

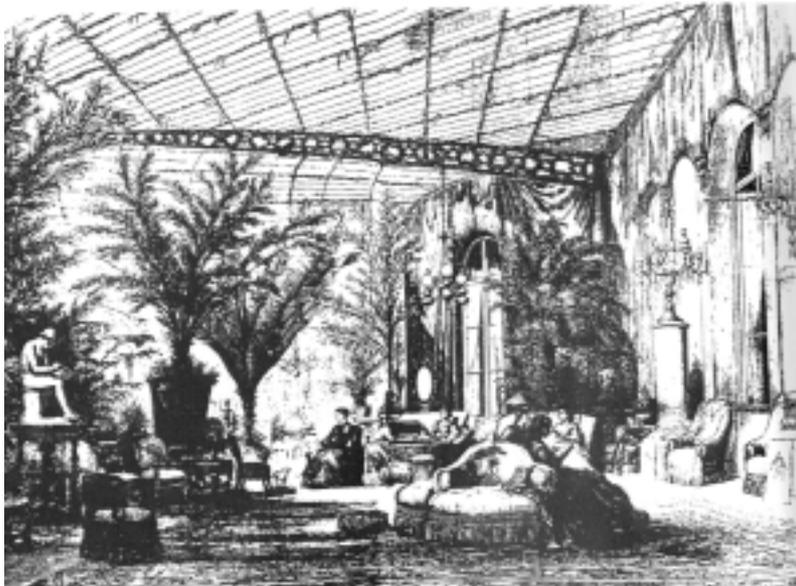
Passive Solar

6.1 HISTORY

고대 그리스에서 주택의 난방을 위해 태양을 이용했지만 그 효율은 극히 적었다. 들어온 열의 대부분이 열린 창문을 통해 다시 빠져나갔기 때문이다. 약 A.D50년 경 창문에 유리를 이용하여 그 문제를 해결한 것은 좀더 실용적이고 유능했던 로마인들이었다. 유리는 현재 ‘온실 효과’라 불리는 것에 의해 효과적으로 열을 가둬두었다. 그 착상은 꽤 훌륭한 효과를 발휘했고 로마인들은 여러 가지 사용 방법을 발견해냈다. 상류층의 사람들은 종종 그들의 집안에 태양열 화로(heliocaminus)라 불리는 sun room을 두었다. 온실에서는 연중 내내 과일과 야채가 재배되었다. 후에 좀더 ‘현대적인’ 성향의 로마 욕실은 (태양열이 가장 필요한 때) 대개 남서쪽에 면해 있었다. 태양열을 이용한 난방은 로마 건축가 Vitruvius가 그의 저서에 썼을 만큼 중요했다.

태양 에너지의 사용은 그것이 문명을 상징했던 바와 같이 로마의 몰락과 함께 쇠퇴하였다. 그 후 르네상스시대에 Palladio와 같은 건축가들은 Vitruvius의 저서를 읽고 그 진가를 인정하게 되었다. Palladio는 여름에 사용하는 실을 북향에, 겨울에 사용하는 실을 건물의 남향에 배치하는 등의 고전적인 원리들을 이용하였다. 그러나 북 유럽인들은 Palladio의 선례에서 원리가 아닌 스타일만을 모방하였다.

FIGURE 6.1
Conservatories supplied plants, heat, and extra living space for the upper classes in nineteenth-century Europe. Conservatory of Princess Mathilde Bonaparte, Paris, about 1860 (From *Über Land und Meer, Allgemeine Illustrirte Zeitung* 1868)



17세기 북 유럽에서 태양열 이용에 관한 부흥이 일어났지만 사람을 위한 것은 아니라 신대륙에서 들어온 이국의 식물과 좀더 큰 온실을 필요로 하는 상류층의 요구를 충족시키기 위해서였다. 양질의 유리 생산기술 발전에 따라 18세기는 ‘Age of the Greenhouse(온실의 시대)’로 알려지게 된다. 마침내 온실은 그림 6.1과 같이 건물에 부속된다. 이들은 현재의

쓰임과 같이 식물을 기르거나 거주공간의 확장, 겨울철 주거공간을 따뜻하게 하는데 보조역할을 하였다. 그러나 부유층에서만 태양에너지를 사용할 수 있었다.

유럽에서 모든 사람들을 위한 태양열 이용에 대한 생각은 1920대가 되어서야 시작되었다. 독일에서 태양에너지를 활용하는 주택이 설계되었다. 바우하우스의 Walter Gropius는 이 새로운 물결에 앞장선 지지자였다. 그 당시의 태양열 설계에 관한 연구와 축적된 경험들은 Gropius와 Marcel Breuer같은 인물들과 함께 서서히 대서양을 건너 그 영역을 넓혀갔다. 1938년 Massachusetts에 Gropius가 자신의 주택을 설계한 것은 태양과 대지에 순응하는 설계의 좋은 예가 된다.

6.2 SOLAR IN AMERICA

자연형 태양에너지를 이용한 설계는 아메리칸 인디언에서도 그 근원을 찾아볼 수 있다. 초기 남서부의 인디언들의 정착을 보면 자연형 태양에너지 이용의 원리에 대한 뛰어난 지식을 가지고 있었음을 알 수 있다. 그중 가장 흥미로운 것은 Pueblo Bonito이다(그림 6.2a). Pueblo Bonito는 남향의 반원형 촌락으로 각각의 주거가 태양에 최대한 접할 수 있도록 계단형으로 쌓아올렸으며 그 육중한 구조체는 밤에 사용할 수 있는 열을 저장할 수 있었다.

New England에 있는 식민지 시대의 몇몇 건물에서는 건물의 좋은 향(向)이 가지고 있는 진가를 알 수 있다. 그림 6.2b의 'salt box'는 겨울에 태양열을 최대한 받기위해 남측의 2층 벽에는 수많은 창이 나 있고 반대로 북측의 1층짜리 벽에는 거의 창이 없으며 겨울철의 찬 바람이 비껴갈 수 있도록 길고 경사진 지붕을 가지고 있다.



그러나 이런 과업들은 무시되어졌고 1930년대에 들어, 많은 미국의 건축가들이 태양열 난방의 잠재성에 대해 대거 탐구하기 시작하기 전까지는 태양열 난방을 이용한 주택은 상당히 느린 속도로 발전해왔다. 그 선두자중의 하나는 성공적으로 많은 태양열 주택을 설계한 George F. Keck이었다(그림 6.2c). 이 미국 건축가들의 선구적인 작업과 유럽에서 온 이주자들의 영향, 전쟁시의 연료 부족에 대한 기억들은 전후 최초의 주택 붐이 일어났을 때 태

양열 난방을 대중화시키는 원인이었다. 그러나 조금씩 증가하는 태양열 주택의 초기비용과 계속해서 떨어지는 연료 값의 하락은 1950년대 후반까지 태양열 난방에 대한 대중의 무관심을 초래했다.



FIGURE 6.2b
The New England "saltbox" faced the sun and turned its back to the cold northern winds. (From Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes, by A.I.A. Research Corporation, U.S. G.P.O., 1980.)



FIGURE 6.2c
One of the first modern solar houses in America. Architect, George Fred Keck, Chicago, 1940s. (Courtesy of Libby-Owens-Ford Co.)

6.3 SOLAR HEMICYCLE

이 시대 지어진 가장 흥미로운 solar house 중의 하나는 프랭크 로이드 라이트가 설계한 Jacobs II House이다(그림 6.3a).



FIGURE 6.3a
The Jacobs II House. Architect, Frank Lloyd Wright, Madison, WI, circa 1948. (Photograph by Ezra Stoller © Eizo.)

그림 6.3b는 라이트가 'solar hemicycle'이라고 명한 이 집의 평면을 보여주고 있다. 역시나 라이트는 그 시대보다 한발 앞서 있었다. 여러 방면에서 이 건물로 인해 현대의 기준이 될 수 있는 훌륭한 자연형 태양에너지를 이용한 주택을 디자인 한 것이다. 이 주택에 쓰인 개념들을 분석함으로써 자연형 태양 에너지 설계의 기본 요소들을 알 수 있다. 대부분의 유리창은 겨울철 태양에 면하고 있으나 여름철에는 6피트(약180cm)폭의 overhang 에 의해 그늘이 진다. stone wall과 콘크리트바닥의 슬래브같은 많은 양의 축열mass는 낮 동안의 과열을 방지할 뿐 아니라 밤에 쓸 수 있는 열을 축적한다(그림 6.3d). 이 건물은 열 손실의 감소를 위해 단열하였으며 흙으로 만든 벽은 건물의 북측을 보호하고 있다. 밖으로 노출된 돌벽은 질석 단열재로 채워진 중공벽(혹은 이중벽)이다. 건물의 서로 반대편에 있는 창문들은 여름에 환기가 잘 되도록 한다.

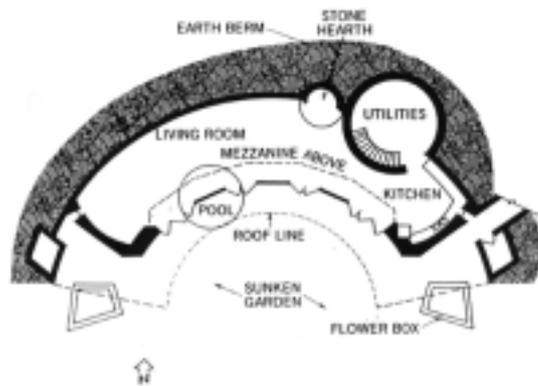


FIGURE 6.3b
Plan of Jacobs II house.

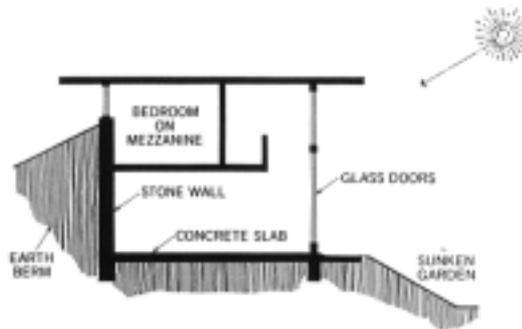


FIGURE 6.3c
Section of Jacobs II house.

라이트의 작품의 대개 그렇듯이 이 집의 설계도 아주 완벽하다. 예를 들어 커브 진 벽은 둘러싸인 안뜰을 만들뿐 아니라 뒤쪽의 흙으로 만든 벽의 압력을 마치 커브 진 댐이 뒤쪽의 물의 압력을 버티듯이 효과적으로 견뎌낸다. 수많은 돌로 불규칙하게 쌓인 벽은 축열 매스를 제공할 뿐 아니라 건물의 대지와 맞는 자연스러운 환경으로 내부를 꾸며준다. 기능적, 심리적 요구를 모두 성공적으로 완성하는 것이 최고의 건축이며 이는 보통 훌륭한 건축가들이 갖는 능력이다.

FIGURE 6.3d
Interior view of Jacobs II House
(Photograph by Eric Stolter © Etko)



6.4 LATEST REDISCOVERY OF PASSIVE SOLAR

1950년대 후반부터 1970년대 중반까지는 대개 당연히 설비형 태양에너지 시스템(active solar system)이 태양에너지를 동력화 하는데는 더 큰 잠재력을 가지고 있다고 여겼다. 그러나, 시간이 지날수록 공간을 데우기 위한 설비형 collector는 집을 지을 때 현저하게 높은 초기비용이 필요하다는 것을 알게 되었다. 반면 자연형 태양 에너지 시스템은 아주 조금 혹은 전혀 추가적인 초기비용을 들이지 않고도 성공적으로 수행할 수 있었다. 또한 자연형 태양에너지 시스템이 낮은 유지비용과 높은 신뢰도를 가지고 있음이 점차 분명해졌다.

아마 가장 큰 장점은 설비형 집열판이 단지 열만을 제공하는 것에 비해 자연형 태양에너지 이용이 좀더 쾌적한 실내 환경을 제공한다는 점일 것이다. New Mexico의 Taos에 있는 The human Services Field Office는 풍부한 태양빛이 들어오기 때문에(특히 겨울철에)일하기에 매우 쾌적한 곳이다(그림 6.4a). 동서로 난 톱니모양의 배치는 창문의 정면이 남측을 향할 수 있게 한다. 또한 긴 채광창이 지붕 전체를 가로질러 나 있어서 실내에도 태양빛이 접근할 수 있다. 단열 셔터가 열 손실을 감소시킴과 동시에 채광창 바로 안쪽에 있는 검은 색으로 칠해진 물통은 밤에 쓸 수 있는 열을 저장한다.

뉴멕시코에서 재개된 이 관심들은 풍부한 태양에너지가 있을 뿐 아니라 좀 다른 생활방식을 추구하는 사람들의 모임이 존재했기 때문에 가능했다. 이상주의적인 개발자 Wayne Nichols는 후에 거론될 Balcomb House를 비롯한 여러 채의 solar house를 지었다. 이 생활양식에서 계속적인 성공적인 연구들은 후에 주류문화에 의해 채택된다. 자연형 태양에너지의 이용은 현재 확립된 문화에서도 받아들여지고 있다. 상당히 좋은 방법이라는 것이 증명되었기 때문이다.

자연형 태양에너지를 이용한 난방은 다른 나라들에서도 인기를 얻고 있다. 성공적인 자연형 태양열 주택은 위도 54°의 북부 독일에서 발견되는 것처럼 계속되는 구름 끼고 우울한 날씨에서도 지어지고 있다. 이는 남 알래스카와 같은 위도이다(그림 6.4b). 서로 다른 여러

기후에서의 성공적인 자연형 태양에너지 빌딩들은 이러한 설계접근 방식이 타당하다는 것을 보여주는 좋은 증거이다.

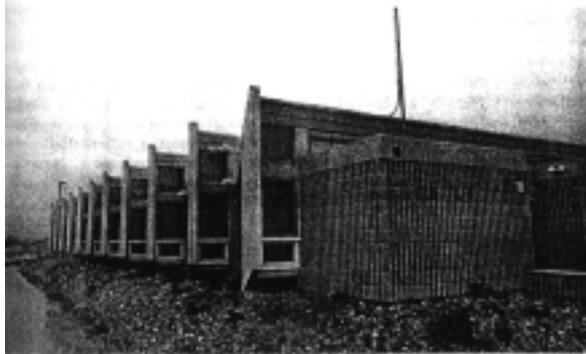


FIGURE 6.4a
The Human Services Field Office Taos, NM (1977) has all of its windows facing 20° east of south to take advantage of the morning sun. The clerestory windows, which cover the whole roof, supply both daylight and solar heat.

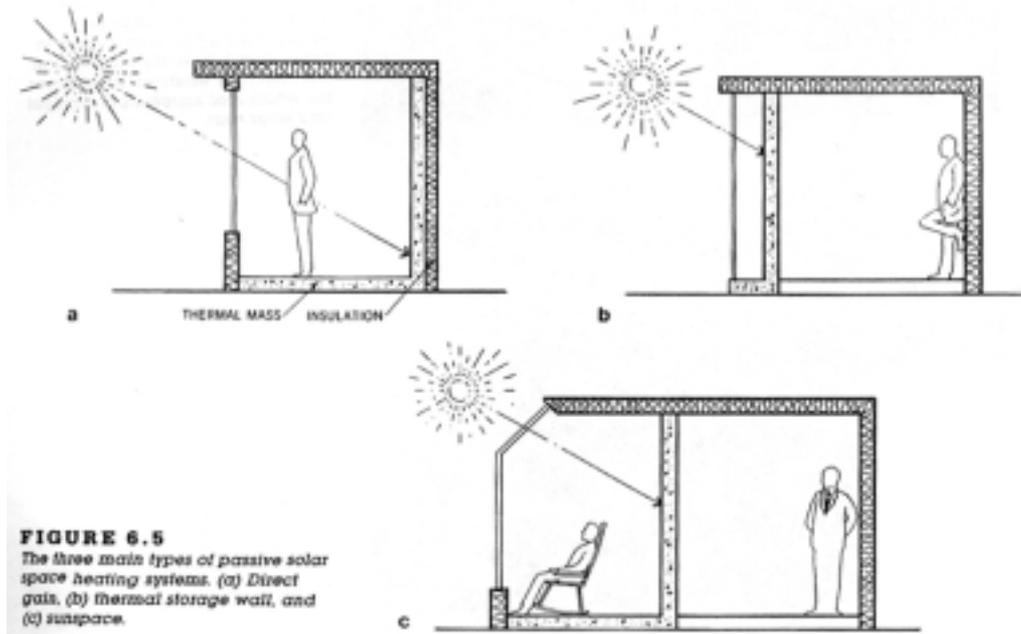


FIGURE 6.4b
Integrated Passive and Hybrid Solar Multiple Housing, Berlin, 1988. (Courtesy of, and copyright Institut für Raum-, Umwelt- und Solar Forschung.)

6.5 PASSIVE SOLAR

자연형 태양열의 이용은 팬이나 펌프를 비롯한 복잡한 제어기 없이 태양 에너지를 모으고, 저장하고, 재분배하는 시스템으로 주목을 받는다. 창문이나 벽, 바닥과 같은 기본적인 건물 구성 요소가 가능한 한 서로 다른 많은 기능을 할 수 있도록 하는 건물 설계에 관한 통합적인 접근방식을 사용함으로써 기능을 발휘한다. 한 예로, 벽은 지붕을 받치고 바깥 날씨로부터 실내를 보호하기 위해서 뿐만 아니라 열을 저장하고 방출하는 요소로서도 작용한다. 이런 방식으로 건물의 다양한 구성요소들은 건축적, 구조적, 에너지 요구들을 동시에 충족시킨다. 모든 자연형 태양열 시스템은 남향의 유리창으로 이루어진 collector와 일반적으로 돌이나 물과 같은 축열 매스로 구성된 에너지 저장매체와 같은 적어도 두 가지의 요소를 지니게 된다.

이 두 가지 요소의 관계에 따라 자연형 태양에너지 시스템은 몇 가지 타입이 가능하게 된다. 그림 6.5는 세 가지 주요 개념을 보여주고 있다.



- a. Direct Gain (직접 획득 방식)
- b. Thermal Storage Wall (축열벽 방식)
- c. Sunspace (부착 온실)

이 일반적인 난방 개념들은 각각 더 자세하게 기술될 것이다. 이 단원은 몇몇 그리 대중적이지는 않은 자연형 난방 시스템에 관한 논의로 결말을 짓게 될 것이다.

자연형 건물의 설계에서 가장 중요한 과정은 태양열이 들어오는 첫 번째 장소에서 열 손실을 최소화 하는 것만으로는 충분하지 않다. 그 과정에는 적절한 단열, 건물의 향, 체적에 대한 표면적 비율 등의 계획도 수반되어야 한다. 이것들과 또 다른 많은 고려사항들도 이 책의 다른 부분에서 논의 된다.

6.6 DIRECT GAIN

다른 향으로 나 있는 창문들이 겨울철에 얻는 것보다 더 많은 양의 열을 잃는 것에 반하여 모든 남향의 창은 직접 획득 방식을 만들어 낸다. 2장에서 언급된 온실효과는 one-way heat valve와 같이 작용한다. 짧은 파장의 태양 에너지는 들어갈 수 있게 하지만 밖으로 나가려는 열은 차단한다(그림 6.6a). 이 때 건물 안의 축열 매스는 주간의 과열을 방지하고 야간에 쓸 수 있는 열을 저장하기 위하여 이 열들을 흡수한다(6.6b). 남향 창의 면적에 대한 적절한 매스의 비율이 중요하다.

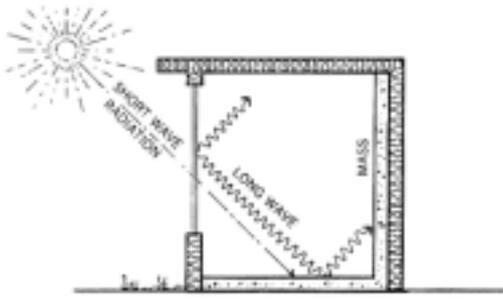


FIGURE 6.6a
The "greenhouse effect" collects and traps solar radiation during the day.

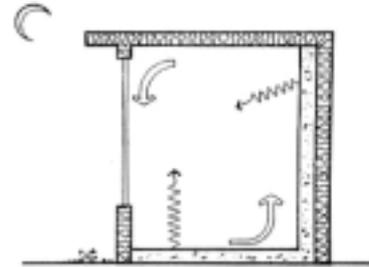


FIGURE 6.6b
The thermal mass stores the heat for nighttime use.

그림 6.6c에 나타난 그래프는 열이 머물러 있는 남쪽 유리창의 영향을 보여주고 있다. 곡선A는 일반적인 맑은 겨울날의 실외 기온을 나타내며 곡선B는 아주 적은 양의 매스가 있는 곳에서 직접 획득 방식을 사용한 실내 기온을 보여준다. 실내에서 낮과 밤의 큰 일교차를 볼 수 있다. 이른 오후에는 기온이 쾌적대 위로 넘어가고 늦은 밤에는 쾌적대 아래로 크게 내려간다. 남향 창 면적 증가는 그 곡선을 올릴 뿐만 아니라 온도의 진폭을 크게 한다. 오후의 과열은 더 악화될 것이다.

그림 6.6d의 그래프에서는 축열 매스의 효용을 볼 수 있다. 실내온도(곡선C)는 거의 대부분이 쾌적대 안에 있다. 축열 매스는 온도의 진폭을 줄여 오후에는 과열이 거의 없고 밤에도 과잉 냉각이 거의 없도록 해준다. 따라서 설계자의 목표는 남향 창 면적과 축열 매스 양의 적절한 조합으로 실내 온도가 쾌적대 안에 머무르도록 하는 것이 되어야 한다.

직접 획득 방식의 건물 안에서는 collector와 벽, 가구, 책과 같은 축열 매스의 역할을 하는 모든 요소들이 있으나 이것들만으로 항상 충분하지는 않기 때문에 추가적인 축열 매스가 필요하다. 축열 매스는 돌이나 물, 상변화 물질을 사용할 수도 있다. 이러한 대안들은 이 단원의 뒤에 언급될 것이다.

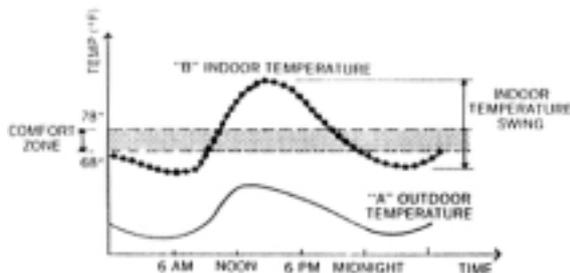


FIGURE 6.6c
A low-mass passive solar building will experience a large indoor temperature swing during a 24-hour period of a winter day.

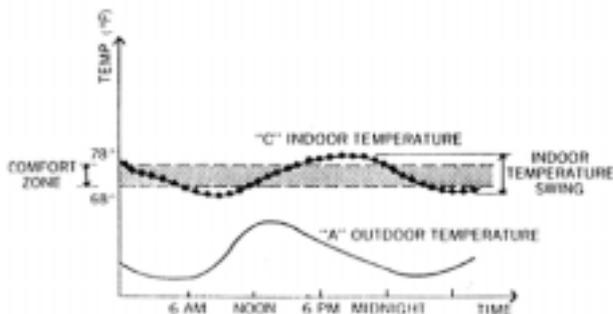


FIGURE 6.6d
A high-mass passive solar building will experience only a small indoor temperature swing during a winter day.

태양열은 건물의 북쪽 실내에 대류에 의해서도 공급될 수도 있지만 그림 6.6e에서 볼 수

있는 것과 같이 남향으로 난 채광창(측고창 방식)에 의해 직접 태양복사에 의해 공급되는 것이 바람직하다. 천공광 방식의 채광창도 사용 가능하나 이들은 그림 6.6f와 같이 반사판이 함께 있을 때 더 좋은 성능을 발휘할 수 있다. 같은 반사판도 그림 6.6g와 같이 위치가 바뀌면 여름철에는 그림자를 만들 수 있다. 이와 같은 반사판은 상업적으로도 이용이 가능하다.



FIGURE 6.6e
Use clerestory windows to bring the solar radiation directly to interior or north-facing rooms.

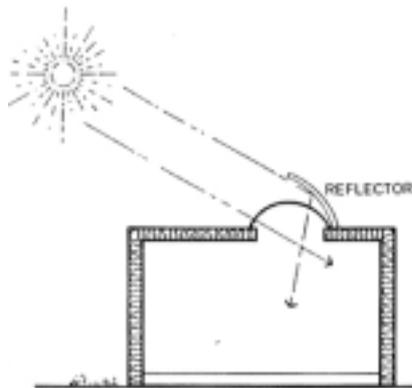


FIGURE 6.6f
Skylights should use a reflector to make them more effective in the winter.

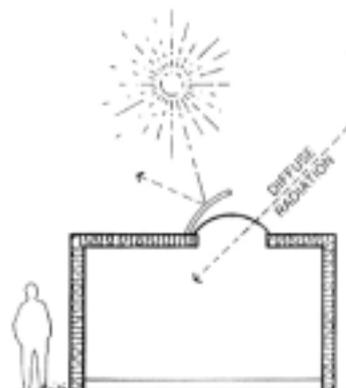


FIGURE 6.6g
The same reflector can be used to block excessive summer sun.

앞서 기술한 프랭크 로이드 라이트의 'Solar Hemicycle'은 직접 획득 방식의 좋은 예이다. 모든 자연형 시스템에서 에너지의 획득과 초기비용이 그 주된 관심사일 때에는 직접 획득 방식이 가장 효과적이다.

6.7 DESIGN GUIDELINES FOR DIRECT GAIN SYSTEMS

Area of South Glazing

남향 창의 초기 사이즈를 정하기 위한 지표로 표 6.A를 이용한다. 이 표는 Chapter4의 5단원에서 언급한 17가지 기후지역(미국)에 바탕을 두고 있으며 야간 단열이나 고효율의 유리창을 사용했을 때 자연형 태양열 시스템이 얼마나 더 효율이 높아지는가를 보여준다.

Notes on Table 6.A

1. 표에서 보여지는 것보다 작은 사이즈의 남향 유리창은 여전히 많은 양의 열을 공급한다.
2. 주간에 과열되는 것이 무방하다면 더 큰 사이즈의 유리창도 사용 가능하다. 그러나 '수

익 체감의 법칙'에 따라 경제적이지 못한 경향이 있다.

3. 적당한 양의 축열이 이루어져야 한다(표 6.B).

4. 온화한 기후를 제외하고는 이중창을 사용해야 한다.

5. 'low-e'코팅을 한 고효율 창은 야간 단열을 대신하여 쓰일 수 있다(Chapter 13).

6. 건물은 단열이 잘 되어 있어야 한다.

7. 주광조명을 위해 많은 양의 빛이 요구되어도 직접 획득하는 유리창의 면적은 바닥 면적의 20%를 초과해서는 안 된다. 표에 제시된 20%가 넘는 유리의 경우에는 추가적인 유리창 면적을 제공하기 위해 축열벽이나 온실 등을 사용했다.

TABLE 6.A
Rules for Estimating Areas of South-Facing Glazing for Direct Gain and Thermal Storage Walls

Climate Region (see Chapter 4)	Reference City	South Glazing Area as a % of Floor Area*	Heating Load Contributed by Solar (%)	
			No Night Insulation	With Night Insulation
1	Hartford, CT	35	19	64
2	Madison, WI	40	17	74
3	Indianapolis, IN	28	21	60
4	Salt Lake City, UT	26	39	72
5	Ely, NE	25	41	77
6	Medford, OR	24	32	60
7	Fresno, CA	17	46	65
8	Charleston, SC	14	41	59
9	Little Rock, AR	19	38	62
10	Knoxville, TN	18	33	56
11	Phoenix, AZ	12	60	75
12	Midland, TX	18	52	72
13	Fort Worth, TX	17	44	64
14	New Orleans, LA	11	46	61
16	Houston, TX	11	43	59
16	Miami, FL	2	68	84
17	Los Angeles, CA	9	58	72

* Use the floor area of those parts of the building that will receive benefits from solar heating either by direct radiation, or that are heated by convection from the solar heated parts of the building.

TABLE 6.B
Rules for Estimating Required Thermal Mass in Direct Gain Systems

Thermal Mass	Thickness (in.)	Surface Area per ft ² of Glazing (ft ²)
Masonry or concrete exposed to direct solar radiation (Fig. 6.7a)	4 to 6	3
Masonry or concrete exposed to reflected solar radiation (Fig. 6.7b)	2 to 4	6
Water	About 6	About 1/2

Notes:
1. A mixture of the above is quite common.
2. The table specifies minimum mass requirements. Additional mass will increase thermal comfort.
3. Keep mass as close as possible to the floor for structural as well as thermal reasons.
4. The thermal mass should be medium in color while surfaces of nonmassive materials should be very light in color to reflect the solar radiation to the darker mass materials (Fig. 6.7b). A massive floor is the exception and should be from medium to dark in color (Fig. 6.7a).
5. If the mass is widely distributed in the space, then diffusing glazing or diffusing elements should be used (Fig. 6.7c).
6. For more information on thermal mass see Section 6.17.

Thermal Mass Sizing

직접 획득 방식에서 축열 매스의 크기를 정하기 위해 표 6.B를 사용한다. 슬래브나 콘크리트, 벽돌, 돌로 된 벽체들은 반드시 4~6인치(10~15cm)의 두께여야 한다. 열의 특성상 두께가 6인치를 넘는 것은 뭐든지 직접 획득 방식에 조금씩 도움이 된다. 또한 직접 혹은 반사되는 태양 복사에너지를 받지 못하는 축열 매스는 거의 영향력이 없다.

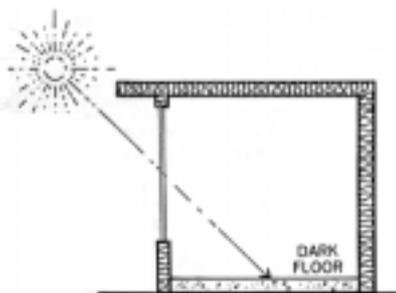


FIGURE 6.7a
Massive floors should be medium to dark in color.

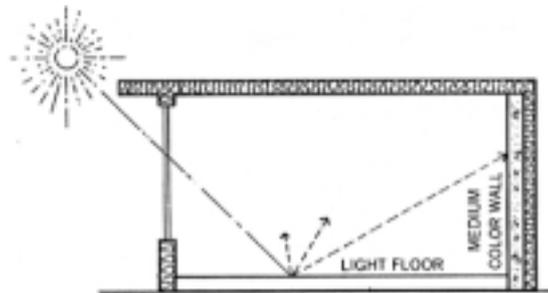
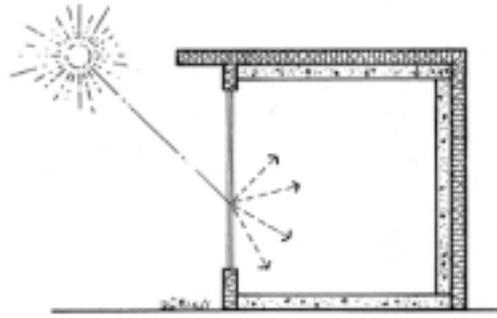


FIGURE 6.7b
The surface finish of nonmassive materials should consist of very light color to reflect the sun to the darker massive material.

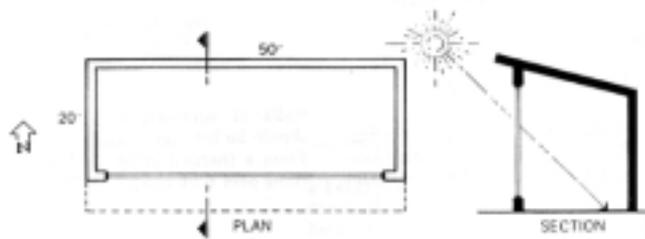
FIGURE 6.7c
 Diffused radiation will distribute the heat more evenly in the space. It is especially useful where ceilings are massive.



6.8 EXAMPLE

그림 6.8에 나온 것과 같이 Arkansas주 Little Rock에 있는 1000ft²(약 93m²)면적의 건물에서의 직접 획득 방식 설계이다.

FIGURE 6.8
 Example problem.



Procedure :

1. 표 6.A를 보면 남향 창의 면적이 바닥면적의 19%이면 겨울철 태양에너지의 62%를 기대할 수 있다(야간 단열이 사용된 경우). 더 크거나 작은 유리 사이즈를 요구하는 특별한 이유가 없는 경우에는 이 제안을 따른다.
2. 그러므로 남향 창의 면적은 $19\% \times 1000\text{ft}^2 = 190\text{ft}^2$ 이다.
3. 표 6.B를 보면 축열 매스가 태양에 직접 노출되어 있을 때 매 1ft²면적의 유리창 마다 3ft²면적의 매스를 필요로 함을 알 수 있다. 따라서 $190 \times 3 = 570\text{ft}^2$ 면적의 축열 매스를 필요로 한다. 콘크리트 슬래브를 이용할 때 1000ft²의 면적이 있다면 열저장을 위해서는 단지 570ft²의 축열 매스만이 필요하다. 남은 430ft²의 면적은 원한다면 카펫으로 덮어 놓을 수 있다.

6.9 THERMAL STORAGE WALL

이 자연형 태양열 시스템은 축열 매스가 남향 창속에 들어가 있는 벽이다(그림 6.9a). 반복되는 온실효과는 태양복사에너지를 붙잡아둔다. 태양에 면해 있는 벽의 표면은 selective coating이나 검은색으로 칠해져 있다. 따라서 낮에는 상당히 뜨거워지고 열이 벽안으로 흐르게 한다. 축열벽이 꽤 두껍기 때문에 열은 저녁때까지는 내부 표면으로 도달하지 못한다. 이 'Time Lag'효과는 Chapter 2.에서 설명하였다. 충분한 열이 벽속에 저장되어 밤중 내내 복사열로서 작용한다.

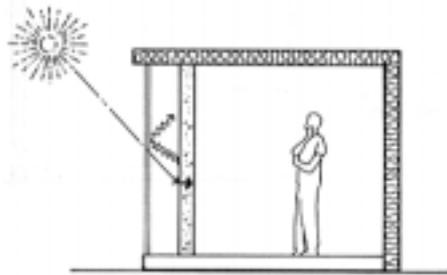


FIGURE 6.9a
The thermal storage wall system collects solar radiation by means of the greenhouse effect and stores it as heat.

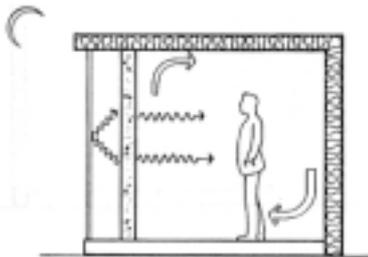


FIGURE 6.9b
Because of the wall's 8 to 12 hour "time lag", most of the heat is released at night.

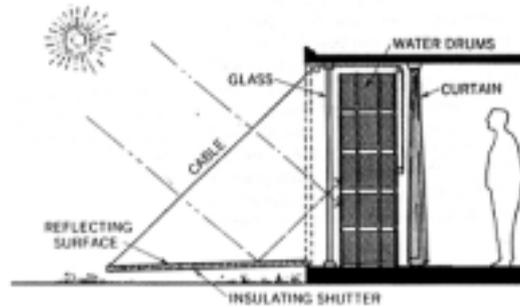


FIGURE 6.9c
A section through the Bear residence shows the thermal storage wall with its insulating shutter covered with a reflective surface.

벽체가 석조(콘크리트, 벽돌, 돌)로 이루어져 있다면 이 개념을 1966년 프랑스에서 처음으로 이 기술을 사용한 Felix Trombe의 이름을 따서 Trombe wall이라고 한다. 반면에 축열벽이 물로 되어 있으면 drum wall이라 부른다. 처음에 55갤론의 철제 드럼이 이 목적으로 사용되었기 때문이다.

drum wall의 고전적인 방식의 예는 태양열을 이용한 기업가 Steve Bear가 뉴 멕시코에 자신의 집을 짓기 위해 설계한 것이다. 드럼은 그림 6.9c에 보이듯이 쌓여있다. 드럼의 유리창에 접한 면은 검은색으로 칠해져 있고 실내에 접한 면은 흰색으로 칠해져 있다.(복사열의 방사체로는 금속성의 마감을 제외하고는 어떤 색이든 상관없다.) 외부의 단열 셔터는 겨울 밤 열이 밖으로 빠지는 것을 방지하며 여름에는 열이 밖으로 나갈 수 있도록 한다. 이 셔터가 땅으로 내려지면 집열되는 태양복사에너지의 양을 증가시키는 역할을 한다. 셔터는 실내에서 케이블로 올렸다 내렸다 할 수 있다. 온화한 겨울철 오후에 난방이 불필요 할 때는 커튼을 드리워서 드럼에서 열이 전달되는 것을 늦출 수 있다. 모든 Water wall은 vertical tube로 이루어진다. 유리창 쪽은 검정색으로 칠하며 실내는 흰색으로 칠한다. 그러나 종종 이 tube들은 반투명 혹은 투명한 플라스틱으로 만들어 낮에 빛이 통과할 수 있게도 한다(그림6.9d). 물은 그냥 맑은 채로 두기도 하고 어떤 색으로 착색해도 무방하다.

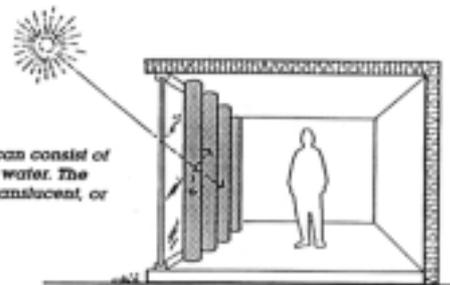


FIGURE 6.9d
A thermal storage wall can consist of vertical tubes filled with water. The tubes can be opaque, translucent, or transparent.

축열벽이 밤에 쓸 태양열을 저장하기 때문에 낮 동안 필요한 열을 공급하기 위해서는 직접 획득방식이 병행되어야 한다. 직접 획득 방식을 병행함으로써 꼭 필요한 주광과 시야를 확

보할 수 있다. 따라서 축열벽과 직접 획득방식의 병행이 최적의 해결책이다. 대부분의 축열벽에는 창문이 있고 때로는 그림 6.9e와 같은 난간벽 형식으로 지어진다. 초기의 축열벽은 겨울에 실내에 열을 공급하기 위한 내부 배기구와 여름철 열을 내보내기 위한 외부 배기구가 있었다. 그러나 현재 이 배기구들은 여름이나 겨울철 모두 제대로 작용하지 않는다는 것이 명백해졌다. 대신, 직접 획득 방식으로 겨울철 낮에 난방을 하고 바깥에 그림자를 만드는 장치를 고안해냄으로써 여름철 열이 모이는 것을 방지한다. 유리창 앞의 screen hung은 직사광선에 대해 그림자를 만들어 주며 태양 복사에너지를 산란시킬 것이다. 이는 뜨거운 계절에 반드시 필요한 기능이다(그림 6.9f).

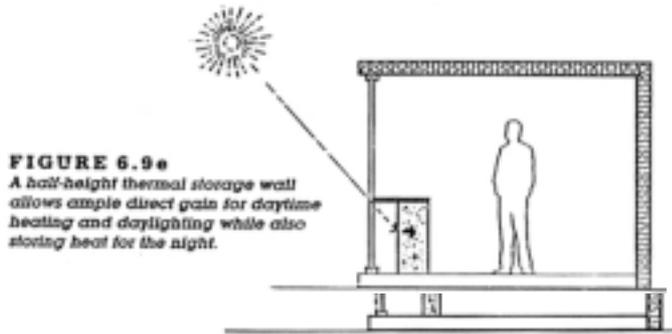


FIGURE 6.9e
A half-height thermal storage wall allows ample direct gain for daytime heating and daylighting while also storing heat for the night.

축열벽은 때때로 밖에서 구분할 수 없을 때가 있다. 그러나 커튼으로 빛을 조절할 때에는 검은색 벽은 눈에 쉽게 띄며 미관상으로도 좋지 않다. 축열벽에 사용하는 짜임이 있는 유리는 이런 두 가지 상황에 대한 해결책이 될 수 있으며 이는 자연형 태양에너지 시스템이 검정색 벽으로 가리는 반면에 좋은 표현방법이 될 수 있다.

축열벽은 Colorado Mountain Collage의 새로운 캠퍼스 센터를 지을 때 사용된 방법 중의 하나이다. Chapter 15에서 case study로 설명되어 있다. 그러나 모든 것이 다 새 건물에만 적용되는 것이 아니다. 리노베이션 작업에서도 축열벽 시스템은 꽤 연구가 잘 되고 있다. 오래된 석조 건물은 남측면에 glass curtain을 덧댈므로써 이득을 볼 수 있다. 어두운 색으로 칠한 석조 벽은 축열벽으로 작용한다(그림 6.9g). 또한 계절에 버틸 수 있는 외피와 단열면에서, 건물의 매력적인 외관 등의 이점이 있다.

축열벽은 Colorado Mountain Collage의 새로운 캠퍼스 센터를 지을 때 사용된 방법 중의 하나이다. Chapter 15에서 case study로 설명되어 있다. 그러나 모든 것이 다 새 건물에만 적용되는 것이 아니다. 리노베이션 작업에서도 축열벽 시스템은 꽤 연구가 잘 되고 있다. 오래된 석조 건물은 남측면에 glass curtain을 덧댈므로써 이득을 볼 수 있다. 어두운 색으로 칠한 석조 벽은 축열벽으로 작용한다(그림 6.9g). 또한 계절에 버틸 수 있는 외피와 단열면에서, 건물의 매력적인 외관 등의 이점이 있다.



FIGURE 6.9g
The addition of glazing can turn an existing wall into a solar collector, as in this Boston rowhouse. (Cover photo of Solar Age, August 1981. © Solar Vision Inc., 1981.)

6.10 DESIGN GUIDELINES FOR THERMAL STORAGE WALL SYSTEMS

Area of South Glazing

표 6.A는 직접획득 방식과 축열벽 두 가지 모두에 관한 것이다. 남향 창 의 총 면적은 설계자의 의도에 따라 이 두 가지 시스템으로 나뉘어 질 수 있다.

Thermal mass Sizing

남향창의 각ft²는 축열 매스의 1ft²에 매치되어야 한다. 그러나 반드시 직접획득방식에서보다는 두꺼워야 한다. 다양한 재질들의 두께가 표 6.C에 나와 있다. 최적의 효과를 위해서는 매스는 유리창으로부터 최소한 1인치는 떨어져 있어야 한다. 유리를 향한 표면은 고효율의 'selective'코팅을 해야 하며 주거공간에 면한 표면은 흰색을 포함하여 어떤 색이든지 가능하다. 'selective'코팅을 사용하지 않을 때에는 이중유리가 필요하다.

TABLE 6.C
Rules for Estimating the Required Thickness of a Thermal Storage Wall

Thermal Mass	Thickness (in.)	Surface Area per ft ² of Glazing (ft ²)
Adobe (dry earth)	6 to 10	1
Concrete or brick	10 to 16	1
Water*	8 or more	1

* If tubes are used they should be at least 10 in. in diameter.
Source: Solar Age May 1979, p. 61.

6.11 EXAMPLE

6.8에서의 건물을 반은 Tromb wall로, 반은 직접획득방식으로 다시 디자인 해보자.

Procedure:

1. 총 필요한 남향 유리창의 면적은 표 6.A에 나와 있다. : $19\% \times 1000 = 190\text{ft}^2$
2. 유리창의 반은 직접획득방식으로 사용될 것이기 때문에 Trombe wall의 면적은 $50\% \times 190 = 95\text{ft}^2$ 만큼 필요하다.
3. 벽돌 축열벽을 사용할 때에는 95ft^2 의 면적에 두께는 최소한 10인치가 되어야 한다(표 6.C). 직접획득 방식에서의 슬래브는 $95 \times 3 = 285\text{ft}^2$ 이다(표 6.B).
4. 그림 6.9e에 나오는 것과 같이 높이 3ft에 길이 32ft의 벽을 생각해보자. 이 벽은 밤에 라디에이터 역할을 해야하므로 가구로 막지 않는다.

6.12 SUNSPACES

Sunspace는 부차적인 생활공간의 마련과 건물의 주요 부분에 사용할 열을 모으기 위해 디자인 된 것이다. 이 개념은 앞서 언급한 18~19세기에 대중적이었던 'conservatories'에서 유래된 것이다. 최근까지 이 디자인 요소는 '부착온실'이라고 불렸다. 그러나 식물을 기르는 기능은 거의 하지 않았기 때문에 이 명칭은 사실상 잘못된 것이다. 'Solarium'이나 'Sun Room'이 좀더 적절하다. 그러나 'Sunspace'라는 용어가 가장 대중적으로 사용되고 있다. Sunspace는 열효율 면에서나 쾌적함 면에서 가장 널리 쓰이는 자연형 태양열 시스템이다. 많은 이들이 Sunspace의 반 외부적인 되관이 꽤 매력적이라는 것을 알게 되었다. 대부분의 사람들이 추운 겨울날에 따뜻하고 햇살이 드는 공간이 쾌적하다는 것을 알기 때문이다.

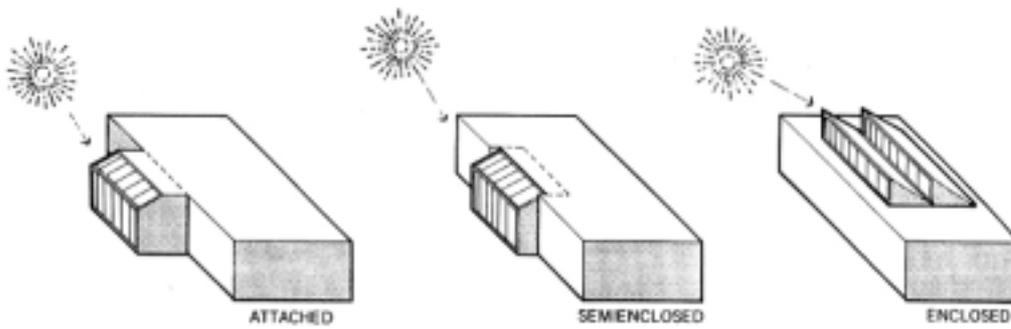


FIGURE 6.12a
Possible relationships of a sunspace to the main building.

Sunspace는 일반적으로 기온이 높을 때 90°F에서 겨울철에 낮을 때에는 50°F의 범위 내에서 움직이기 때문에 주거공간의 부속공간으로 여겨진다. 항상은 아니지만 대부분 매력적인 거주공간으로 사용되는 효과적인 태양에너지를 모으는 곳이 있다. 따라서 Sunspace는 건물의 나머지 부분으로부터 독립된 열적 공간으로 분리되어 계획해야만 한다. 그림 6.12a는 Sunspace가 주 건물체와 어떻게 물리적으로 연관될 수 있는지의 세가지 방식을 보여준다.

그림 6.12b에서는 Sunspace가 낮에 태양열을 받는 것을 볼 수 있다. 대부분의 열이 문이나 창문, 환기구등을 통해 주 건물체로 이동된다. 저장된 열의 나머지는 Sunspace의 바닥 슬래브나 석조로 된 일반적인 벽 등의 축열 매체에 저장된다. 밤이 되면 그림 6.12c에서 알 수 있듯이 문과 창문, 환기구를 닫아 주 거주 공간이 따뜻함을 유지하도록 한다. 육중한 벽의 열은 집을 안락하게 하고 Sunspace가 어는 것을 방지한다.

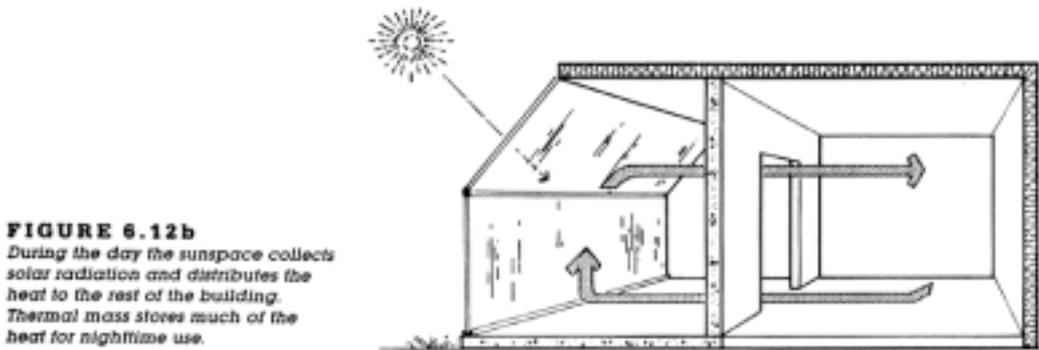


FIGURE 6.12b
During the day the sunspace collects solar radiation and distributes the heat to the rest of the building. Thermal mass stores much of the heat for nighttime use.

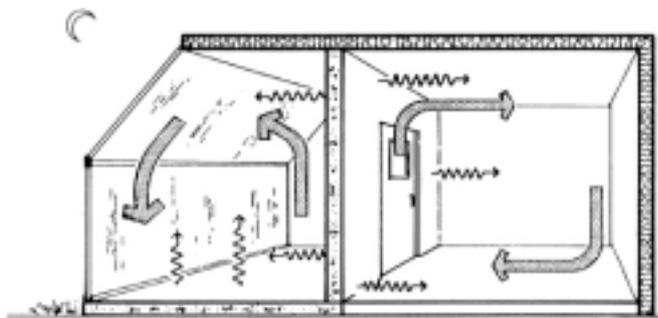


FIGURE 6.12c
At night the sunspace must be sealed from the main building.

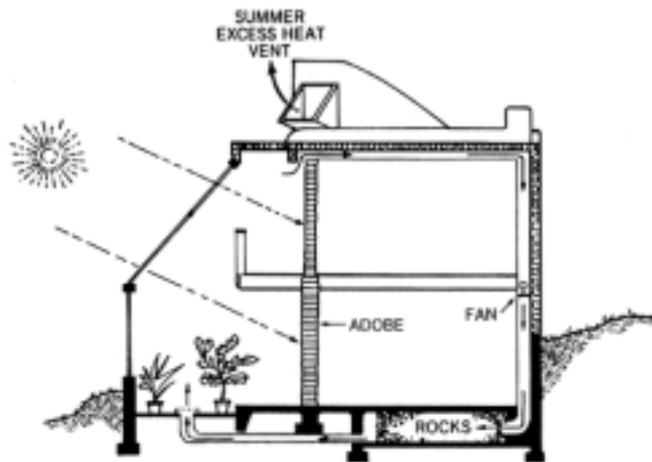
6.13 BALCOMB HOUSE

그림 6.13a의 Sunspace를 이용한 유명한 이 집은 자연형 태양에너지 시스템의 선구적인 연구가 J. Douglas Balcomb의 집이다. 역사적으로 유명한 뉴 멕시코의 Santa Fe에 위치하고 있기 때문에 벽에는 벽돌을 사용하였다(그림6.13b). 이중문은 낮에 집안을 데우는 대류의 흐름을 유도하고 밤에는 Sunspace를 봉한다(그림 6.13c). 또한 밤에는 벽돌로 된 벽이 집안과 Sunspace를 덥힌다. Sunspace는 난방의 90%에 공헌할 뿐 아니라 오후에 시간을 보낼 수 있는 쾌적한 공간이기도 하다.



FIGURE 6.13a
One of the first and most interesting sunspace houses is the Balcomb residence in Santa Fe, NM.

FIGURE 6.13b
A section through the Balcomb house shows the adobe common wall used for storing heat.



또 다른 태양열 난방방식의 사용으로 이 건물은 복합적인 태양열 건물이 된다. 이 방식은 Sunspace의 천정에 모인 뜨거운 공기가 1층 바닥 슬래브 밑에 있는 돌을 통해 나갈 수 있도록 팬을 사용하기 때문에 부분적으로는 Active Solar(설비형 태양열 시스템)로 볼 수 있다. 이 방식은 난방에는 그다지 유용하지는 않지만 건물의 쾌적한 정도는 증가시킨다.

지붕 위에는 여름이나 가을에 과열된 공기가 빠져나갈 수 있도록 커다란 배기구(그림 6.13b). 그러나 불행히도 배기만으로는 과열을 방지하기에 충분하지 않고 대부분의 기후에서 유리의 shading이 결정적으로 중요하다. Shading inclined glass(차광 경사유리)는 Shading vertical glass(차광 수직유리)에 비해 훨씬 복잡하기 때문에 유리창의 경사는 Sunspace설계 시에 중점적으로 고려해야 할 사항이다.

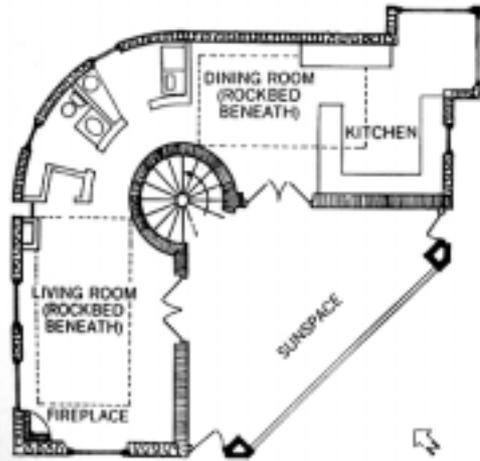


FIGURE 6.13c
This plan of the Bacomb house shows how the building surrounds the sunspace.

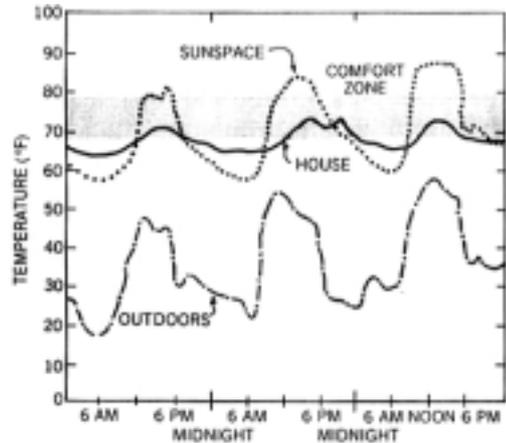


FIGURE 6.13d
The performance of both the house and sunspace is shown for three sunny winter days.

그림 6.13d에 있는 그래프는 겨울철 3일 동안의 Bacomb house의 성능을 보여주고 있다. 제대로 설계된 Sunspace 시스템의 전형적인 모습이다. 외부의 기온을 보면 최저기온이 18°F로 꽤 춥다. Sunspace의 기온은 최저 기온 58°F(14°C)에서 최고 기온 88°F(31°C)까지 꽤 넓은 폭으로 움직인다. 반면, 집의 경우 최저 기온 65°F(18.3°C)에서 최고 기온 74°F(23°C)의 폭으로 안락한 온도 안에서 움직인다. 이 그래프는 이 두 thermal zone의 다른 성격을 명백히 보여준다. 적은 양의 보조 열만으로도 집안을 쾌적하게 할 수 있고 Sunspace는 큰 폭의 온도차가 있어도 괜찮은 것이다.

6.14 SUNSPACE DESIGN GUIDELINES

Slope of glazing

대륙성의 U.S.에서 태양열 난방을 최대화 시키려면 유리창의 경사는 그림 6.14a에 나오듯이 50~60°여야만 한다. 그러나 안전성, 누수, 그리고 가장 중요한 sun shading(태양의 그림자)의 관점에서 보면 수직창이 가장 좋다(그림 6.14b). 그림 6.14c에 나온것과 같은 타협안이 효율적으로 작용한다. 더운 기후에서는 과열을 막기 위한 shading이 중요하기 때문에 수직창을 사용하는 것이 가장 좋다. shading방법은 chapter7에서 자세하게 설명할 것이다.

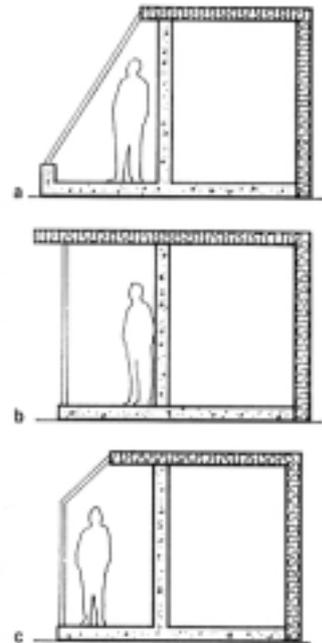


FIGURE 6.14a-c
Variations on slope of sunspace glazing: (a) 50-60°; (b) vertical; (c) combined. In most cases vertical glazing gives the best year-round performance.

Area of Glazing

Sunspace를 이용할 때 최소한의 남향 유리창 면적을 계산하기 위해 표 6.A를 사용한다. Sunspace는 대부분 열적인 고려 없이 사이즈를 정하기 때문에 표에 제시된 것보다 총 유리창의 면적이 넓을 수 있다. 그러나 Sunspace의 과열은 직접 획득 방식이나 축열벽 방식에 비해 주 건물에 영향을 적게 주므로 가능하다.

Vent Sizing

과열을 막기 위해서(특히 여름이나 가을에) 그림 6.14d에서와 같이 외부로의 배기가 필요하다. 아래쪽의 공기가 들어오는 곳은 전체 남향 유리 면적의 약 5%정도여야하며 위쪽에 있는 배기가스의 배출구는 또다른 5%가 되어야 한다. fan을 사용한다면 이보다 작은 크기의 개구부도 가능하다.

겨울철 난방을 하기 위해서는 건물의 주거부분과 Sunspace사이의 벽에 있는 문이나 창문, 배기구 등의 개구부가 필요하다. 이러한 개구부들의 총 합 면적은 최소한 유리창 면적의 10%가 되어야 한다. 이보다 큰 개구부가 효율적이다.

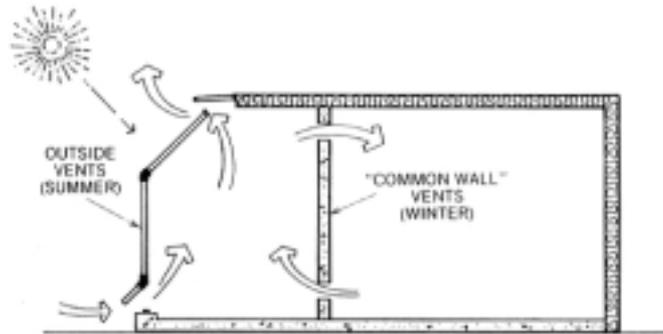


FIGURE 6.14d
To prevent overheating in the summer, the sunspace must be vented to the outdoors. Inside vents are only used in the winter and then have the same purpose as doors or windows.

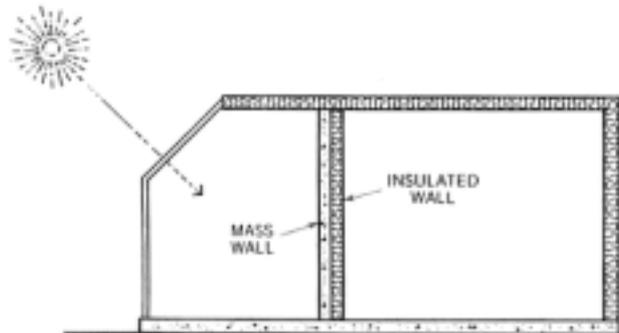


FIGURE 6.14e
In extreme climates the sunspace should be completely isolated from the main building by an insulated wall.

Thermal Mass Sizing

매스의 사이즈는 Sunspace의 기능에 달려있다. 본래 태양열을 모으는 역할이었다면 대부분의 열이 집안을 향할 수 있도록 매스는 거의 없어야 한다. 반면, Sunspace가 적정 온도를 유지하는데 유용하게 쓰려면 많은 매스가 있어야만 한다.

기온을 위한 좋은 해결책은 그림 6.12b에 나온 것과 같은 일반적인 축열벽이다. 꽤 춥거나 더운 날씨에도 축열벽은 집을 Sunspace로부터 완벽하게 단열 시킬 수 있다. 이러한 경우 얇은 단열벽이 그림 6.14e와 같이 사용되어야

TABLE 6.D
Rules for Estimating the Required Thermal Mass in Sunspace Systems

Thermal Mass	Thickness (in.)	Surface Area per ft ² of Glazing (ft ²)
Masonry common wall (noninsulated)	8 to 12	1
Masonry common wall (insulated)*	4 to 6	2
Water*	About 12"	About 1/2

* Since this mass is exclusively for the sunspace, some additional mass will be required for the main building.
* Use about 2 gallons of water for each square foot of glazing.
Source: Solar Age June 1984, p.32.

한다. 난방이 필요하면 문, 창문, 배기구 등을 연다. Sunspace가 건물로부터 단열되어야 할 필요가 있을 때에는 모든 개구부를 닫고 단열 벽은 열 장벽과 같은 역할을 할 것이다. 물이나 상변화 물질로 된 이러한 타입의 벽은 축열벽에 있어서 석조 벽 보다 효과적일 수 있다. Sunspace에서의 축열 매스 사이즈를 결정하는 법칙은 표 6.D에 나와있다.

6.15 COMARISON OF THE THREE MAIN PASSIVE HEATING SYSTEMS

표 6.E는 세가지 대표적인 자연형 태양열 시스템의 장점과 단점을 나열함으로써 비교하고 있다.

시스템	장점	단점
직접 획득 방식	<ul style="list-style-type: none"> · 대형 전망창의 사용을 활성화 · 최소한의 비용 · 가장 효율적 · clerestory와 skylight을 효율적으로 사용가능 · 자연채광과 난방방식이 결합하여 학교나 소규모 오피스에 적절한 방식 · 가변적이고 총 유리창 면적이 작을 때 최상의 효과 	<ul style="list-style-type: none"> · 지나친 빛으로 눈부심과 색의 바램 유발 · 축열바닥은 카펫으로 덮지 말아야 함 · 축열벽에는 극소량의 페인트만을 바를 수 있음 · 사전 대책이 없으면 과열 발생 우려 · 상당히 큰 폭의 온도차(약 10°F)
축열벽	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 수준의 열쾌적 제공 · 명암 조절을 위한 직접획득 방식과의 결합 · 기존의 벽을 갱신하여 사용가능 · 적절한 비용 · 큰 열부하에 적절 	<ul style="list-style-type: none"> · 직접획득 방식에 비해 비싸다 · 조망과 채광을 위한 유리창 면적 부족 · 구름이 많이 끼는 기후에서는 부적절
sunspace	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 쾌적도 · 추가적인 거실의 역할 · 온실의 기능으로도 가능 · 주거유닛이나 아프리움, 로비, 식당 등의 공공장소에 가장 적절한 방식 	<ul style="list-style-type: none"> · 가장 비싸다 · 효율이 가장 적음

TABLE 6.E

6.16 GENERAL CONSIDERATIONS FOR PASSIVE SOLAR SYSTEMS

뒤에 나오는 설명들은 이전의 자연형 시스템에 관해 언급하는 것이다.

Orientation

대개 유리창은 남쪽을 향한다. 대부분의 경우 이 방향이 겨울의 난방이나 여름철 shading에 가장 효과가 있기 때문이다. 그림 6.16a의 그래프는 어떻게 태양 복사 에너지가 남측의

수직창을 통해 겨울철에 최대, 여름철에 최소로 전달되는지를 보여주고 있다. 이 가상의 상황은 다른 향에 대해서는 사실이 아니다. 수평위치, 동, 서, 북향의 창문이 어떻게 겨울철에 최소한의 열과 여름철 최대의 열을 받고 있는지를 살펴보자.

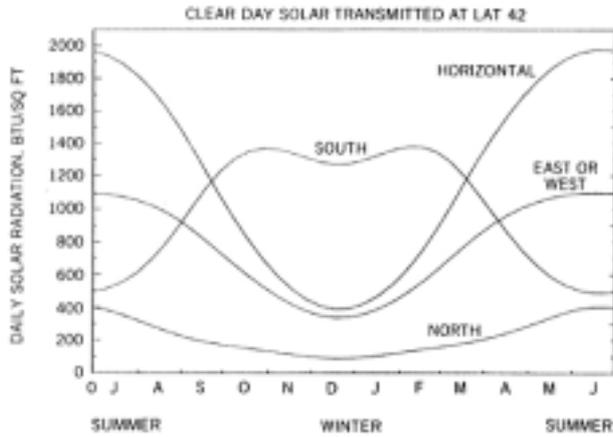


FIGURE 6.16a
Vertical south glazing is usually the best choice because it transmits the maximum solar radiation in the winter and the minimum in the summer. (From Workbook for Workshop on Advanced Passive Solar Design, by J. Douglas Balcomb and Robert Jones, © J. Douglas Balcomb, 1987.)

현실에서 항상 이것이 가능하지는 않기 때문에 유리창이 정남에서 동쪽으로 15° 혹은 서쪽으로 20°치켜 올려져 있더라도 효율적으로 작용할 수 있다(그림 6.16b).

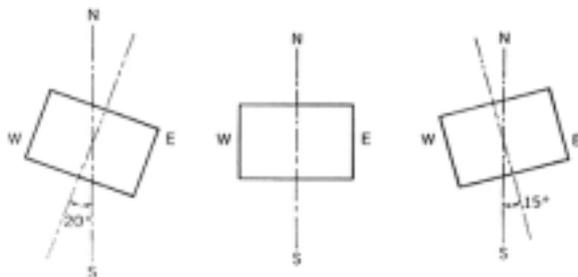


FIGURE 6.16b
Permissible range of orientation for the south glazing.

그러나, 정남향이 최선의 방법이 아닐 때에는 특별한 요건들이 있다.

1. 학교는 아침 일찍 난방을 필요로 하고 늦은 오후나 밤에는 난방을 거의 필요로 하지 않기 때문에 동쪽으로 약 15°정도 향하게 한다.
2. 학교 같은 장소에서 때로 필요한 것으로 시스템들을 조합하여 사용할 경우 각각은 다른 향을 향한다. 예를 들어 그림 6.16c에 나온 해결책은 아침에 직접 획득 방식에 의해 빠르게 열을 획득할 수 있고 오후에는 밤에 사용할 태양복사 에너지를 모으기 위한 축열벽의 사용으로 오후의 과열을

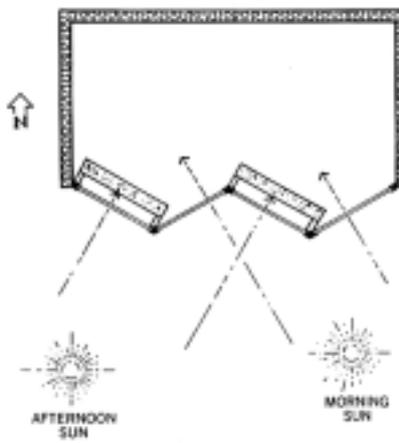


FIGURE 6.16c
Plan view of a combined system of direct gain and thermal storage walls.

방지할 수 있다.

3. 아침에 안개가 끼거나 혹은 구름이 끼는 지역은 약간 남서쪽을 향한다(대략 10°정도).
4. 밤에 주로 사용되는 건물은(낮에는 아무도 없는 주택 등) 남향에서 약 10°정도 서쪽을 향한다.
5. 주변 건물, 나무 등에 의한 shading을 피하려면 동쪽이나 서쪽으로 다시 배치할 필요가 있다.

Shading

자연형 태양열 난방 시스템은 적절한 shading이 없으면 연중 뜨거운 기간에는 과열이 발생한다. 그 기간에는 직사광선을 차단해야 할 뿐 아니라 반사나 산란에 의한 복사열도 차단해야 한다. 반사되는 열은 대체로 고온 건조한 지역에서 심각한 문제이다. 습한 지역에서는 산란에 의한 복사가 가장 중요한 문제이다. shading 방안에 관한 문제는 Chapter 7에서 논의될 것이다.

Reflectors

외부의 반사하는(거울과 같은) reflector는 큰 유리면 적의 사용에서 오는 장애 없이 태양에너지의 집중을 증가시킬 수 있다. 태양열의 획득을 증가시키기 위해 창문의 사이즈를 크게 하는 것보다 reflector를 사용함으로써 겨울철의 열 손실과 여름철의 열 획득 모두를 최소화 시킬 수 있다. 반사하는 reflector는 Chapter 12에서 다룰 주광 설계에서도 유용하게 쓰인다. 그러나 reflector는 그리 싸지도 않고 좁은 창문일 경우에는 거의 효과가 없다(그림 6.16d).

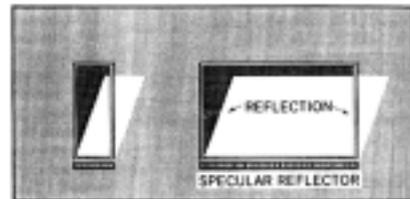


FIGURE 6.16d
Specular reflectors are much less efficient on narrow than on wide windows. The diagram shows how on a south orientation the afternoon sun is reflected toward the east side of the window.

거울 같은 표면은 빛을 반사하기 때문에 입사각은 반사각과 같다. reflector의 길이는 태양광선이 창문의 상부에 딱 맞닿는 길이에 따라 결정된다(그림 6.16e). 입사각은 12월21일 정오 태양의 고도를 이용한다. 이 각도는 부록A에서 찾을 수 있는 태양 궤도 다이어그램에 의해 결정된다.

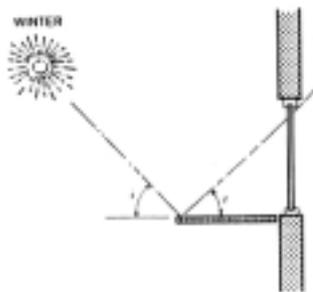


FIGURE 6.16e
The length of a specular reflector is determined by the sun ray that just clears the window head.

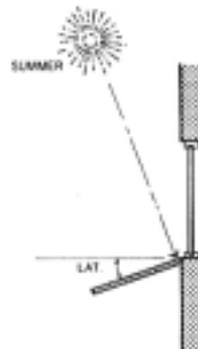


FIGURE 6.16f
When summer sun is not desired, specular reflectors that are not removed should be tilted of an angle roughly equal to the latitude.

불필요한 태양열의 집중을 막기 위해 reflector는 여름철에 태양열이 들어오는 방향으로부

터 제거되거나 회전할 수 있어야 한다. 여름에 reflector가 제거되지 않는다면 적어도 회전하여 태양 빛이 창문 안으로 들어오지 않아야 한다. 그 경사각은 위도에 따라 다르다(그림 6.16f).

Diffusing reflector도 유용하지만 태양열의 아주 적은 퍼센트만이 창문으로 직접 반사되기 때문에 specular reflector보다 훨씬 커야 한다. 눈(snow)이 있는 곳이라면 가장 이상적이다. 상당히 넓고 계절에 따라 존재하며 '낮은' 가격으로 가능하기 때문이다. 밝은 색의 콘크리트나 자갈은 그다지 반사율이 높지 않지만 넓은 면적으로 쓰다면 가능하다.

Conservation

창문에 대한 야간 단열은 많은 효용성 때문에 추천 할만 하다. 미국지역의 대부분이 겨울철에 자연형 태양에너지 시스템을 눈에 띄게 증가시키고 있다. 단열은 여름철에 태양빛과 열을 차단시키는 데에도 사용될 수 있다. 게다가 개인적으로 조절이 가능하며 밤에 노출된 창문의 'black hole' 효과를 제거할 수 있다. 야간의 단열은 직접 획득 방식에서 가장 두드러진다. 그다지 중요하지는 않으나 sunspace와 축열벽에서도 유용하다.

야간 단열에는 몇 가지 방식이 있는데 얇은 축열 라인을 따라 얇은 커튼을 드리우는 것도 효과적이다. 고정된 단열 패널은 종종 사용되는 방법이며 고효율의 low-e 유리도 가능하다. 이 모든 방법들을 Chapter 13에서 논의된다.

게다가 창문 쪽의 단열은 Southern California나 Southern Florida와 같은 해안선을 따라 찾아볼 수 있는 온화한 기후를 제외하고는 이중유리를 사용하는 것이 좋다. 야간 단열은 직접 획득 방식에서 가장 적합하다.

6.17 HEAT-STORAGE MATERIALS

자연형 태양열 시스템과 자연형 냉방의 성공은 적절한 축열 매체의 사용에 달려있다. 건물에서의 열저장 재료들을 비교해보면 건축 설계자들은 주로 무게보다는 체적에 기준으로 한 btu/ft^3 에 따른 열용량에 관심을 갖는다. 표 6.F는 재료별 체적에 따른 열용량의 다양함을 보여준다.

예를 들어, 공기는 밀도가 거의 없기 때문에 축열 재료로서 거의 쓸모가 없다. 단열재는 대부분 공기로 구성되어 있기 때문에 극히 적은 열만을 저장할 수 있다. 반면에 물은 가장 좋은 축열 재료중의 하나이며 강철 또한 그렇다. 나무를 제외하고 무거운 재료들은 축열 성능이 좋으며 가벼운 것들은 축열 성능이 좋지 않다. 나무는 포함하고 있는 수분 때문에 큰 열용량을 가졌음에도 불구하고 열전도성이 낮기 때문에 적절하지 못하다. 이 낮은 열전도율과 높은 열 저항은 열저장의 과정에서 열이 효과적으로 매스의 중심부로 전달되지 못하게 한다. 따라서 열저장 매체로서 적절한 재료는 높은 열용량과 높은 열전도율을 가져야 한다. 이러한 이유로 물, 강철, 벽돌, 콘크리트(돌) 등이 적절하다.

TABLE 6.F
Heat Capacity of Materials by Volume

Material	Heat Capacity per Volume (btu/ft ³ ·F)
Water	62.4
Steel	59
Wood	26
Brick	25
Concrete (stone)	22
Foam insulation	1
Air	0.02

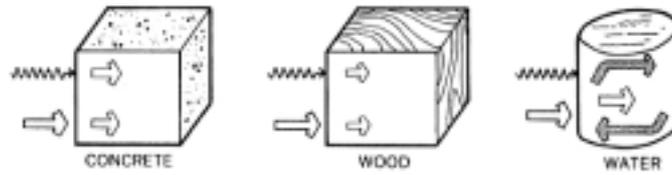


FIGURE 6.17a
Because the conduction of heat into the interior of a material is critical for heat storage, wood is not good for storing heat, while water is excellent.

물은 어떤 재료보다도 높은 열용량을 가지고 있으며 높은 열 흡수율을 가지고 있기 때문에 축열 재료로서 훌륭하다. 물에서의 자연 대류의 흐름과 전도는 열이 매스의 내부로 이동할 수 있도록 돕는다(그림 6.17a). 콘크리트나 벽돌, 돌등은 전도가 다소 낮으므로 이 재료들의 두께는 제한되어야만 한다. 대신에 필요한 만큼 표면적을 증가시킨다.

그림 6.17b에 나온 그래프에서 어떤 온도에서도 물이 콘크리트 보다 거의 세배정도 열을 저장함을 알 수 있다. 그러나 이보다 더 효과적인 재료가 있다. phase change materials(PCM : 상변화 물질)이라 불리는 것이다. 앞서 언급한 재료들이 에너지를 현열의 형태로 저장하는 것에 반해 상변화 물질은 에너지를 잠열의 형태로 저장한다. 자연형 난방을 위해 상태 변화는 실내 온도 부근에서 발생해야 하므로 염화 수산화물(염화 칼슘, 황산 소다등)이 PCM재료로서 가장 유력하다.

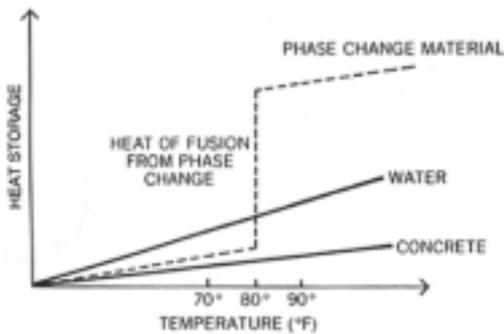


FIGURE 6.17b
Heat of fusion gives phase change materials their very high heat storage capability.

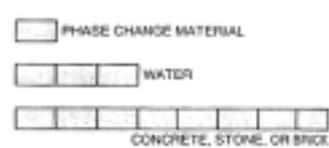


FIGURE 6.17c
Relative volumes required for equal heat storage.

그림 6.17b에서 몇몇 상변화 물질이 용해열(잠열)의 형태로 상당히 많은 양의 에너지를 저장하는 것을 볼 수 있다. 태양이 처음에 뜨기 시작할 때 이 물질은 데워지기 시작하여 80°F가 될 때 까지 이른다. 그때부터 열은 계속해서 흡수하고 녹기 시작하지만 온도는 완전히 녹을 때 까지 80°F를 유지한다. 그때부터 다시 온도가 올라간다. 밤이 되면 반대의 과정이 진행되는데, 실내의 온도가 80°F로 떨어지게 되면 PCM은 그동안 흡수한 만큼의 많은 양의 열을 발산하면서 응고하기 시작한다. 재료의 온도 때문에 그 주변을 둘러싸고 있는 것들은 PCM이 완전히 응고하기 전까지는 80°F이하로 떨어지지 않는다. 이러한 거대한 용해열은 적은 양의 재료만으로 거의 온도를 유지시킬 수 있는 많은 양의 열을 저장할 수 있도록 한다.

그림 6.17c에서는 물, 콘크리트(돌), 상변화 물질을 열저장에 관하여 비교하고 있다. 이것은 같은 양의 열을 저장하기 위해 필요한 체적간의 관계를 보여주고 있다. PCM은 간편하고

경제적이기 때문에 열저장 방법으로는 꽤 매력적이다. 현재는 몇몇 PCM생산이 상업적으로 가능하다. 전형적인 모양과 사이즈가 그림 6.17d에 나와 있다. 표 6.G는 세 가지 열 저장 매체들의 장단점을 설명하고 있다.

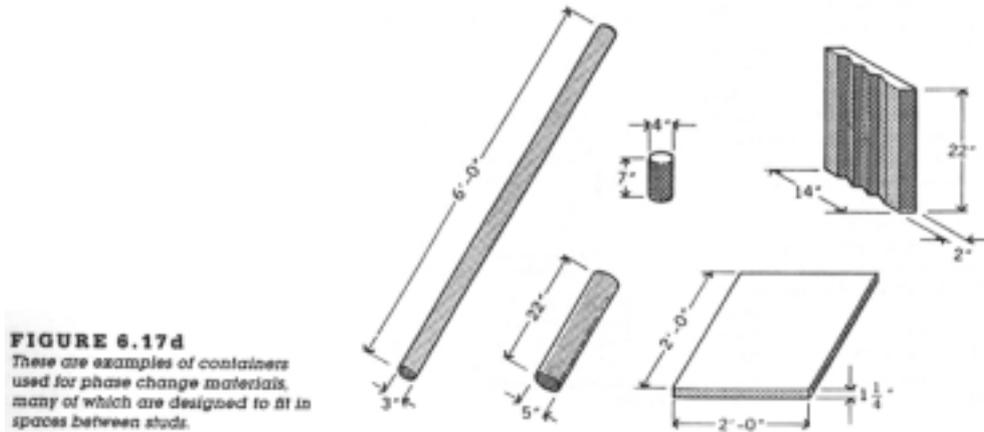


TABLE 6.G
Comparison of Various Heat-Storage Materials

Material	Advantages	Disadvantages
Water	Quite compact Free	A storage container is required and can be expensive Leakage is possible
Concrete (stone)	Very stable Can also serve as wall, floor, etc.	Expensive to buy and install because of weight
Phase change material (PCM)	Most compact Can fit into ordinary wood frame construction	Most expensive Long-term reliability is not yet proven

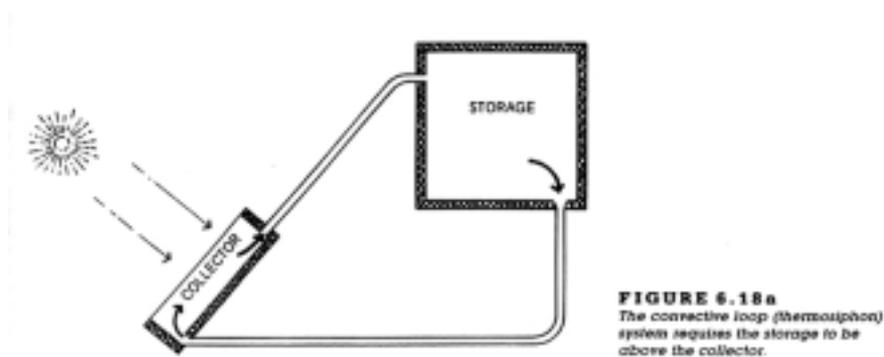
재료	장점	단점
물	<ul style="list-style-type: none"> · 간편하다 · 무료 	<ul style="list-style-type: none"> · 저장할 수 있는 컨테이너가 필요하고 값비쌀 수 있다 · 누수 우려
콘크리트(석재)	<ul style="list-style-type: none"> · 상당히 안정적 · 벽이나 바닥 등으로도 사용할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 중량 때문에 구입 · 설치 시 값비쌀 우려
PCM(상변화물질)	<ul style="list-style-type: none"> · 가장 간편하다 · 일반적인 목구조에도 가능하다 	<ul style="list-style-type: none"> · 가장 비싸다 · 장기간 신뢰도가 아직 증명되지 않았다

6.18 OTHER PASSIVE HEATING SYSTEMS

Convective Loop System(Thermosiphon)

그림 6.18a에서 대류형 순환 시스템(convective loop system)의 기본 구성요소를 알 수 있다. collector는 저장소까지 올리기 위한 뜨거운 유체(공기나 물)를 생성한다. 그 동안 차

가워진 유체는 저장소에서 빠져나와 collector로 흘러들어간다. 자연 대류에 의한 이 흐름을 thermosiphoning(열 사이펀)이라 부른다. 저장소가 collector보다 낮게 설치되어 있다면 야간에는 대류의 흐름이 역행할 것이다. 따라서 이 시스템을 성공적으로 하기 위해서는 열 저장소를 높은 위치에 두어야 한다. 그러나 전형적인 저장매체인 물이나 암석의 무게 때문에 일반적으로 이 방법은 어렵다. 이런 매스를 높은 위치에 두는 것은 건물이 남향으로 꽤 급한 경사를 갖는 대지에 위치하지 않는 한 꽤 큰 문제가 된다.



Paul Davis House는 급경사에 위치하고 있어 뜨거운 공기가 바닥에 있는 돌들을 데운다 (그림 6.18b). 야간에는 바닥의 돌에서 열이 집안으로 들어오고 집안의 차가운 공기는 rock bed로 돌아간다. 이 역시 Convective Loop이며 댐퍼(통풍 조절기)에 의해 조절된다. 이 집은 낮에는 직접 획득방식에 의해 난방이 이루어진다. 엄밀히 말해서 이것이 자연형 태양열 시스템이라고는 해도, 자연형 보다는 설비형 시스템에 가깝다. collector와 저장소는 모두 한가지 기능만을 수행하기 때문에 통합적인 접근이라고 할 수 없다. 이러한 설비는 가격을 두드러지게 상승시키며 따라서 그다지 대중적으로 쓰이는 자연형 시스템이 아니다. 이러한 종류의 collector와 열 저장시스템에 대한 자세한 논의는 Chapter14의 active solar system에서 다루어진다.

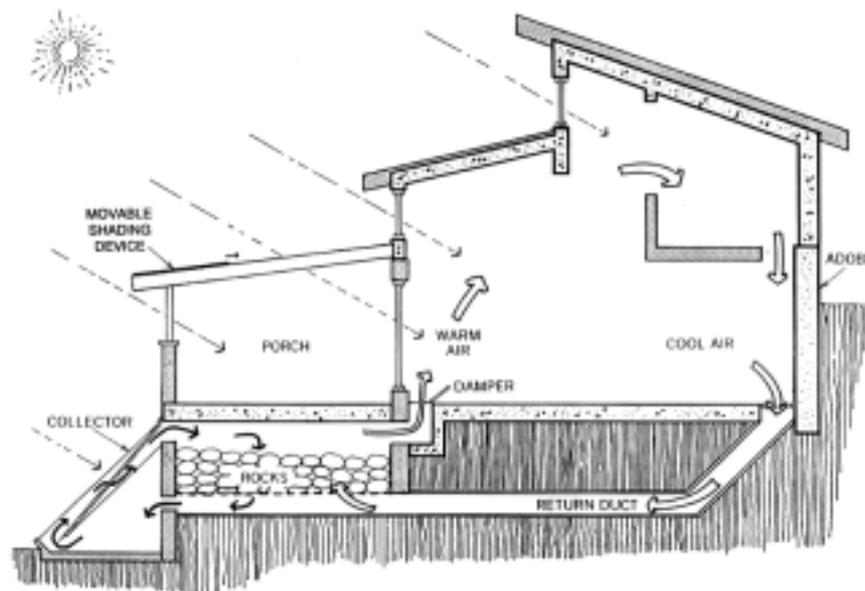


FIGURE 6.18b
A convective loop heats the rock bed in the Davis house, New Mexico, designed by Steve Baer.

Roof Ponds

이 개념은 열을 저장하는 지붕을 사용한다는 점을 제외하면 축열벽 시스템과 유사하다(그림 6.18c). 이 roof pond 시스템에서는 금속성의 데크 위에 있는 검정색 플라스틱 통 안에 물이 저장되어있으며 겨울철 낮에 태양이 그 물통을 데운다(그림 6.18d). 열은 빠르게 아래로 전도되고 천정에서 거주공간으로 복사된다. 밤에는 이동식 단열 커버가 밤하늘로 열이 손실되는 것을 막는다(그림 6.18e).

FIGURE 6.18c
The Harold Hay house in Alascadero, CA, 1967 utilizes the roof pond concept. (From *Solar Dwellings: Design Concepts* by A.I.A. Research Corporation U.S. G.P.O., 1973. (HND-PDR-154(6)).)



이 roof pond는 겨울철에 자연스럽게 가열되고 여름에는 효과적인 자연형 냉방이 가능하다는 점에서 이론상으로는 최상의 시스템이다. 연중 과열되는 기간에는 낮에 단열 커버로 지붕을 덮고 밤에는 제거한다. 이 자연형 냉방 시스템은 8.10단원에서 더 상세히 설명되어진다.

그러나 이 개념은 몇 가지 심각한 실용상의 문제점이 있다. 주된 어려움은 지붕을 덮을 수 있는 가변형 단열 시스템을 만들 수 없다는 것이다. 가변형 단열재 모서리 부분의 영성한 접합은 주된 열손실을 유발한다. 또 다른 문제는 물의 무게이다. 미국에서는 경량 구조를 표준으로 하고 있으며 중량 있는 지붕은 가격이 현저히 높다. 누수역시 심각한 문제이다. 그러나 이 개념이 높은 효율과 열 쾌적에 대한 잠재성을 가지고 있기 때문에 어떻게 이 문제를 극복할 것인가에 대해 투자할만한 가치가 있다.

또 하나의 문제점은 코사인법칙에 의해 평평한 경사면이나 수직면에 비해 적은양의 태양복사 에너지를 받게 된다는 것이다. 위도가 높을수록 이 문제점은 심각해진다. 따라서 앞에서 설명한 개념은 미국의 남부에서만 가능하다. 북쪽의 위도에서는 Harold Hay가 B. Givoni가 개발한 Roof Radiation Trap과 유사한 개념의 다른 해결안을 제안했다(그림 6.18f).

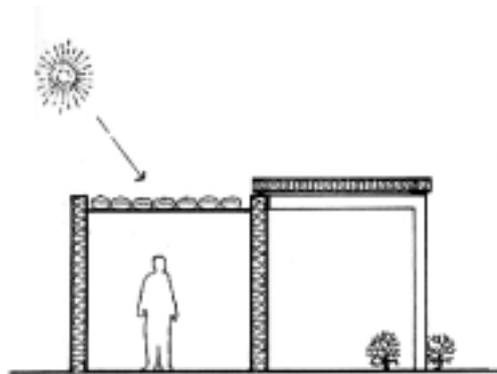


FIGURE 6.18d
During the winter day the plastic bags of water are exposed to the sun.

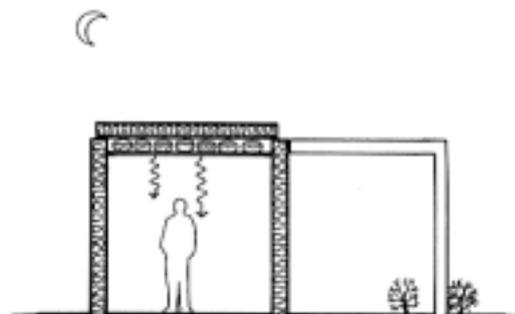


FIGURE 6.18e
During the winter night a rigid insulation panel is slid over the water.

Roof Radiation Trap

roof pond의 심각한 문제점을 해결하기 위해 B. Givoni는 Roof Radiation Trap 시스템을 개발했다. 그림 6.18f에 나와 있는 것과 같이 지붕의 유리창은 어느 위도에서든지 겨울철에 최대한의 집열이 가능한 경사로 되어있다(경사각 = 위도 + 15°). 유리를 통과한 태양복사에너지는 검은색으로 칠해진 콘크리트 천정 슬래브에 흡수된다. 건물은 천정의 복사열에 의해 가열된다. 경사진 지붕은 단열이 잘 되어 있으며 가변형 셔터는 야간에 유리창을 통한 열 손실을 감소시킨다. 이 셔터는 유리창 안쪽에 있기 때문에 모서리 부분의 밀봉은 그리 중요치 않다. 이 시스템은 여름철 자연형 냉방에도 적용할 수 있으며 8.11단원에 상세히 설명되어 있다.

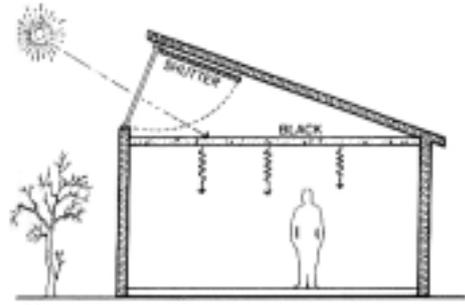


FIGURE 6.18f
The roof radiation trap system developed by Givoni in Israel.

Lightweight Collecting Walls

이 시스템은 이탈리아의 Barra - Constantini 가 개발한 것으로 convective loop의 변형이다. collector로서 작은 용적의 벽을 사용하고 열 저장매체로 육중한 청정 구조를 사용한다(그림 6.18g). 이 시스템의 주된 이점은 북층건물의 북측 방까지도 난방이 가능하다는 것이다. 그림 6.18h에서 볼 수 있는 경량 집열벽은 매우 추운 지방에서의 낮에 추가적인 난방이 필요하고 밤에는 거의 난방이 필요 없는 건물에서 유용하다. 학교나 오피스 빌딩, 공장 등이 전형적인 예이다. 이 시스템에서는 특별한 저장 매스가 없기 때문에 collector에 떨어지는 모든 태양 복사에너지는 해가 떠있는 동안에는 계속해서 실내 공간 난방에 사용된다.

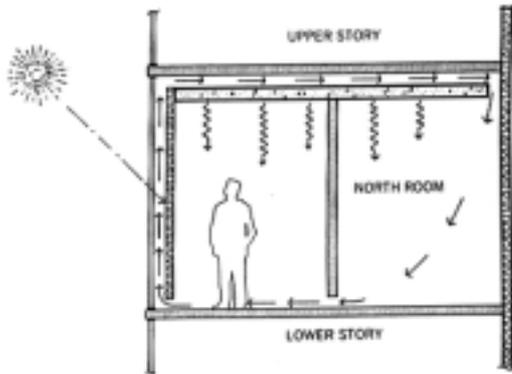


FIGURE 6.18g
The Barra-Constantini system is ideal for heating north rooms in multistory buildings.

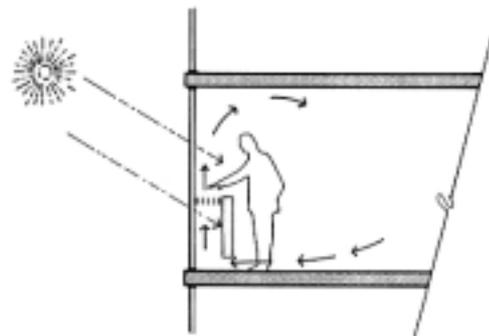


FIGURE 6.18h
A lightweight collecting wall can supply additional daytime heating without excessive light.

Double Envelope

그림 6.18i에서 몇 년 전부터 명성을 얻어온 시스템을 볼 수 있다. 이 개념은 sunspace에서 생성된 뜨거운 공기가 건물을 데우기 위해 북측의 벽을 타고 흘러 내려오는 것이었다. 표준적인 convective loop와는 달리 열 저장소는 crawl space(천장 아래에 배관, 배선을

위한 좁은 공간)에 위치한다. 이는 물리적인 열 흐름과는 일치하지 않는다. 그러나 이미 예전부터 이중외피 건물이 유용하다는 주장이 있어왔다. 이중외피 house에 관한 다양한 관찰과 결정적인 실험에 의해 결론이 내려졌는데 이 실험에서는 북측 벽을 통해 흐르는 공기를 인위적으로 차단시켰다. 시스템이 불가능할 때에 오히려 건물에서 이루어지는 열 흐름이 증진되었기 때문에 이중 외피 시스템의 개념이 제대로 작동하지 않는다는 것이 명백해졌다. 분리된 벽이 단열을 증가시켰음에도 불구하고 매우 비경제적인 방법으로 작용한 것이다.

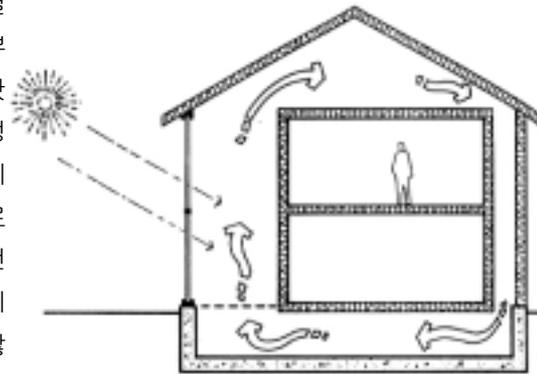


FIGURE 6.18i
The double envelope system was assumed to work as illustrated in the diagram, but in fact the performance of the building is improved if the air circulation of the system is blocked.

The Modern Horticultural Greenhouse

그림 6.18j에 보여지는 전형적인 원예용 온실에는 몇 가지 심각한 문제점이 있다. 겨울철 밤에 심한 열 손실이 있기 때문에 식물이 어는 것을 막기 위해서는 많은 연료를 때워야 한다. 또한 유리창에 면한 부분만 겨울철에 태양빛을 받을 수 있기 때문에 나머지 부분은 열을 잃는다. 여름철에도 문제점이 있다. 큰 면적의 유리창이 여름철 태양과 면해 있어 과열이 심각한 문제이다. 여름철에 식물이 죽는 것을 막기 위해 일반적으로 커다란 팬이나 때로는 냉방시스템을 이용한다.

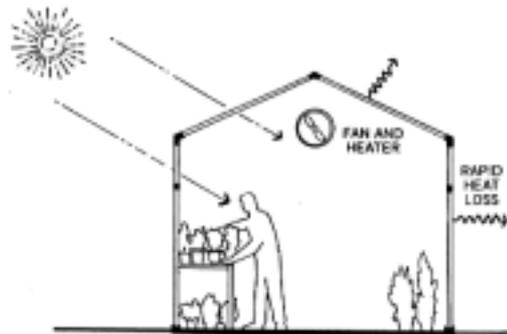


FIGURE 6.18j
A conventional horticultural greenhouse typically utilizes a fan to prevent overheating, and a heater to prevent freezing.

이러한 원예용 온실 설계에 대한 접근은

England나 Holland와 같은 나라에서 그 역사적 기원을 찾아 볼 수 있다. 이 나라들은 온화하고 구름이 많은 기후를 가지고 있다. 따라서 겨울철의 열손실이나 여름철 낮의 과열은 그다지 문제가 되지 않는다. 구름이 많은 날씨에서 식물에 충분한 빛을 제공하기 위해서는 큰 면적의 유리창이 필요했다.

그러나 미국 기후의 대부분은 England나 Holland에 비해 열악한 기후를 가지고 있기 때문에 이와는 다른 방향의 온실 설계가 필요하다. 그림 6.18k에서는 미국 대부분의 기후에서 적합한 현대적인 온실의 예를 볼 수 있다. 북측의 벽과 지붕은 단열이 잘 되어 있으며 남향의 벽과 지붕은 이중구조로 되어 있다. 지면과 바닥의 축열 매스는 물이 든 드럼통으로 충당한다. 여름철의 열 부하는 유리창의 면적을 줄이는 것과 overhang에 의한 shading으로 제한할 수 있다. 또한 온실의 최상단부와 최하단부에 커다란 가변형 통풍구를 설치함으로써 자연환기에 의한 냉방

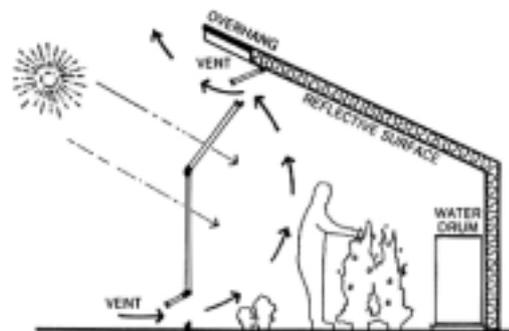


FIGURE 6.18k
A modern passive horticultural greenhouse utilizes shading and venting to prevent overheating, and insulation and thermal storage mass to prevent freezing.

이 가능하다. 식물의 굴광성에 의한 변형을 최소화시키기 위해서(이 경우에는 남향에서) 북측의 천정은 반사재를 사용하여 북측에서도 식물이 빛을 받을 수 있도록 한다.

6.19 SUMMARY

가장 적절한 자연형 태양열 시스템을 결정하는 데에는 많은 요인들이 있다. 기후, 건물유형, 이용자 선호도, 그리고 비용들이 그 주된 고려사항들이다. 때로 특정 문제들이 야기하는 요구를 충족시키기 위해서는 시스템을 조합하여 사용하는 것이 최선의 방법이다. 반대로, 한 시스템의 다양한 변형이 최선의 방법일 수도 있다. 혹은 어떤 좋은 방법이 아직 개발되지 않은 것 일수도 있다. 그렇지만, 난방을 필요로 하는 대부분의 건물들은 어떤 종류의 자연형 태양열 시스템을 통해 이득을 얻을 수 있다.

Chapter15의 사례분석에 포함된 많은 건물 중에는 하나 혹은 그 이상의 자연형 태양열 기술이 사용되었다. 특히, Colorado Mountain College, Stone Harbor Resience 와 Hood College를 주목해 보라.

Passive domestic hot water systems의 경우, 설비형 태양열 시스템 쪽과 더 가까우므로 여기서는 논외로 하였다. 그러므로 그것들은 active hot water systems와 함께 Chapter14에서 다룬다.

이 장은 자연형 태양열 시스템 건물의 역사적 사례에 주목함으로써 출발하였다. 그 사례 중의 하나가 New England Saltbox형이다. 이 장은 그와 같은 역사적 원형들을 유추해 볼 수 있는 Western Maryland의 건물로 마무리 짓는다(그림 6.19).

FIGURE 6.19
This country home, designed by the author for western Maryland, expresses its roots in the "saltbox" of New England and "peaf" roof of Pennsylvania.

