

자연 에너지 이용과 환경건축을 위한 신기술

이 경 회*

* 연세대학교 건축공학과교수, 부회장

ABSTRACT

This paper is to refine the concept of utilizing natural energy, and to introduce new technologies of building energy control. For the global environment protection, it is essential to turn attention to latent capacity of natural renewable energy. Especially the concept of 'Environmental Architecture' is very important from this viewpoint. This paper reviews many of new technologies for environmental architecture developed recently : TIM, high effective solar radiation control strategy of glazing, new passive cooling and heating system etc. The design application of the technology has been introduced.

I. 서 론

오늘날 지구 환경의 보존은 현대 사회가 안고 있는 다른 어떠한 문제보다도 심각한 문제이다. 산업혁명 이후 가속화된 도시화 및 공업화로 인류의 편익은 극대화 되었으나 그 이면으로는 대기오염, 오존층의 파괴, 각종 자원의 고갈 등 지구환경 생태계의 평형을 위협하는 현상이 도처에서 발견되고 있다. 이와같은 현상은 인류 전체의 생존권과 직결되어 그 심각성이 나날이 증대되고 있다. 이러한 「지구 환경의 보존」 문제는 다양한 분야에서 접근되어야 하며 건축도 예외일 수 없다.

건축의 역사를 돌아볼 때, 20세기초 기능주의 건축의 대두와 함께 건물의 인공적 실내환경조절이 이루어지면서 자연적 방법에 의한 건축 환경조절이라는 전통적 개념은 변화되었다. 즉, 일체식 구조의 발달로 벽의 구조적 의미는 약

화되고 매스로서의 벽의 개념이 붕괴되었으며, 육중하고 불투명한 벽체는 유리와 같은 경량 커튼월 구조에 의하여 스크린화 되었다. 이러한 건물의 최적 환경 성능을 달성하기 위한 기계적 설비투자의 증가는 막대한 에너지 소비를 초래하였다.

결국 이러한 에너지 문제는 1973년 이후 수차례에 걸친 세계적 에너지 파동을 거치면서 에너지 절약적 혹은 에너지 지향적 건축으로의 방향전환과 더불어 건축설계 과정에서 건물 에너지 성능이라는 새로운 디자인 목표를 대두시켰다. 또한, 이는 90년대 들어 크게 부각되고 있는 「지구 환경의 보존」 문제와 결합되어 “환경건축 (Environmental Architecture)”이라는 새로운 개념이 나오게 되었다.

자연환경과 기후에 순응하는 「환경건축」은 절실한 시대적 과제로서 건축에 대한 새로운 시각을 요구하고 있다.

II. 지구환경과 자연에너지

현재 지구의 주요 에너지 자원중 90% 이상이 비재생성 에너지이지만 현재 지구상에서 이용할 수 있는 비재생성 에너지는 그 부존량에 한계가 있다. 현재 확인 가채매장량에 따른 향후 가채 연수는 석유가 40년, 천연가스 59년, 석탄 276년, 천연우라늄 88년이며 자원전체로는 126년 정도이다. 더우기 최근의 세계전체 에너지 자원의 연간 생산량은 전체적으로 계속 증가 추세에 있으며 앞으로 30년간의 세계에너지 소비 신장률 연 1.2-2.4%를 고려하면 석유, 천연가스, 석탄, 천연우라늄을 합제한 가채 연수는 현재의 연간 생산량으로 계산한 126년의 절반가량으로 단축된다.

이러한 에너지 부존자원의 유한성 외에도 오늘날 인류가 직면하고 있는 중요 문제로 지구환경의 보존을 들 수 있다. 날로 악화되어가는 대기오염, 화석연료의 연소에 따른 온실효과, 오존층의 파괴등등 환경파괴 현상은 이제 심각한 정도를 넘어섰다.

예를 들어 화석연료 소비의 근간에 관련되는 문제로서 지구 온난화 문제를 들 수 있다. 대기 중의 이산화탄소의 농도는 현재, 산업혁명 이전보다 약 25% 높은 약 350ppm(1ppm은 100만분의 1) 전후에 달하고 있는데, 그 주된 원인은 화석연료의 연소로 생각되고 있다. 이산화탄소 등의 온실효과 가스의 농도가 증가하면, 지구전체의 기온 상승과 이에 따른 해수면의 상승 등이 유발된다.

지구온난화의 영향으로 지구 기온이 1-2°C 상승하면, 강수량이 10% 감소한다. 이것은 40-70%의 지표수 감수효과를 가져와 농업 및 생활용수에 큰 영향을 미치고, 토양의 산성화 및 토양유실을 심화시킨다. 또한 생태계의 변동으로 병충해와 잡초의 발생이 증가되어 농업생산에 큰 지장을 초래하게 된다.

현재 화석 연료의 소비에 의한 이산화탄소의 배출량은 세계 합계의 1/4 가까이 차지하는

미국을 선두로, 독립국가 연합, 중국, 독일의 순으로 그 배출량이 많으며, 우리나라도 석탄과 석유 사용량이 전체 에너지의 85%를 차지하고 있어서, 세계 12위를 기록하고 있다.

장래의 기온상승을 막기 위해서는 온실효과 가스의 배출량을 현재의 절반 이하로 삭감해야 한다고 한다. 대책이 늦어지면 대기중으로의 이산화탄소의 축적은 계속되고 그래서 장래의 세대가 부담해야만 하는 대책비용은 더욱 높을 것이라는 예측이 있다.

이렇듯 비재생성에너지 자원의 유한성과 이들 에너지의 소비에 따라 야기되는 제반 환경오염 문제는 장기적 관점에서 현대의 에너지 소비방향을 다시 묻고 있는 것이라 할 수 있다.

지구의 자연에너지 시스템은 크게 4개의 부류로 구분할 수 있다. 태양으로부터 직접적으로 전달되는 태양에너지, 지표면의 온도차로 발생하는 공기의 동적유동에 의한 풍력에너지, 태양 및 기후조건에 영향받아 발생하는 물의 유동 또는 순환에 의한 수력에너지, 중력, 자연반사는, 자기장 등 지구의 자연적인 매스와 열에 의한 지구에너지 등이다. 이중 풍력에너지 및 수력에너지는 간접적인 태양에너지의 형태라 할 수 있다.

● 태양에너지

태양의 방사에너지는 지구의 자연에너지 시스템에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 에너지이다. 대기권 밖에서 지구에 수직으로 입사되는 태양에너지는 1,395(kw/m²)로서 지구 전체에 걸쳐서 173×10⁶GW의 엄청난 양이 된다. 그러나 태양의 방사 에너지가 대기권 안으로 투입될 때는 이의 약 30% (52×10⁶GW)는 반사되어 다시 우주공간으로 되돌아 간다. 나머지 70% (121×10⁶GW)가 대기권 내로 들어오게 되며 이의 약 67% (81×10⁶GW), 즉 전체의 47%는 대기, 육지 표면, 해면에 흡수되어, 직접 열에너지로 변한다고 추산된다. 대기권 안에 들어온 나머지 33% (40×10⁶GW, 전체의 23%)는 증발, 대류, 비 또는

는, 지표수 등 지구상 수분의 순환 사이클 형성에 쓰여진다. 바람, 해류, 파랑으로 변환되는 에너지량은 $0.37 \times 10^6 \text{GW}$ 로서 전체의 0.2%에 그치며 광합성에 기여하는 양은 40,000GW 정도로 추산된다.

지구가 일년동안에 받는 태양복사의 에너지량은 적게 잡아도 세계전체에서 소비하고있는 에너지량의 8000년분 정도이다. 태양 복사에너지는 무한하며 태양에너지는 이산화탄소를 배출하지 않는 청정에너지이다.

태양으로부터 직접 전달되는 에너지는 건축적인 응용에 매우 다양하게 적용되고 있다. 그 응용분야를 소개하면 다음과 같다.

- 건물난방(Heating of Building)
- 건물냉방(Cooling of Building)
- 온수난방(Hot-Water Heating)
- 환기(Ventilation)
- 가습(Humidiation)
- 제습(Dehumidification)
- 건조(Drying)
- 자연채광(Natural Lighting)
- 탈염 및 증류(Desalination and Distillation)
- 조경과 대지계획(Landscaping and Site Planning)
- 태양로 및 오븐(solar Furnaces and Ovens)
- 광화학적 반응(Photochemical Reactions)
- 살균 작용(Germinal Reaction)

● 풍력에너지

공기나 바람의 유동은 많은 자연형 및 설비형 에너지 시스템에 이용될 수 있다. 공기의 유동은 태양에 의해 형성된 온도나 압력의 차이를 균일화시킨다. 지구상의 풍력에너지중 1%를 사용할 수 있다면, 인류가 필요한 에너지는 모두 조달할 수 있다고 한다. 실질적으로 대규모로 활용하는 데에는 어려움이 있지만 최근에 다시 풍력은 환경에 유리하고, 고갈되지 않는 에너지

원으로서 주목을 받고 있다. 특히 '환경비용'의 측면에서 풍력 발전을 생각할 필요가 있다. 200kw급의 풍차를 풍속이 매초 5.5m인 지점에 설치하면, 연간 총 발전량은 약 40만kw가 된다. 화력으로 동일한 발전량을 얻는 경우, 연간 이산화황이 2.2-3.2톤, 이산화탄소는 300-500톤이나 배출된다. 풍차 1대로 이만큼의 환경비용을 절감할 수 있다. 정부가 정책적으로 풍력 보급에 힘쓰는다면, 그것은 지구 환경 보존에 그만큼 공헌할 수 있는 유력한 방법일 것이다. 바람은 다음과 같이 이용될 수 있다.

- 바람 감응형 건축(Wind-Responsive Architecture)
- 신선한 공기(Fresh Air)
- 냉방매체(Cooling Media)
- 제습(Dehumidiation)
- 습도(Humidity)
- 압축(Compression)
- 단열(Insulation)
- 전력생산(Electrical Generation)
- 기계적 동력(Mechanical Power)

● 수력에너지

물이나 강우의 자연적 순환은 지구상의 생물체를 유지시키는 데에 필요한 힘이다. 지표면의 3/4은 물로 구성되며 물의 자연적 순환에 의한 유동으로 다양한 에너지가 개발될 수 있다. 이러한 에너지의 한예로 조석에너지를 들 수 있는데 약 2,900GW의 에너지량을 가지고 있다.

- 생명의 유지
- 냉방
- 가습
- 공기의 정화
- 열관성(thermal Inertia)
- 조력(Tidal Power)
- 해양의 열구배(Ocean Thermal Gradient)
- 축열조(Thermal Storage)
- 수소(Hydrogen) 에너지의 이용

● 지구 에너지

지구는 하나의 에너지원(energy source)으로 간주될 수 있지만 태양과 비교할 때 가용에너지의 양은 매우 국한되어 있다. 그러나 지열은 32,000GW의 에너지량을 가지고 있으며 그밖에 지구로부터 유용하게 이용할 수 있는 에너지의 형태나 방법은 다음과 같다.

- 자원의 보고(Resources Container)
- 여과(Filtering)
- 정화(Purification)
- 지열(Geothermal)
- 열관성(Thermal Inertia)
- 냉방(Thermal Cooling)
- 내부축열체(Interior Thermal Mass)

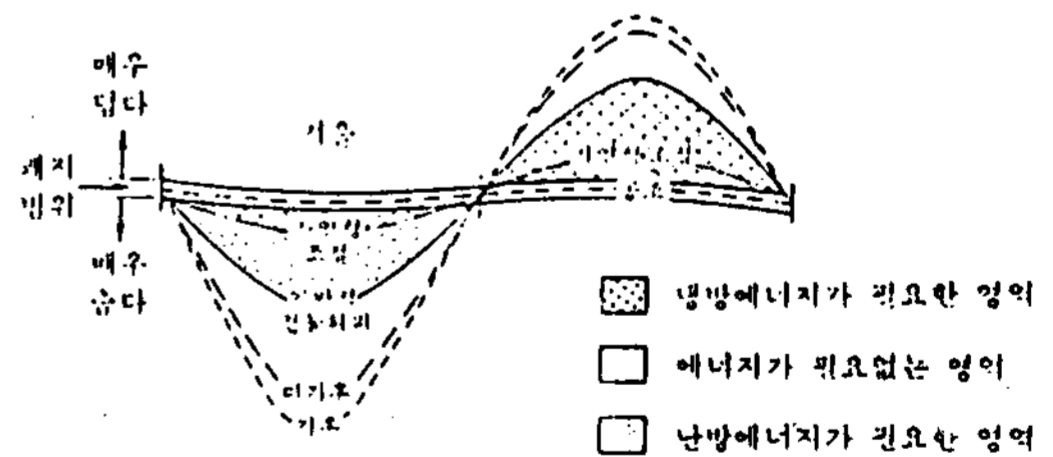
III. 환경건축의 개념 및 원리

지구환경 문제에 대한 관심이 높아지면서 최근에 ‘환경건축(environmental architecture)’이라는 개념이 출현하였다. ‘환경건축’이란 건축을 바라보는 새로운 관점을 표현하는 것으로서, 건축을 독립적으로 존재하는 시각적 대상물(object)로 여기는 것이 아니고, 자연생태계의 일부로서 존재하는 ‘주변환경에 순응하는 건축’ 또는 ‘자연과 함께 하는 건축’을 의미한다. 이것은 건축이란 인간/환경 측면에서 환경으로부터 인간의 오관(sense)을 통해 전달되는 자극(stress)을 자연적인 방법으로 극소화함으로써 감각적으로 쾌적한 환경을 조성하고자 하는 행위(설계) 또는 그 결과로서의 인공물(건물)을 의미하게 되는 것이다.

따라서 ‘환경건축’은 경험주의적 철학에 근거하여, 자연환경의 일부로서 인간의 생존을 유지하고 더 나아가 자연스럽고 쾌적한 환경을 만들기 위해 ‘환경을 주체로 하는 건축’의 이념을 표방한다. 즉 ‘환경건축’은 태양열, 물, 바람, 지열 등 자연에너지의 이용을 극대화하여

석유와 같은 화석연료를 사용하지 않으면서 인간에게 쾌적한 상태를 유지하고자하는 목표를 갖게 된다. 이를 위해 ‘환경건축’은 자연형 태양열 시스템을 이용하여 실내공간을 냉난방하며, 실내에 가급적 많은 햇빛을 끌어들이고, 독성이 없는 표준화된 건축자재를 이용하며, 쓰레기를 줄이고 자원을 재활용할 수 있는 중수시스템 등을 도입하고자 한다.

환경건축을 위한 자연형 디자인의 원리는 기후디자인의 개념으로부터 시작된다고 볼 수 있다. 기후조절방법에는 자연형(passive : 건물의 기능에 의한) 방법과 설비형(active : 사용되는 장치에 의한)방법이 있다.(그림 1)은 실내기후 조절의 가능성을 나타낸 것이다. 변화폭이 큰 기후조건에서 건물과 건물사이에서 발생하는 공간의 미기후는 건물의 밀집, 위치 및 배치방법에 의하여 변화된다. 자연형에 의한 기후조절은 기후변동을 고르게 하여, 쾌적조건을 얻을 수 있다. 그러나 이상적이며, 엄밀하게 조절되는 실내조건은 보통 설비형으로 조절한다. 그러나 경제성 및 에너지 절약의 측면에서 자연형을 사용하는 것이 바람직하며, 설비형은 자연형이 적절하지 않을 때 보조적으로 사용한다.



(그림 1) 기후조절의 가능성

자연형조절 원리는 건물에너지 사용을 최대한 억제하면서 쾌적한 실내환경을 조성하기 위해 태양열이나 햇빛 같은 자연에너지를 적극적으로 활용하는 데에 있다. 자연형설계의 원리를 구체적으로 살펴보면 실내 열환경 측면에서, 난방이 필요한 시기에는 태양열과 같은 외부의 열획득을 촉진하고 내부에서 발생하는 열의 손실을 억제하며 냉방이 요구될 때에는 외부로부터의 열의 유입을 최대한 억제하고 내부발생열을 외부로

신속히 배출하는 것이다.

실내빛환경 측면에서는 상업용 건물(사무소, 백화점, 상점 등)이나 학교건물과 같이 실내빛환경이 중요하고 조명에너지 소비가 많은 유형의 건물을 디자인할 때 실내에 최대한 자연채광을 유입하는 것이 자연형 조절의 기본원리가 된다.

IV. 환경건축을 위한 설계기법과 신기술 응용

1. 자연형 설계기법

1) 자연형 태양열 난방

자연형 태양열시스템은 각 구성부(집열부, 축열부, 이용부)간의 에너지 전달방법이 자연순환, 즉 전도, 대류, 복사 등의 현상에 의한 것으로 특별한 기계장치없이 태양에너지를 자연적인 방법으로 집열, 저장하여 이용할 수 있도록 한 것이다. 자연형 태양열 난방 시스템 구성부의 특성은 다음과 같다.

1. 집열부는 일반적으로 투명한 남면의 유리면이다. 유리 이외에도 투명한 플라스틱이나 섬유 유리가 사용될 수 있다. 이 때 재료의 선택은 햇빛이나 기후요소들에 의한 재료의 퇴화 등을 고려해야 한다.

2. 축열부에 재료로서는 물 또는 기타 액체 등과 함께 조적구조(콘크리트, 벽돌, 모래, 타일, 돌 등)도 사용된다. 또한 용융소금이나 파라핀과 같은 상변화 물질(PCM : Phase Changing Material)을 사용하여 축열성능을 높일 수도 있다.

3. 열의 분배는 전도, 대류, 복사 등과 같은 자연적인 방법에 의하여 이루어지므로 송풍기와 같은 기계장치는 가급적 피한다.

4. 열조절을 위해 통기구(vent), 댐퍼(damper), 가동 단열 및 차양 장치 등이 부수적으로 사용될 수 있다.

자연형 태양열 시스템은 태양열에너지를 적용하는 방법에 따라 ① 직접획득형, ② 간접획득형, ③ 분리획득형으로 나눌 수 있으며, 물리

적인 구조형태에 따라 ① 직접획득방식, ② 축열벽 방식, ③ 축열지붕방식, ④ 부착온실방식, ⑤ 자연대류방식, ⑥ 이중외피구조형으로 분류하기도 한다.

2) 자연형 냉방

인체에 쾌적한 실내환경을 제공하기 위해 자연의 원리를 이용하여 실내 온도를 낮추는 방법을 자연형냉방(passive cooling)이라 한다. 자연형 냉방 조절은 태양 복사열과 같은 열 공급원을 차단하고 천공, 습한 표면과 같은 열 흡수원(energy sink)을 적극적으로 이용한다. 또한 주로 실내온도보다 낮은 물, 지표면, 대기, 천공복사와 같은 부분들을 이용하여 실내를 냉방하게 된다.

자연형 냉방 시스템의 디자인 원리는 증발냉각(evaporative cooling), 높은 열용량을 가진 축열체(high thermal mass), 자연환기(natural ventilation), 야간 천공복사(radiative night sky cooling), 자연형 제습(dehumidification) 등의 방법으로 구분한다.

자연형 냉방시스템의 기능은 첫째로 건물 구조체가 태양열에 의해서 과열되는 것을 방지하는 것이다. 따라서 실내외의 열 이동을 최소화할 수 있는 열용량이 큰 구조체의 사용이 우선되며, 차양계획, 건물의 향, 건물에 유입되는 기류의 조절이 필요하다. 또한 지표면에 의한 재복사 열량의 감소를 위한 적절한 대지의 선정도 중요하다.

냉방의 또 다른 중요한 기능은 습기의 제거이다. 자연형에서는 설비형과는 달리 차고 건조한 공기를 실내로 유입시켜 제거하는 것이 유일한 제습방법이다.

3) 자연채광

오늘날 에너지 문제가 대두됨에 따라 창은 조망, 환기의 역할뿐만 아니라 건축계획의 수법에 의하여 효율적이고 쾌적한 자연채광을 연출

함으로써 자연광의 가치는 새롭게 인식되고 있다. 건축공간에서 주광은 좋은 광원이 된다. 건물외피의 개구부를 디자인 할 때 자연광을 적극적으로 이용하면 쾌적한 환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서 초기투자 효과를 높일 수 있는 수단이 된다.

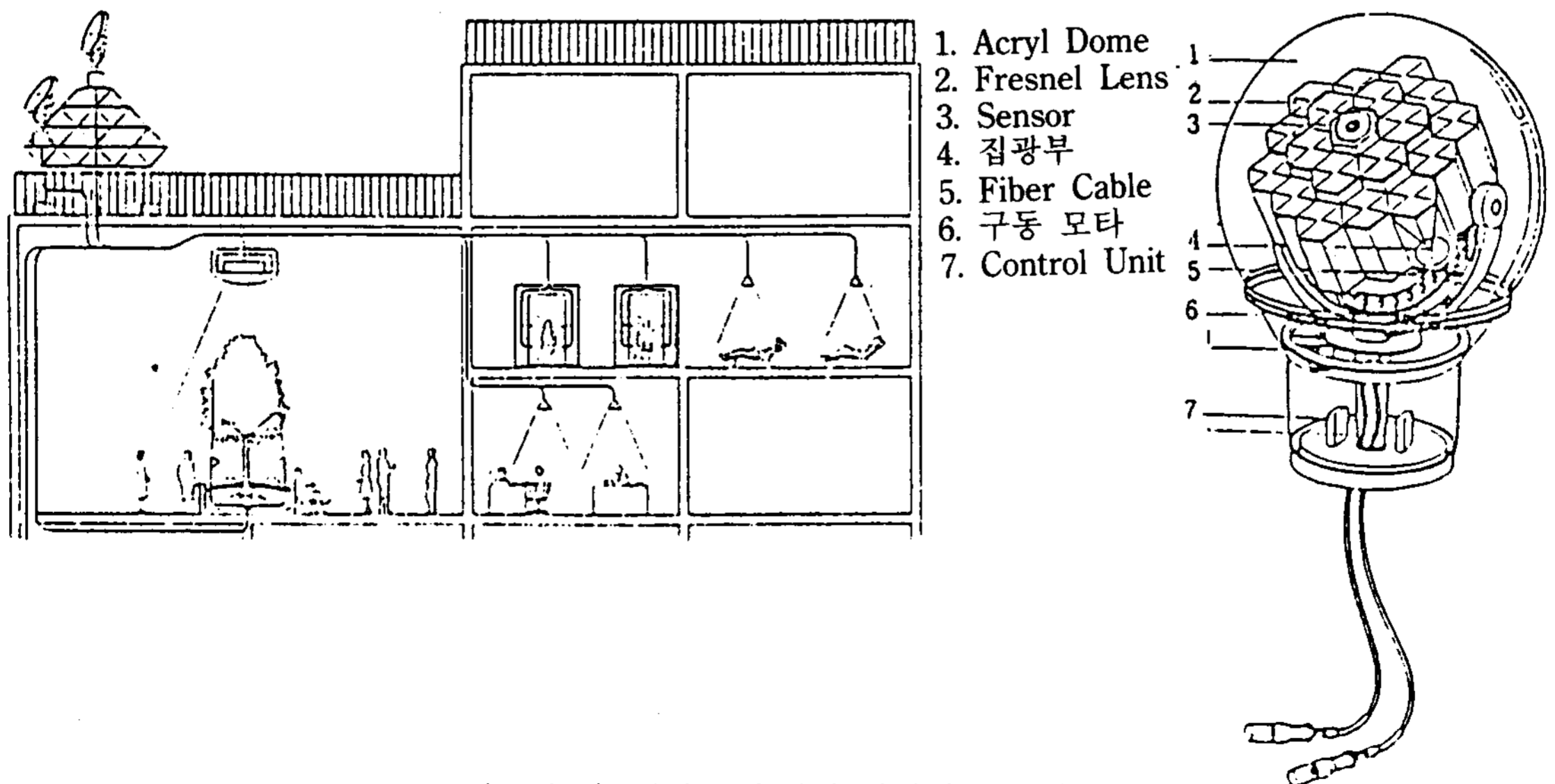
자연광의 효율이 인공광원의 효율에 비해 2배 가까이 높으므로 경제적인 측면에서 매우 효율적이며 사람들의 자연광에 대한 심리적인 선호도를 고려할 때 건강건축이라는 점에서도 자연광의 이용은 중요하다 할 수 있다.

특히 최근 에너지 다소비형 대형 상업용 건물에서 인공조명에 의한 냉방부하가중(조명부하)이 전체부하의 20-50%까지 상당한 비율을 차지하기 때문에 에너지 절약 측면에서도 매우 중요한 설계변수가 된다.

적절한 자연광을 얻기 위해서는 블라인드나 커튼 등 자연광을 조절하는 장치가 필요하다. 어떤 공간으로 주광이 사입될 때 창부근의 재료의 색채, 재질등이 영향을 받으므로 건물표면의 반사율을 이용하면 주광효율을 개선할 수가 있으며 창외부의 반사판도 실재주광율을 25% 정도 까지 높일 수 있다.

자연광의 계획은 기본적으로 실내환경 분위기에 적합하고 작업수행이 편리하도록 계획되어야 하며 특히 창을 통해 실내로 사입될 때 열, 음, 공기의 유출현상도 일어나기 때문에 주광을 이용한 개구부의 계획은 주광뿐만 아니라 다른 환경 요소들도 충분히 고려되어야 한다. 또한 천공광의 상태와 휘도, 창의 크기, 형태 및 위치, 실내의 표면반사율, 실외 장애물의 유무 및 그 반사율 등도 큰 영향을 미치므로 신중히 고려해야 한다.

건물이 대형화, 밀집화 되어감에 따라 건물내부에 직접 자연광이 도입될 수 없는 공간, 즉 주광을 도입할 수 없는 공간에 주광을 도입하는 자연채광의 기본 법칙에는 ① 아트리움 ② 천창채광 ③ 광선반 또는 반사루버 ④ 광정(light well) ⑤ 덕트채광 ⑥ 광화이버 또는 선스쿠프 방식 등을 들 수 있다. (그림 2)는 광화이버 방식의 자연채광 장치를 예시한 것으로 집광부의 태양추적장치가 태양의 고도 및 방위각에 따라 최대의 집광효율을 나타내도록 태양을 위치를 추적하며 집광하고, 광화이버등의 광전달 매체를 통해 자연광을 실내나 지하공간의 원하는 위치에 전달하는 방식이다.



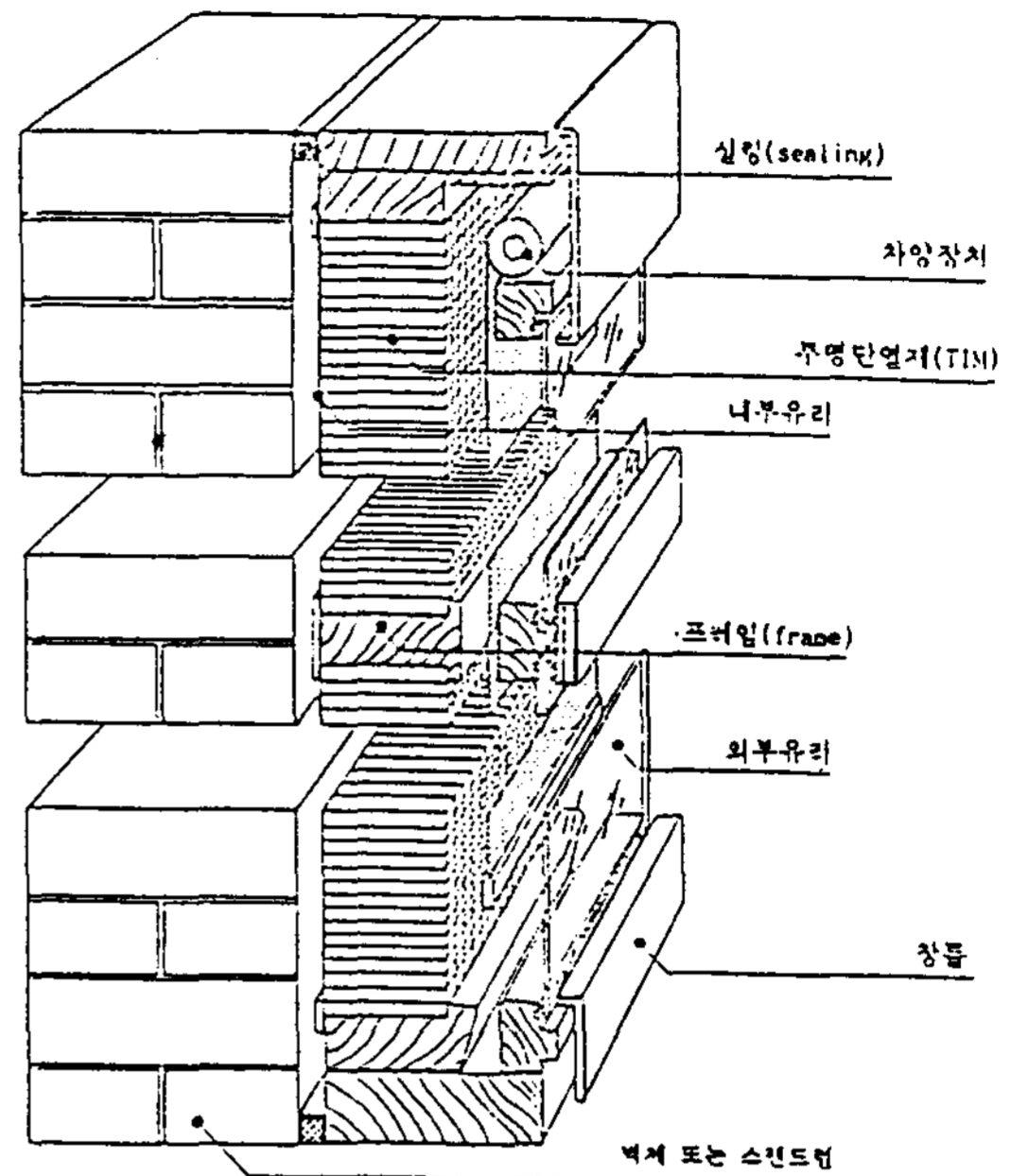
(그림 2) 태양광 추적식 자연채광 장치

2. 자연형 건물 설계를 위한 신기술

1) 투명 단열시스템(TIM : Transparent Insulation Material)

투명단열재라는 것은 최신 단열시스템 가운데서도 가장 실용성이 높은 것으로서 열관류율이 낮고 태양광은 고도로 투과하도록 개발된 재료이다. 즉, 투명단열재의 열관류율값은 $1W/m^2(0.86kcal/m^2hr)$ 이하이며 태양에너지 투과율이 70% 이상이므로 태양복사열로 변환하는 데 기존의 유리창호 시스템보다 효율이 매우 높다. 따라서 투명단열 시스템은 겨울철 건물수직면이 낮은 고도로 도달하는 태양에너지를 효과적으로 건물난방에 이용할 수 있다. 투명단열 시스템은 투명단열재와 기존의 구조벽체(콘크리트나 조적벽)를 축열체로 사용하여 태양열 복사에너지를 건물난방에 이용하는 시스템으로서, 단독주택 및 공동주택을 비롯하여 사무소 건물의 외피(특히 스펙드럴) 등에 널리 이용될 수 있다. 다시 말해서 투명단열 시스템은 자연형 태양열 난방 시스템으로 이용될 수 있으며 직접수열방식에 의한 자연형 태양열 난방 시스템보다 우수한 성능을 발휘한다. 이는 직접수열방식이 축열체 면적에 한계가 있고 태양열의 획득이 고르게 분배되어 제어하기 어려운 반면, 투명단열 시스템은 외부로의 열손실은 최소화 하는 동시에 에너지의 전달 자연효과를 가지므로 수열창의 면적을 최대화 할 수 있기 때문이다.

투명단열 시스템은 여러가지 형태로 구성될 수 있으나, 그 중 한가지 예로 외부유리, 차양장치, 투명단열체, 플라스틱 필름이나 얇은 유리판과 벽체 또는 스펙드럴 부의 등의 요소들이 프레임에 의해서 고정되는 형태가 있다.(그림 3) 외부유리는 일반적으로 강화유리가 사용되며, 과열을 방지하고 야간 단열효과를 줄이기 위해서 사용되는 차양장치로 롤러 블라인드나 베네시안 블라인드 등이 사용된다. 프레임은 낮은 열전도율을 가진 재료를 사용하고, 태양을 최대한 받



(그림 3) 투명단열 시스템

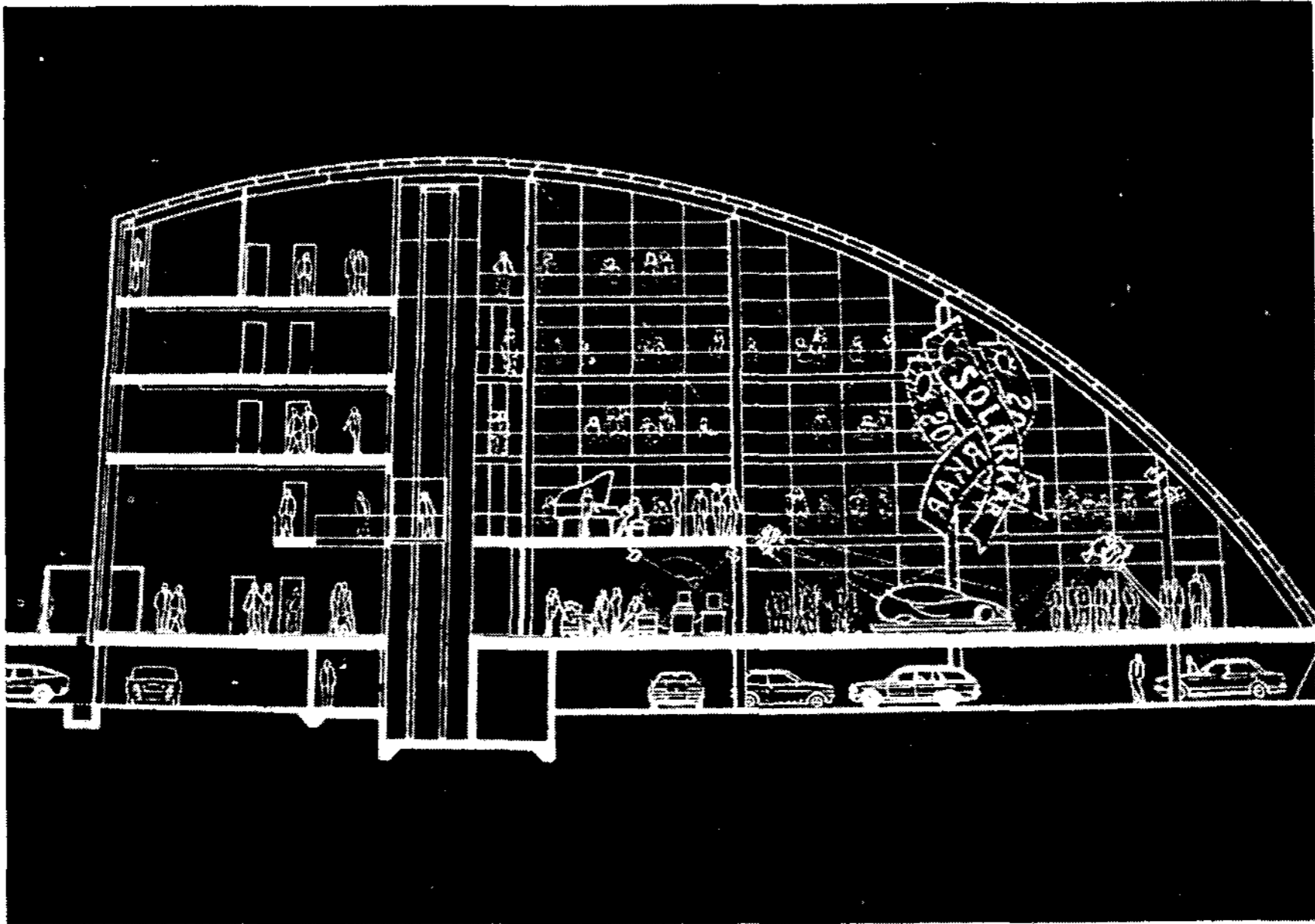
아들이기 위해 두께는 최소로 하여야 하며, 외부공기의 침투와 시스템내의 대류현상을 방지하기 위해 공기가 통하지 않는 밀폐된 벽에 부착한다.

투명단열 시스템은 현재까지 전 세계적으로 20여개 이상의 프로젝트가 수행되었거나 진행 중이며, 약 $5,000m^2$ 의 투명단열 시스템이 설치되어 있다.

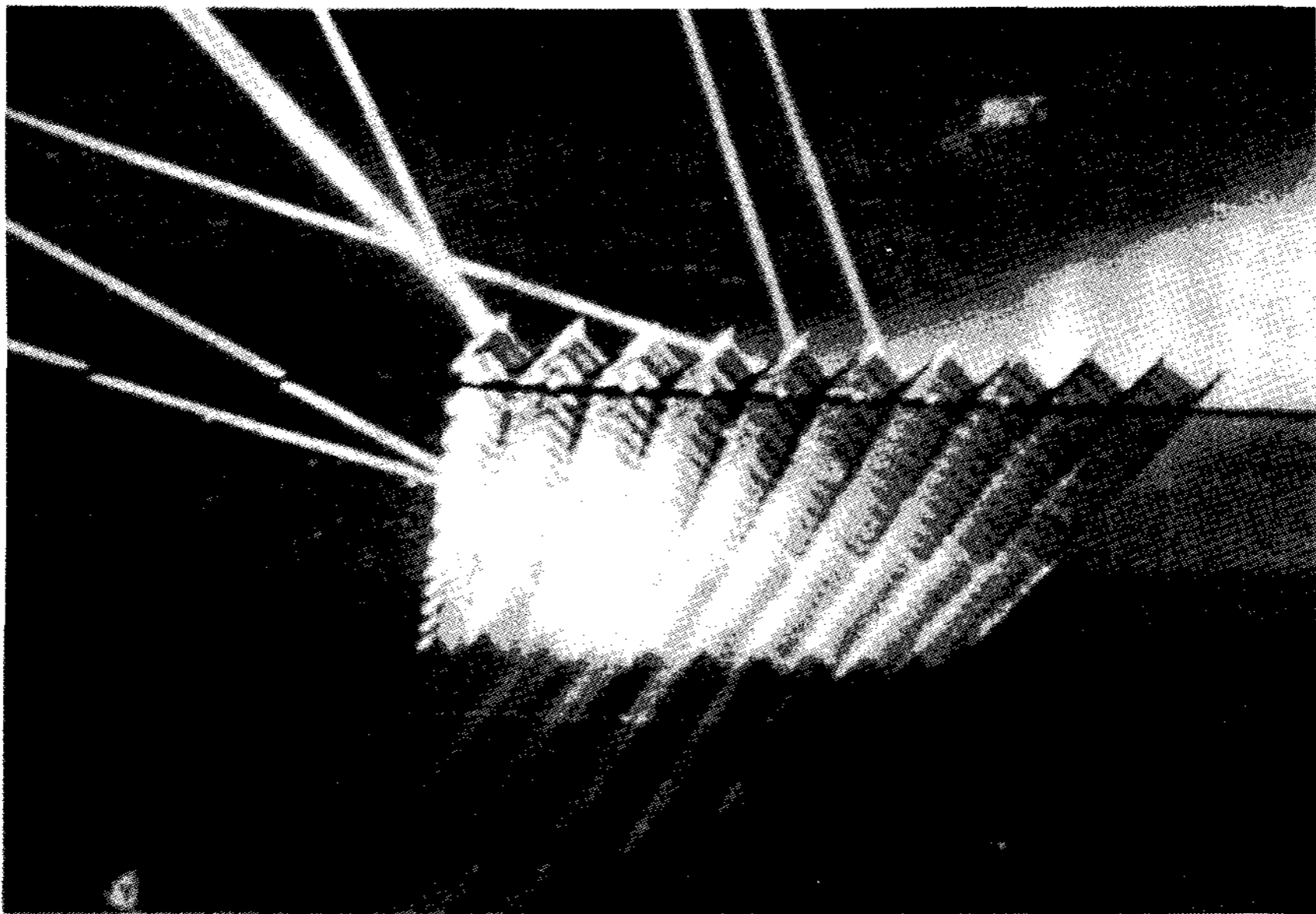
(그림 4)는 독일의 Duisburg Microelectronic Center로서 첨단 사무환경을 조성하기 위해 여러가지 환경건축적 요소를 도입하였는데, 특히 남측 수열면을 제외한 3면의 외피에 투명단열재를 디자인의 주요소로 활용하였다.

남측공간은 아트리움을 조성하여 태양열을 최대한 받아들이며, 북측 공간은 투명단열체를 이용하여 단열하는 동시에 채광효과를 얻으므로써 에너지절약 효과와 함께 최적의 사무공간을 제공하도록 계획되었다.

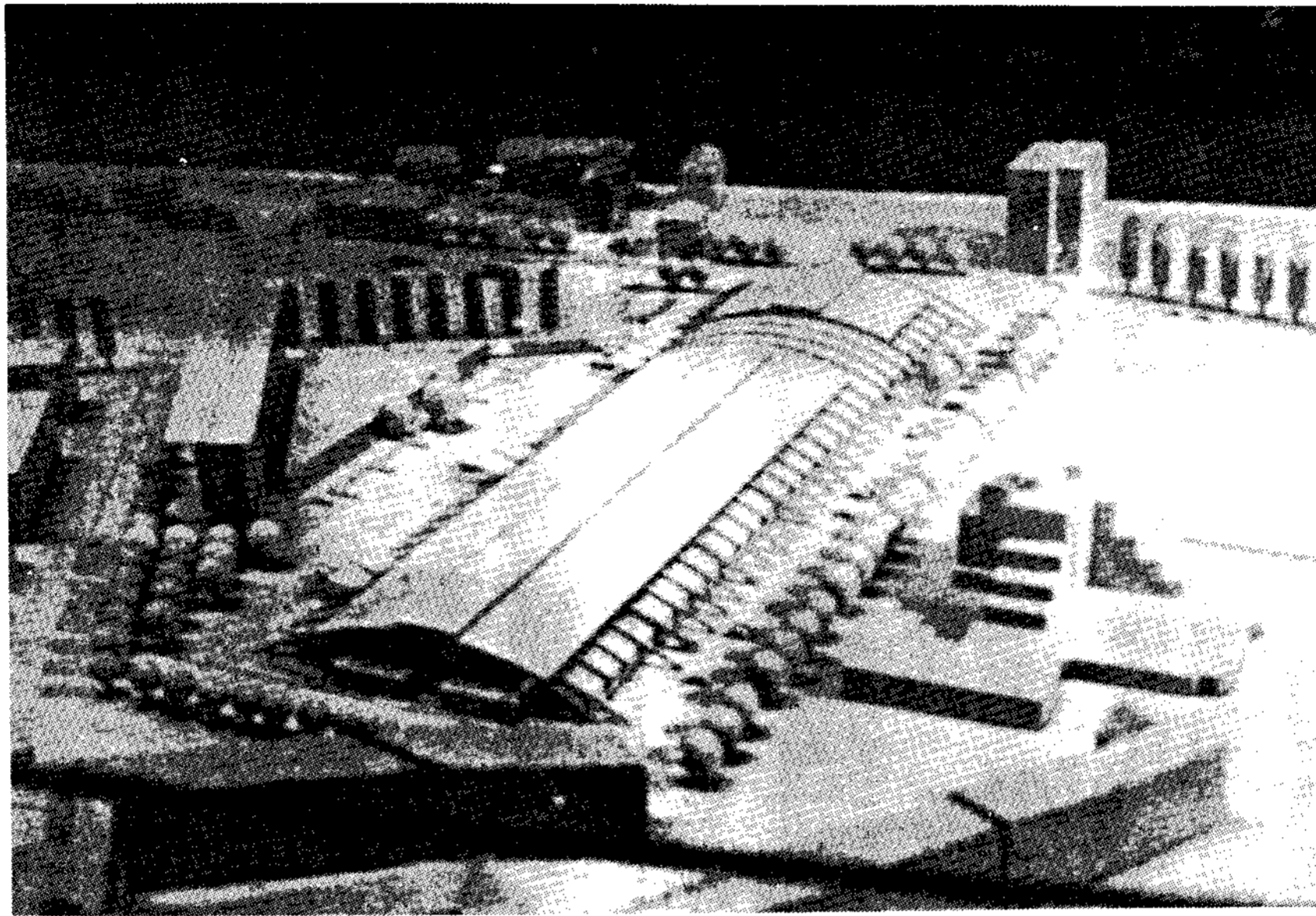
(그림 5)는 투명단열체를 이용하여 최대 60%의 직사일광을 차단할 수 있는 천창용 자재로 복층유리내에 베네시안 블라인드와 격자형태의 투명단열재를 삽입하여 직사일광을 역반사 시키도록 된 구조이다. (그림 6)은 이러한 천창용



(그림 4) 독일 Duisburg Microelectronic Center 주단면도



(그림 5) 투명단열재를 이용한 천창용 자재



(그림 6) 투명단열재를 이용한 대규모 컨벤션 센터

자재를 이용하여 간접채광과 열조절의 효과를 동시에 얻도록 계획된 대규모 컨벤션 센터로서 이외에도 기동벽에 의해 열·빛·음환경의 동시조절 효과를 얻거나, 벌집형 폴리카브네이트 필름을 이용한 투명단열체와 Acrogel을 이용한 투명단열체 등 다양한 유형의 투명단열재를 적용하여 쾌적한 실내환경을 조성하도록 계획되었다.

2) 투과체를 통한 일사조절 신기술

오늘날 대규모 에너지 소비원으로 대두된 대다수의 상업용 고층건물은 커튼월 구조를 중심으로 건물 외피가 거의 유리 등의 투과체로 구성되기 때문에 환경조절에 더욱 큰 어려움을 가지게 되었다. 특히 일사에 의한 냉방부하의 가중과 막대한 조명부하는 건물 에너지 소비의 주요인으로 등장하게 되었으며, 이의 조절을 위해 자연채광과 차양장치등의 자연형 기법 적용을 다양하게 모색하고 있으나 난방, 냉방, 채광, 조망 등 유리의 상반되고 복합적인 기능을 모두

충족시키기에는 한계가 있다.

따라서 현재 투과체의 환경조절을 위해 기계적 장치나 인위적 수동조작 대신에 미래의 창호 시스템은 새로운 코팅기술을 이용해 유리나 플라스틱 등의 창호재에 직접 코팅을 함으로서 유리자체가 자동적으로 환경조절을 하게 되는 시스템이 될 것이다.

이러한 이상적인 창호시스템의 새로운 코팅 기술이나 자료개발을 위해 우선적으로 고려되어야 하는 중요한 2가지 기능은 일사냉방부하를 감소시키기 위한 일사차단과 주광성능 향상을 위한 자연광 투과율의 향상이라는 상반된 조절 개념이다.

현재 상용되고 있는 대표적 투과체의 재료는 일사부하 감소를 위한 색유리(tinted glazing) 및 반사 유리(reflective glazing)를 들 수 있다. 색유리는 유리 전체에 흡수성의 재료를 첨가하는 반면 반사유리는 유리표면에 직접 반사 및 흡수가 이루어 지도록 코팅을 하는 방식이다. 두 재료 모두 일사의 투과율을 절감시킨다.

열선 흡수유리의 종류는 황동색, 청녹색 등이

있다. 회색 계통은 대략 가시광선과 태양복사열을 같은 비율로 투과시키며, 황동색 계통은 가시광선보다는 태양복사열의 투과 비율이 높은 반면 청녹색 계통은 태양복사열 보다 훨씬 많은 비율로 가시광선을 투과 시킨다.

반사코팅은 투명 또는 색유리에 모두 적용 가능하며 코팅의 성능은 사용된 재료에 따라 달라진다. 코팅의 위치는 내구성과 청결의 문제상 다층구조의 내부에 놓이는 것이 일반적이다. 이러한 코팅 필름들은 계속 개발되어 주광유입을 위한 가시광선 투과율의 향상 및 냉방부하 절감을 위한 적외선 파장대의 차단을 위한 쪽으로 개선되고 있다. 이러한 필름들 중 일부는 방사(emission)에 의한 열손실을 줄이기 위해 저방사(low emittance) 표면 코팅처리 된 것도 있다.

저방사 유리(low-E glazing)로 불리는 이 유리는 광학적으로 투명하고 투과율이 높아 겨울철 일사획득에 유리하고 열전도율이 낮아 한냉지역에 유리한 투과체이다. 한편 저방사 코팅은 그림에 나타난 바와 같이 가시광선 영역에는 높은 투과율을 보이는 반면 적외선 영역에서는 반사적 성질이 강하다. 적외선 영역에 대해서는 설계와 코팅위치에 따라 재료는 복합적 성질을 나타낼 수 있기 때문에 이중유리(pair glass)나 삼중유리(triple glass) 등을 이용해 냉방지역을 위한 또는 난방지역을 위한 특성을 살릴 수 있다.

투과체를 통한 대류 및 전도 열손실을 최소화하는 다른 방법으로는 실리카의 colloidal gel의 건조를 통해 형성된 투명 에어로겔(transparent silica aerogels)을 이용하는 것이다. 실리카의 입자는 가시광선의 파장보다 훨씬 작기 때문에 가시광선이 투과되어 결과적으로 매우 투명한 성질을 가진다. 창호시스템에서 에어로겔은 습기나 충격으로부터 보호되어야 하며 유리판 사이에 위치시켜 봉해야 한다. 현재 외부환경으로부터 이러한 물질을 보호하는 방법과 양산을 위한 방법이 연구중에 있다.

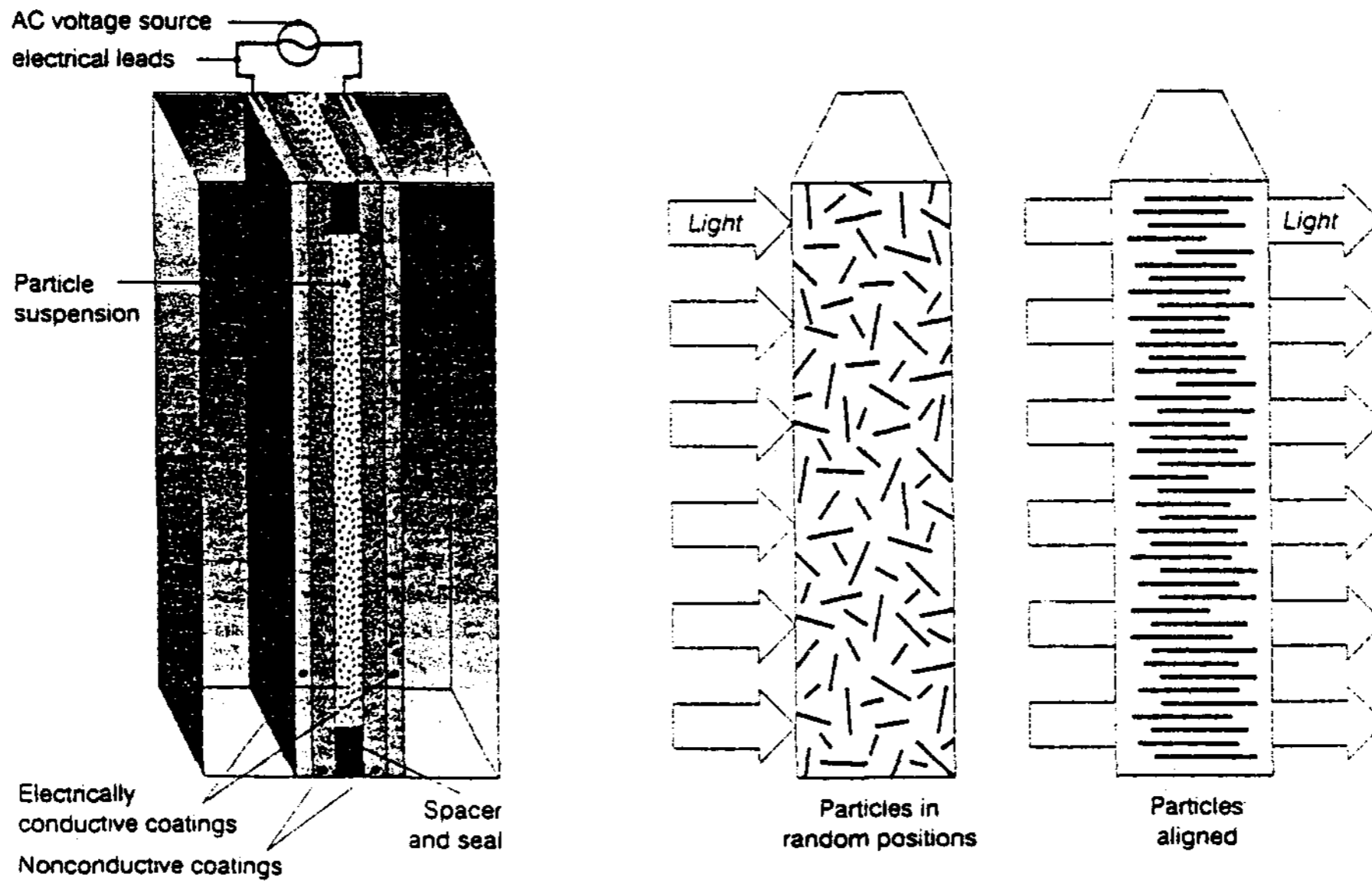
냉난방의 균형 및 냉방과 주광의 상반성을 충족시키기 위한 일사조절수단으로 가장 바람직한 기술은 태양복사의 파장대별, 각도별에 따

라 선택적으로 투과율을 직접 조절할 수 있는 광학적 전환재료(optical switching materials)를 들 수 있다. 광학적 전환재료는 현재 3가지 유형으로 연구 개발되고 있는데, 빛 감지방식인 포토크로믹(Photochromic), 열 감지방식인 써모크로믹(Thermochromic) 및 전기적 환성에 의한 일렉트로크로믹(Electrochromic) 코팅 등으로 구분할 수 있으며, 이들 재료는 각각 조명과 냉방에너지에 미치는 영향이 다르게 나타난다.

열 감지방식(써모크로믹 Thermochromic)의 재료는 특정온도에서 색 변이(color transition)가 이루어진다. 코팅이 특정 변이온도 이하일 때는 태양일사를 투과시키게 되지만 코팅이 가열됨에 따라 코팅내부가 금속적 상태로 전환되어 태양일사의 적외선을 반사시키게 된다. 따라서 투과체를 통한 태양일사의 실내 유입량을 감소시키는 효과를 나타낸다. 건물의 투과체로 현재 유일하게 사용가능한 thermochromic 재료는 vanadium dioxide(VO_2)이다. 그러나 아직 VO_2 가 수용할 만한 가시광선 투과율을 제공할 수 있을지에 관해서는 알려지지 않고 있다.

빛 감지방식(포토크로믹 Potomocromic)의 재료들은 그들의 광학적 성질이 빛의 강도에 따라 변하게 된다. 일반적으로 이러한 재료들은 에너지 흡수적인데 그것은 각기 다른 흡수 스펙트럼들을 가진 두개의 에너지 상태 사이에서 화학적인 가역 변화에 기인하는 것이다. 이러한 변화는 조도에 의해 유도된다. 그러나 상업적으로 이용가능한 응용방안을 수립하기 위해서는 향후 더욱 심도높은 연구가 수행되어야 한다.

전기적 환성(일렉트로크로믹 : Electrochromic)에 의한 재료들은 가해지는 전위차에 반응하여 재료의 색이 변하게 된다. (그림 7)은 일렉트로크로믹 창호의 내부구조에 한 예를 도식한 것이다. 이 재료는 주로 태양적외선 영역내에서 전환되며 양쪽상태에서 모두 높은 가시광선 투과율을 유지한다. 최근의 연구결과에 의하면 electrochromic 재료는 태양에너지를 조절하기 위한 응용방법중 가장 잠재력이 뛰어난 것으로 나타났다. 단일형태의 Thermochromic 또는 Photochromic 코팅은 냉방 및 조명에 대해 요구되는 모든



(그림 7) Electrochromic Window의 구조

반응을 제공하지 못하는 반면 Electrochromic 코팅은 적절히 조절할 수 있는 능력을 가짐을 알 수 있다. Electrochromic 코팅은 현재 상용되고 있는 저방사 코팅(low-E coating)의 전류 발생보다 더욱 복잡한 다층(multilayer) 구조의 코팅방식이다. 그러나 이것은 일부 상용제품이 생산되고 시험적 성격으로 몇몇 건물에 적용된 예가 있으나 아직까지는 연구 개발단계에 있으며 경제성과 코팅의 크기 등 기술적 제약사항 때문에 우선 자동차나 진열장비 등에 적용될 것으로 예측된다.

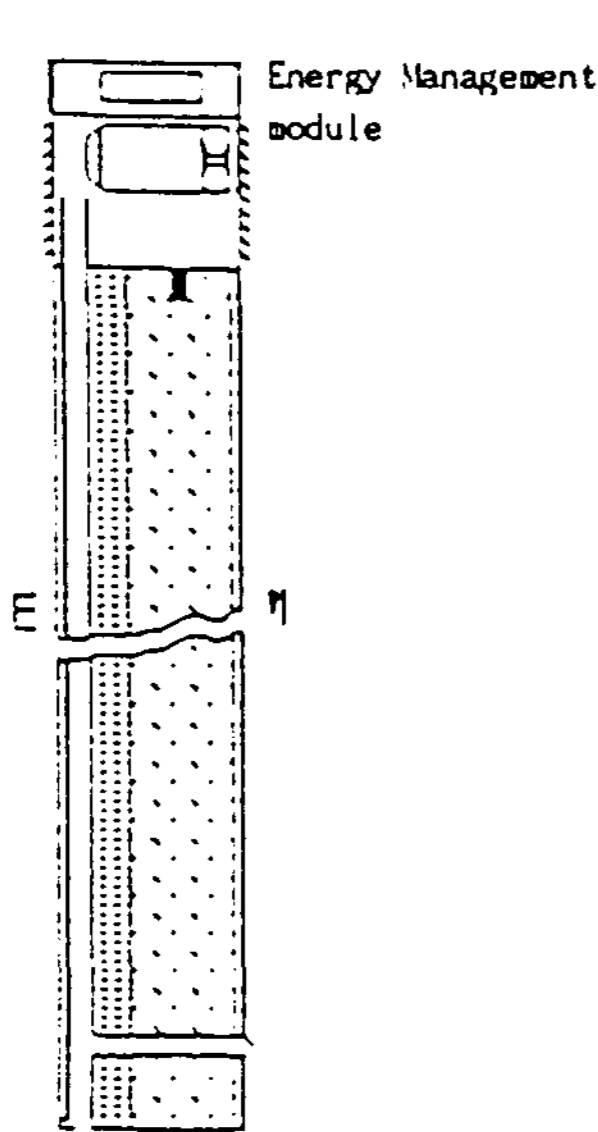
3) 자연형 냉난방 장치 신기술

건물의 자연형 조절기법 적용의 최근동향은 직접획득방식이나 트롬벽과 같은 자연형 태양열 시스템이나 자연채광, 자연냉방 등과 같이 건축 설계적 요소가 강조되던 기존의 방식에서 발전하여 첨단기술과 접합된 장치나 부품개발쪽으로 경진되고 있다. 물론 이러한 장치의 기본개념도 자연에너지를 적극 이용하는 자연형 조절원리에 기본개념을 두고 있으며 여기에 일렉트로크로믹

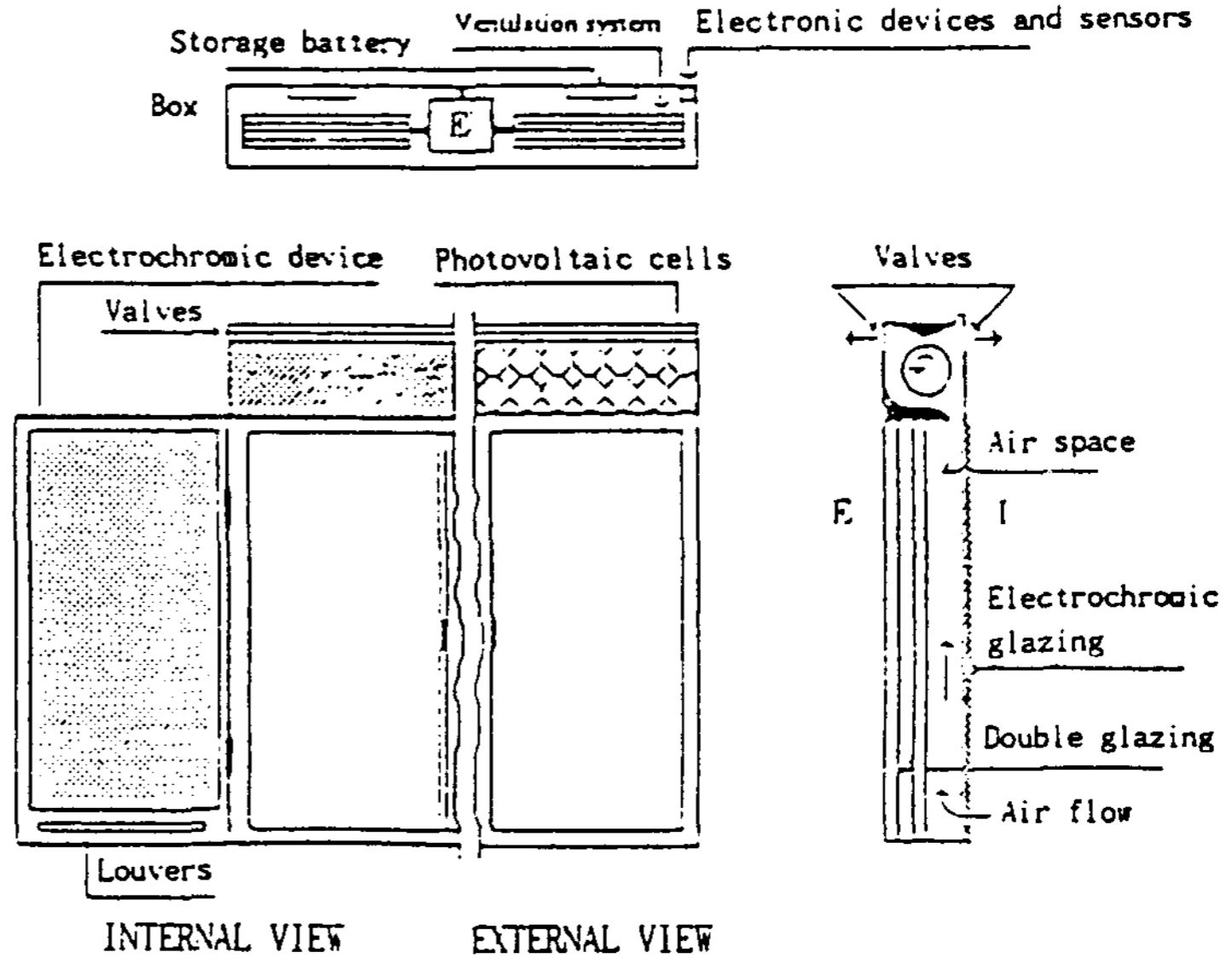
유리나 투명단열재 등과 같은 첨단재료를 적극 활용하고, 실내외 환경조건에 따라 자체적인 제어능력도 부과하고 있다. 결국 이러한 기술의 개발이 새로이 대두되는 환경건축의 성공을 위한 기반이 될 것이다.

최근에 이태리의 건축기술연구소에서 발표된 자연형 태양열 투명시스템(transparent system) 및 불투명 시스템(opaque system)의 두 장치는 이러한 개념을 잘 나타내고 있다. 첫번째로 (그림 8)은 가동 단열 불투명 시스템(dynamic insulation opaque system)의 단면을 나타낸 것으로 다양한 크기의 모듈 시스템으로 구성되어 수평 또는 수직방향으로 조립될 수 있다. 다른 한 시스템은 투과율이 가변적으로 변화될 수 있는 이중 환기창(ventilated double glazed window) 시스템으로, (그림 9)에 도식된 바와 같이 센서나 콘트롤 장치의 에너지 공급을 위해 태양광 전지가 시스템내에 통합되어 있다.

첫번째 시스템은 기성화된(prefabricated)요소들을 이용해 다층구조로 이루어 지는데 실내측으로부터 지지층, 단열층, 공기층 및 외부스크린으로 구성된다. 이 시스템의 상부에는 에너지 관리 모듈(energy-management module)이



(그림 8) opaque system



(그림 9) transparent system

놓여지는데 이것의 역할은 외부 기후조건에 따라 실내 난방 및 냉방에 기여하기 위해 시스템 내의 공기층을 통해 흐르는 공기의 유동방향을 실내 또는 실외의 두 방향으로 조절하는 것이다. 이 모듈은 에너지 측면에서는 완전히 자율적(autonomous)이며 기능성 측면에서는 완전히 자동화(automatized)되어 있다.

두번째 시스템은 태양일사의 유입량을 가변적으로 조절할 수 있는 일렉트로크로믹 전환유리(electrochromic switching glazing)가 프레임내에 통합되어 실내측에 위치한다. 특정조건 하에서 이것은 실외측에 설치된 이중유리와 함께 공기층을 생성한다. 겨울철의 경우 일렉트로크로믹 유리는 어두운 색으로 변하여(즉 투과율을 낮춘다는 의미) 창호가 일종의 공기식 태양열 집열기처럼 작동함으로써 내부환경의 난방에 기여하게 된다. 반면 여름철에는 공기층내에 가열된 공기는 자연 또는 강제대류를 통해 외부로 배출됨으로서 내부환경의 냉방을 도와준다.

이 시스템들은 매우 단순한 방법으로 고안된 것이며 경제성면에서도 저렴하다. 작동은 자율적으로 운영되며 간벽(partition)을 통한 내 외부 공간사이의 에너지 교환을 조절하기 위해 어떠한

형태의 건물에도 적용가능하다.

V. 결 론

환경건축은 자연환경을 적절히 이용함으로써 에너지의 소비를 줄이고 환경오염을 줄이며 실내공간의 쾌적성을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 건축가의 형태 창조에 자극을 주며 건축 설계 과정에서 공간을 다양하게 창조하는데 도움을 준다. 이는 환경건축의 요소들이 에너지 시스템 임과 동시에 훌륭한 양식(style)으로 사용될 수 있기 때문이다. 일반적으로 설계과정에서 건축가는 먼저 필요한 공간을 인식하고 여러가지 공간요소들의 비례, 질감, 색을 이용하여 인식된 공간을 부분적으로 만들어가며 공간내에서 인간의 움직임에 대응하는 공간의 구성을 생각하게 된다. 이러한 관점에서 공간의 성격을 생각한다.

공간의 형태, 개구부의 위치와 모양, 방위, 인접공간과의 관계등은 모두 공간의 열적, 시각적 성능에 많은 영향을 미치며 공간의 성능은 시각적인 관점에서보다도 더욱 미묘한 인간의 반

응을 유발시킨다. 따라서 공간의 내적 아름다움은 표피적인 시각적인 관점보다 인간의 오감 전체로 느낄 수 있는 공간의 환경 성능에 따라 더욱 풍성해질 수 있는 것이다.

우리는 근대건축이 새로운 건축언어를 찾아 내던져 버렸던 많은 기후적 교훈을 되찾아야 하며, 건축 창작물이 전 생태계에 아주 작은, 그러나 중요한 고리인 것을 깊이 인식하고 생태계의 환경문제에 관심을 기울여야 하며 인간 본래의 자연적인 쾌적한 삶을 위해 기후에 근거를 둔 자연형 디자인 방법을 적극 활용해야 한다.

환경건축의 공통적인 특징은 열, 빛, 음 등 물리적 환경요소와 심리적 요소, 의장적 요소 등을 다차원으로 통합 디자인 하였다는 점이다. 결국 다양한 분야의 환경건축기술은 개개의 기술로서는 큰 의미를 가질 수 없으며 이러한 요소들에 생명력을 부여하는 통합작업이 바로 건축가의 중요한 임무이다.

이제 우리도 자연에너지를 적극적으로 이용하는 '환경건축'에 관심을 기울여야 하며, 건축 재료의 개량, 자연형 설계기법의 개발, 시스템 성능평가 등을 통하여 첨단기술의 '자연형 환경 건축'에 대한 연구 및 설계에 연구자와 건축가의 지혜와 노력을 경주할 때이다.

참고문헌

1. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1990.
2. 이경희, 자연형 태양열 건축설계방법, 연세대 건축공학과, 1986.
3. 이경희 외, 상업용건물의 자연채광 설계기법 개발에 관한 연구, 동력자원부, 1991. 2.
4. D. Watson, climatic Design, McGraw-Hill Inc., 1983.
5. Total Environment, Passive Solar Design Handbook, LASL, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
6. J. S. Reynolds et al., Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, John Wiley and Sons, 1986.
7. D. Watson ed., Energy conservation through Building Design, McGraw-Hill Inc., 1985.
8. A. Goetzberger et al., 'Transparent Insulation of Building Facades-Steps from Research to Commercial Applications', Solar Energy, Vol. 49, No.5, 1992.
9. P. Petherbridge et al., Environmental Design Manual, Building Research Establishment Report, BRE, 1988.
10. M. Evans, Kousing, climate and camfort, The Architectural Press Limited, 1980.
11. S. Chandra et al., Passive cooling by Natural Ventilation, Florida Solar Energy Center, 1981.

A theoretical study is conducted for the design of solar air heaters using porous material. Radiative characteristics of glazing and porous absorbing media are found through spectral transmittances measured by the Visible spectrometer and the FT-IR. Using those characteristics the efficiencies of collectors are calculated one-dimensionally with the use of the Two-Flux radiation model. The efficiencies increase, as the air flow rates or albedos in the visible range increase, and as albedos in the IR range decrease. The optimum thickness of the porous medium of 15-mesh stainless steel wire screens is 0.001m, which represents the opacity of one.

An experimental study on heat transfer augmentation in fluidized bed heat exchanger

Yoo, Ji-Oh* Seo, Jeong-Yun**

Inha Univ. Graduate School
Inha Univ.

The purpose of this study was to investigate the enhancement of heat transfer coefficient in double pipe fluidized bed heat exchangers. The inner tube used a smooth tube and a finned tube equipped with longitudinal fins. The heat transfer coefficients between the heated tube and fluidized bed of alumina beads were calculated as a function of fluidized velocity in various particle sizes ($d_p=0.41, 0.54, 0.65, 0.77\text{mm}$) and static bed heights ($H_0=50, 100, 150, 200, 250\text{mm}$).

The coefficient for finned tube is higher than for smooth tube. And the maximum increasing rate is 7.8 times in smooth tube and 12.9 times in finned tube.

자연 에너지 이용과 환경건축을 위한 신기술

이 경 회*

* 연세대학교 건축공학과교수, 부회장

This paper is to refine the concept of utilizing natural energy, and to introduce new technologies of building energy control. For the global environment protection, it is essential to turn attention to latent capacity of natural renewable energy. Especially the concept of 'Environmental Architecture' is very important from this viewpoint. This paper reviews many of new technologies for environmental architecture developed recently : TIM, high effective solar radiation control strategy of glazing, new passive cooling and heating system etc. The design application of the technology has been introduced.