

# 집열기 성능향상에 관한 연구현황

## State of Arts on the Performance of Collector

이 종 호\* 이 진 국\*\*  
Lee Jong Ho Lee Jin Kook

### ABSTRACT

In this research, we have analyzed the researches and productions of solar collectors in Korea and U.S.A. In the U.S., collectors are produced by hundreds of manufacturers. The amounts are 23 million sq.ft for the liquid system, 358 thousand sq.ft of the air system and 266 thousand sq.ft for the vacuum tube and focus collectors. In Korea, a very small quantity is produced by several manufacturers. So they have to be largely dependent upon the imports in Korea. In the U.S., research topics include the materials development, design and applications. In Korea, however materials research has been rare and there have been only a few papers on selective coating. Researches have been limited to the system design and collector testing.

### 1. 서 론

화석에너지의 의존도를 줄이기 위하여 대체에너지 개발이 시급한 실정에서 거의 무한에 가까운 태양에너지를 이용하고자 미국을 비롯한 여러나라에서 많은 연구가 진행되고 있음은 주지의 사실이다. 현재 태양에너지는 건물의 난·냉방, 온수급탕, 열발전, 산업열 이용, 태양전지를 이용한 광발전 등에 많이 이용된다. 불연속성인 태양에너지를 좀더 효율적이고 값싸게 이용하는데는 태양열 집열기가 차지하는 비중이 크므로 집열기의 성능향상 및 가격인하가 중요하다.

난방과 급탕용 태양열 집열기는 미국에서만도 수백만  $ft^2$ 의 양이 제작되고 있으며 품질 향상과 제품의 표준화, 혁신적인 재료 선정과 설계를 통하여 큰 경기 하락을 견디어 냈다. 에너지 전환 효율은 투과체의 개량과 1장 투과체의 채택으로 상승되고 저반사 흡수막, 고효율 보온 재료와 큰 판넬의 사용으로 집열기 틀에 의한 손실을 줄여 유용

열전달율을 증가 시킬 수 있다. 열전달 계수를 높이고 접촉면의 증대는 공기식 집열기의 효율 역시 향상시키며 진공 튜브의 사용은 열손실을 최소한도로 억제토록하여 고온에서 여타 집열기보다 집열 효율을 높일 수 있다. 여기에서는 미국을 중심으로 태양열 집열기에 대한 연구 현황과 생산 현황을 알아보고 국내의 경우는 집열기 형식승인을 거쳐간 국내 집열기의 현황 및 각 주제별 집열기에 대한 연구 현황을 살펴 보았다.

### 2. 미국의 현황

#### 가. 태양열 집열기의 특성

평판형 태양열 집열기는 미국에 있는 수백의 회사에 의해 주로 주택의 난방과 급탕 또는 건물의 난방, 급탕과 산업열 공급 과정에 사용되었다. 표 1에 '82년 부터 '84년까지 미국에서 판매된 태양열 집열기의 분포를 보여준다.<sup>48)</sup> 투과체가 있는 평판형 집열기의 생산고는 비교적 변치않고 있는 반면 투과체가 없는 태양열 집열기는 '82~'84년 동안 약 40%가 감소 되었다. 진공관 집열기

\* 정회원 : 한국동력자원 연구소  
\*\* 한국동력자원 연구소

와 초점 형식은 같이 취급하였고 그것들의 총 합계는 '84년도 집열기 생산의 1.6%만을 나타낸다. 투과체가 없는 집열기는 수영장 가열을 위해 주로 사용되었고 반면에 투과체가 있는 평판형 집열기는 난방과 급탕에 주로 사용되었다. 평판형 집열기의 사용 분포는 집열기 면적을 기초로 해서 대체로 급탕이 80%, 난방이 20%이며 나머지는 산업열 공급에 사용되었다.

공기식 집열기의 사용 추세는 흥미가 있다. '83년에 약 집열기 면적의 3/4이 액체 순환을 사용한 난방을 위해 판매 되었으나 '84년에도 태양열 집열기에서 같은 면적이 난방용으로 적용되었는데 약 3/4이 공기 형태로 전년도에 비해 반대가 되었다. 이것은 공기 난방시스템의 저렴한 가격과 높은 신뢰성 때문일 것이다.

표 1 미국에서의 태양열 집열기 출하현황  
(단위: 1000ft<sup>2</sup>)

구분	년도		
	1982	1983	1984
일반액체식 집열기 (1), (4)	9357	10584	9784
급탕	6773	8448	8050
난방	1073	1397	742
일반공기식 집열기 (1), (4)	1134	774	1885
급탕	83	132	324
난방	535	529	1369
진공관과 초점 집열기 (2)	636	513	266
저온액체식 집열기 (3)	7476	4854	4480

- (1) 산업공정, 수영장 가열, 농산물 공정과 냉방을 포함한다.
- (2) 난방용으로 주로 사용되었고 일부는 냉방과 급탕용으로 사용되었다.
- (3) 금속과 비금속, 비투과체 집열기는 주로 수영장에 사용되었다.
- (4) 1982년에 설치된 총 일반 집열기 면적의 23%가 상업과 공업적으로 사용되었고 1983년에 35%, 1984년에는 14%였다.

태양열 집열기에서 가장 최근의 경향은 재료와 설계의 표준화에 있을 것이다. 경험이 쌓임에 따라 생산자는 적절한 가격수준내에서 어떤 재료와 설계가 더 좋은 성능을 나타내는가를 배웠다. 그

추세는 '82년과 '85년에 \*SRCC 등위를 받은 태양열 집열기의 특징을 비교하므로서 알 수가 있다.

표 2는<sup>48)</sup> '82년에 집열기의 커버의 수와 형태, 그리고 흡수막의 형태에 폭넓은 변화가 있었음을 보여주고 있다. '85년에는 대부분의 액체식 집열기가 (a)높은 투과율을 갖는 1장의 강화유리 (b)선택흡수막 (블랙크롬) 을 가진 흡수판과 (c)2.7m가 넘는 집열기 면적을 갖고 있다. 대부분의 의견은 돌출된 알루미늄 집열기 틀과 Isocyanurate foam 단열재를 사용해야 한다는 것이며 품질의 향상을 위하여 플라스틱 투과체를 감소시키고 선택막 사용을 증가시켜야 한다는데 모아졌다.

표 2 \*SRCC가 평가한 태양열 집열기의 명세

구분	년도		
	1982	1985	
제품의 수	96(액체)	117(액체)	41(공기)
집열기 모형의 수	394( " )	318( " )	75( " )
집열기 규격별 모형의 수			
2.7m보다 작은 것	169	119	14
2.7m보다 큰 것	208	199	61
형태와 투과체수			
1장 유리	299	285	47
2장 "	5	0	6*
1장 플라스틱	27	19	6
2장 "	15	14	16
흡수막			
선택막	161	211	40
도장	201	107	35

\* 이중 5가지는 유리+플라스틱으로 되었음.

집열기의 설계가 비교적 표준화에 도달했기 때문에 집열기에 대한 일반적인 효율 방정식으로

$$\eta = 0.77 - 0.8(T_i - T_a) / I$$

로 표시 될 수 있다.

여기서, 0.77은 광학적 변수로 집열기로 들어가는 유체의 입구 온도가 대기온도와 같을 때 얻을 수 있는 효율이다. 그리고 0.8 (BTU/hr.ft<sup>2</sup>.F)은 열손실 변수 (4.54W/m<sup>2</sup>.°C) 또는 ΔT / I (온도차 / 일사량) 와 효율과의 곡선에서 기울기이다. '84년과 '85년에 팔린 액체식 평판형 집열기의 3/4

\* SRCC: Solar Rating and Certification Corporation

은  $\Delta T/I$ 가 0.4 (공학단위)에서 작용할때 40~45%의 효율을 갖는다.

나. 효율 증대에 대한 전망

(1) 에너지 전환의 향상

에너지 전환과 열전달이라는 두 단계의 태양열 집열 과정은 투과와 흡수율을 향상시켜야 한다는 것을 알려준다. 대기보다 몇도 정도 낮은 온도차로 의 온도로 가열하는 적용이 아닌 경우 투명한 투과체의 사용은 기술적으로나 경제적으로 유리하다. 강화유리와 같이 현재 보통으로 사용되는 재료들을 좀 더 개량한다면 유리의 흡수율을 1% 또는 그 이하로도 낮출 수 있다. 투과체로 부터 태양 반사에 의한 에너지 손실은 중요한 요인이다. 수직 입사각에서 태양에너지의 대략 8%가 1장유리 투과체로 부터 거울같이 반사되는데 하루동안 입사 방향의 변화로 10% 손실은 일반적이다. 깨끗하고 투명한 플라스틱은 낮은 굴절율에 의해 유리의 약 반정도의 에너지를 반사한다. 투과체로 부터 반사 손실은 유리판 두 표면의 구성 또는 미세 조직을 변경함으로써 줄일 수 있다. 0.1~0.2  $\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 보이지 않는 금속막은 어떤 파장길이 주파대의 반사 작용을 대체로 감소시키는 광학 간섭층을 형성하여 보통 반사 손실의 1/2까지 줄일 수가 있다. 저 반사 표면의 다른 형태는 면밀히 조정된 etching 혹은 선택 분해 처리에 의해 얻을 수가 있다. 다공성 실리카의 아주 미세한 층은 알칼리 성분이 산성 전해조에서 분해될 때 유리위에서의 막처럼 남아있다. 광학간섭, 굴절율의 감소, 극도로 좋은 조직 표면에서 복사등의 결합은 만약 유리 처리 과정이 잘 조정된다면 약 2%까지 반사 손실을 줄일 수 있다. 표 3은<sup>48)</sup> 유리의 표면 처리법에 따른 투과율 변화를 보여준다.

표 3에서 보면 약 8% 반사에 상당하는 표준 입사각에서 90%의 일반적인 태양 투과율을 최적 조건에서 거의 96%까지 증가 시킬수 있다는 것을 알 수 있다. 투과율이 모든 입사각에서 똑같이 향상 된다면 1장의 투과체에서 투과율이 90%에

표 3 산에 부식시킨 유리의 태양광 투과율(%)

태양광	구분 파장길이	처리안된 유리 0.094" 두께	처리된유리0.092"두께		
			신 품	15년 사용한것	20년 사용한것
자 외 선	325mm	44.9	49.9	61.0	-
	350	85.9	90.0	80.5	84.0
	375	90.3	94.9	86.8	89.0
가 시 광 선	400	91.1	97.7	90.0	92.0
	410	91.1	97.1	90.6	92.1
	675	90.5	95.7	94.2	95.0
	700	91.5	96.2	93.9	94.8
적 외 선	800	90.5	95.1	92.9	94.0
	900	90.0	94.2	92.4	93.7
	1000	88.9	93.2	92.0	93.5
총 적 외 선		89.9	94.2	-	-
Total Solar		90.0	95.4	92.8	94.1

서 96%로 높아지면 일반적인 동작 조건에서 유용 집열량을 10%에서 15%로 높일수 있다는 것을 뜻한다. 선택 표면은 높은 집열 효율에 필수적이다. 0.1 또는 그 이하의 열 방사율을 얻기 위하여 흡수율은 경제적인 코팅을 위하여 약 0.95까지 한계가 지어 지도록 나타난다. 0.99까지 높은 흡수율은 비선택 흡수막을 사용해서 얻을 수가 있지만 열복사 손실 때문에 실행하는데 적지않은 손실이 따른다. 이 분야에 많은 연구자들은 0.1 이하의 방사율을 유지하는 동안 가장 좋은 블랙크롬 선택표면내에서 현재 얻을 수 있는것 보다 태양 복사를 4% 더 많이 효과있게 흡수할 수 있는 경제적인 선택막의 개발에 중점을 두고 있다.

(2) 열교환에서의 향상

평판형 태양열 집열기는 에너지 전환 효율보다 아주 적은 열교환 효율을 갖는다. 일반적으로 입사된 태양에너지의 80% 이상이 열에너지로 전환되는 반면 그 열에너지의 약 절반만이 작동 유체에 전달되어 사용할 수 있게된다. 나머지는 집열기 주위에서 손실되는데 대부분의 손실은 투과체에서 일어나고 비교적 적은량이 집열기의 측면과 뒷면을 통하여 손실된다. 대부분의 공학 설계에서 고려해야 할것은 효율 향상과 가격 사이에서의 경제적인 균형에 있다. 다양한 기술을 채택하였을때 집열기로 부터의 열손실은 줄일 수 있지만 상대적

인 비용이 증가하는데 유념하여야 한다.

a) 유체에 대한 열전달

흡수판과 유체가 접촉되어 열전달이 이루어지는 경우 열전달율을 증가시킬 수 있는 방법은 많이 있다. 집열기 입구에서 출구까지의 모든 점에서 유체의 온도와 흡수판의 온도가 가까워지면 가까워질수록 집열판의 온도가 낮아지며 자연스럽게 이곳으로부터의 열손실도 적어진다. 지정된 전달유체 온도일 경우 이러한 상태는 판과 유체사이의 접촉 면적을 넓게하고 열전달 계수를 높임으로서 이를 수가 있다. 또한 튜브 사이의 거리를 좁혀 Fin에서의 온도 편차를 줄이거나 혹은 무거운 핀 재료를 사용하는등 적정하게 튜브와 핀을 설계한다면 비교적 저렴한 가격으로도 제작할 수 있다. 유체와 흡수판의 접촉 면적을 넓힐 수 있는 방법으로 액체식 집열기일 경우 큰 튜브를 사용하여 얻을 수 있고 유체가 공기일 경우에는 집열면적보다 더 큰 접촉면적을 갖도록 함으로서 얻을 수 있다. 액체식 집열기에서 또 다른 방법은 두 금속판의 가장자리를 붙인후 그 사이에 유체가 하나 또는 그 이상의 통로에 의해 순환되도록 튜브 형태가 아닌 흡수판을 사용하여 유체가 흡수판의 전 표면과 접촉하도록 할 수 있다.

판과 유체사이의 열전달 계수는 유체 통로를 통하는 층류 흐름에 의해 지배된다. 액체식 집열기에 사용되는 보통의 흐름 속도에서 레이놀즈수는 대개 2000 이하이고 공기식에서는 층류 또는 난류일수 있으며 설계와 작동 방법에 의존한다. 열전달 계수를 높이려면 난류 흐름이 되도록 설계하여야 한다. 내부가 거친 튜브, 튜브에 나사 모양의 삽입, 유체에 접촉된 흡수판의 톱니 모양과 도드라진 무늬모양, 공기 집열기에서 흐름의 방해물등이 적용 가능한 열전달 증진 수단이다. 열전달 계수를 증가시키는 또 다른 방법은 유속을 증가 시키는데 있다. 유량은 집열기 설계적인 측면보다는 시스템상의 요인에 따라 달라지나 집열기의 열전달 계수와 효율에 직접적인 영향을 미친다. 액체식 집열기에서의 유량의 영향은 작지만 공기식 집열기의

효율에는 큰 영향을 미친다. 유량은 보통 필요로 하는 펌프 동력에 맞게 될 수 있는한 높인다. 열전달 계수를 증가시키기 위한 또 다른 방법은 집열기에서 끓는 액체를 사용하는 것이다. 끓일때의 막 열전달 계수는 난류 액체 흐름에서 얻어지는 것보다 최소한 10 배이고 층류 흐름보다 20 배 이상이다. 따라서 흡수판과 끓는 액체 사이의 온도차는 전형적인 액체식 집열기에서의 온도차 보다 작다. 그리고 공기식 집열기에서는 보다 더욱 작다. 밀폐 시스템에서는 축열조 또는 사용 공간으로의 열전달을 위해서는 열교환 보다는 콘덴서 (Condensor)를 사용하는 것이 더 좋다. 흡수판으로 부터 열전달 저항을 줄이기 위한 기술들은 판의 온도를 액체 온도와 차이가 없도록 유지하므로써 집열 효율을 최대화할수 있다. 공기 집열기에서 온도 차이는 또한 최소화 되어질 수 있으나 가장 좋은 설계에서조차 높은 효율은 층화 또는 입구의 공기 온도와 비슷한 낮은 흡수판 온도를 얻는 방법등에 따라 달라진다.

b) 열손실 감소

보통의 유체 가열기에서 처럼 높은 태양열 집열기의 효율을 얻으려면 주위 환경에 대한 열손실을 막기위한 효과적인 단열을 필요로 한다. 집열기 윗면에서의 열손실을 줄이는 방법은 흡수판과 투과체 사이, 투과체와 대기사이 또는 두가지 영역에서 이루어 질 수 있다.

① 흡수판으로 부터의 열손실

흡수판과 투과체 사이에서의 복사 열전달의 감소 방법으로는 보통 블랙크롬 선택막의 채택으로 성취되어 왔다. 선택표면처리 기술이란 태양 복사에 대한 흡수성은 줄이지 않고 흡수판으로 부터의 열복사를 최소로 하는 것이다. 즉 열흡수는 흑색 도장의 0.9 인 전형적인 값을 유지하고 열복사는 0.1 또는 그 보다 적게 줄이는 것이다. 이와같이 열복사의 감소는 이중 투과체를 설치 할때의 많은 문제점을 제거하여 거의 모든 제작회사에서 한장 투과체를 사용할 수 있도록 하였다. 다수의 투과체를 사용하는 것이 흡수판으로 부터의 열복사 손실을 줄일 수 있다 하더라도 태양반사 손실과 가

격 상승으로 인해 선택막의 사용보다 비 경제적이다. 흡수판과 투과체 사이에서 열복사 전달을 감소시키는 또 다른 기술은 투명 커버의 안쪽에서의 열복사 반사를 증가시키는 것이다. 얇은 산화물과 인듐 산화물의 얇은 막은 뒤쪽 흡수판 열복사의 대부분을 효과있게 반사하는 성질을 갖는다. 그러므로 흡수판에서 커버까지 모든 열복사 전달은 실질적으로 줄어들 수 있다. 그러나 이러한 막은 입사 태양에너지의 많은 양 역시 흡수하므로 일반 가동 조건에서 집열기 효율이 감소된다. 만약 태양복사를 무시해도 좋을 만큼의 흡수력을 가진 유리막이 개발될 수 있다면 열복사 손실을 더 줄일 수 있고 집열기 효율을 증가시킬 수 있다. 우수한 선택 흡수막을 사용한 집열기의 경우는 흡수판과 투과체 사이의 대류 열전달이 가장 큰 열손실 요인인 동시에 또 줄이기도 어렵다. 가장 효과적인 방법은 열전달 매체의 완전한 제거 즉 두 표면 사이의 공기층 제거에 있다. 이러한 목적으로 설계된 것이 진공관 집열기이다. 많은 설계 수정과 실험에 의해 상업적으로 제조 판매된 진공관 집열기는 전형적인 평판형 집열기로 부터의 열 손실을 1/2까지 감소 시킨다. 일사량이 충분하면 흡수판의 온도가 70°C일 때 단위 면적당 2배의 에너지를 얻을 수 있고 100°C에서는 3배의 에너지를 얻을 수 있다. 그러나 가격이 비싸므로 상업적으로는 성공하지 못했지만 대량 생산에 의한 가격 감소의 가망성은 있으므로 큰 수요가 있을 장래에는 유망할 것으로 보인다.

흡수판과 투과체 사이에서 대류를 억제하기 위한 다른 방법은 두 표면 사이에 투명한 벌집 형태를 넣는 것이다. 이렇게 하여 만들어지는 더 작은 Convection Cells은 큰 순환 형태를 제거하고 두 표면사이의 대류를 충분히 감소시킨다. 그러나 벌집 구조에 알맞는 재료는 고온에 견디고 집열기가 항상 태양 광선의 수직 위치에 있지 않는다면 투명해야만 한다. 비스듬한 입사는 흡수판에 도달하기 전에 수 많은 벌집 세포벽을 통과해야 하므로 이들 벽에서의 태양 흡수력이 최소화 되어야

한다. 이들 요구에 적합한 재료로는 많은 비용이 드는 기술에 의해 제작된 세포 모양의 얇은 유리이다. 그러므로 고온에서 특별한 내구성을 가진 경제적인 투명한 Polymeric 재료가 개발되지 않든가 혹은 벌집을 제조하는 실제적인 방법을 개발하지 않는다면 대류 억제 기술의 상업적인 적용은 어려울 것으로 보인다.

㉑ 투과체에서의 손실

흡수판으로 부터 대류나 복사에 의해 투과체가 가열되면 투과체를 통해 전도가 발생되고 결국은 유리 표면에서 대기로 대류나 복사가 일어난다. 커버의 대류 손실을 막기는 거의 불가능하나 근처에 바람 막이를 이용하여 바람으로 부터의 부분적인 보호를 할 수도 있다. 투과체로 부터의 복사는 전술 했듯이 산화 코팅에 의해 감소시킬 수 있으나 태양 흡수 손실이 이익보다 더욱 크게 나타난다는 것에 주의 하여야 한다. 만약 태양 복사선을 거의 통과 시키면서 내구성이 있고 낮은 복사 계수를 갖는 유리 코팅재가 개발될 수 있다면 그것을 사용함으로써 평판형 태양열 집열기의 성능이 향상될 것이다.

㉒ 전도손실

태양열 집열기의 측면과 뒷면의 손실은 비교적 적지만 무시할 정도는 아니다. 집열기의 뒷면과 측면에 보통 Isocyanurate foam 등의 양질의 단열재를 사용하면 전도 손실은 정상적으로 가동될 때 상당부 손실의 약 10%, 태양입사 복사선의 약 5%로 제한할 수 있다. 더 높은 열손실의 감소는 두꺼운 단열재를 사용하여 성취할 수 있지만 단열재의 부가로 수반되는 판넬의 두께, 길이, 폭 및 가격을 고려할 때 일반적인 경제치수로 뒷면의 단열 두께는 25~40 mm, 측면은 이보다 약간 얇아 총 집열기 두께를 약 100 mm로 하는 것이 보편적이다.

3. 국내의 현황

미국에서는 재료 개발 및 기초연구부터 실제

이용까지 폭 넓은 연구를 하고 있지만 국내의 경우는 대부분 기존 집열기를 이용한 시스템 개발에 중점을 두는 실제 이용부분이다. 집열기 제작 및 판매회사도 '80년 초기에는 20여개에 달했지만 현재에는 5~6개 회사만 존재하고 있어 미국과는 비교도 안된다. 또한 집열기 판매 실적도 태양에너지 인식이 안좋아 부진한 실정이다. 국내에서의 태양열 집열기에 대한 것은 대체에너지 규정에 의해 한국동력자원연구소의 성능시험에 합격해야만 판매할 수가 있으므로 성능시험 현황만 분석해 보면 비교적 폭넓게 알 수가 있다. 그러나 형식승인된 집열기라도 판매 및 제작 회사 문을 닫은곳이 많으므로 자세한 판매 현황은 현재로서는 알 수가 없다. 그러므로 국내 현황은 형식승인을 위하여 성능시험을 거쳐간 집열기와 태양열 집열기에 대한 논문이 많이 게재되는 학회지 및 한국동력자원연구소의 태양열 집열기에 대한 연구 현황을 분석하고자 한다.

가. 태양열 집열기 현황

국내에서의 태양열 집열기 성능 시험은 대체에너지 규정에 의한 태양열 집열기 형식승인 기준에 의해 한국동력자원연구소에서 인공 태양을 이용하여 해주고 있다. 성능시험에 대한 상세한 방법 및 제원은 참고문헌 [29,34] 번에 나와 있으므로 여기에서의 설명은 생략한다. 성능 시험은 '81년도 부터 시작되었는데 '86년 12월말까지 성능시험을 거쳐간 집열기는 총 34건에 달한다. 그중에

표 4 년도별 집열기 성능시험 현황

종류 년도	평판형	집광형	진공관형	접시형 집광형	온수기	계
'81	9					9
'82	6		1			7
'83	6(*1)	1(*)			1	8
'84	2	1		1	1	5
'85	2					2
'86	3					3
계	28	2	1	1	2	34

\* : 민원

주 : 상기 자료는 한국동력자원연구소 태양에너지 응용 연구실에서 수행한 자료임.

서 2건은 민원에 의한 시험이므로 형식 승인을 위해서는 32건이다. 집열기 종류별로는 진공관식이 1건, 집광형 2건, 온수기 2건, 접시형 집광형 1건의 28건이 평판형 집열기이다.<sup>29,30,34-37</sup> 년도별로 구분하면 표 4와 같다.

나. 성능시험 집열기의 부품별 재료특성

(1) 집열기 틀

집열기 틀의 재료는 형식승인 기준에는 일반구조용 압연강재, 냉간압연스테인레스강판, 알루미늄, 알루미늄합금 압출형재, 나무, 내후성합성수지 등으로 규정되어 있다. 형식승인 시험을 거쳐간 집열기 틀 재료를 살펴보면 국산 제품의 평판형 집열기는 대부분이 바닥은 아연도강판, 측벽은 알루미늄 재료 이었고 집광형 집열기는 FRP 재료로 되어 있었다. 또한 수입 제품의 평판형 집열기의 바닥 재료는 전기도금강판, 착색강판, 폴리우레탄, 아연도강판, SUS강판, 알루미늄, FRP등이 사용되었고 측벽은 전기도금강판, Red wood, 알루미늄, 폴리우레탄, 아연도강판, FRP등의 재료가 사용되었다. 또한 온수기는 염아강판, 알루미늄과 칼라 강판으로 되어 있었다.

(2) 투과체

태양열 집열기에서의 투과체는 흡수판에 입사된 태양에너지의 손실을 방지하기 위하여 1장 또는 2장의 유리, 플라스틱등의 흡수판위의 커버를 말한다. 형식승인 기준에서는 강화판유리, 유리판, 내열성합성수지 재료로 투과체 재료가 규정되어 있다. 형식승인 시험을 거쳐간 집열기의 투과체를 보면 주로 강화유리 1장이 가장 많이 사용되었으며 투과체가 2장인 집열기는 2건으로 4mm 강화유리 2장을 사용한 것과 아크릴판 3mm + 폴리에스터 필름 0.05mm를 사용한 것이었다. 형식승인을 위한 성능시험을 거쳐간 집열기의 투과체를 종류별로 분류하면 표 5와 같다.

표 5 투과체 종류별 사용현황

구분	종류 두께		강화 유리		일반 유리	프라스틱	Borosilicate Glass	폴리카보네이트
	3.2 mm	4	5	3	5	3	0.2	0.3
건수	12	4	9			3	1	1
계	25(*)			4		3	1	1

(3) 흡수판

태양열 집열기에서의 흡수판은 입사된 태양에너지를 흡수하여 열매체인 유체에 전달하는 역할을 하는 것으로 집열기에서 매우 중요한 부분이다. 흡수판의 표면 처리는 투과체와 흡수판 사이에서의 열손실을 줄이기 위하여 블랙크롬 선택 흡수막을 보통 채택한다. 흡수판의 재료는 형식승인 기준에 규정되어 있는데 냉간·열간 압연강판, 냉간압연 스테인레스강판, 이음매 없는 타프피치동판, 알루미늄 또는 알루미늄합금 압출형재, 이음매 없는 알루미늄 또는 Al 합금판, 내열수지재, 유리등이며 형식승인을 위해 성능시험을 거쳐간 집열기들을 살펴보면 Al, Cu, 연강, 아연도강판, Sus 강판, 폴리에틸렌 제품등의 표면에 Ni-Black, Black enamel, 인산아연, 실리콘 도료, 흑색 페인트, 블랙크롬 선택흡수막등의 표면처리를 하여 흡수율을 증가시켰다.

(4) 단열재

평판형 태양열 집열기에서의 단열재 사용은 필수적이다. 흡수판에서 흡수하는 태양에너지의 손실을 줄이기 위하여 집열기의 측면 및 뒷면에 유리섬유, 우레탄, 폴리우레탄, fiber glass, 스티로폼, 암면, Isocyanurate, Polyisocyanate 등을 사용하여 보통 30~50 mm 정도로 되어 있었다. 한국동력자원연구소에서 성능 시험 집열기중에서 태양열 집열기 형식 기준의 단열 기준인 집열기 바닥 30 mm, 측면 20 mm 이상의 규정에 단열 미흡으로 불합격된 집열기가 총 불합격 11건중 4건에 달하는 것을 보면 단열의 중요성을 알 수가 있다.

다. 성능시험 결과

태양에너지 이용에 중요한 부분을 차지하는 부분을 차지하는 태양열 집열기는 한국동력자원연구소 태양에너지 응용연구실에서 성능시험을 하고있다. 평판형 태양열 집열기의 효율에 대한 형식 기준을 살펴보면 최대집열효율 및 손실계수는 2차의 효율 시험을 기준으로 투과체가 1장일때는 최고 집열 효율은 70% 이상 열손실 계수는 (-) 6.5 이하 이어야 하고 투과체가 2장일때는 최고 집열효율은 60% 이상, 열손실 계수는 (-) 5.0 이하로 규정되어 있다. 여기에서 열손실 계수의 (-) 부호는 기울기 방향 표시이다.

또한 1차효율과 2차효율 시험 결과를 비교해서 최대집열효율  $[FR(\tau\alpha)]$ 의 값 차이 및 손실계수 (FRUL) 값의 차이가 각각 10% 이하 이어야 한다. '81년부터 '86년 12월 말까지 성능시험을 <sup>21,29,30,34-37</sup> 거쳐간 집열기중 평판형 집열기를 살펴보면 28건중 11건이 불합격 판정 되었으며 그 중에서 효율이 낮아 불합격 된 것은 3건, 손실계수의 미흡이 2건, 그외 단열 및 구조불량이 4건, 흡수판의 이상으로 불합격된 제품이 2건이다. 또한 국산과 외산을 비교해 보면 총 28건중 국산 집열기가 11건, 외국집열기가 17건이 성능시험 되었는데 불합격 판정수는 국산이 3건, 외산이 8건으로 나타났다.

집열효율 및 손실계수를 살펴보면 국산 집열기의  $FR(\tau\alpha)$  값이 0.70~0.81 인데 반해 외국 집열기는 0.69~0.88 이었고 FRUL 값은 국산이 5.08~9.17 외산이 4.58~6.77로 집열효율은 별차이가 없었지만 손실계수 값은 외산이 다소 좋은 것으로 나타났다. 이러한 이유는 FRUL 값의 불량으로 불합격된 국산 집열기의 FRUL 값이 8.76~9.17로 높은 값이기 때문인 것으로 이 집열기

를 제외시킨다면 5.08~7.76의 값으로 외산과 거의 비슷한 값이 된다.

라. 태양열 집열기에 대한 국내 연구현황

태양열 집열기에 대한 국내의 연구 현황은 태양에너지, 공기조화·냉동공학, 국내에너지 문헌 초록집, 에너지 R&D, 대한기계학회지, 대한건축학회지, 화공학회지에 발표된 논문을 중심으로 하여 살펴보았다. 1974년 3월에 김효경 교수에 의해 “태양복사열”<sup>9)</sup>이라는 해설이 공기조화·냉동공학 학회지에 발표되었고 논문으로는 1974년

7월에 김희춘 교수에 의해 “건축에 있어서 태양에너지 이용에 관한 연구”가<sup>10)</sup> 발표된 이래로 많은 논문과 기술보고, 해설등이 게재되었다. 그 중에서 집열기에 대한것은 1976년 7월에 차종희 박사에 의해 “태양열 공기 가열기의 성능실험”<sup>61)</sup>의 논문이 발표된 후 '86년 12월말 현재 태양에너지 학회지에서 19건, 공기조화·냉동공학 학회지에 6건, 대한기계학회지에 4건, 대한건축학회지에 2건, 에너지 R&D에 2건, 공전 및 대학논문집에 20건으로 총 53건의 논문이 발표되었다. 논문주제를 살펴보면 표 6과 같다.

표 6 논문 주제 현황

논문 주제	평판형 성능시험		흡수판	투과체	설계	벌집형	집광형	유하식	진공관	기타	계
	액체식	공기식									
건 수	15	7	9	2	4	4	5	2	1	4	53

표 6에서와 같이 논문 주제는 평판형 집열기의 성능시험이 22건으로 가장 많고 흡수판에 대한것이 9건, 투과체 2건, 설계 4건, 벌집형 4건, 집광형 5건, 유하식 2건, 진공관 1건, 기타가 4건으로 나타났다. 이러한 논문주제중 평판형 집열기의 성능시험의 비율이 총 논문에 대한 41.5%로 가장 높은 까닭은 국내 실정이 재료 개발 보다는 외국에서 개발된 재료와 시스템을 이용하여 국내 실정에 맞도록 시스템 구성을 하여 이용하는것에 치중하기 때문이다.

한편, 한국동력자원 연구소에서 태양열 집열기에 대한 연구 현황은 1978년 5월에 태양에너지연구소가 창립된 후 재료 개발 보다는 외국 또는 국산 집열기를 이용한 시스템 설계에 중점을 두어 연구가 되어왔다. 유류 절감을 위하여 정부에서는 태양열 주택을 짓는데에 대한 융자혜택 및 세제감면 혜택으로 많은 태양열 주택이 보급되었지만 시공부실 및 이용자의 관리 소홀로 인한 많은 문제점으로 '84년 이후로는 보급이 둔화되고 있는 실정이다. 이에 정부에서는 급탕 시설의 중점 보급이라는 정책으로 한국동력자원연구소에서도 부동액<sup>65)</sup> 및 자동배수식 태양열 급탕시스템 보급도면과<sup>66)</sup> 골

프장 태양열 급탕시스템 보급도면을<sup>67)</sup> 작성하여 급탕시설의 보급에 많은 기여를 하고있다. 또한 '83년도에는 유하식 집열기를 개발하여<sup>44,45)</sup> 대전시 실내수영장의 태양열 시스템에 적용하여<sup>71)</sup> 대전 시민의 체력향상 및 수영 선수들의 연습에 큰 기여를 하고 있고 유하식 집열기의 계속적인 연구개발로 유하식 집열기를 이용한 일체식 다목적 집열시스템을 개발하여 부산 종합운동장의 실내 수영장에 이용하게 되었다. 이 다목적 집열시스템은 수영장뿐만 아니라 공기와 액체 겸용으로 사용할 수 있기 때문에 체육관 및 공장등에 이용할 수가 있어 많은 수요와 부품 개발로 인한 가격 저하를 시킨다면 대체 에너지의 태양에너지 이용에 크게 기여할 수가 있으리라 본다.

4. 결 론

미국에서의 태양열 집열기 산업에서의 통계와 실용은 더욱 높은 품질, 효율 및 표준화에 대해 강한 경향을 나타냈다. 그리고 몇가지 기술적인 개량으로 집열기 단위 면적당 효율 향상에 대한 가능성이 인상적이다. 이미 90%에 가까운 에너지 전환



이 가능하지만 현재의 비율은 겨우 80%를 넘고 있다. 흡수판에서 열전달 유체에 전달되는 에너지 효율은 평판형 집열기에서 보통 50%, 진공튜브 집열기에서는 약 75%정도 얻어진다. 타당한 가격까지 집열기의 효율은 상승시킬 실현 가능성이 있다. 두가지 형태의 집열기의 경우 열적 효율을 80%정도 전체 집열기 효율을 70%로 예견하는 것이 터무니 없는것은 아니다. 대부분 대량 생산을 목적으로 할때 품질이 가장 중요한 생산의요소이다. 태양열 집열기의 경우는 최대의 신뢰성과 내구성이 최우선 요소이고 그 다음 효율의 극대화가 가장 중요하다. 생산에 참가하지 않은 사람들은 전술한 요소들을 희생시키고라도 집열기의 가격을 하락시키는 것을 우선적으로 해야 할 것이라고 주장하였다. 설령 품질과 효율을 감소시키지 않는것이 가능하다 하더라도 집열기 제조 원가의 감소는 전형적인 태양열 난방장치 설비 가격의 10%미만으로 장치 가격에 거의 영향을 가하지 못한다. 비제조원가 즉 유통, 매매, 설비등이 태양열 난방장치의 최종 가격을 좌우하는것을 보아왔다. 어떠한 품질의 희생은 집열기 제조사의 재료나 노동에 아무런 관련이 없는 이러한 것들의 가격을 증가시키는 경향이 있다. 태양열 난방장치의 가격에 대해 집열기 제조 원가가 끼치는 미미한 영향에 비해 집열기의 효율은 큰 영향을 미친다. 효율이 20%상승된 집열기를 채택한 태양열 설비는 20% 낮은 가격으로 태양열 난방을 제공한다. 1983년에 미국에서는 약 20%의 금리가 10% 이하로 하락하여 태양 난방 가격을 2년전의 반으로 만들었다. 그러나 전기료는 감소하지 않고 여러곳에서는 오히려 상승하였다. 이와같은 상황에서 좋은 품질의 집열기를 바탕으로 하는 태양난방 장치는 이제 경쟁이 될만한 가격으로 제공할 수 있다. 한편 국내 현황은 평판형 집열기를 보면 국산이 11건, 외산이 17건의 성능시험결과<sup>21,29,30,34~37</sup> 불합격된 국산 3건, 외산 8건을 제외하면 17건이 형식승인을 받아왔지만 국내의 태양열 시스템 보급 부진으로 현재는 국산 집열기를 생산, 판매,

시공하는 회사는 온수기만을 전문으로 취급하는 회사를 합하여 5~6개소가 있을 뿐이다. 집열기에 대한 연구 현황은 주로 시스템 성능측정 및 이용분야만 진행되고 있고 각 학교에서 선택 흡수면에 대한 연구가 조금 진행될 뿐 재료 개발은 거의 없는 실정이다. 한국동력자원연구소의 저가 집열기 개발의 결과인 일체식 다목적 집열 시스템을<sup>69)</sup> 이용한 수영장<sup>70,71)</sup> 및 공장등의 대규모 시스템에 태양열 이용의 적용은 앞으로의 대체에너지 이용에 큰 기여가 될 것이다. 태양열 집열기가 더욱 개량되어 효율이 상승함에 따라 그것들은 주택이나 상업용 건물에 적당한 온도의 열을 공급하는 가장 중요한 요소가 될 것으로 기대된다.

## REFERENCES

1. 구대서외2, Black chrome-molybdenum 태양선택 흡수면 제작, 부산대자연과학 논문집, 38권, p81~86. 1984.
2. 김 대 기, 곡면 반사경을 이용한 진공 집열기의 집열특성의 측정, 삼척공전 논문집, 15권 2호, p199~210, 1982.
3. 김 용 수, 태양열 발전을 위한 고온 태양로 공기조화·냉동공학, 제 12권 제 3호, p198, 1983.
4. 김유배외1, 벌집형구조 집열기의 성능분석, '86 추계태양에너지 학술발표회 p37, 1986.
5. 김중보외1, Honeycomb을 이용한 태양열 집열기의 열효율 증대에 관한연구, 대한기계학회논문집, 7권 4호, p392~397, 1983.
6. 김 중 만, 태양열 집열기에 사용되는 재질에 대한 고찰, 태양에너지 vol. 3, No., p29, 1980.

7. 김중엽외2, Fin을 가진 공기식 태양열 집열기의 성능에 관한연구, 제1보, 유동방향으로 휨을가진 경우, 영남대 공업기술연구소 연구보고, 10권1호, p29~38, 1982.
8. 김태진외1, 평판형 액체식 태양열 집열기의 효율 증대에 관한 연구, '86 추계태양에너지 학술발표회, p1, 1986.
9. 김 효 경, 태양복사열, 공기조화·냉동공학 vol.3, No.1, p1, 1974.
10. 김 희 춘, 건축에 있어서 태양에너지 이용에 관한 연구, 대한건축학회지, 18권 58호, p 3, 1974.
11. 노 동 택, 에너지 이용을 위한 Chrome-Black 선택흡수면개발, 부산대자연과학논문집, 33권, p47~50 1982.6.
12. 노 지 현, Black cobalt 태양흡수면의 Auger 전자분광, 부산대자연과학 논문집, 34권, p57~64, 1982.12.
13. 노 지 현, Black cobalt 태양 흡수면의 photodesorption, 새물리, 23권 4호, p380~385, 1983.
14. 노지현외1, 태양선택 흡수면의 성능 및 내구성 향상-기관물질이 black chrome 및 black cobalt 흡수면에 미치는 영향, 부산대자연과학논문집, 36권, p89~94, 1983.
15. 노지현외3, 태양에너지를 이용한 chrome black 선택흡수면 제작에 관한연구, 부산대자연과학논문집, 30권, p11~12, 1980.
16. 문 성 흥, 공기가열 집열기의 성능에 미치는 송풍량 효과에 관한연구, 충북대 농촌열에너지연구소, 제12권 1호, p64~75, 1986.11
17. 박병전외1, 태양열 집열기의 집열성능에 관한 연구, 대한건축학회지 21권 76호, p8, 1977.
18. 박 병 전, 태양열 집열기의 개발에 관한 실험적 연구, 태양에너지 vol.3, No.1 p17, 1980.
19. 박 병 전, 평판형 태양열 집열기의 집열에 관한 해석적 연구, 대한건축학회지, 23권 88호, p 29, 1979.
20. 배강외 2, 집광형 태양열 집열기의 순간효율 측정 및 1일효율 산출에 관한 연구 태양에너지 5권1호, p 22~27, 1985.
21. 배강외 1, 국내외 평판형 집열기의 성능비교 연구, 에너지R&D, 7권3호 p 176~192, 1985.9.
22. 서정윤외1, 침상태양열 집열기의 성능과 전열 특성에 관한연구, 공기조화·냉동공학, 13권3호, p 157~169. 1983.9.
23. 송 인 호, 태양열 집열기에 관한연구, 인하대 산업과학기술연구 논문집, 9권, p 213~215, 1981.
24. 송 현 갑, 포물반사곡면으로 된 이차원 집광식 집열기의 성능분석, '85 추계 태양에너지 학술발표회, p 14, 1985.
25. 송 현 갑, 다단이차원 집광식 태양열 집열기 개발에 관한연구, 태양에너지 vol.6, No.2, p3, 1986.
26. 송 희 열, 평판형 태양열 공기 가열기의 최적화에 관한 연구, 건국대학술지, 26권, p269~282, 1982.
27. 신희영외1, 자연대류식 태양열 집열기 (TAP)의 설계와 평가, 태양에너지, vol 4, No.2, p 51, 1984.

28. 안갑주의 1, 평판형 태양열 집열판에서의 자연대류 열손실에 관한 연구, 태양에너지, 3권 2호, p 1~8, 1983.11.
29. 오정무외 6, 태양에너지 이용기기 성능시험 기술개발 및 태양에너지 자원조사 평가, 동자연, KE-81T-20 1981.
30. 오정무외 6, 태양에너지 자원조사 및 신제품 성능비교 분석연구, 동자연, KE-82T-33.p419~434,1982.
31. 윤 석 범, 한국에서의 태양열 집열기경사각에 관한 연구, 서해공전 논문집, 4권, p 39~53.1982.
32. 윤복현외 1, 평판형 태양열 집열기의 전열손실 계수에 관한연구, 대유공전논문집, 5권, p 189~197.1983.
33. 윤수인외 3, 태양열 집열판에 사용될 흑색, 크롬의 선택흡수성, 내구성 및 경제성 향상, 부산대공대 연구논문, 22권 1호, 1982.3.
34. 이남호외 4, 국내일사량 자원조사 및 이용 기술연구(IV), 동자연, KE-85-22 p144~155,1985.
35. 이남호외 5, 태양에너지 자원 조사 및 신제품 성능비교 분석연구, 동자연 KE-83-18,p200~218,1983.
36. 이남호외 6, 태양에너지 자원 조사 및 신제품 성능비교 분석연구, 동자연, KE-84-21,p 193~213,1984.
37. 이남호외 7, 태양열 이용 신기술의 실용화 연구, 동자연, KE-86-11, p 144~151,1986.
38. 이동원외 1, 비금속 공기 집열기의 이론분석 및 성능실험, 태양에너지 vol.6 No.1, p77,1986.
39. 이상천외 2, 사각관을 이용한 태양열 집열기의 성능에 관한연구, 공기조화·냉동공학, 제6권 2호, p 91. 1977.
40. 이영수외 1, 집열기 열용량을 고려한 평판형 집열기 성능에 관한연구, 태양에너지 2권 1호, p 17~23,1982.
41. 이용호외 1, 태양열 집열기 성능을 위한 최적 Honeycomb 현상비에 관한연구, 태양에너지 5권 1호, p 5~12,1985.
42. 이 종 기, 동심원 유리관식 태양열 집열기 경북공전 논문집, 21권, p 57~61.1984.
43. 이 종 호, Theoretical Study of Honeycomb Structure Collector for Space Heating. 태양에너지 Vol.4 No.1p19,1984.
44. 이종호외 3, 파형단면을 가진 유하식 집열기의 열적 성능에 대한 이론 및 실험적 연구, 공기조화·냉동공학 12권 4호, p 240~251,1983.12
45. 이종호외 1, An Experimental and Theoretical, Study on the Trickle Solar Collector of Corrugated Plate Type, 에너지 R & D 7권 3호, p 99~106, 1985.9.
46. 이종호외 3, 태양열 투과체의 특성에 관한 고찰 태양에너지 2권 2호, p 37~53, 1982.11.
47. William A, Wright, 태양열 집열기의 효율곡선, 태양에너지, vol.2, No.1, p 59, 1982.

48. George O.G. Advances in Solar Collector Design, Proceedings of the annual meetig American Solar Energy Society Inc. Boulder, Colorado, June 11~14, P72~78, 1986.
49. 조수원의외1, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 태양열 집열기의 최적 설계에 관한 연구, 대한기계학회지, 8 권 1 호, p 1~9, 1984.
50. 전문헌, 태양열 집열기에 관하여, 태양에너지 vol. 1, No.1, p37, 1981.
51. 전문헌외2, 액체식 태양 집열기의 열성능평가 시험 및 루우프설계, 대한기계학회지, 7 권 1 호 p 110~121, 1983.
52. 전문헌외1, 평판형 액체식 집열기의 각종변수가 집열기의 열성능에 미치는 영향에 관한 연구, 대한기계학회 논문집, 8 권 2 호, p 145~153 1984.
53. 정덕영외9, 국내에너지 문헌 초록집, 동자연, p 157~181, 1985.
54. 정봉수, 평판형 집열기에 대한 열전달 해석, 서해공전 논문집, 3 권 p 81~124, 1981.
55. 정인기, Fin을 가진 공기식 태양열 집열기의 성능에 관한연구, 제 2 보, 영남대 공업기술연구소 연구보고 10 권 1 호, p 39~48, 1982.9.
56. 정재국, 태양광 선택막, 중앙대 물리대학보, 41 권 p 55~61, 1982.
57. 정현채, 태양에너지 집열판의 성능시험법, 태양에너지, vol.1, p4, 1978.
58. 정현채외3, 광선택 흡수표면처리, 태양에너지, vol.2, No.2, p57, 1979.
59. 정현채외1, 태양열 집열기 투명 방열재에 관한 고찰, 태양에너지 3 권 2 호, p 9~14, 1983.11.
60. 차도균외1, 포물통형 집광식 태양열 집열기의 성능에 관하여 충북대 농촌열 에너지 연구보고, 1 권 1 호, p 64~76, 1985.
61. 차종희외1, 태양열 공기가열기의 성능실험, 공기조화·냉동공학, 제5 권제 2 호, p 91, 1976.
62. 차종희외1, 공기식 평판형 태양집열기 성능실험, 공기조화·냉동공학, 제 6 권제 4 호, p 25, 1977.
63. 한세범, 태양열 집열기의 효율 측정을 위한 실험방법 및 실험장치에 대한 고찰, 삼척공전 논문집, 15 권 2 호, p367~382. 1982.6.
64. 이남호외9, 태양열 급탕시스템 개발연구, 동자연, KE-82T-26, 1982.
65. 이종호외9, 설비형 태양열 시스템 개발연구 동자연, 1983.
66. 이종호외7, 설비형 태양열 시스템 개발연구(II) 동자연, KE-84-10, 1984.
67. 이종호외7, 설비형 태양열 시스템 개발연구(III), 동자연, 1985.
68. 이종호외6, 설비형 태양열 시스템 개발연구(IV), 동자연, KE-86-3, 1986.
69. 이종호외5, 일체식 다목적 집열시스템 개발연구, 동자연, 1985.12.
70. 이종호외6, 일체식 다목적 집열시스템을 이용한 부산시 공설운동장 실내수영장 태양에너지 이용에 관한 설계연구, 동자연, 1986.5.
71. 오정무외5, 대전시 공설운동장 실내수영장 태양에너지 이용에 관한연구, 동자연, 1984.12.