

태양열 에너지의 활용

— 냉방에의 활용 —

노승탁*, 김효경*, 이택식*, 남순일**

1. 서론

지난 수년동안 오늘에 이르기까지 국내외에 있어 에너지문제는 인류가 에너지를 이용한 이래 가장 심각한 문제로 등장하고 있다. 에너지 이용에 관하여 각국에서는 소비억제를 통한 절약을 시도하고 에너지원의 개발에 힘을 쓰고 있다. 그러나 경제성장과 국민소득의 증가에 따른 생활수준의 향상과 산업의 공업화에 따라 에너지 수요는 매년 증가되어 나가고 있다. 이러한 경향은 급격한 성장을 이루고 공업화에 역점을 두고 있는 우리나라에서는 더욱 심각하게 대두되고 있다. 에너지의 수요증가가 일반적으로 경제성장을 보다도 초과되는 경향하에서 우리나라의 경우는 석유를 비롯한 주종 에너지원을 사실상 보유하고 있지 못하여 이에 대한 대비책은 특히 중요한 것이다.

태양열 에너지를 직접적으로 이용하는 것은 에너지원이 사실상 무한하고 현대 산업사회의 공업화에 수반되는 공해문제가 대두되지 않는다는 점에서 각광을 받을만 하다. 그러나 태양열에너지를 직접 이용하는 많은 경우에 있어 지금까지 사용하여온 화석 연료 에너지에 비하여 에너지의 밀도가 낮고, 하루중의 시간, 기후조건에 따라 이용 가능한 시간과 불가능한 시간차이가 생긴다. 물론 이러한 문제는 현재의 공업기술로 대부분 해결이 가능하나 초기의 투자비용이 막대하다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내외에 많은 대학, 연구기관, 개인들이 연구를 거듭하고 실용화를 위한 시도를 행하고 있다. 난방에의 최초 이용은 미국에서 1882년에 E.S. Morse에 의한 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 이는 공기를 매체로 한 것으로 현재의 분류에 따르면 수동형 태양열 난방장치로 생각된다. 근대에 있어서의 태양열에너지 이용 연구는 1940년대에 미국의 Abbot를 시작으로 1954년 제1차 풍력 및 태양열에너지 심포지움⁽²⁾이 인도에서 개최되고 1955년 2차^(3,4)에 걸친 미국 아리조나 학술회의 이후 많은 나라에서 시도되었다.

우리나라의 경우도 개인에 의한 산발적인 시도는 주택난방을 중심으로 수개체에 이루어져 있으나 난방에의 체계적 연구는 1974년 한국 원자력연구소에서 차중회동⁽⁵⁾에 의하여 시작되었다.

이 보고에서는 태양열을 이용한 냉난방의 효과를 실험과 해석에 의하여 평가하고자 한다. 평판형 집열판을 이용하여 냉방 및 난방에 적용시킬때 해석적인 방법에 의한 결과와 실험의 결과를 비교함으로써 앞으로의 설계, 제작에 필요한 자료를 제공하고자 한다. 특히 냉난방의 경우 외국의 많은 자료가 문헌상에 제시되어 있으나 대부분 1년 평균의 장기에 걸친 성능시험을 도출할 수 있도록 되어 있어 이를 단기시험을 통한 성능 해석을 가능하도록 시도하였다.

* 정회원 서울대학교 공과대학

** 현재 울산공과대학

2. 냉방시험

2.1 냉방시스템 개요

실험장치의 개략도가 Fig. 1에 표시되어 있다.

주요 구성품은 집열기, 축열조, 팬코일 유니트, 흡수식 냉동기, 보조 보일러등으로 그 상세는 다음과 같다.

집열기: 2000 mm × 1000 mm × 95 mm 10 장 보조 가열기: 12000kJ/hr 연관식 보일러 1 대
 축열조: 2 ㎥, 강제1 조 흡수식 냉동기: LiBr-H₂O 냉매, 2RT 1 대
 팬코일유니트: 5 대 순환펌프: 2 대 냉각탑: 3 RT

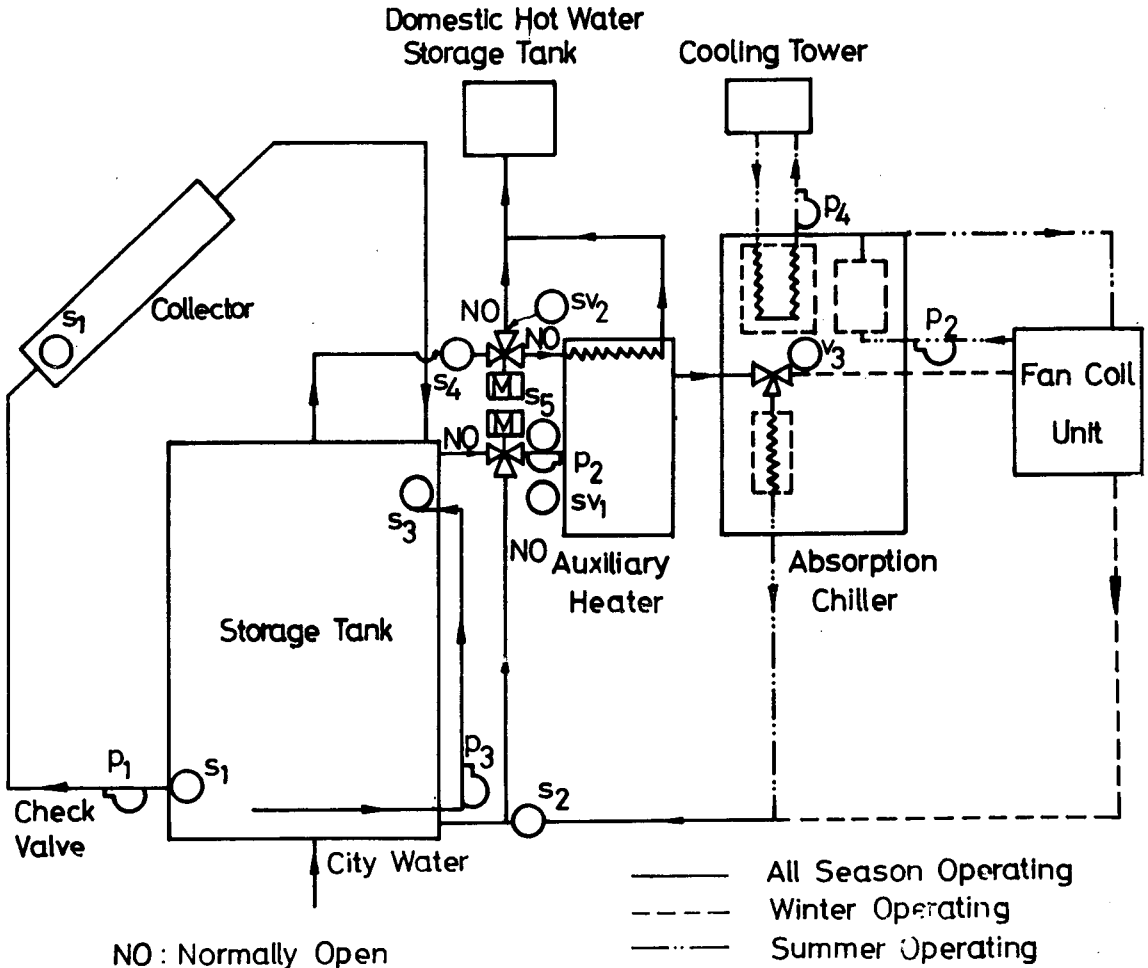


Fig. 1 Schematic diagram of solar heating and cooling systems

일사계: Robitsch 형 Actinograph (일본 Ota Keiki 사 제품)이 이외에 유량측정을 위한 로타 미터, 온도계, 열전대와 기록을 위한 각종 기록계등이 사용되었다.

3.1.1 집열기: 평판형 집열기로서 구조 및 시방은 Fig. 2에 표시된 것과 같다.

순환유체는 물을 사용하였으며 집열판의 배열은 Fig. 3과 같이 하였다. 집열기는 직렬로 연결할

때 배관 비용이 절약되고 높은 온도를 얻을 수 있는 장점이 있으나 집열효율이 떨어지는 단점이 있으며 병렬배열은 효율은 좋으나 유체온도가 낮아지는 단점이 생기므로 냉방시에 고온을 필요하는 점을 고려하여 4 개씩을 병렬로 연결 다시 헤더에 의하여 직렬로 연결하였다. 유체는 집열기에 동일한 유량이 배분되는 것이 이상적이나 완전히 균분시키는것이 극히 어려우므로 헤더를 비교적 크게하여 집열판 이외에서의 유동저항이 적게되도록 시도하였다.

2. 1. 2 축열조 : 강철판을 사용하여 원주형으로 제작한 것을 사용한다. 용기의 체적은 약 2 m³로 글라스울에 의하여 보온이 되었다. 이 축열조에는 집열판으로부터 유체가 들어오고 나가도록 2 개의 판이 설치되고, 또한 보조보일러의 순환 유체판 2 개, 난방방 부하측으로의 연결판 2 개가 연결되어 있다. 필요에 따라 사용할 수 있도록 배수구 1 개, 상수도로부터의 연결판 1 개가 설치되어 있다. 배수구와 상수도 연결판을 제외하고는 모두 펌프에 의하여 유체를 이동시킨다.

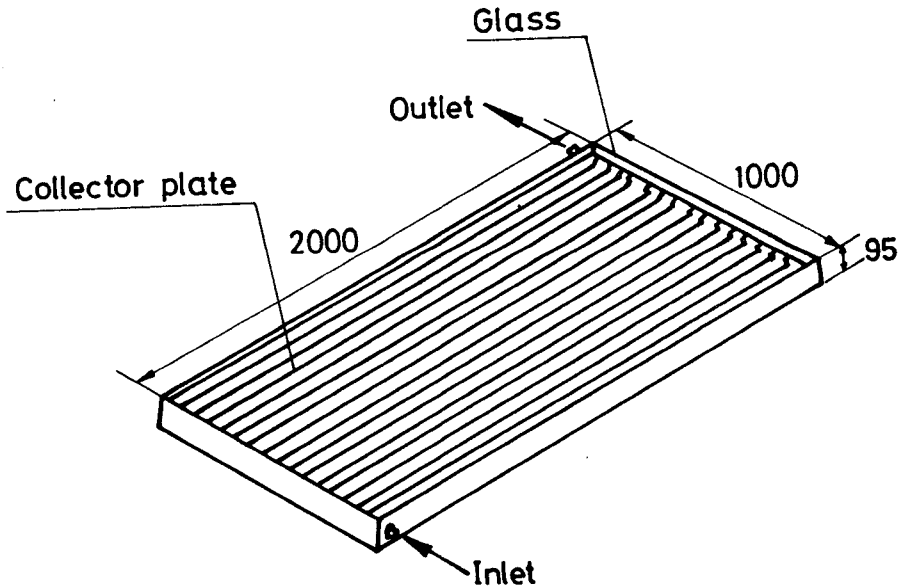


Fig. 2 Flat-Plate solar collector (back insulation : glass wool 50mm, side insulation : glass wool 15mm, $\alpha = 0.93$, $\epsilon = 0.11$, $A_c = 1.89\text{m}^2$)

2. 1. 3 보조 가열기 : 태양열로 충분한 열량을 얻을 수 없으므로 보조가열기를 사용한다. 보조 가열기는 그것만으로도 전체부하를 충족시킬수 있을 만큼 큰것으로서 12,000 kJ/hr의 연판식보일러를 사용하였다.

2. 1. 4 흡수식 냉동기 : 여름철 냉방에 태양열을 사용하기 위해서 흡수식 냉동기를 사용한다. 재래식 냉동기는 재생기(generator)에서 고온을 필요로 하므로 평판형 집열기를 사용하는 태양열 시스템에는 적합하지 않았으나 근래에 LiBr-H₂O를 냉매로 사용한 태양에너지용 흡수식 냉동기가 개발되었다. 흡수식 냉동기내에 3 방 밸브를 두어 겨울철, 냉방이 불필요한 기간에는 바이패스 되도록 하였으며 계절에 따르는 배관도를 조금 더 상세히 그리면 다음과 같다. (Fig.4) 흡수식 냉동기의 온수소요온도는 85-88°C 이다.

2. 1. 5 부하쪽 열교환기 : 태양열을 이용한 난방은 비교적 온수의 온도가 낮으며(40°C) 또한 흡수식 냉동기에 의한 냉방시에는 비교적 냉수의 온도가 높다(10°C정도)는 단점이 있다. 그러므로 비

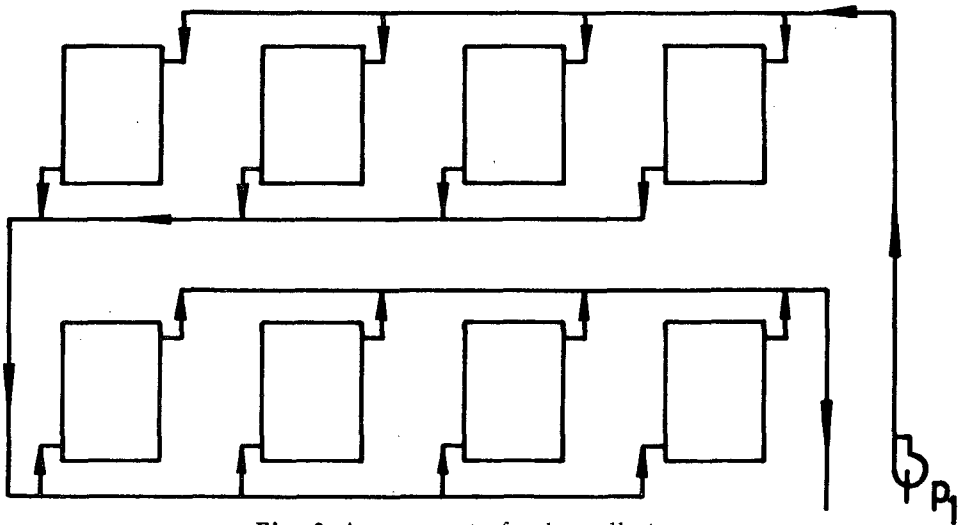


Fig. 3 Arrangement of solar collectors

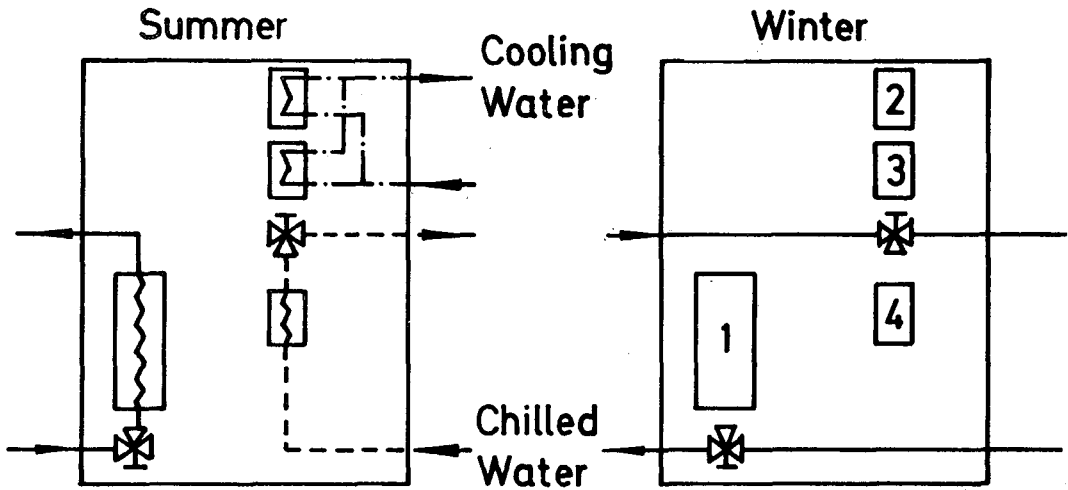


Fig. 4 Schematic diagram of absorption chiller (1:generator, 2:condenser, 3:absorber, 4:evaporator)

교적 낮은 온도차에서 큰 온도강하를 이룰 수 있는 열교환기가 필요하므로 부하쪽 열교환기로서는 팬코일 유닛을 사용하도록 한다.

2.2 냉방 운전

냉방 실험을 위한 운전의 순서는 다음과 같다.

- (1) 실내온도가 26°C 이상으로 상승하면 온도조절기의 제어에 의해서
- (2) 팬 코일 유닛과 P_2, P_3, P_4 , 냉각탑 팬이 모두 동시에 가동된다. (시스템의 안전을 위해서는 Sequence Control이 이상적이나 시스템에 큰 위험성이 없고 제어기의 비용을 절약하기 위해서 위의 5개가 하나의 스위치에 의해 동시에 가동되도록 하였다). 따라서 축열조나 흡수식 냉동기의사이

를 온수가 회전하고 냉수는 부하측 열교환기와 증발기, 냉각수는 냉각탑과 흡수기, 응축기 사이를 각각 순환한다.

(3) s_3 에 감지된 온도가 85°C 이하이면 s_3 가 보조보일러를 착화 시킨다.

(4) 재생기를 거쳐서 나온 온수가 축열조 내부 온도가 높으면 제어기 s_2 가(sv_1)을 열어서 재생기→보조보일러→재생기만의 유로를 만든다.

본 실험에서는 집열기 순환유체로는 물을 사용하였으며 집열기의 기울기는 22.5° 로 하고 Fig. 2 와 같은 집열기를 8 또는 9 개 사용하여 Fig. 3 과 같이 배열하였으며 실제 총 집열면적은 $15-17\text{ m}^2$ 이고 Fig. 1 과 같이 배치된 축열조에서의 입, 출구 온도를 재기위해서 파이프를 뚫어서 열전대를 삽입하고 X-Y 기록계로 그 기전력을 기록하였다. 축열조의 용량은 2 m^3 이며 고온수 순환을 위하여 축열조 내부를 보일러로 계속 가열하였으므로 축열조 출구온도 자체만의 시간에 따른 온도상승을 태양열과 연관시키는 것은 무의미하며 집열기를 순환한 후의 축열조 입구온도와의 차이만이 유용한 값이다.

집열판의 열전달 해석에 관한 식과 실험결과를 비교해 보기 위해서는 순간순간에 따른 태양일사량과 풍속의 값을 측정하여야 하는데 이것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 실험에 적용하기 위한 이론식에서는 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 주어진 시간 Δt 동안의 일사강도는 일정하다.
- (2) 각각의 집열기 내부를 흐르는 유량은 모두 같다.
- (3) 주어진 시간 Δt 동안의 열역학적 성질은 일정하다.
- (4) 배관에서의 열손실은 없다.
- (5) 주어진 시간 Δt 동안의 바람의 속도는 일정하며 월평균 풍속과 일치한다.

가정(2)는 각각의 집열기 입, 출구에 열전대를 삽입하여 측정된 결과 대체로 만족할만 하지만 가정(1)과(5)는 많은 오차를 포함하고 있다. 그러므로 본 보고에서는 실험으로 얻은 결과를 기반으로 태양열 냉방에 관한 문제를 고찰하기로 하고 이론식은 대체로 경향을 비교해보는 것으로만 그치기로 한다.

2.3 냉방실험 결과

냉방성능실험 결과의 일부를 표로 나타낸 것이 표 1로서 이에 사용된 기호는 다음과 같다.

T_{fi} : 유체의 입구온도

T_{fo} : 유체의 출구온도

Q_u : 시간간격 Δt 사이에 유용하게 전달된 열량

H : 시간간격 Δt 사이의 단위면적당의 수평면 일사량

R : 수평면 일사량에 대한 경사면에서의 총 일사량

$(\tau\alpha)'$: 직달효과와 산란효과를 고려한 경우 일사량에 대한 집열판 흡수 열량의 비

$$\eta = \frac{\Delta t \text{ 시간동안 유체로 전달된 열량}}{\Delta t \text{ 시간동안의 수평면 일사량}} \quad (1)$$

으로 정의하였으며 집열판에서 대기측으로 방출되는 열손실을 계산하기 위하여

$$\eta_t = \frac{\Delta t \text{ 시간동안 유체로 전달된 열량}}{\Delta t \text{ 시간동안의 실제 집열가능 열량}} \quad (2)$$

으로 정의하였다. 따라서 집열기에서의 총 열손실량은 $H \times R \times (\tau\alpha)' \times (1 - \eta_t)$ 로 주어진다. 따라서

표 1 일사량과 집열효과

1978. 8. 22 유량: 181/min 집열면적: 17.01 m²

시각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/3min)	H (J/3min. m ²)	R	($\tau\alpha$)'	η	η_t
10:12	68.0	68.9						
10:15	68.0	69.8	407000	87330	1.09	0.81	0.27	0.31
10:18	68.0	70.7	583300	97480	1.09	0.81	0.35	0.40
10:21	68.0	70.7	610500	99910	1.09	0.81	0.36	0.41
10:24	68.0	70.7	610500	102350	1.09	0.81	0.35	0.40
10:27	68.0	71.2	637600	102350	1.09	0.81	0.37	0.42
10:30	68.5	71.2	719000	104780	1.09	0.81	0.40	0.45
10:33	69.8	71.4	515500	98680	1.09	0.81	0.31	0.35
10:36	70.5	70.6	312000	97480	1.09	0.81	0.19	0.22
10:39	71.6	71.6	95000	95030	1.09	0.81	0.06	0.07

η : 집열판의 집열효율

집열판의 집열효율 η 는

$$\eta_t = \frac{\eta}{R(\tau\alpha)'}$$

으로 표시된다. 실제 측정된 입, 출구 온도차는 일사량에 따라 변화가 심하며 또한 일사량의 변화로 구름의 상태에 따라서 불규칙하게 변화한다.

표 2 일사량과 예상 냉방효과

1978. 8. 22 유량: 181/min 집열면적: 17.01 m²

시각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/3min)	H (J/3min. m ²)	R × ($\tau\alpha$)'	η	η_t	냉동기예상 C.O.P.	예상냉동능력 (J/3min)	예상 η_c
11:15	82.7	83.2								
11:18	83.2	84.9	162800	113300	0.891	0.08	0.09	0.60	97680	0.05
11:21	83.4	85.1	407000	115350	0.891	0.21	0.24	0.60	244200	0.13
11:24	83.6	85.8	434100	115740	0.891	0.22	0.25	0.61	264800	0.13
11:27	84.0	86.2	447800	116180	0.891	0.23	0.26	0.59	264200	0.14
11:30	84.5	85.8	474800	116180	0.891	0.24	0.27	0.61	289600	0.15
11:33	84.9	87.8	556200	120610	0.891	0.27	0.30	0.63	350400	0.17
11:36	85.4	87.1	420500	104790	0.891	0.24	0.27	0.60	252300	0.14
11:39	85.8	85.4	135700	92600	0.891	0.09	0.10	0.61	82780	0.05

표 2-6에서는 일사량과 집열량 및 그에 따라 얻어질 수 있는 냉방효과를 표시하였다. 냉동기는 LiBr-H₂O 흡수식 냉동기를 사용하였다.

흡수식 냉동기의 성적계수는 재생기 가열용 고온수의 온도, 응축기와 흡수기의 냉각수 온도 및 증발기를 거쳐나오는 냉수의 온도에 따라 많은 변화를 보였다. 여기서는 계산의 편의상 냉수의 온도는

10°C, 냉각수 온도는 29.5°C로 고정시키고, 오직 재생기 가열 온수의 온도변화에 따른 성적계수의 변화만을 생각하여 예상되는 냉방효과를 계산하였으며

$$\eta_c = \frac{\sum \Delta t \text{ 동안 태양열로 얻을 수 있는 냉방효과}}{\sum \Delta t \text{ 동안 수평면 일사량}} = \eta \times (\text{C.O.P.}) \quad (3)$$

로 정의하여 일사량과 그에 따른 냉방효과를 비교하였다.

다음에는 실험장치를 변경하여서 집열기를 순환한 물이 축열조로 들어오지 않고 계속 집열기 사이를 순환하도록 폐쇄회로를 만들고 시간의 경과에 따른 배관내의 물의 온도의 변화를 측정하였다. (Fig. 5)

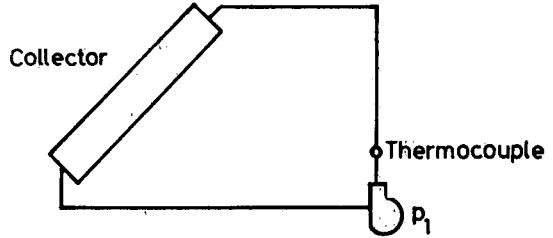


Fig. 5 Schematic diagram of continuous circulation of water

표 3 일사량과 집열효과

1978. 8. 23. 유량: 28 l/min 집열면적: 17.01 m²

시 각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/30min)	H(J/30min. m ²)	R × (τ _α) ¹	η	η _t
10:00	62.1	63.0					
10:30	63.5	64.8	2.342 × 10 ⁶	0.913 × 10 ⁶	0.891	0.15	0.17
11:00	66.7	68.0	3.989	0.964	0.891	0.23	0.27
11:30	68.7	70.7	5.487	1.018	0.891	0.32	0.36
12:00	70.3	72.1	5.487	1.111	0.899	0.29	0.32
12:30	69.8	69.4	1.730	0.510	0.891	0.20	0.22
13:00	70.3	72.1	4.959	0.967	0.891	0.30	0.34
13:30	71.2	73.4	4.854	0.957	0.883	0.30	0.34
14:00	73.0	74.5	6.394	1.105	0.872	0.34	0.39
14:30	75.2	76.8	6.015	1.054	0.864	0.34	0.40

표 4 일사량과 예상 냉방효과

1978. 8. 23. 유량: 11 l/min 집열면적: 17.01 m² R=0.864

시 각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/3min)	H(J/3min. m ²)	η	냉동기예상C.O.P.	η _c
14:40	79.0	75.9					
14:43	76.1	81.4	6.218 × 10 ⁵	1.082 × 10 ⁵	0.34	0.54	0.18
14:46	76.5	81.9	7.295	1.074	0.40	0.55	0.22
14:49	76.5	81.6	7.461	1.065	0.41	0.54	0.22
14:52	76.8	81.7	7.130	1.057	0.40	0.55	0.22
14:55	77.0	81.9	6.881	1.049	0.39	0.55	0.21
14:58	77.2	81.9	6.798	1.041	0.38	0.55	0.21

표5 일사량과 예상 냉방효과

1978. 9. 11. 유량 11ℓ/min 집열면적 : 17.01 m²

시 각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/30min)	H (J/30min. m ²)	R×(τα) [']	η	냉동기예상 C. O. P.	η _c
11:00	40.7	47.3						
11:30	53.8	55.2	7.304 × 10 ⁶	1.170 × 10 ⁶	0.940	0.37	0.00	0.00
12:00	68.5	72.1	2.786	1.231	0.940	0.13	0.00	0.00
12:30	81.0	82.5	3.275	1.243	0.940	0.15	0.56	0.08
13:00	88.4	91.0	1.923	1.243	0.940	0.09	0.66	0.06
13:30	91.5	94.7	3.681	1.241	0.920	0.17	0.68	0.12
14:00	91.0	94.9	4.875	1.225	0.920	0.23	0.68	0.16
14:30	90.6	93.4	4.875	1.184	0.909	0.24	0.67	0.16
15:00	90.2	92.3	3.731	1.121	0.870	0.20	0.65	0.13
15:30	89.7	90.6	2.835	1.023	0.840	0.16	0.65	0.10
16:00	89.3	93.6	0.373	0.927	0.792	0.02	0.67	0.01

표6 일사량과 예상 냉방효과

1978. 9. 12 유량 : 11 ℓ/min 집열면적 : 17.01 m²

시 각	T _{fi} (°C)	T _{fo} (°C)	Q _u (J/15min)	H (J/15min. m ²)	R×(τα) [']	η	냉동기예상 C. O. P.	η _c
11:15	81.0	88.9						
11:30	82.7	86.2	3.822 × 10 ⁶	5.605 × 10 ⁵	0.940	0.40	0.62	0.25
11:45	82.3	86.9	3.026	5.693	0.940	0.31	0.62	0.19
12:00	82.5	87.1	3.416	5.725	0.940	0.35	0.62	0.22
12:15	81.9	87.1	3.540	5.760	0.940	0.36	0.62	0.22
12:30	82.6	87.3	3.498	5.814	0.940	0.35	0.63	0.22
12:45	81.9	87.5	3.606	5.849	0.940	0.36	0.63	0.23
13:00	82.3	88.0	3.896	5.849	0.940	0.39	0.63	0.25
13:15	82.3	87.5	3.731	5.849	0.940	0.38	0.63	0.24
13:30	82.3	87.1	3.440	5.849	0.928	0.35	0.62	0.22
13:45	81.9	87.1	3.507	5.849	0.928	0.35	0.62	0.22
14:00	82.1	86.7	3.440	5.826	0.920	0.35	0.62	0.22
14:15	81.9	86.2	3.623	5.770	0.920	0.37	0.62	0.23
14:30	81.9	86.2	3.109	5.693	0.889	0.32	0.62	0.20

이 실험의 결과가 표7, 8에 수록되어있다. 여기서M은 집열기와 배관내부에 들어있는 물의 총 질량을 뜻한다.

표7은 시간에 따른 온도변화, 표8은 동일시간에서의 일사량, R, (τα)[']을 표시한다.

같은 실험방법으로 저온의 물(초기온도 28.5 °C)로서 시작하여 100 °C 정도까지 실험한 결과를 표9에 수록하였다.

태양열 에너지의 활용

표 7 집열기간 순환수의 온도변화

1978. 9. 14 유량: 25 l/min M = 81.3 kg

시 각	온도 (°C)	시 각	온도 (°C)	시 각	온도 (°C)	시 각	온도 (°C)
14:05	67.6	14:31	81.0	14:57	83.8	15:23	77.4
14:07	68.5	14:33	81.9	14:59	83.6	15:25	76.6
14:09	70.3	14:35	82.3	15:01	83.2	15:27	76.1
14:11	71.6	14:37	83.2	15:03	82.7	15:29	75.7
14:13	73.0	14:39	83.6	15:05	81.9	15:31	74.8
14:15	74.3	14:41	84.5	15:07	81.2	15:33	74.3
14:17	75.4	14:43	84.9	15:09	81.0	15:35	73.6
14:19	76.6	14:45	85.4	15:11	80.5	15:37	74.3
14:21	77.4	14:47	85.6	15:13	80.1	15:39	72.5
14:23	78.3	14:49	85.8	15:15	79.6	15:41	71.8
14:25	78.9	14:51	85.4	15:17	79.0	15:43	71.2
14:27	79.2	14:53	84.9	15:19	78.3	15:45	70.7
14:29	79.9	14:55	84.5	15:21	77.9	15:47	70.1

표 8 표 7 과 동일한 시간의 일사량, R, ($\tau\alpha$)'의 값

시 각	H(J/15min)	$R \times (\tau\alpha)'$	시 각	H(J/15min)	$R \times (\tau\alpha)'$
14:00-14:15	9.647×10^6	0.928	15:00-15:15	6.147×10^6	0.889
14:15-14:30	9.731	0.928	15:15-15:30	5.699	0.889
14:30-14:45	9.119	0.920	15:30-15:45	5.179	0.851
14:45-15:00	7.336	0.920			

표 9 집열기간 순환수의 온도

1978. 9. 15 유량: 25 l/min M = 81.3 kg

시 각	온도 (°C)	H(J/m ² .5min)	시 각	온도 (°C)	H(J/m ² .5min)
08:45	28.1		10:45	77.2	1.716×10^5
08:50	29.1	0.690×10^5	10:50	79.0	1.730
08:55	30.6	0.853	10:55	80.5	1.746
09:00	33.0	1.097	11:00	82.3	1.746
09:05	35.4	1.248	11:05	83.6	1.746
09:10	37.8	1.300	11:10	84.9	1.748
09:15	40.0	1.320	11:15	86.0	1.759
09:20	42.3	1.360	11:20	87.1	1.767
09:25	44.5	1.401	11:25	88.4	1.767
09:30	46.8	1.442	11:30	89.7	1.787
09:35	49.2	1.462	11:35	89.7	1.543

시 각	온도 (°C)	H (J/m ² .5min)	시 각	온도 (°C)	H (J/m ² .5min)
09 : 40	51.5	1.482	11 : 40	87.1	1.218
09 : 45	53.8	1.523	11 : 45	85.4	1.188
09 : 50	55.9	1.543	11 : 50	85.6	1.422
09 : 55	58.2	1.564	11 : 55	87.5	1.868
10 : 00	60.3	1.604	12 : 00	89.3	1.970
10 : 05	62.8	1.611	12 : 05	91.0	1.990
10 : 10	64.8	1.645	12 : 10	93.0	2.010
10 : 15	66.7	1.665	12 : 15	94.0	2.030
10 : 20	68.9	1.678	12 : 20	95.8	2.030
10 : 25	70.7	1.678	12 : 25	96.6	2.010
10 : 30	72.5	1.678	12 : 30	97.5	1.990
10 : 35	74.1	1.692	12 : 35	98.3	1.990
10 : 40	75.6	1.706	12 : 40	99.2	1.990
			12 : 45	100.1	1.990

표 9에서 실험중의 $R \times (r\alpha)'$ 의 값은 08 : 45 - 10 : 15 사이에서는 0.984 이고, 10 : 15 - 12 : 15 사이에서는 0.956, 그 이후 12 : 45까지는 0.984 이다.

2.4 결과의 도식화 및 해석

앞에서 서술한 집열기의 열전달식을 이용하여 실험치와 계산치의 결과를 비교하였다. 계산을 위한 이 집열기의 특성 및 계산과정은 다음과 같다.

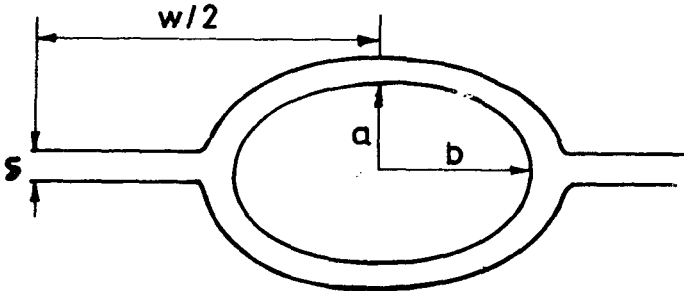


Fig. 6 Shape and dimensions of tube (a= 4.75mm, b = 5.85mm, w = 20.2mm, $\delta = 1.1$ mm)

관로의 형상이 Fig. 6과 같은 타원형이므로 관로의 수력직경은 5.0mm이다. 실험관의 재질은 스테인리스 강이며, 재질의 열전도율은 $60 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 로서 일정하다고 간주하였다. 집열기 관로에서의 유동은 본 실험에서는 모두 층류유동의 범위에 속하므로 유체와 관 사이의 대류열 전달 계수는 기존의 식으로부터 계산하였다.⁽⁶⁾

1978. 8. 22의 10:30의 대기온도 T_a 는 30°C 이고 11:30의 T_a 값은 31°C 이었으며 풍속은 2 m/sec 로 가정하였다. 유체의 입구온도 T_{fi} 의 값은 실제 측정된 값이며 Δt 동안 일사량이 H' (W/m^2)로서 일정하다고 가정하였을 때 이론적으로 가능한 출구온도 T_{fo} 의 값과 유용열량 Q_u 효율 η 값을 구하였다. 반복법에 의해서 흡열판의 평균온도 T_{pm} 을 구할 때의 수렴오차는 0.05°C 로 하였다.

계산의 결과 그 경향은 대체로 실험과 일치하지만 그 값에 있어서는 엄청난 오차가 있으며 잘 들어맞지 않는 범위도 존재한다. 그 이유는 아직 규명할 수 없지만 가장 큰 오차는 일사량의 측정에

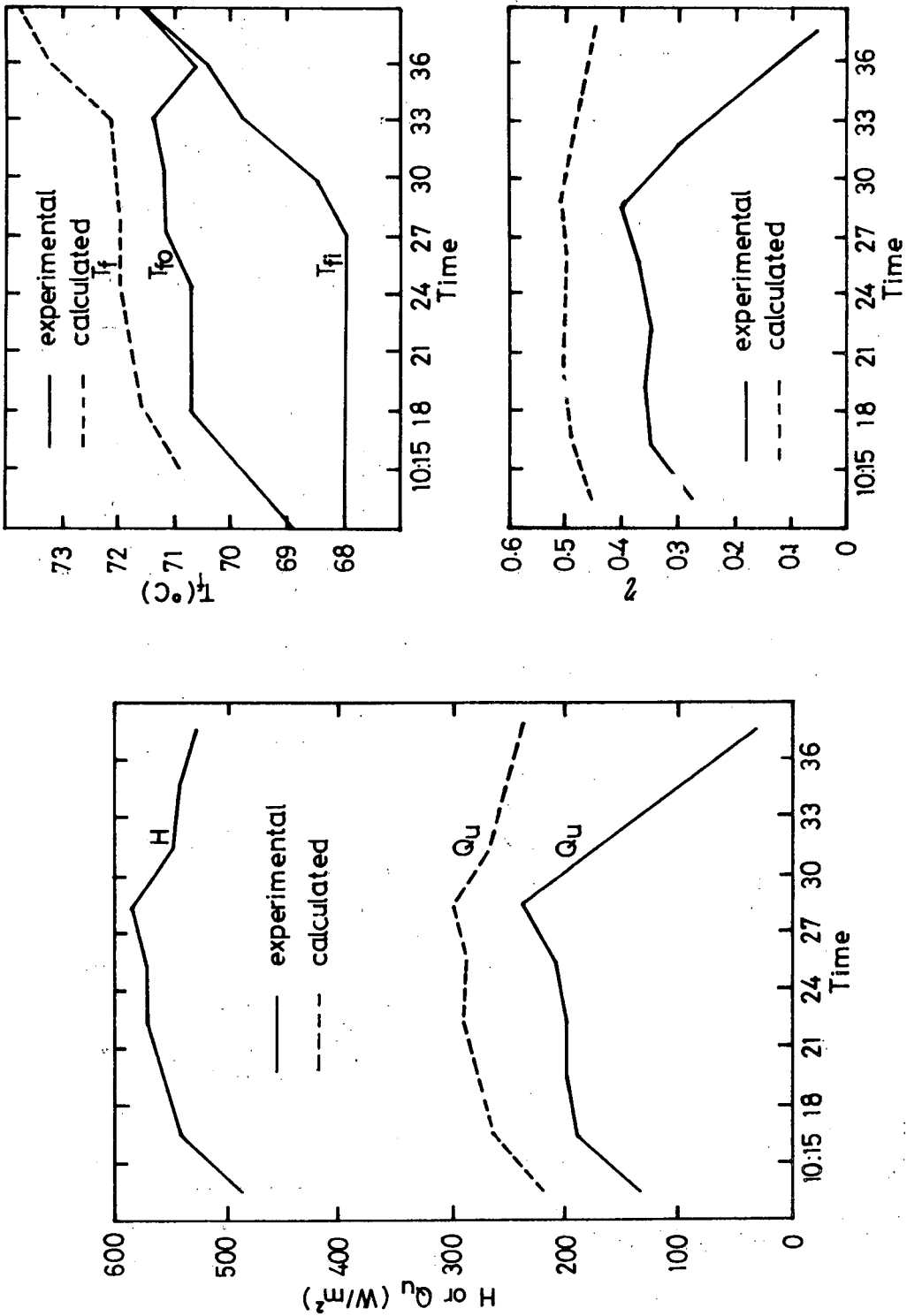


Fig. 7 Variation of solar insolation, fluid temperature, useful gain of heat and collection efficiency ($m = 18 \text{ kg/min}$, 1978. 8. 22)

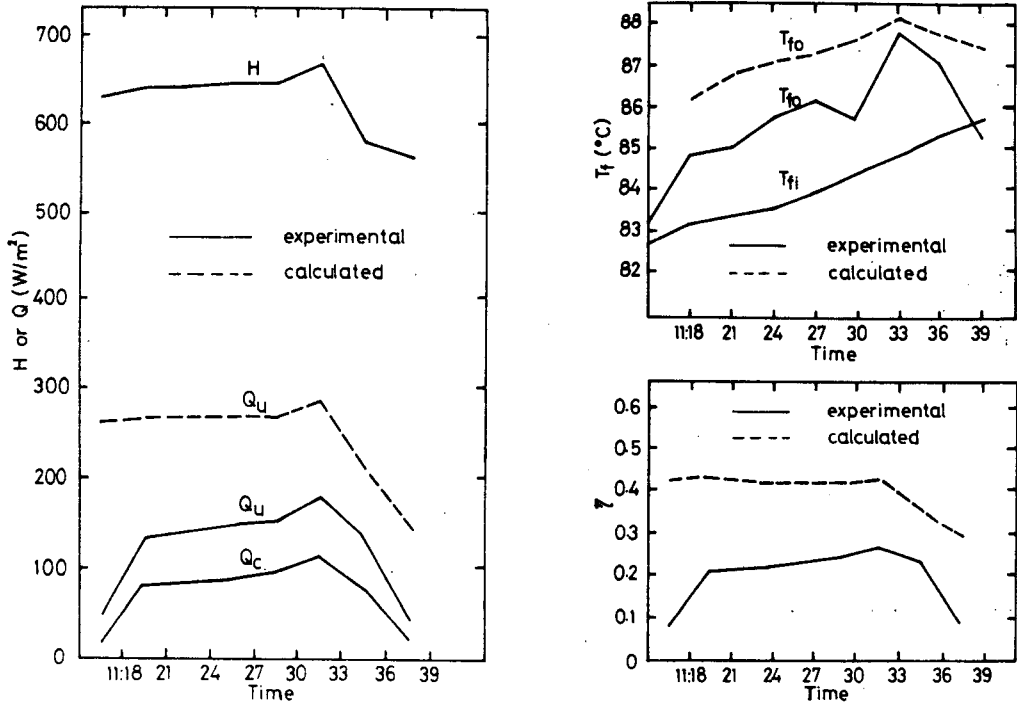


Fig. 8 Variation of solar insolation, fluid temperature, useful gain of heat and collection efficiency ($m = 18 \text{ kg/min}$, $T_a = 31^\circ\text{C}$, $v = 2 \text{ m/s}$, 1978. 8. 22)

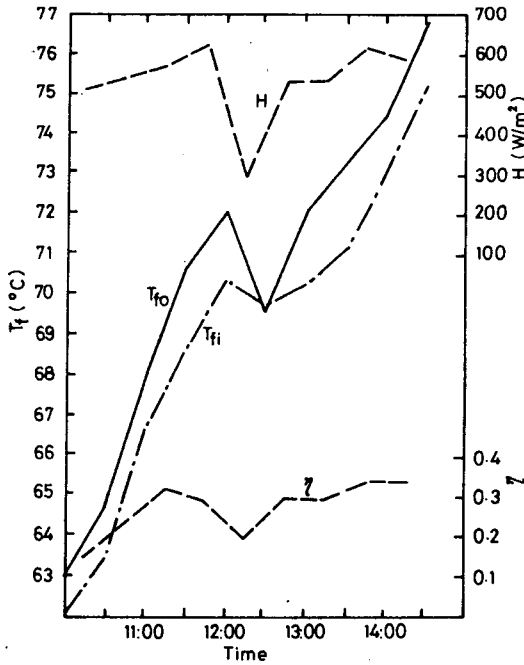


Fig. 9 Variation of solar insolation, fluid temperature and efficiency ($m = 28 \text{ kg/min}$, 1978. 8. 23)

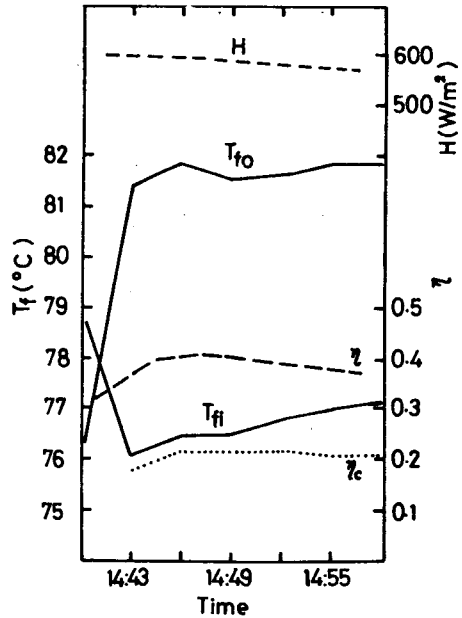


Fig. 10 Variation of solar insolation, fluid temperature, collection efficiency and expected cooling efficiency ($m = 11 \text{ kg/min}$, 1978. 8. 23)

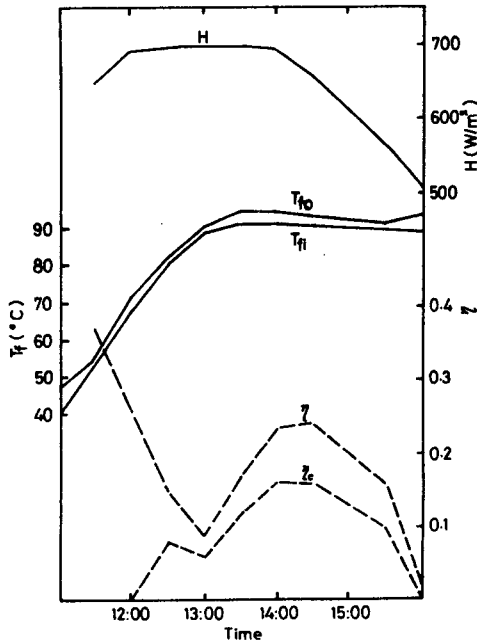


Fig. 11 Variation of solar insolation, fluid temperature, collection efficiency and expected cooling efficiency ($m = 11 \text{ kg/min}$, 1978. 9. 11)

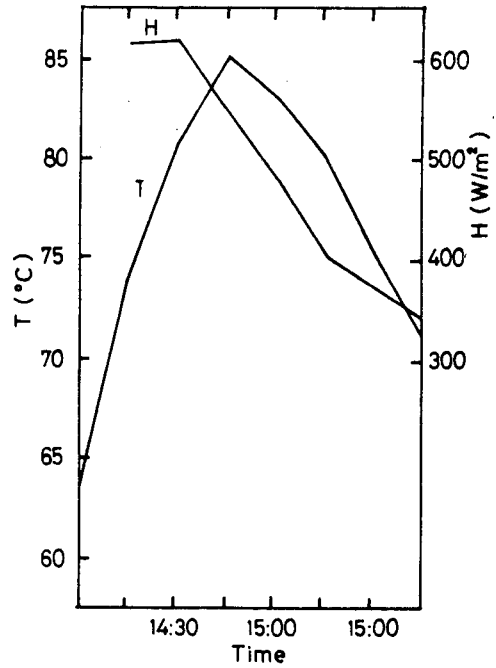


Fig. 13 Solar insolation and fluid temperature under continuous circulation ($m = 25 \text{ l/min}$, $M = 81.3 \text{ kg}$, 1978. 9. 14)

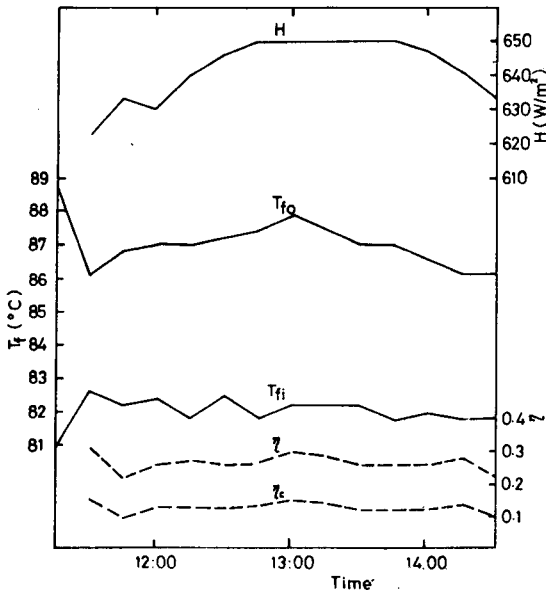


Fig. 12 Variation of solar insolation, fluid temperature, collection efficiency and expected cooling efficiency ($m = 11 \text{ kg/min}$, 1978. 9. 12)

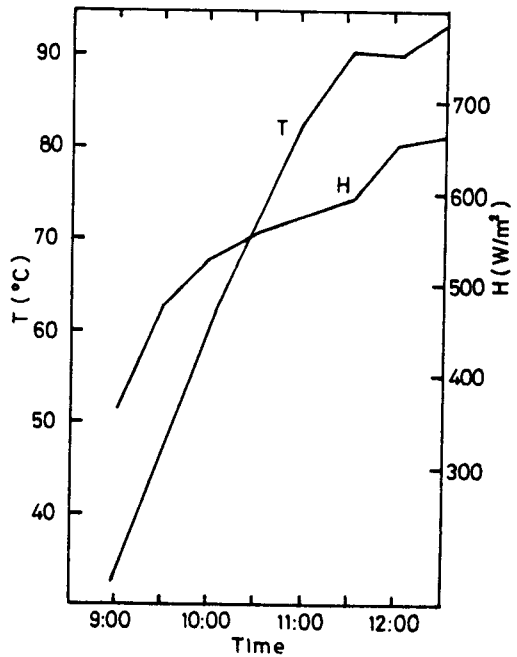


Fig. 14 Solar insolation and fluid temperature under continuous circulation ($m = 25 \text{ l/min}$, $M = 81.3 \text{ kg}$, 1978. 9. 15)

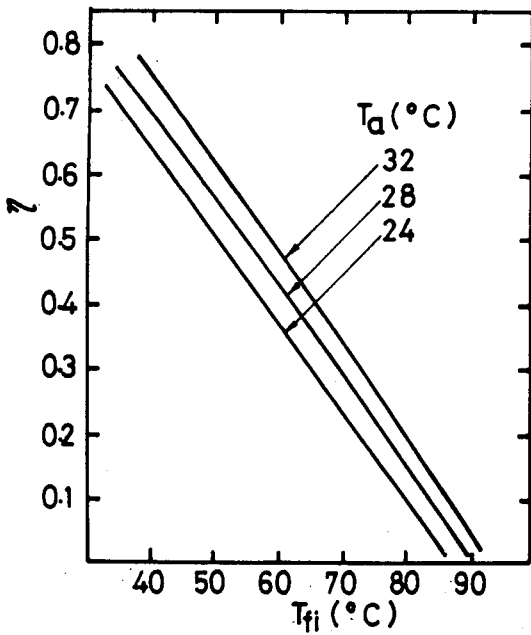


Fig. 15 Collection efficiency as a function of fluid inlet temperature at various ambient temperatures
($v = 2.0 \text{ m/s}$, $H = 400 \text{ W/m}^2$)

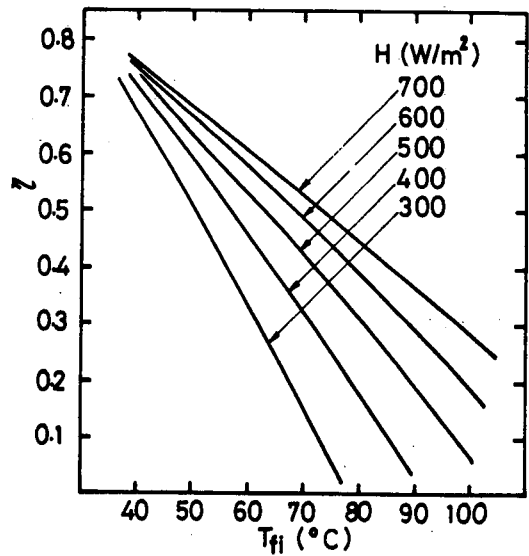


Fig. 16 Collection efficiency as a function of fluid inlet temperature at various solar insolation
($v = 2.0 \text{ m/s}$, $T_a = 28^\circ\text{C}$)

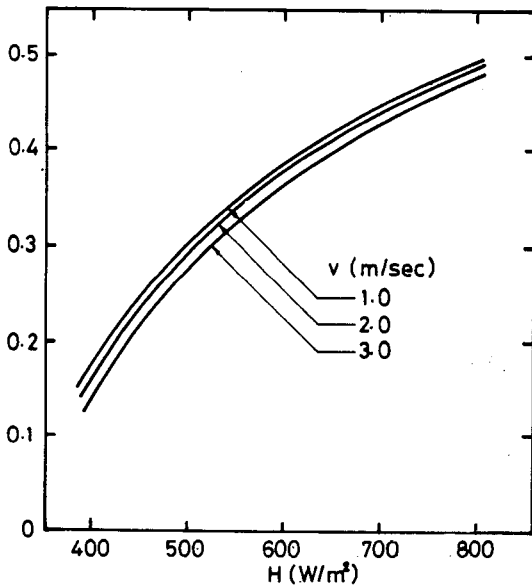


Fig. 17 Collection efficiency as a function of solar insolation at various wind velocity ($T_{fi} = 80^\circ\text{C}$, $T_a = 28^\circ\text{C}$)

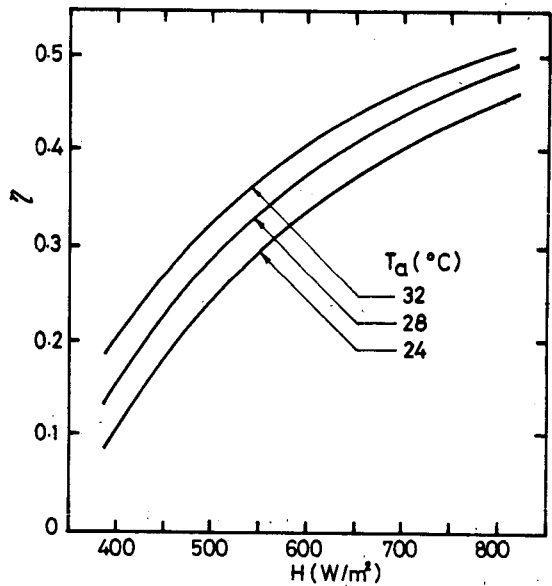


Fig. 18 Collection efficiency as a function of solar insolation at various ambient temperatures ($T_{fi} = 80^\circ\text{C}$, $v = 2.0 \text{ m/s}$)

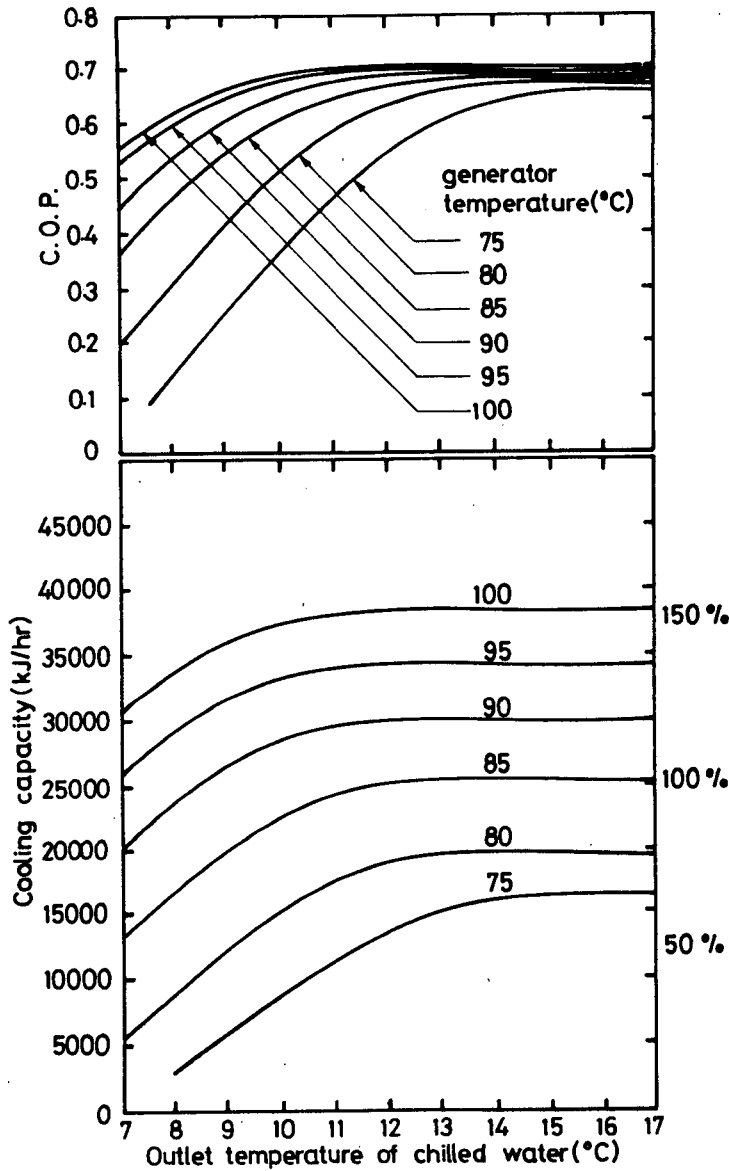


Fig. 19 Cooling capacity and coefficient of performance as a function of chilled water outlet temperature at various generator medium temperatures (cooling water inlet temperature : 29.5°C, cooling water flow rate 3200 l/hr, medium flow rate 1667 l/min, chilled water flow rate 1200 l/hr)

기인하는듯하다. 실제 Robitsch 일사계는 정확도가 상당히 뒤떨어지며 대체로 실제값보다 큰 값이 읽히는 경향이 있다. 더욱 좁은 눈금을 사진확대하여 3분간격으로 읽었는데 여기서도 많은 오차가 발생하는 것으로 생각된다.

표1~표6을 그림으로 표시한 것이 Fig.7~12이다.

Fig. 7의 좌측도는 특정시간 근처에서 시간에 따라 변화하는 수평면 일사량의 변화와 실제 유용하게 사용되는 열전달량을 집열판 단위면적당에 대하여 실측지와 계산치를 동시에 나타내었다. 두 값의 차이는 대체로 50%까지에 이르고 있으나 그 경향은 대체로 일치하고 있다. 더욱 유용열량의 변화상태가 일사량의 변화상태와 유사하여 일사량의 변화에 따른 반응이 예민함을 알 수 있다. 같은 그림의 우측상단은 즉 집열판의 입구, 출구에서의 실측 유체온도와 계산된 출구에서의 온도를 나타내고 하단의 그림은 수평면 일사량에 기준을 둔 효율을 계산치와 실측에 의한 값의 2가지로 표시한다.

Fig. 8~12도 유사하게 표시된 것이다. Fig. 13과 14는 밀폐회로를 구성한 경우(표7~9)의 유체온도변화를 일사량변화와 함께 표시한 것으로 두 양은 극히 높은 상관관계를 가지고 예민하게 변화됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 장기간 기준 성능 시험만으로는 판단되기 어려운 것으로 생각된다.

3.5 집열효율에 영향을 미치는 외기조건과 흡수식냉동기의 성능

집열기를 사용하여 냉방을 하는 여름철 강우에 외기조건이 집열효율에 미치는 영향을 문헌(2)의 열전달식을 이용하여 Fig. 15~18에 나타내었다. Fig. 15는 집열기 입구온도 T_{fi} 의 변화와 외기온도 T_a 의 변화에 따른 효율의 변화를 나타낸 것으로 외기온도 4°C 변화에 따라 약 4~5%의 집열효율 변화가 있음을 알 수 있다. 유체입구조건에 따른 영향은 훨씬 커서 온도의 증가에 따라 효율은 거의 직선적으로 감소하고 있다. Fig. 16은 일사량의 변화에 따른 영향을 추가한 것으로 고온이 될수록 일사량의 영향이 심각하게 커짐을 알 수 있다. Fig. 17은 일사량과 풍속에 따른 효율변화를 나타낸 것으로 풍속에 의한 영향은 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 16은 흡수식 냉동기에 사용할 수 있는 유체온도 부근에서 일사량과 외기온도의 영향을 표시한다. 한편 Fig. 19는 흡수식 냉동기의 성능을 표시하는 것으로 냉방에 소요되는 냉수의 온도, 재생기의 열매온도에 따른 흡수식 냉동기의 냉각능력과 성능계수를 나타내고 있다. 성능계수는 소요 냉수온도가 낮아짐에 따라 급격히 하강하고 재생기 열매온도에 따라 급격히 변화함을 알 수 있다. 한편 냉각능력은 열매의 온도가 증가하면 증가 온도차에 따라 같은 비율로 증가됨을 알 수 있어 집열기의 성능에 따라 냉각능력이 크게 영향을 받을 것으로 생각된다.

3. 결 론

태양열 에너지를 난방에 이용하는데 있어 발생하는 유체역학, 열전달의 과정, 일사량을 비롯한 풍속, 외기온도, 장치의 특성등이 태양열에너지 이용 난방방시스템에 끼치는 영향을 실험과 해석을 통하여 평가하였다.

실험에는 선택표면처리가 된 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ 의 집열판 10장을 직렬, 병렬의 조합 배열로 설치하고 보조보일러, 펌프, 흡수식냉동기, 팬코일 유닛 등을 사용하였다. 실험에 필요한 각종 측정은 일사계, 각종 유량계, 열전대등의 온도계, 자료기록계에 의하여 수행되었다. 여름철의 냉방을 목적으로 한 냉방실험장치 운전결과표 및 그림에 의하여 나타내었다. 여름철의 수평면 일사량은 시간에 따라 변화하나 대체로 $500 \sim 700\text{ W}/\text{m}^2$ 의 범위에 있으며 집열판 기온각도를 22° 로 할 때 수평면 일사량과 유사한 일사량을 집열면에서 받게 된다. 집열판 출구에서의 온도는 유량조절에 의하여 $86 \sim$

88°C 까지 얻을 수 있다. 그러나 유량이 적어지고 온도가 높아짐에 따라 실제 유용하게 사용된 열량은 감소되어 출구온도 70-72°C의 경우 40% 정도에서 85°C 이상에서는 20-30% 밖에 이르지 못한다. 이는 유체의 온도와 외기온도차에 의한 열전도 손실로 풀이될 수 있다. 태양열에너지를 이용한 냉방은 흡수식냉동기에 의존하여야 하며 냉동기의 발생부 동작온도를 계속 하강시키는 연구가 진행중이나 현재로서는 85-88°C가 최저온도로 알려져 있으므로 냉방시에는 난방에 비하여 더욱 집열판과, 연결배관, 사용장치의 보온이 중요한 것으로 생각된다. 겨울운전의 경우는 집열판 각도를 52°C로 하므로서 수평면 일사량과 집열판에서의 일사량은 크게 달라져 약 1.6배 정도까지 된다. 겨울철의 수평면 일사량은 400-550 W/m² 정도로 여름철에 비하여 적은 양이나 유용하게 사용된 열량은 수평면 일사량에 대한 비로 표시한 효율로 80-100%에 이르러 경사각도를 고려하더라도 50% 정도는 얻을 수 있다. 이는 난방에 소요되는 유체온도를 40°C 내외로 조절하는 때문이다.

집열효율은 유체의 온도증가량에 따라 비례적으로 감소하며 외기온도의 영향도 같은 경향으로 외기온도 변화량에 따라 비례적으로 감소한다. 다만 일사량과의 관계는 일사량의 증가에 따라 효율도 증가하나 그 증가율은 높은 일사량측에서 감소되는 경향에 있다. 집열판 주위의 풍속이 효율에 끼치는 영향은 다른 상태량과는 거의 무관하며 1-3 m/s의 범위에서 약 3%의 변화를 일으킨다. 이는 일반적으로 높은 일사량측에서는 중요하지 않으나 구름이 낀 낮은 일사량 상태에서는 큰 비중을 차지하게 된다.

실험에서 얻어진 자료들은 지금까지 알려진 각종의 이론식과 비교 검토되었다. 대부분의 식이 장기간 성능시험과 비교되었을 뿐이므로 각종 상태의 변화에 따른 영향을 검증하기 위하여 단기간 기준으로 비교하였다. 이 결과는 이론식이 실험치와 그 경향은 유사하게 나타나나 정량적으로는 일치하지 않아 많은 실험자료가 앞으로 필요할 것으로 생각된다.

태양열을 이용한 난방시스템은 초기투자비용에 따른 경제성이 중요한 문제로 대두되나 이는 태양열이용에 소요되는 장치의 가격, 에너지가격, 자연조건등이 복합적으로 나타나므로 경제성여부를 속단하기는 현재로서는 어려운 일이다. 태양열 이용에 소요되는 장치비용이 다량생산과 기술향상으로 점차 낮아지는 경향에 있고 에너지 가격은 반대로 상승추세에 있으므로 정책적으로 투자비에 대한 지원이 있을 때 태양열 이용은 확대될 수 있을 것으로 사료된다. 다만 태양열 난방시스템의 장치비용중 집열판 가격과 설치비용이 큰 비중을 차지하므로 난방시스템에서 사용 타당성을 발견할 수 있을 때에 냉방시스템을 겸용하면 그 경제성은 더욱 밝을 것이다.

후기 : 이 연구의 일부는 1978년 문교부 연구비에 의하여 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 문교부 당국에 감사할 표한다.

참 고 문 헌

1. 차종희 등, 과학기술처 연구보고서 R-74-52, 태양의 집 설치 및 실험에 관한 연구(1974).
2. J. H. Duffie, W. A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes, Wiley (1974).
3. B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, Low Temperature Engineering Applications of Solar Energy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (1967).
4. P. I. Cooper, "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills", Solar Energy 12, 3 (1969).
5. ASHRAE Handbook, 1977 Fundamentals, Chapter 26, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (1977).
6. E. R. G. Eckert and R. M. Drake, Jr., Analysis of Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill (1972).