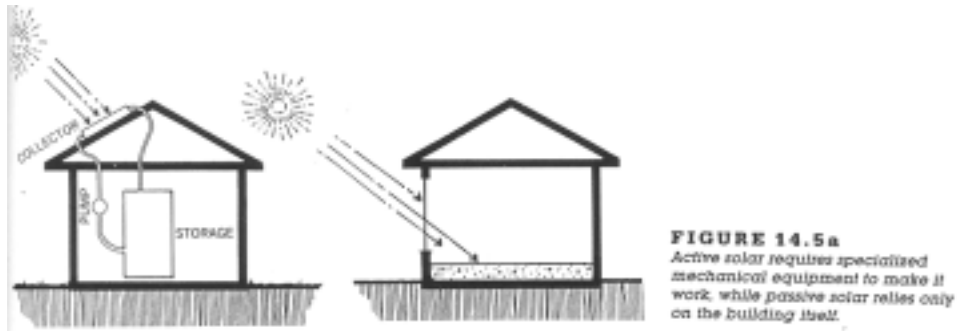


Mechanical Equipment for Heating and Cooling

14.5 ACTIVE SOLAR HEATING

설비형 태양열 시스템은 태양 에너지를 모으기 위해서 태양열 집열판(solar collector)을 사용한다. 펌프나 팬이 집열판으로부터 나중에 열을 사용하기 위한 저장탱크 혹은 rock bin 까지 열을 이동시킨다. 반면 자연형 태양열 시스템은 집열과 저장의 매체로 건물 자체의 구조를 사용한다(그림 14.5a).



건물의 난방(공간 난방)을 위해서는 현재 설비형 보다는 자연형 태양열을 이용한 난방이 더 우수하다는 인식이 널리 퍼져있다. 그러나 설비형 태양에너지도 능률적이며 특별한 경우에는 오히려 자연형 보다 더 효과적이다. 더욱이, 설비형 태양열 시스템은 수영장이나 생활 온수(domestic hot water)를 데우는데 효과적이다. 설비형 태양열 시스템은 건물의 냉방도 가능케 한다. 태양 냉방에 관한 기술적인 가능성이 실험을 통해 입증되었음에도 불구하고 비경제적인 문제점이 있다.

그렇다면 왜 수영장을 데우는데 설비형 태양열 난방 시스템이 더 적절한가? 하나는 겨울보다는 더 많은 태양에너지의 이용이 가능한 봄, 여름, 가을에 pool을 데움으로서 swimming season을 연장시키려 하기 때문이다. 또 다른 이유는 열역학 법칙에 의하여 모든 태양열 집열판은 작동 가능한 온도 중에서 가장 낮은 온도에서 최고의 효율을 나타내기 때문이다. 풀장 물의 온도는 다소 낮기 때문에(약 $80^{\circ}\text{F} = \text{약 } 26.7^{\circ}\text{C}$) 태양열 집열판의 효율은 매우 높다(그림 14.5b). 이러한 낮은 온도의 효과는 공간 난방의 한 형태로도 쓰인다. 바닥 복사난방 시스템은 단 90°F 온도의 물만으로도 큰 효과를 볼 수 있다.

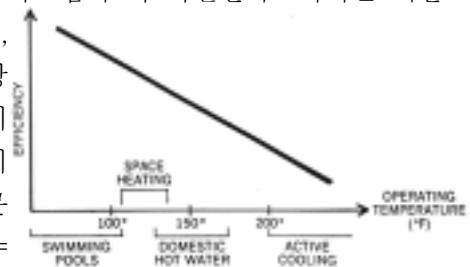


FIGURE 14.5b
Performance of a typical flat plate solar collector. Although the exact curve varies with collector type, the efficiency always declines with an increase in the collection temperature.

생활 온수도 설비형 태양열 시스템의 좋은 적용이 될 수 있으나 다른 이유에서이다. 생활 온수는 연중 내내 필요하기 때문에 설비가 한가할 틈이 없다. 그러나 공간 난방에서는 그렇지 않다. 설비형 태양열을 이용한 공간난방 시스템은 연중 대부분 한가할 뿐 아니라 겨울에 작동할 때에도 태양 에너지의 공급은 최소이다. 따라서 공간 난방을 위한 설비형 태양열 시스템의 이용은 거의 효과가 없다.

설비형 태양열 시스템의 한계는 기술적인 면이라기보다는 경제적인 면이다. 저렴한 대체

에너지원이 불가능한 곳에서 태양에너지의 이용이 널리 이용된다. 설비형 태양열 시스템은 여러 나라에서 널리 쓰이고 있다 - 일본과 이스라엘에서는 수백만의 시설들이 사용되고 있다. 사실, 설비형 태양열 시스템은 지난 세기의 전환기에 미국에서 이미 판매되고 있었으며 플로리다와 남부 캘리포니아에서 점차 대중화 되었다(그림 14.5c). 1941년까지 약 6만 여개의 태양열 온수 시스템이 있었다. 태양 에너지의 사용은 제대로 작동하지 않아서가 아닌 저렴한 대체에너지의 등장과 유행에 뒤떨어졌기 때문에 점차 감소했다. 가난한 사람들만이 solar rooftop 시스템을 사용하였으며 공공은 태양 에너지에 대한 부정적 이미지만을 늘려갔다.

집열판은 어떤 설비형 태양열 시스템에서든 주요한 구성요소이다. 집열판은 액체나 기체 등으로 작동하도록 고안된다. 물을 데우기 위해 디자인 된 flat plate collector는 가장 대중적인 스타일이다. 이 collector는 효과적으로 태양 복사에너지를 받아들이고 열로 전환시킬 수 있는 검은색 selective coating(2.11단원)이 된 금속판재로 되어 있다. 유리 커버는 집열을 최대화 시킬 수 있도록 온실효과를 만들어낸다. 뒤쪽의 단열재는 열손실을 최소화 시킨다. 집열판의 통로를 통과하는 물은 열을 건물 안의 저장탱크로 운반한다. 공기를 이용한 집열판도 공기의 흐름을 위한 좀 더 큰 사이즈의 통로가 필요하다는 것만 빼면 비슷하다. 산업상의 과정에서 뜨거운 물이 필요하다면 집중 혹은 진공관 집열판이 사용되어야 한다(그림 14.5e, 14.5f).



FIGURE 14.5c
This advertisement for a solar hot water heater appeared in 1892. (From Solar Energy for Buildings Handbook, University of Alabama, 1979.)

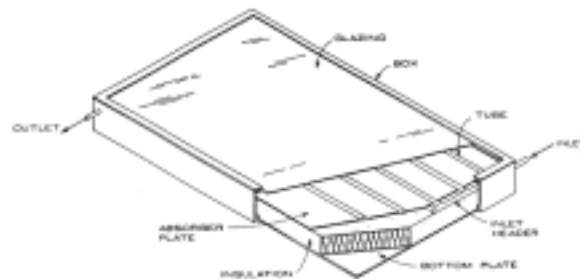


FIGURE 14.5d
A typical flat plate collector designed to heat a liquid. (From Architectural Graphic Standards, Ramsey/Casper 8th ed., John R. Hobb, editor © Wiley, 1988)

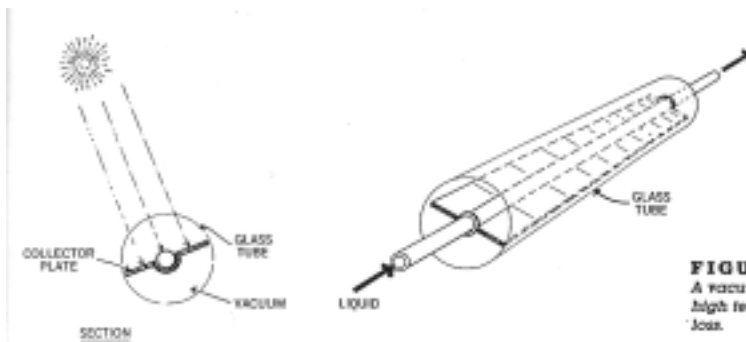
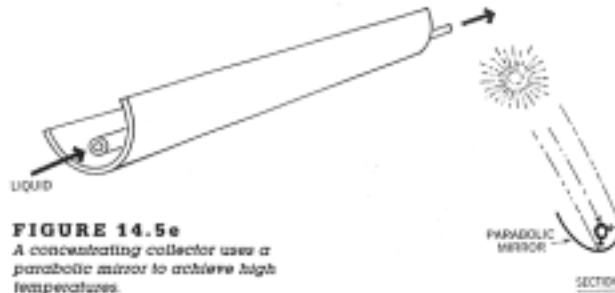
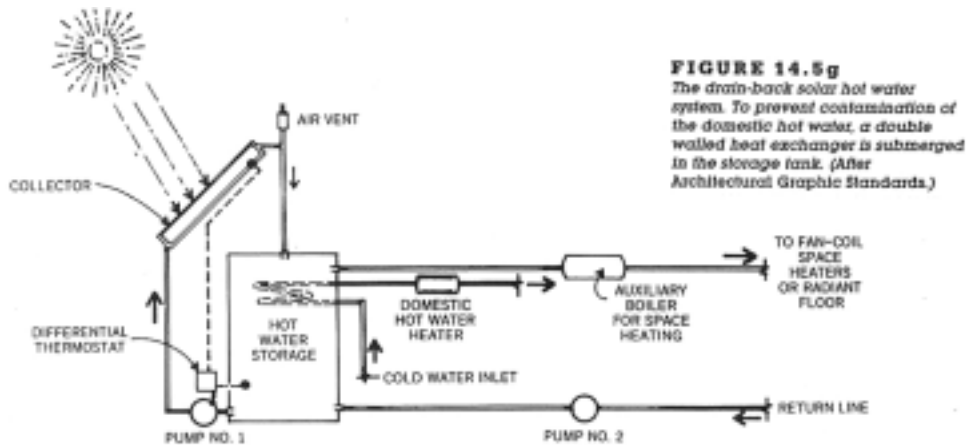


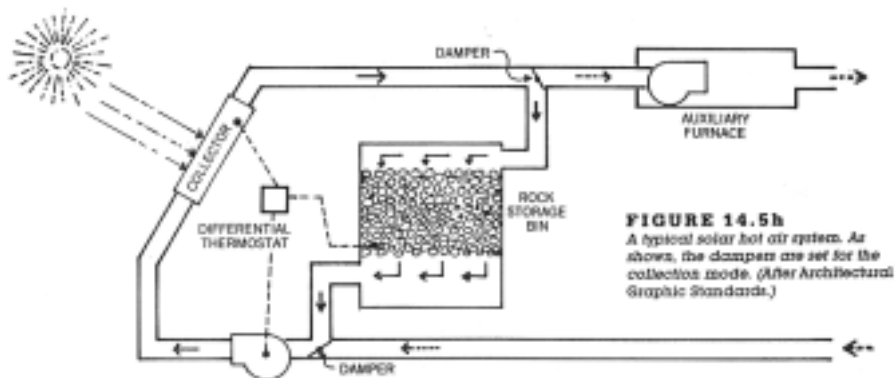
FIGURE 14.5f
A vacuum tube collector achieves high temperatures by reducing heat loss.



집열판 내의 물이 저장탱크의 물보다 더 온도가 높다면 differential thermostat은 펌프를 가동시킨다(그림 14.5g). 펌프는 차가운 저장탱크 속의 차가운 물을 끌어올리고 뜨거운 물을 탱크의 상부로 보낸다. 해가 지고 집열판이 저장탱크보다 차가워지게 되면 differential thermostat은 펌프를 정지시킨다. drain-back이라는 특수한 설비시스템에서는 펌프가 작동하지 않으면 물은 저장탱크로 빠져나간다. 이것은 집열판이나 파이프 등의 동결을 막기 위한 것이다. 다른 설비들은 동결의 우려가 있을 때에 부동액을 첨가하거나 물외의 유체를 사용함으로써 방지할 수 있다.



물론 열전달 유체의 동결을 방지할 수 있는 한 가지 방법은 공기를 이용하는 것이다. 공기를 이용하는 시스템은 액체를 이용하는 것과 매우 흡사하지만 열을 저장하기 위해 rock bin을 이용한다(그림 14.5h). differential thermostat이 집열판 내의 공기가 rock bin속의 공기보다 뜨겁다고 인식하면 다이어그램에 나온 것과 같이 팬과 자동 댐퍼를 가동시키기 시작한다. 밤이 되면 팬이 멈추고 댐퍼는 이동하여 별도의 난방로 안의 팬이 rock bin에서 열을 뽑아낼 후 있도록 한다.



모든 태양에너지 시스템에는 대체난방시스템이 있다. 태양빛은 불규칙하기 때문에 100% 태양에너지를 이용한 시스템의 설계는 실용적이지 못하다. 줄곧 우중충한 추운 날씨에서 쾌적함을 유지하기 위해서는 대규모의 태양열 난방과 저장이 필요하다. 대규모 시스템은 일정한 태양빛에 대한 overdesign(과잉 설계)이 되므로 전반적인 효율은 떨어진다. 따라서 100% 태양열 난방시스템은 경제적이지 못하다 : 최적의 비율은 기후에 따라 다르다.

Designing an Active Solar System

태양열 장비들의 비용 때문에 이 시스템은 최대한 효율적으로 설계되어야 한다. 에너지를 모을 때 집열판에 그림자가 지지 않게 하여 태양에 접하는 면을 최대화 하는 것이 가장 중요하다. 대부분의 경우 rooftop 은 최고의 태양열 접근 방법이다(그림 14.5i, 14.5j). rooftop 설치는 토지를 절약하고 땅위에 설치된 집열판에 잠재하는 손상될 우려를 최소화 할 수 있다. sun machine을 이용한 호텔 스테디는 태양열 이용을 위한 접근 방법에서 가장 효과적인 방법이다. 태양에 대한 접근방법에 대해서는 Chapter9에 논의되고 있다.



FIGURE 14.5i
This add-on to an existing building consists of two flat plate collectors for domestic hot water and a special low-temperature swimming pool collector made of flexible plastic, which is draped over the roof tiles (upper right).

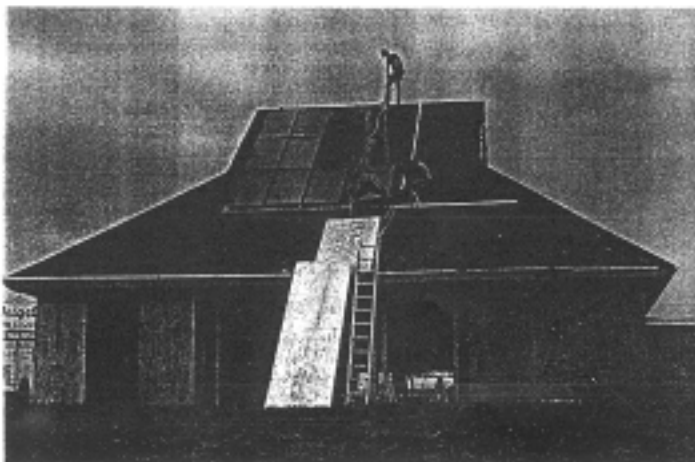


FIGURE 14.5j
The solar collectors are an integral part of this roof design.

Collector Orientation

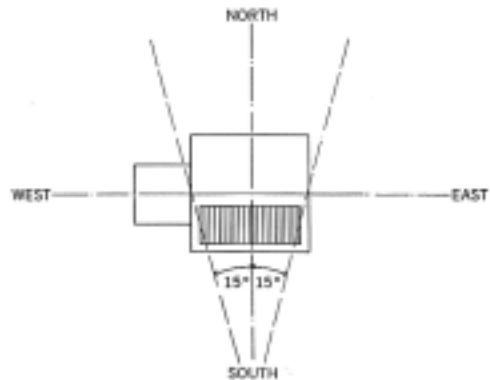


FIGURE 14.5k
Collector orientation and allowable deviation from south.

일반적으로 태양열 집열판의 향(向)은 정남쪽을 향하는 것이 가장 좋다. 편차는 동향 혹은 서향으로 최대 15°까지 허용된다. 아침에 난방을 한다거나 아침에 안개가 많이 끼는 등의 특수한 경우에는 5 ~ 10°정도 동쪽이나 서쪽을 향하는 것이 더 효과적일 수 있다.

Collector Tilt

집열판 최적의 경사도는 위도와 태양열 집열판의 사용 목적에 따라 다르다. 그림 14.51은 서로 다른 난방방식의 적용에 따른 경사각을 보여준다.

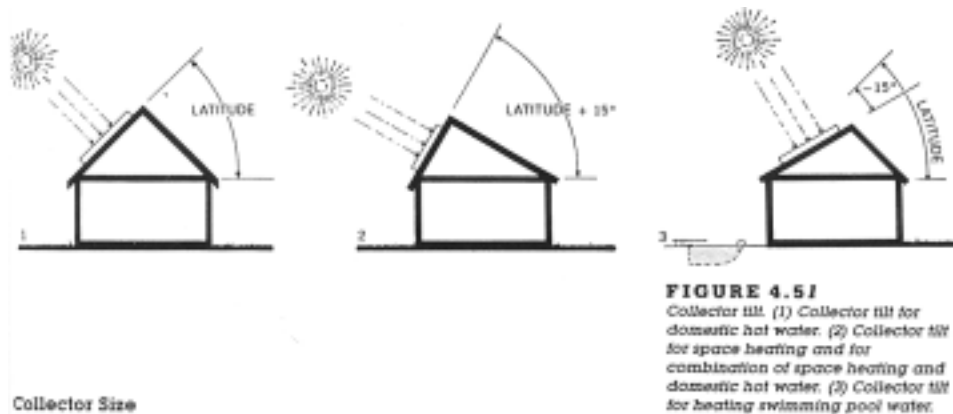


FIGURE 4.51
Collector tilt. (1) Collector tilt for domestic hot water. (2) Collector tilt for space heating and for combination of space heating and domestic hot water. (3) Collector tilt for heating swimming pool water.

Collector Size

집열판의 사이즈는 많은 변수에 따라 다르다 : 난방방식(pool water, domestic water, space), 필요한 열의 양, 기후, 집열판 시스템의 효율 등.

표 14.B에는 생활 온수에 필요한 대략의 집열판 사이즈와 저장탱크의 크기가 나와 있고, 표 14.C에는 공간 난방과 생활 온수를 혼용한 시스템에 필요한 사이즈가 나와 있다. 수영장의 난방을 위해서는 집열판의 면적은 전체 풀 면적의 약50%가 되어야 한다. 향이 좋지 않거나 집열판에 shading의 우려가 있는 등의 모든 경우에 이를 보충하기 위하여 집열판의 면적은 증가되어야 한다.

TABLE 14.B
Sizing of a Domestic Hot Water System

Number of People per Household	Approximate Collector Size* (ft ²)	Approximate Storage Tank Size (gallons)
1-2	40	8
3	60	11
4	80	13
5	100	16
6	120	19

*Collector area will be about 25% smaller in very sunny and/or warm locations like the Southwest and Florida and about 25% larger in very cloudy locations like the Pacific Northwest. Actual sizes vary with climate, equipment, etc.

TABLE 14.C
Sizing of a Combined Space Heating and Domestic Hot Water
System for a 1500-ft² Home*

Climate Region	Reference City	Approximate Collector Area (ft ²)	Approximate Storage Size	
			Water (ft ³)	Rack Bin [†] (ft ³)
1	Hartford, CT	800	200	600
2	Madison, WI	750	200	600
3	Indianapolis, IN	800	200	600
4	Salt Lake City, UT	750	200	600
5	Ely, NE	750	200	600
6	Medford, OR	600	100	300
7	Fresno, CA	300	70	210
8	Charleston, SC	500	100	300
9	Little Rock, AK	500	100	300
10	Knoxville, TN	500	100	300
11	Phoenix, AZ	300	70	210
12	Midland, TX	200	40	120
13	Fort Worth, TX	200	40	120
14	New Orleans, LA	200	40	120
15	Houston, TX	200	40	120
16	Miami, FL	50	10	30
17	Los Angeles, CA	50	10	30

* Sizes are approximate and vary with actual microclimate and efficiency of specific equipment.

[†] Rack bin is used with a hot air system.

집열판은 태양 광선에 직각을 이룰 때에 가장 효과적이다. 그러나 일별, 계절별 태양의 움직임에 따라 이동식 집열판의 사용이 가능하다. 그림 14.51에 나온 경사각은 고정 집열판에서의 최적의 경사도를 나타낸다.

Chapter6의 끝에서 대류성 순환 시스템(thermosiphon)(그림 6.18a)이 펌프를 사용하지 않기 때문에 자연형 태양열 시스템이라고 언급하였지만 사실 이 시스템은 설비형 시스템에 가깝다. 최초의 설비형 태양열 시스템은 세기의 전환할 때 쯤 자연대류 기술을 이용한 것이었다(그림 14.5c). 간편성과 저렴한 가격 때문에 두가지 종류의 thermosiphon(열 사이펀)이 생활 온수에 많이 사용되고 있다. 하나는 batch(일괄) heater라는 것으로 저장 탱크와 집열판이 일치한다(그림 14.5m). 또 다른 대중적인 thermosiphon 시스템은 integral collector storage(ICS)라는 것으로 저장탱크와 집열판이 하나의 유닛으로 되어있다(그림 14.5n). 이 시스템들은 가변적인 면이 없고 최소한의 배관만을 가지고 있기 때문에 가격적인 면에서 꽤 효과적이고 태양열 생활 온수 시장의 50%이상을 점유하고 있다.

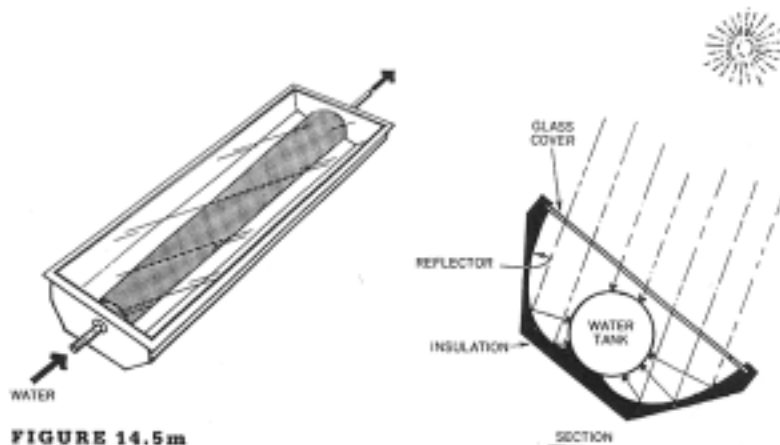


FIGURE 14.5m
Is a batch type hot water heater the
collector and storage are one and
the same. (After Soreway Corporation.)

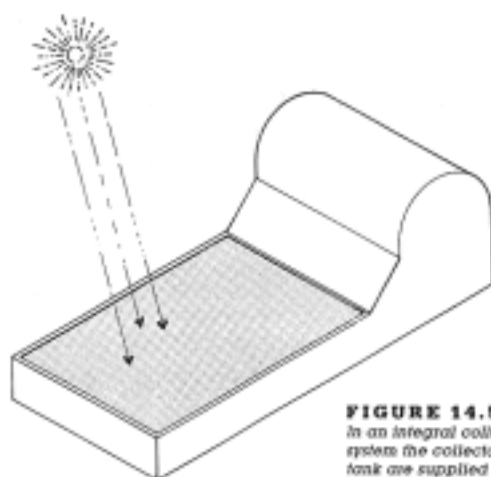


FIGURE 14.5n
In an integral collector storage (ICS) system the collector and storage tank are supplied in one package.