

自然採光 이용에 따른 室內照明 에너지 豫測 및 應用技法

金 會 瑞 (檀國大 建築工學科 教授)

1. 서 론

우리는 자연의 에너지를 고려한 건축설계방법에 대하여 여러면에서 매우 높은 관심을 가져왔다고 본다. 특히 자연채광 이용에 따른 건축실내 조명설계 및 조명 Control에 따른 전력에너지의 절감을 함께 얻기 위하여 많은 관심과 그 의의가 강조되어 왔던 것이 사실이다. 국내의 경우를 본다면 그동안 우리는 자연채광을 이용하고자 하는 연구 및 이를 응용하기 위한 방법에 있어서 데이터의 축적이 매우 빈약했던 것만은 의심할 여지가 없다고 생각된다. 이러한 이유 중에 하나는 자연채광의 단점인 시시각각 변하는 天空狀態의 변화에 따른 자연채광데이터를 얻는데 매우 어려움이 있었으며 아울러 자연채광에 대한 이용이 보다 적극적이고 실용적인 방향으로 일반화시키는데 대하여 다른 선진국가들보다 노력이 미흡하지 않았나 생각된다.

자연채광 이용에 있어 주요한 장점으로는 첫째, 실내 공간에 대한 視環境을 높여주며, 둘째, 조명에너지 소비의 절감, 셋째, 냉·난방부하의 절약, 넷째, 최대 전기부하의 절감 등을 들 수 있다.

특히 질이 높은 실내의 빛 환경을 구성하기 위해서는 우선적으로 실내의 照度分布 및 輝度分布를 정확히 예측해야 할 필요가 있다. 무엇보다도

실내의 照度分布 및 輝度分布에 직접적인 영향을 미치는 天空 輝度分布는 시시각각 변동하는 天空의 상태에 따라 항상 변동하고 있으므로 실내의 照度分布 및 輝度分布를 파악하기 위해서는 그 어떠한 天空 輝度分布상대에도 적합할 수 있는 표준적 天空 輝度分布를 예측 설정할 필요가 있다고 생각된다.

2. 自然採光 이용에 따른 室內照明 에너지 豫測

2.1 외부 天空의 상태

자연채광조명 설계에 있어 외부천공조건은 매우 중요한 요소이다.

천공상태는 우선 청천공, 담천공 그리고 晴天空과 曇天空 이외의 모든 천공상태를 포함한 중간천공으로 구별시킬 수 있다. 晴天空과 曇天空의 휘도분포는 현재 각각 CIE표준 晴天空, CIE표준 曇天空으로 수식화되어 있으며 중간천공에 관해서는 현재 몇몇의 제안들이 발표되었으나 아직까지 CIE에서도 이렇다할 표준화 작업은 성립되어 있지 않은 상태라 하겠다. 그 이유로서는 中間天空이 극히 다종다양한 天空狀態를 포함하고 있으므로 이러한 輝度分布를 일원적으로 정한다는 것은 매우 어려운 실정이며 아울러 표준화를 위한

실측자료가 충분히 축적되어 있지 않다는 것을 들 수 있다. 따라서 근본적인 해결방안으로서는 순간순간 출현하는 여러 종류의 天空狀態에 대한 天공 輝度分布를 예측하는 것이 우선이며, 우리나라와 같은 곳에서는 晴天空이나 曇天空과 같은 모델이 항상 일정하게 나타나지 않으므로 우선적으로 중간천공에 대한 측정을 통해 주광율이나 조도비를 통하여 조명에너지 평가를 고려하는 것이 바람직하리라 생각된다.

2.2 자연채광 입사경로

창문을 통해 들어오는 자연채광 光源은 直射日光(Direct sunlight), 맑은 하늘(clear sky), 구름 또는 地面과 인근 건물로부터의 반사광 등으로 다음과 같이 표현한다. 그림1은 차폐장치가 없고 天空光일 경우 그림1 a~e, 直射光일 경우 그림2 f~j이며, 차폐장치가 있고 天空光일 경우 그림2 a~c, 直射光일 경우 그림2 d~f이다.

따라서 자연채광 조명계산은 외부천공상태에 따른 자연채광의 입사경로의 조건에 따라 표1과 같은 순서에 따라 계산되어 진다.

(CIE)에서 권장하는 주광시스템의 성능특성을 결정하기 위한 전세계 100여개국 이상에서 사용하는 것으로서 晝光水準을 예측하는 가장 일반적인 방법의 晝光率은 다음 3가지 구성성분의 합으

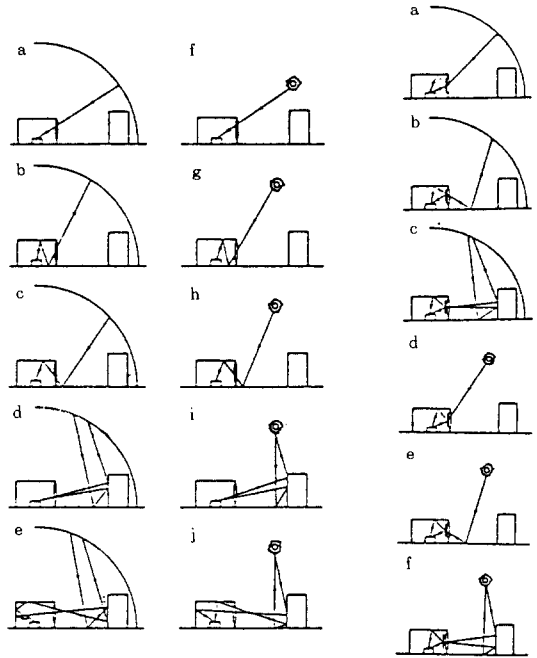


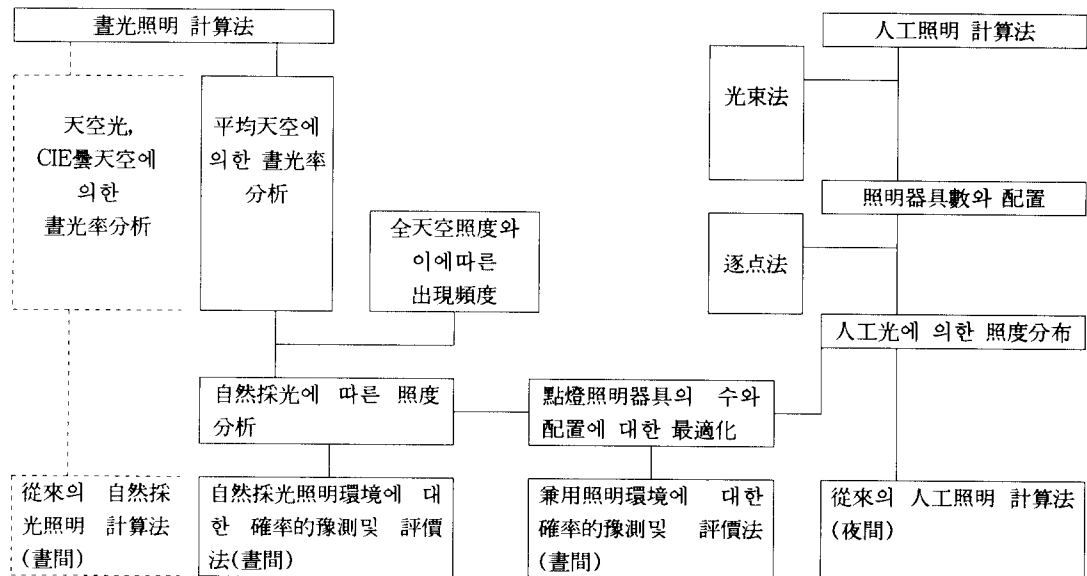
그림 1. 차폐장치 없는 입사경로

그림 2. 차폐장치 없는 입사경로

2.3 晝光率法(daylight factor method)

晝光率法(split flux method)은 국제조명위원회

표 1. 자연채광조명 의 계산법



로 이루어진다.

제1성분 : 天空成分(sky component ; SC)

제2성분 : 外部反射成分(externally reflected component ; ERC)

제3성분 : 室內反射成分(internally reflected component ; IRC)

위 세성분의 합을 晝光率로서 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$DF = SC + ERC + IRC \dots\dots\dots(\text{식}2.1)$$

실내표면의 먼지 등으로 인한 室內維持率(MF)을 고려하면 (식2.2)와 같이 나타난다.

$$DF = SC + ERC + (IRC \times MF) \dots\dots\dots(\text{식}2.2)$$

자연채광의 이용여부는 건물의 기본적인 요소들이 검토되는 초기 설계단계에서 적극 검토되어야 하며 이를 위해 여러 자연채광 요소들을 정확하고 신속하게 평가하여, 자연채광의 이용과 그에 따른 인공조명의 조절방식을 결정할 수 있는 효과적인 평가도구가 제시되도록 한다.

평가도구로서는 미국에서 개발된 LBL(Lawrence Berkeley Laboratory)계산도표와 DOE의 계산도표가 있으며 일본에서 松浦 邦男에 의해 개발된 인공조명의 消燈率에 따른 최적 소등깊이를 결정하는 계산도표가 있다. 이는 임의의 소등률과 소등깊이에서 인공조명의 節減率-주간에 인공조명을 완전히 점등한 경우와 비교하여-최적 소등깊이를 계산한 연구 등이 있다. 이러한 계산도표들은 여러 변수인 외부조건과 개구부, 실내면의 반사율 등에 따라 실내 受照点에서의 晝光率을 결정하고 채광영역에서 자연채광시간과 자연채광 이용면적을 이용하여 연간 채광에너지의 節減率을 예측할 수 있는 도구이다.

2.4 실내조명에너지 예측

최근의 건축공간은 그 구성이 극히 복잡하고, 이용하는 용도와 그에 따른 행위도 다양화되고 있으며 따라서 실내조도에 미치는 자연채광 조도를 정확히 파악할 필요가 있다. 이는 자연채광이 부족한 부분만큼 인공조명이 보조함으로써 인공조명에 대한 전기에너지를 절약하는 방향으로도 兼用照明 계획이 효율화되어질 수 있기 때문이다.

이것은 자연채광+인공조명을 사용한 겸용조

명 설계에 따라 실내조명 분포와 연간의 조명기구에 의해 사용되는 전력량산출은 물론 이에 따른 소등율을 확률적으로 계산함으로써 시간당 절약할 수 있는 조명기구 수와 조명에너지 절약도 고려할 수 있기 때문이다.

2.5 自然採光 이용에 따른 人工照明에너지 절감

자연채광에 의한 인공조명의 제어는 중요한 조명에너지 절약 수법의 하나이다. 실내에서 視作業에 필요한 조명의 밝기는 일부를 자연채광이

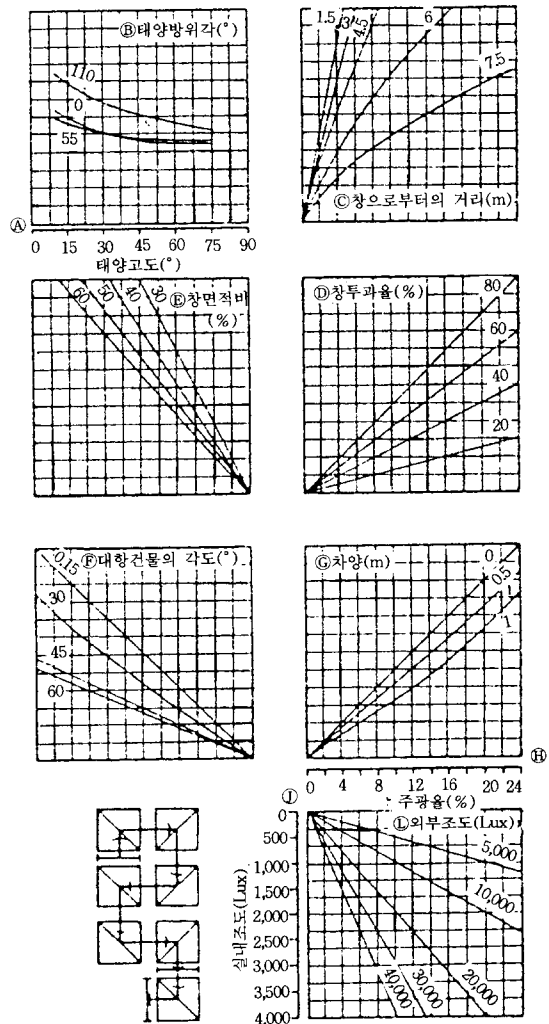


그림 3.

분담하면, 조명에너지를 감소시킬 수 있다. 자연채광을 이용하는 시스템을 계획하는 경우도, 연간을 통해 많은 에너지 절약을 기대할 수 있으며 더 나아가서는 연간의 Running Cost의 어느 부분이 감소될 수 있는가를 알 수 있고 이를 위해서는 자연채광조명 계산기능을 空調負荷계산에 관련시켜 시간별로 실내 조명기구의 점등률을 계산하고, 그 결과를 熱負荷계산사에 도입시켜 종합적으로 평가할 필요가 있다.

2.6 연속가동 루버 시스템에 따른 조명에너지 절약

1) 자연채광을 위한 인공조명 제어방법

兼用照明的의 목표는 자연채광과 인공조명을 따로 구별하지 않고 실내작업면에 설계기준 조도를 달성시키는 것을 의미한다. 일반적으로 인공조명은 자연채광이 얻어지지 않을 경우를 대상으로 설계기준 조도가 설계되어 있기 때문에 창가에 자연채광이 들어올 경우는 설계기준조도 이상 올라가게 될 경우가 많다.

즉, 자연채광이 들어오는 양만큼 인공조명의 에너지가 절감되어 이에 따른 에너지절약이 기대된다.

자연채광이용에 있어 절감대상이 되는 인공조명(형광등)의 제어방법은 현재로서는 주로 경제적인 이유로 주광센서를 사용한 점멸(on, off)방식이 있다. 그러나 이같은 방식으로 인해 발생하는 결과로 점멸에 따른 급격한 조도저하가 나타난다. 예를들어 저하된 조도가 소요조도를 만족하고 있다고 하더라도 작업자에게 不快感을 안겨다 줄 경우가 있어 실용화시키는 점에 있어서는 문제성을 안고 있는 것이 현실이다.

한편 형광등을 완전히 연속조광 시킬 경우 제어장치가 매우 비싸므로 형광등의 광속을 전광속의 약 20~30[%]까지 조광한 후 소등하는 방식 또는 이 상태에서 점등을 계속하는 방식을 채택한다면 이에 따른 자동제어 방식은 완전연속조광방식보다 매우 저렴한 가격으로 결정될 수 있으리라 생각된다.

특히 直射日光이 루버 시스템을 통하여 실내에 도입될 경우, 연속적으로 직사일광의 射入을 제

어함으로써 실내작업면에 필요한 자연채광량을 산정함과 동시에 이에 따라 절감될 수 있는 창가 2열 연속 조명제어로 인하여 일년간 혹은 임의기간(냉방기, 난방기)에 사용되는 조명용 전력량의 절감량을 예측할 수가 있다.

2) 모델계산 예

위에서 설명한 내용에 대한 하나의 모델 계산 예를 들자면 다음과 같다. 그림5는 10[m]×7[m]

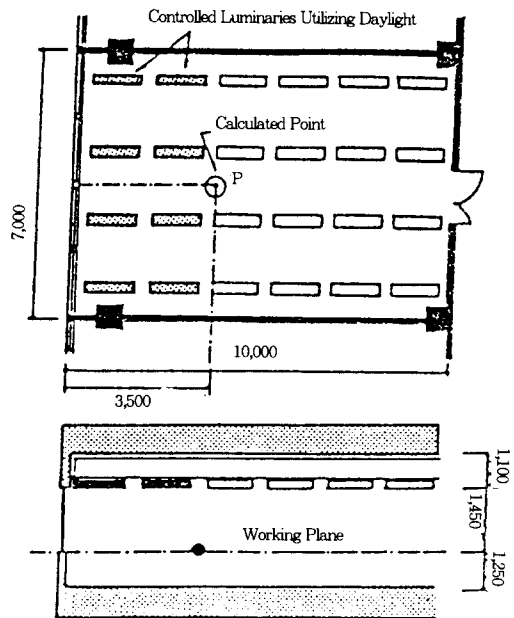


그림 4. 수직계산에 사용된 실내측정점 도면

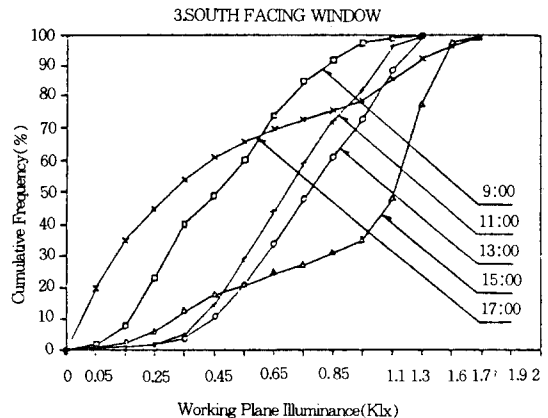


그림 5. 채광량에 대한 누적도수분포

표준 사무실공간에 있어 남쪽 창가에 가동블라인더를 설치하였을 경우 외부 자연채광 입사 조건에 따라 실내 천장면 인공조명을 80% 연속제어하고 사무소 작업시간대가 오전9시부터 오후 5시까지라 할 경우 이 시간대에 얻을 수 있는 서울지역에서 남향측 창의 자연채광량에 대한 누적도수분포를 나타낸 것이다. 그림6은 천장조명 2열을 연속 제어할 경우 자연채광에 의해 인공조명 전력량 절감을 冷房期(6월1일~9월20일), 暖房期(11월20일~3월30일)기간 동안 건물층장 방위별(동, 서, 남, 북)에 대하여 나타낸 것이다. 이러한 결과를 보더라도 자연채광 도입에 따른 인공조명 전력에너지 절감은 매우 효과적인 것으로 나타나고 있다.

3) 모델측정에

사진1, 사진2에서는 일반적인 사무실 공간의 축소모델을 제작한 것으로 이와 함께 고려할 사항은 건물내 작업자의 작업시 환경을 고려해야 할 필요가 함께 추가적으로 고려되어져 궁극적 목적인 실내 조명환경계획을 이룰 수 있을 것이다.

실내 천장 조명 2열을 연속제어함에 따라 인공조명 에너지절감량에 대한 파악은 물론 실내 작업자의 視環境에 대한 검토도 실시할 수 있도록 하는 것이다.

3. 건물에 있어서 자연채광 응용

3.1 아트리움, 돔 건축물

아트리움이란 語源은 로마시대 주거에 있어 中

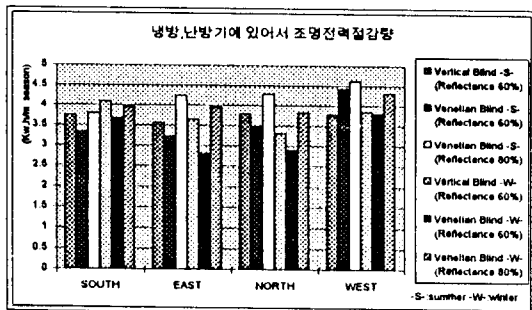


그림 6. 냉방, 난방기에 있어서 조명전력절감량

庭을 뜻하는 것으로 알려져 있으며 오늘날에는 대규모 건축물에 있어 투명한 천장에 덮혀져 있는 대공간을 뜻하는 것이 일반적이라 하겠다. 특히 이것은 실내 공간에 있어서는 외부 기후조건과는 독립적으로 실내환경을 조성할 수도 있으며 자연채광을 적극적으로 도입함으로써 실내 인공조명 에너지절약은 물론 작업환경에 있어서도 쾌적한 분위기를 조성해주는 장점을 갖고 있다고 말할 수 있다.

그림7과 사진3은 아트리움 공간을 갖고 있는 실제건물의 한 예를 나타낸 것이며 그림7은 상부 천장으로부터는 물론 북쪽 건물 외피부분에 반사판을 설치하여 사무공간에 자연채광도입을 보다 적극적으로 시도한 예라 할 수 있다. 사진4는 채광 조절을 가능하도록 개폐형으로 만든 후쿠호카에 있는 돔경기장으로서 주간에 자연채광도입

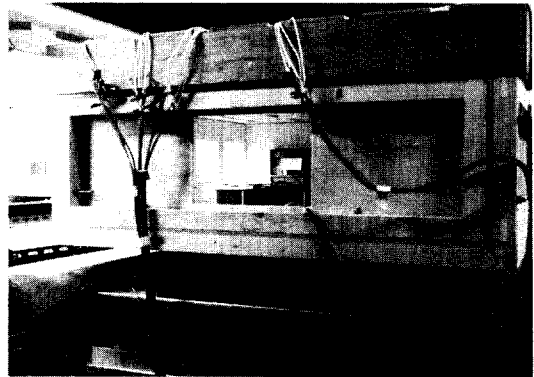


사진 1 사무실 모델

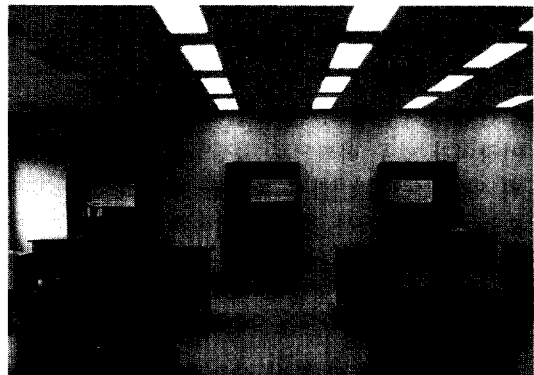


사진 2 사무실 모델

을 적극적으로 활용한 예이다. 특히 자연채광과 인공조명간의 컴퓨터제어를 통하여 동경기장내의 조도분포를 조절하여 관람객이나 운동선수들에게 보다 질이 좋은 환경을 제공해 준다.

3.2 설비형 채광장치

자연채광을 하기 위한 기법에는 크게 건물의 개구부를 통해 채광하고자 하는 건축적 기법과 보다 적극적인 방법을 사용하여 실내를 채광하고자 하는 설비적 채광방식을 나눌 수 있다.

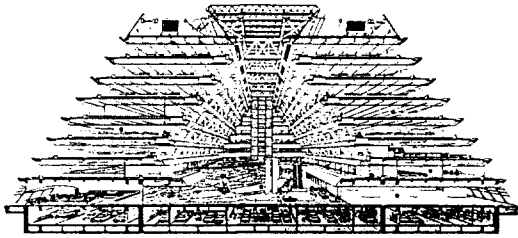


그림 7. 아트리움 단면

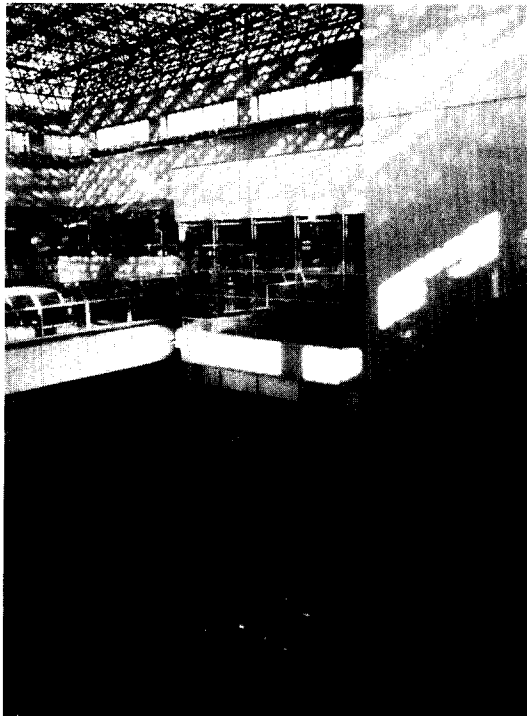


사진 3 내부 아트리움

건축적 기법의 분류에는 크게, 測光採光, 天窓採光, 正測窓採光 등이 있으나 본문에서는 특히 자연채광을 실내로 끌어들이기 위한 설비형 자연채광 도입방식에 대하여 설명하고자 한다.

1) 루버(Louver), 베네치안블라인더(Venetian Blind) 시스템

개구부가 크거나 내부음영에 대한 요구가 클 경우는 수평으로 작게 잘라 만든 루버를 사용한다. 루버 역시 여름철의 직사광선이나 밝은 하늘을 차단함으로써 급격한 밝기 차를 완화시킬 뿐만 아니라 여름철 冷房負荷를 감소시키는데 도움이 되기도한다.

베네치안 블라인드(Venetian blind)는 루버의 일종으로 가장 효과적인 조절장치라 할 수 있다. 직사광선은 차단하지만 그 빛을 반사하여 실내로 射入시키며 필요에 따라서는 외부의 자연채광과 조망을 완전히 차단하거나, 혹은 접어 올려서 완전히 개방할 수 있는 장점이 있다. 그림8은 건물 방위별에 대한 차양시스템의 적정 온도를 나타낸 것으로 건물의 방위각에 따라 자연채광 이용에 적합한 차양시스템을 열거한 것이다.

2) 빛선반장치(水平光旋盤)

건물에 특별히 설치된 광선반을 말하며 그림9와 같이 창에 침입되는 태양광을 실내 천정면으로 반사시켜 자연채광을 실 안쪽 부분까지 깊숙히 도입시키는 방법으로서 현재 사무실 건물 등에서 실제 계획되고 있는 방법이다. 특별히 고려되어야 할 부분은 빛선반부분을 광학적 반사를 크고, 경사 각도를 알맞게 하여 실 깊숙한 부분까지 자연채광을 도달시켜 실내 인공조명에너지의 절감

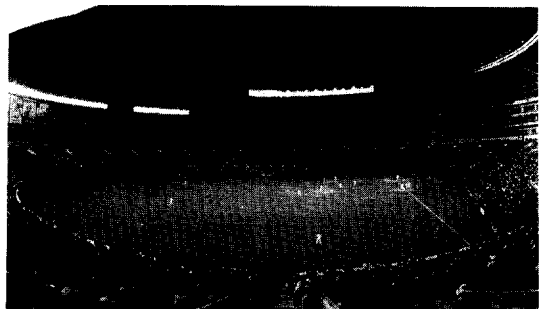


사진 4 개폐형돔

을 도모할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하며 현재 이 부분에 대한 연구가 외국에서는 활발히 연구되어지고 있다.

3) 프리즘윈도우

비교적 위도가 높은 지방에서 사용되며 자연채광을 적극적으로 실안쪽 깊숙이 까지 도입시키기 위하여 개발된 것으로 전용프리즘 판넬을 창의 외부에 설치하여 태양으로부터의 직사광이 프리즘 안에서 굴절되어 실을 밝히게 하는 것.

4) 광화이버 集光裝置

이 장치는 태양광을 콜렉터라 불리는 렌즈로서 집광하여 묶여놓은 광화이버 한쪽에 빛을 통과시켜 다른 한쪽에 빛을 보내 조명하고자 하는 부분에 빛을 비추도록 하는 것으로 실용화시 복수의 콜렉터를 태양의 방향으로 향하게 하여 태양을 따라 가도록 한다.

현재 일본에서 시판되어 건물에 설치한 예들이 있으며 국내에서도 개발되어 건축물에 설치를 시도하고 있다.

구분	형태	적정향	구분	형태	적정향
(수평) 차양 발코니		S	(수직) 루우버		NW/N/NE
(수평) 가리개 패널		S/SW/SE	(수직) 가동 루우버		NE/E/SE SW/W/NW
(수평) 루우버		S	(수직) 베네산 블라인드		전방위
(수평) 루우버		S	(수직) 핀		NE/E/SE SW/W/NW
(수평) 차양+루우버		S	격자 루우버		SW/SE NW/NE
(수평) 어닝		E/SE S/SW/W	유리블럭		SE/S/SW NW/N/NE
(수평) 베네산 블라인드		전방위	블래이드		전방위

그림 8. 차양의 장치와 건물방위각

5) 태양광 追尾式 반사장치

이 방식은 그림11과 같이 장치에 설치된 반사경이 이동하여 태양을 자동적으로 추미하여 적절한 각도로서 태양광을 반사시켜 조명하고자 하는 장소에 빛을 도입하는 장치로서 대형건물의 中庭 照明에 사용되어진다.

현재 외국에서는 시판되어 실제 건물에 적용시킨 사례가 있다.

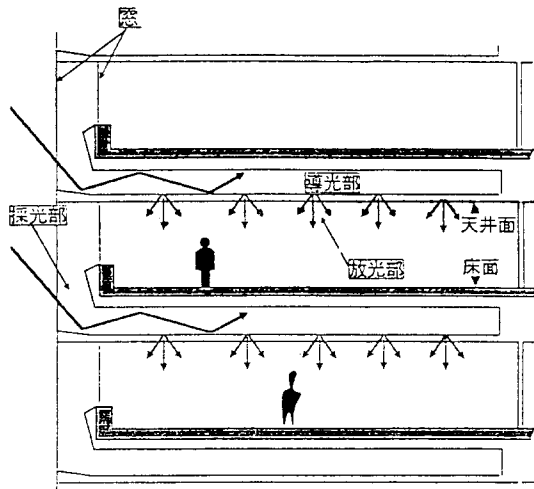
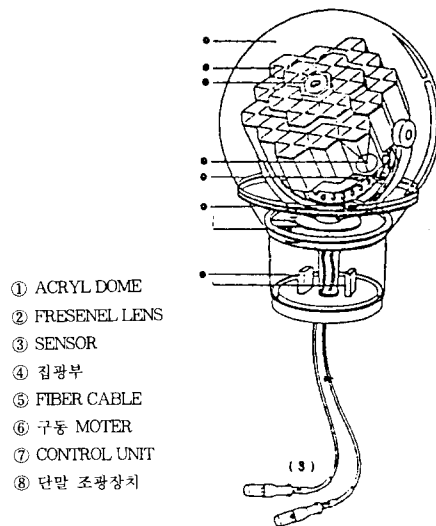


그림 9. 광선반을 이용한 빛의 유입



- ① ACRYL DOME
- ② FRESNEL LENS
- ③ SENSOR
- ④ 집광부
- ⑤ FIBER CABLE
- ⑥ 구동 MOTER
- ⑦ CONTROL UNIT
- ⑧ 단말 조광장치

그림 10. 광화이버 집광 장치 구조도

6) 태양광 追尾 덕트 조광장치

앞의 태양광 追尾式 반사장치와 같이 반사경을 작동시키면서 태양광을 일정한 장소로 향하게 하여 렌즈로 집광시켜 평행광선으로 만들어 좁은 덕트내를 통하여 실내에 빛을 도입시키는 방법이다. 자연채광의 이용은 물론 조명전력량의 절감을 가져다 줄 수 있는 시스템이다.

7) 고정식 반사장치

건물의 옥상에 반사경을 고정하고 태양광을 반사시켜 일조를 충분히 이용하고자 하는 장치로서 계절에 따라 反射鏡의 각도를 조절할 수 있게 하여 반사광의 입사위치를 태양광의 이동에 따라 항상 적용할 수 있게 한다.

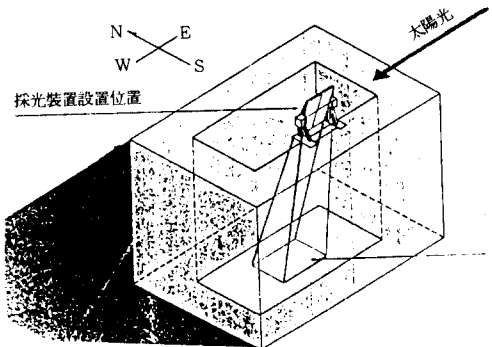


그림 11. 追尾식 반사장치 개략도

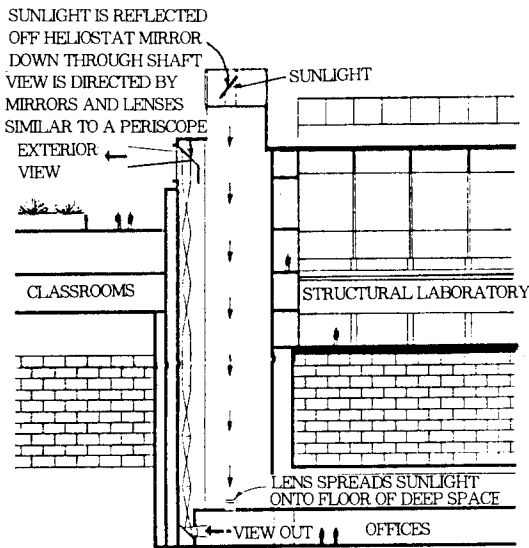


그림 12. 追尾 덕트 조광장치 개략도

8) 채광덕트 장치

채광덕트는 태양광을 직접 도입하기보다는 天空散亂光 즉, 낮기간중 외부조도를 유리면과 같이 반사율이 매우 높은 덕트내면으로 도입시켜 덕트내의 반사를 반복시켜 가면서 실내에 채광을 도입하는 방법이다. 빛이 조사되는 출구는 그림 14와 같이 보통 조명기구와 같이 판넬 및 루버로 되어 있으며 도입된 낮기간의 빛이 이곳으로부터 실내에 도입되어진다. 야간에는 反射鏡의 각도를 조정시켜 인공조명을 점등하여 보통조명기구의 역할을 하게 한다.

그림과 같은 예의 경우 채광면적은 2400[m²] 외부의 수평면 조도가 6000[lx] 덕트의 전길이가 5m일 경우 빛을 방출하는 부분으로부터 2.5(m) 떨어진 하부면 조도는 300[lx]를 얻을 수 있다.

그림15는 채광덕트의 상세를 나타낸 것이다.

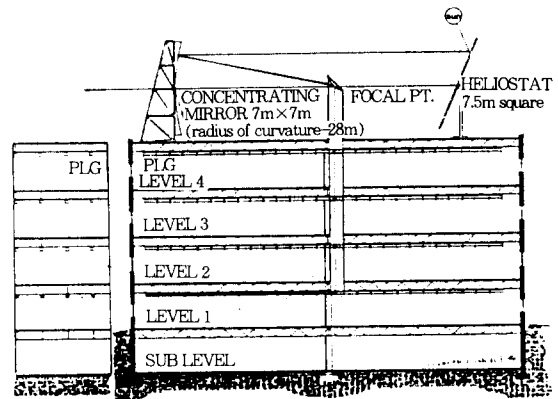


그림 13. 고정식 반사장치

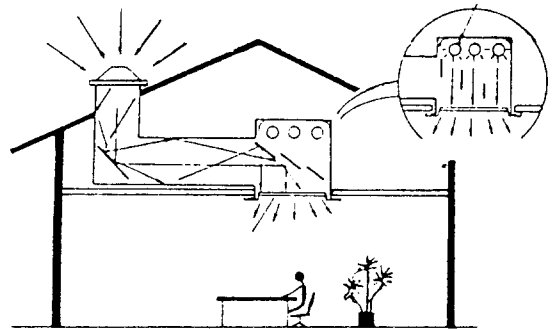


그림 14. 일반채광덕트 구조도

4. 地下空間 採光利用

최근에 와서 에너지절약 및 도시의 밀집화에 따른 택지의 고도활용이란 관점에서 지하공간에 대한 개발이 크게 인식됨과 동시에 보다 쾌적하고 실용가능한 생활공간으로서의 가치를 높이기 위하여 많은 노력이 기울어지고 있는 것이 사실이라 하겠다.

지하공간은 건물의 밀집화에 따른 도시의 확장에 대하여 다양화되고 복잡해지는 도시에 새롭게 요구되는 새로운 공간형태라 말할 수 있다. 지상 건축과는 달리 외부기후의 영향을 적게 받으며, 도시의 효율적인 토지이용을 요구하는 도시계획적인 측면에서도 앞으로 이용이 폭넓게 증가할 것으로 예상된다.

지하공간내 전력에너지 절감 및 조명기구로부터의 발열에 따른 室內冷房負荷의 절감을 위해서라도 자연채광을 도입하여 지하공간 깊숙한 부분까지 자연광을 활용할 수 있는 새로운 시스템개발이 시도되어야 할 것이다. 그 하나의 방법으로서 그림16과 같이 지하공간 내에 자연 채광덕트 시스템을 설치하여 지하공간에 있어 전력 에너지의 절감은 물론 생활공간으로서의 역할을 충분히 수행할 수 있도록 하는 것에 큰 의미를 들 수 있을 것이다.

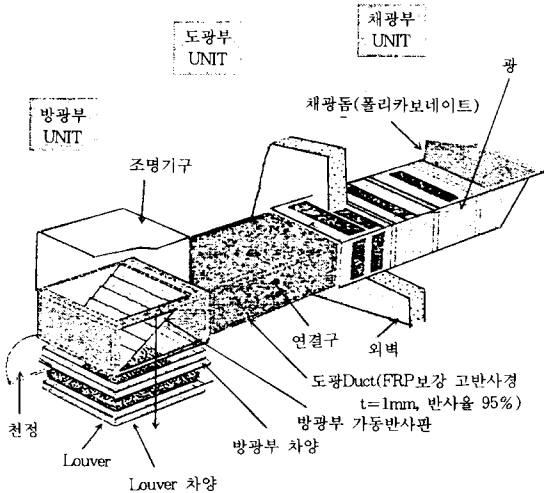


그림 15. 채광덕트 상세도

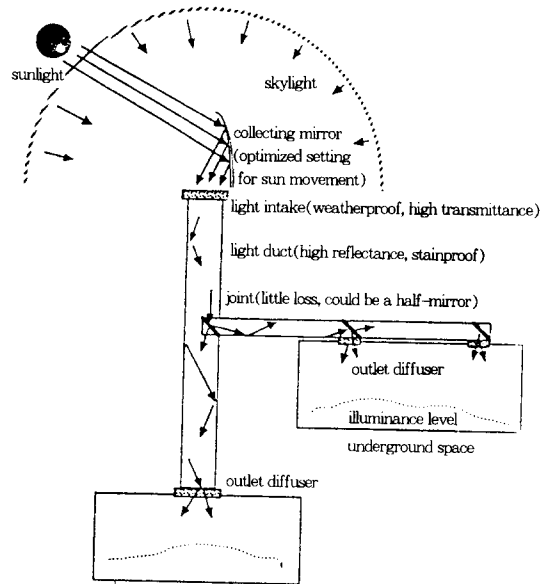


그림 17. 지하공간에 대한 광덕트의 단면도

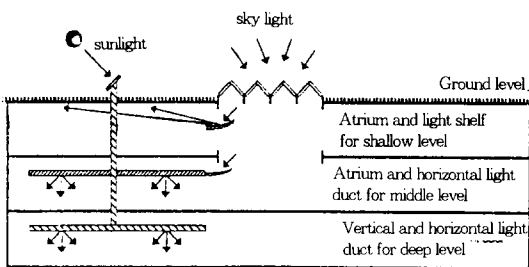


그림 16. 지하공간 채광덕트시스템

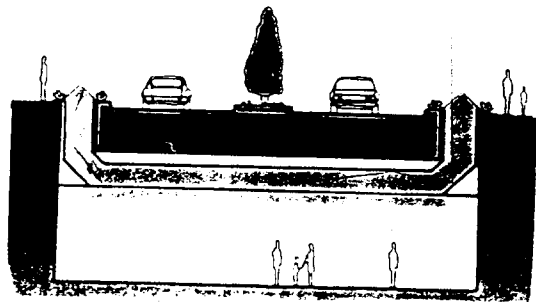


그림 18. 지하도의 자연채광이용의예

參考文獻

- 1) 金會瑞, 車光錫: 자연채광을 이용한 人工照明의 制御方法에 관한 實驗的 研究, 조명·전기 설비학회 논문집, Vol. 8, No. 1, 1994.2.
- 2) 金會瑞, 松浦 邦男: 晝光利用の ための 人工照明制御方法に 關する 實驗, 日本建築學會大會學術講演便覽集, 1982.10.
- 3) 상업용건물의 自然採光用 설계기법 개발에 관한 연구, 동력자원부 보고서, 1991.2.
- 4) 金會瑞: 可動 Louver Blind사용에 따른 室內照度 예측 방법, 한국태양에너지학회 학술발표회, 1991.5.
- 5) 金會瑞, 崔仁昌, 徐廷昊: Atrium Building의 自然採光특성에 관한 기초적 연구, 한국태양에너지학회지, Vol. 12, No. 3, 1992.12.
- 6) 金會瑞, 金重憲, 上谷 芳昭: 地下建築物에 있어서 採光덕트 이용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 학술발표회, 1991.5.
- 7) 金會瑞, 徐廷昊, 中村 洋: 자연채광을 고려한 실내조명환경의 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 10권 제9호, 1994.9.
- 8) 한국건설기술연구원: 자연채광을 이용한 에너지 성능향상에 관한 연구, 1989.12.
- 9) 동력자원부: 상업용 건물의 자연채광 설계기법 개발에 관한 연구, 1991.2.
- 10) J. W. Griffith, John I. Yellott: Energy And Buildings, Vol. 6, No. 2,3,4, 1984.
- 11) Richard Saxon: Atrium Building, Development And Design, 1986.
- 12) William M.C. Lam: Sunlighting as Formgiver for Architecture, Van Nostrand Reinhold, 1986.
- 13) John Carmody, Raymond Sterling: Underground Space Design, Van Nostrand Reinhold, 1993.
- 14) 松浦 邦男: 建築照明, 共立出版社, 1971.
- 15) 中谷 明男: 채광덕트의 연구, 日本建築學會大會學術講演便覽集, 1981.
- 16) 仲 允人: 晝光光源의 標準化에關する 研究, 京都大學 校 大學院, 博士學位論文, 1983.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 회 서(金會瑞)

1953年 7月 27日生. 1979年 漢陽大 建築工學科 卒. 1982年 日本 京都大 學校 建築工學科 碩士科程 卒(碩士). 1986年 日本京都大學校 建築工學科 博士科程 卒(博士). 1987年 美國 UC Berkeley Lawrence Berkeley 研究所 Window and Daylighting Group 研究員. 現在 서울市 建築審議委員, 檀國大 建築工學科 副教授, 當學會 編修委員.