하여 추미함으로써 太陽光을 콜렉터로 집광하여 광화이버케이블로 도광한다. 제어부는 집광장치 안에 내장해 두고 광화이버케이블은 건물내의 샤프트에 케이블 루크를 부설하여 인슐록으로 묶어 배선한다.

6.2 콜렉터의 투과특성과 효율

集光裝置는 아크릴제의 돔으로 커버시키고 구동부와 일체로 콜렉터가 배치된다. 콜렉터는 지름 400mm의 반사집광방식으로 태양의 위치변화에 따라서

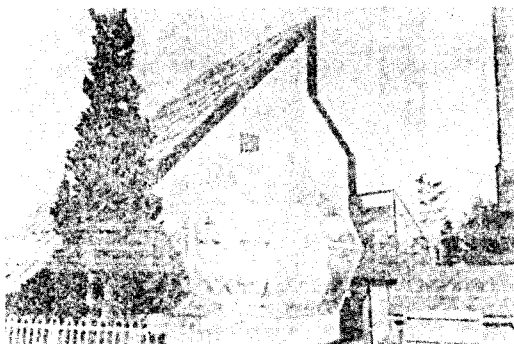


그림10. 광화이버방식의 실시 예(주택의 실내 채광용으로 설치)

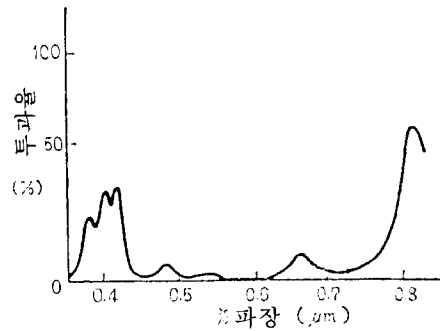


그림11. 콜렉터의 투과특성

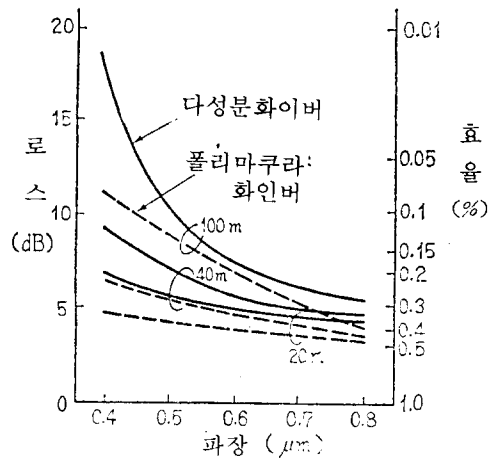


그림12. 광화이버의 전송효율

변한다. 한개의 콜렉터로서 얻을 수 있는 광속량은 광화이버케이블의 길이가 40m일 경우, 약 1300lm 정도이다(실측치). 콜렉터의 투과특성, 광화이버케이블의 전송효율은 <그림11, 12>와 같다.

6.3. 효과 및 제원

이 장치(그림 10)는 주택 거실에 채광을 도입한 것으로 청천시 약 300lx의 조도를 얻을 수 있다.

7. 맺는말

최근, 自然光의 이용에 관한 관심이 증가하면서 여러가지의 채광 방법이 고안되고 실용화 단계까지 이르고 있다. 높이 100m가 넘는 초고층 맨션, 인텔리전트 빌딩의 건설과 더불어 일조문제의 증가는

표 5. 광화이버 방식의 제원

사 양	조사시간	8시간
	컬렉터수	19개
집	조사조도	약3000lx(1m의 거리, 계절과 시각에 따라 변화)
	외형치수	폭2000×높이2500(mm)
광	중 량	250kg
	소비전력	100V 50W
	내풍강도	40m/s
부	채 광 돔	아크릴
	제 어 부	장치내장
광 화 이 버	화이버종류	폴리마쿠라화이버(HBL GP 37)
	치 수	410um×37심×19본
	이 길 이	30m(100m까지 가능)
방 광 부	외형치수	지름 150 매입형
	조사위치	조사방향, 조사범위 조절가능형

어쩔 수 없이 人工的으로 太陽光을 도입할 수 있는 시스템을 필요로 하고 있다.

현재 일본의 경우 日影部에 太陽光을 人工적으로 도입하여도 日照對策으로서는 인정되지 않지만 이용자가 증가하고 기술개발 및 장치의 저렴화가 계속되고 있는 실정이다. 앞으로 우리 나라도 設備를 이용

한 自然採光 시스템에 대해서는 많은 수요가 예측되므로 우리 나라도 이에 대한 개발에 적극적으로 대응해야할 것이다.

참고문헌

- 1) Nagai, P.Y., "Solar Illumination for Interior Space", Light Design & Application, pp.26~33, April 1983.
- 2) Reed, G.P. and Sedrick, A., "Daylighting Passive Solar Manufactured Buildings for Commercial Applications, Lighting Design & Application pp.24~33, February 1983.
- 3) Hart, G.H., Blancett, R.S. and Charter, K.F., "The Use of DOE-2 to Determine the Relative Energy Performance of Daylighting Retail Stores Covered with Tention Supported Fabric Roofs", Energy and Buildings, 6, pp.343~352, 1984.
- 4) Yamashita, K., Kurosaki, A., Ishii, H. and Nakagawa, M., "Sunlighting Collecting System-Control Using Light for the Future", Journal of Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol.71, No.4, pp.232~237, 1987