

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 4, 2000

해상적용 평판형 태양열 집열기의 집열특성

지명국*, 정효민**, 정한식**, 이철재***

* 경상대학교 대학원

** 경상대학교 수송기계공학부, 해양산업연구소

*** 동명대학 건축기계설비시스템과

Thermal Concentration Characteristic of Flat Plate Solar Collector for Application on the Sea

M. K. Ji*, H. M. Jeong**, H. S. Chung** and C. J. Lee***

*Graduate School, Kyeong-Snag National Uinversity

** Department of Transport Vehicle Engineering, Gyeong-sang National University

*** Department of Architectural Equipment, Tong-Myong College

Abstract

This paper represents the heat storage performance of the flat plate solar collector. This research aims to application for fishing ship on the sea, and the solar collector has among of motions with pitching and rolling thus, this collector has to be a forced type circulation. In this research, we investigated the solar collector performance for the various collector tilt angle. As the experimental results with three types, we found that the S-type collector was excellent.

기 호 설 명

A_c : 집열판 면적[m²]

C_p : 물의 비열[kcal/kg · °C]

F_R : 집열효율 수정계수

G : 유량[kg]

I_t : 일사량[kcal/hr · m²]

Q_u : 집열에너지[kcal/hr · m²]

- t_a : 대기온도[°C]
- t_i : 집열판 입구온도[°C]
- t_o : 집열판 출구온도 [°C]
- t_p : 흡수판 표면의 평균온도[°C]
- U_L : 열손실계수[kcal/hr · m² · °C]
- α : 흡수판 흡수율[%]
- η : 집열효율[%]
- τ : 투명 덮개 투과율[%]

1. 서 론

인류의 존속과 진화를 위해 에너지는 물과 공기 및 식량과 더불어 절대적으로 필요한 요소 중 한가지이다. 이 인간의 생명이라고도 해야 할 에너지를 우리나라는 거의 외국에 의존하고 있으며 또한, 인류가 대량으로 소비하는 에너지의 88%를 의존하고 있는 화석연료는 무한한 것이 아니고 언젠가는 고갈될 숙명에 있음은 이미 주지의 사실이다.⁽¹⁾

따라서, 지속적인 경제성장을 유지, 발전시키기 위해 청정 대체에너지 개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그 중 가장 가능한 대체에너지 자원은 태양에너지로 이 에너지는 무한성, 무공해, 간편성등의 이점으로 건물의 냉난방, 온수급탕 및 각종 건조장치등에 사용되고 있으며 태양열 이용기술과 관련 각종 연구와 보급이 활성화 되고 있다. 현재 우리나라의 태양에너지에 대한 연구는 태양열온수기 및 설비형시스템용 액체식 평판형 집열기⁽²⁾로써 육상용이 주종이며 해상용 태양열 집열기에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 육상용의 경우는 자연 순환식이 주종을 이루고 있으나 해상용으로서의 자연 순환식에 상당한 어려움이 예상되고 있다. 즉, 선박에 장착하는 경우에는 항시 3차원적인 운동으로 인하여 원활한 순환이 불가능하여 강제 대류에 의한 집열방식을 채택하여야 한다. 그러므로, 본 연구에서는

현재 육상용으로 연구중인 평판형 태양열 집열기를 해상용으로 개발하기 위하여 강제 대류형을 기본으로 하고 있다.

2. 이론 해석 및 실험

2.1 이론 해석

2.1.1 태양열 에너지

태양광은 직달 일사와 산란 일사로 구성되며, 이를 합한 지표 수평면의 일사를 전일사(Global Solar Radiation)라고 부른다.⁽³⁾

일사의 기본이 되는 태양상수는 대기권 밖 법선면의 단위면적(m²)에 도달하는 에너지밀도(Energy Intensity)로 세계기상학회(WMO)에서 1,367W/m²을 표준상수로 정의하였고, 또한 태양으로부터 초당 방출되는 에너지는 3.8×10²³kw이며 지구상에 떨어지는 에너지는 약 173×10⁶Gw (1Gw=10⁹w)이다.⁽⁴⁾

2.1.2 집열 효율 이론⁽⁵⁾

안정된 상태 하에서 어떤 주어진 시간 동안에 태양열 집열기가 취득한 에너지는 흡수판에서 흡수한 에너지와 주위로 손실된 에너지와의 차이이다. 이와 같은 관계를 식으로 표현하면 다음 식(1)과 같다.

$$Q_u = A_c [I_t \tau \alpha - U_L (\bar{t}_p - t_a)] \quad (1)$$

여기서, Q_u 는 집열 에너지(kcal/hr)이다.

2.1.3 집열 성능⁽⁵⁾

태양열 가용 집열량(Useful Energy Gain) Q_u 를 구하려면 집열기의 설계 조건은 물론 일사량, 흡열판의 평균 온도 및 외기 온도 등을 알아야 한다. 이 중에서 흡열판의 평균 온도를 제외하고는 쉽게 구할 수 있으나, 흡열판의 평균 온도는 전열 매체의 공급 온도 및 단위 시간당 흐르는 유량에 의해 변화되기 때문에 편의상 흡열판 평

관 온도 대신 쉽게 알 수 있는 집열기 입구 온도로 바꾸고 집열 효율 수정 계수 F_R 를 사용하여 식(1)을 다음 식(2)로 표현할 수 있다.

$$Q_u = F_R A_c [I_t \tau \alpha - U_L (t_i - t_a)] \quad (2)$$

식(2)를 태양열 집열 효율식으로 표시하면 다음의 식(3)과 같다.

$$\eta = \frac{Q_u}{I_t A_c} = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{(t_i - t_a)}{I_t} \quad (3)$$

여기서, η 는 실제로 유용한 태양 집열량을 집열면에 조사되는 총열량으로 나눈 값으로 집열기의 효율을 말한다.

태양열 집열기의 성능은 일반적으로 실험에 의하여 구하며, 태양열 집열기를 통과하는 열전달 매체의 유량과 집열기 입·출구의 온도차를 측정하면 된다. 식(2)는 다음의 식(4)로 표현할 수 있다.

$$Q_u = AGC_p (t_o - t_i) \quad (4)$$

식(3)의 집열기 효율은 다음 식(5)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta &= Q_u / I_t A_c \\ &= GC_p (t_i - t_o) / I_t \\ &= F_R \tau \alpha - F_R U_L (t_i - t_o) / I_t \\ &= F_R \tau \alpha - F_R U_L (t_i - t_a) / I_t \end{aligned} \quad (5)$$

본 실험에서 사용하는 집열기의 집열특성에 관하여서는 식(4)를 기본으로 하고자 한다.

2.1 이론 해석

그림 1은 본 실험에 사용된 실험 장치의 개략도를 나타낸다.

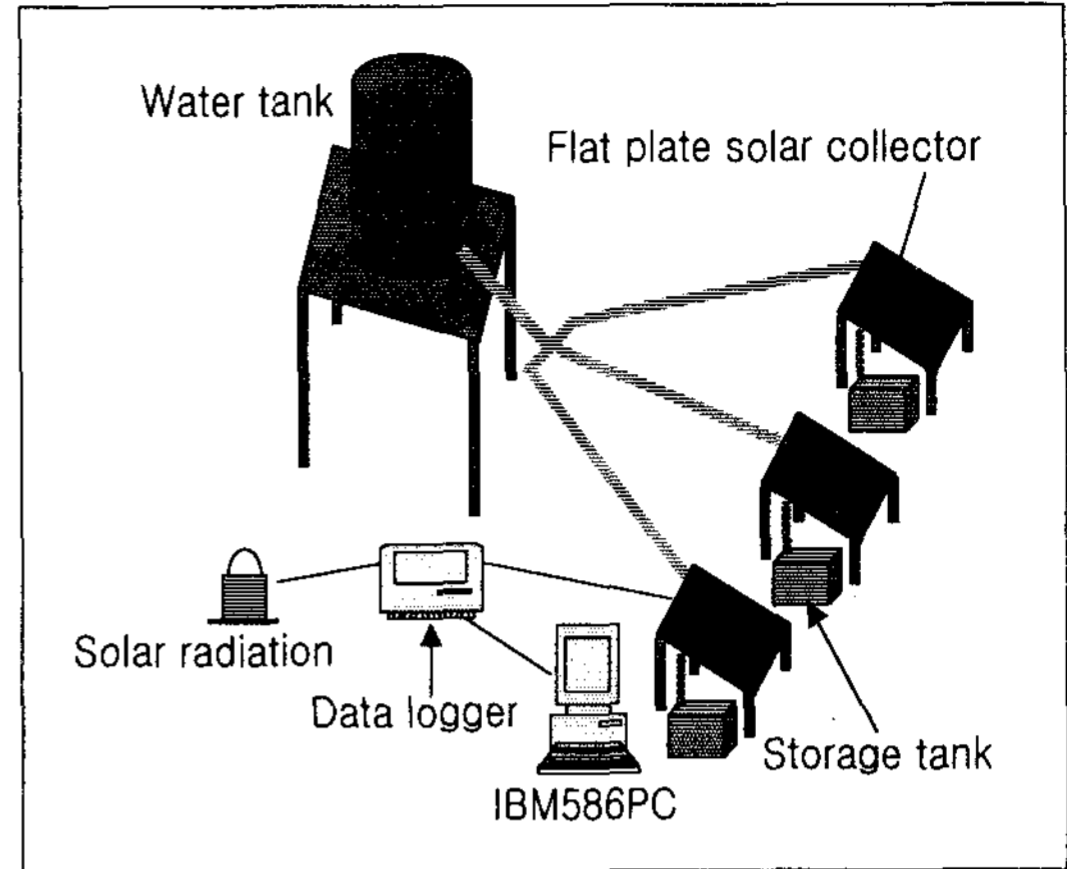


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

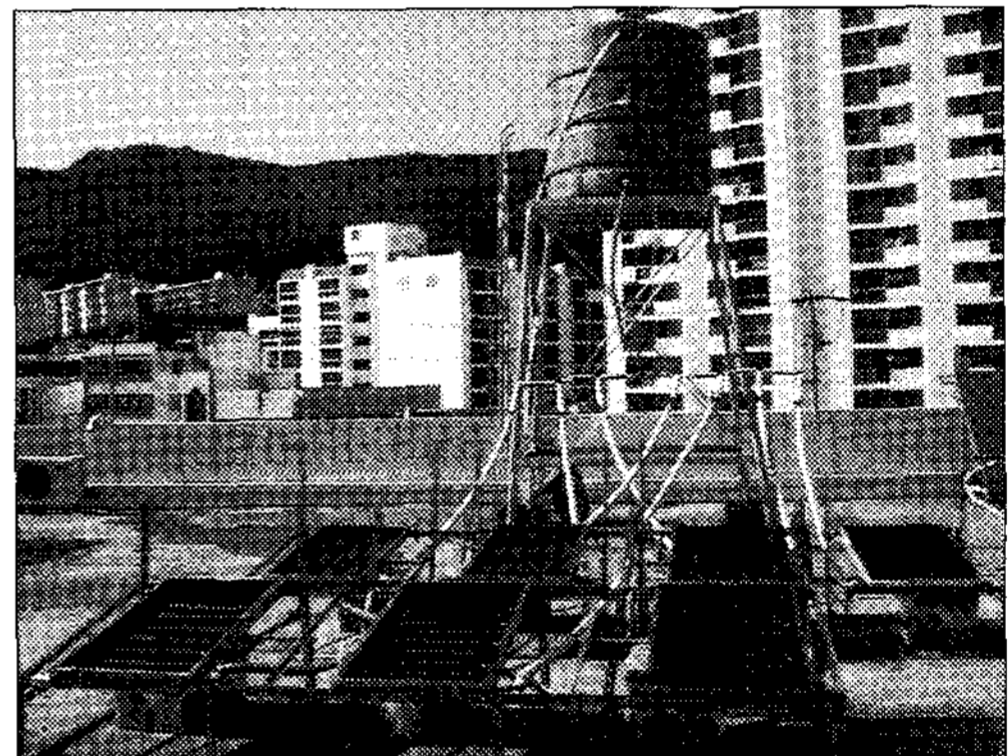


Fig. 2. Photograph of the test apparatus

실험은 경남 통영시(동경 128°16', 북위 34°51')에 위치한 3층 건물의 옥상에서 실시하였으며 지면과 집열기와의 설치각도(β)는 10°, 15°, 20°, 30°로 변경하면서 2000년 7월 17일부터 7월 27일까지 청명한날을 택하여 행하였다. 그림 1에서 보듯이 Data Logger에서 읽은 data를 P/C에서 1분간격으로 처리하였으며, 집열기 입구의 온도와 집열기 출구의 온도를 측정하기 위하여 T-type의 열전대를 사용하였으며 모든 열전대는 Data Logger에 장착하였다. 열전대의 온도 보정을 위해 집열판에 설치하기 전에 측정된 결과 무시할 정도이므로 온도 보정은 하지 않았다. 그림 2는 실험장치의 실제 모습이다.

실험은 오전 11시부터 오후 4시까지 행하였고 집열 매체로는 물을 사용하였으며, 집열기에 공급되는 물은 KS규격품인 XLpipe를 이용하여 공급하였고 공급도중의 열손실 등을 방지하기 위하여 보온처리 하였다. 집열기를 통과한 물은 각각의 축열조에 저장된다. 당일의 일사량을 조사하기 위하여 전천일사계(EKO, Japan : 감도 6.92mV/kw·m²)를 이용하여 일사량을 획득하였다.

집열기는 560×1100을 사용하였고 집열기의 형식은 3가지의 type을 제작하였으며 각각의 형태는 그림 3부터 그림 5에 나타내었다. 집열판에 사용된 지관의 재질과 치수 등은 표 1에 나타내었다. 해상적용이 목적이므로 안전성을 고려하여 유리덮개는 사용하지 않고 실험을 행하였다. 이는 덮개를 사용하지 않은 상태와 덮개를 사용한 상태의 성능을 비교하기 위함이다.

Table 1. Specification of the test collector

	#1	#2	#3
collector area[m ²]	0.54	0.54	0.54
Riser quality	copper	copper	copper
Riser diameter (inside) [mm]	8.1, 13.4	13.4	13.4
Riser length[m]	6.88	5.45	5.1
Absorber plate quality	copper	copper	copper

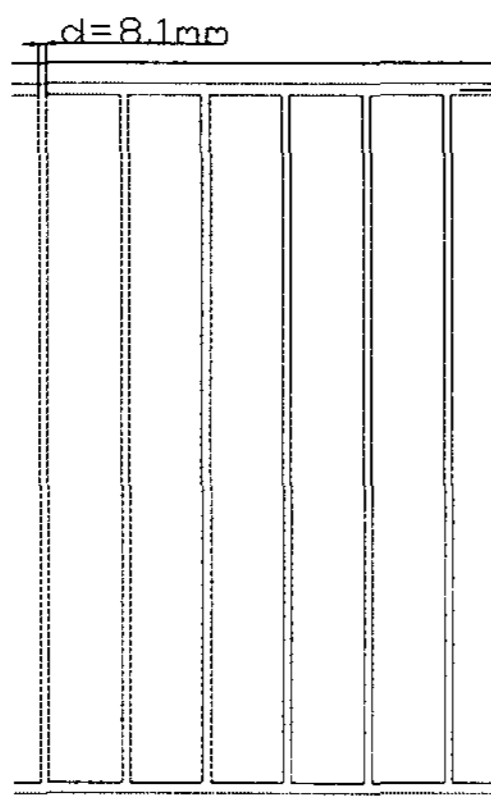


Fig. 3. Test solar collector type at #1

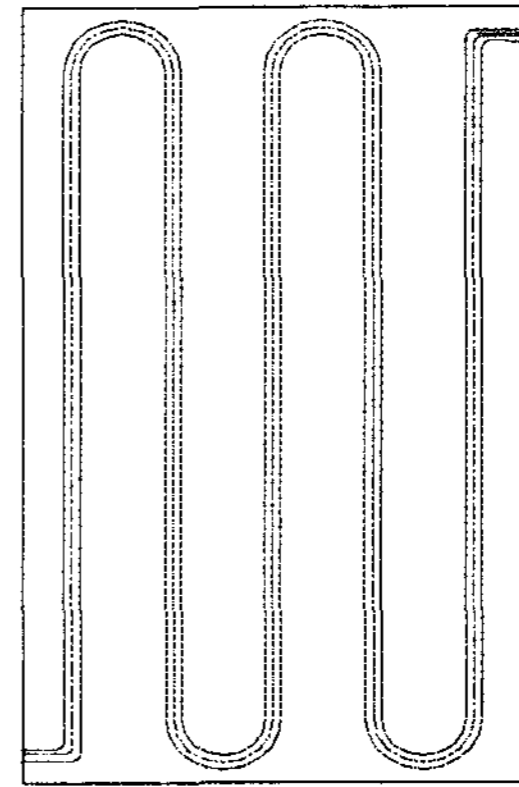


Fig. 4. Test solar collector type at #2

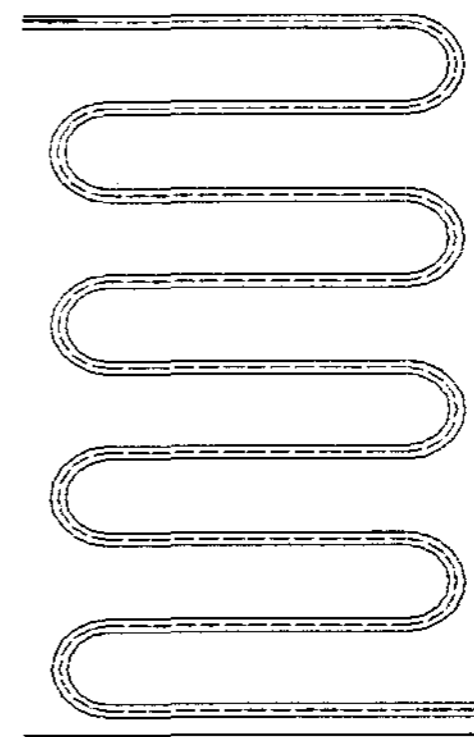


Fig. 5. Test solar collector type at #3

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 집열기 특성 분석

3.1.1 온도 특성

그림 6에서 그림 10까지는 실험을 통해 얻어진 각 각도에 대한 온도 분포이다. 그림 6은 집열판 설치각도 10°일 때의 결과로서 집열판 type #3의 경우가 온도의 상승이 일사량이 가장 높은 오후 12시부터 2시까지 약 50°C까지 상승한 것을 알 수 있다. #2의 집열판은 약 45°C까지 상승하였고, #1의 집열판은 약 40°C까지 상승하였다. 그림 7은 15°일 때의 온도 분포를 나타내는 것으로 이 경우에는 #3의 집열판이 약 55°C까지 온도가 상

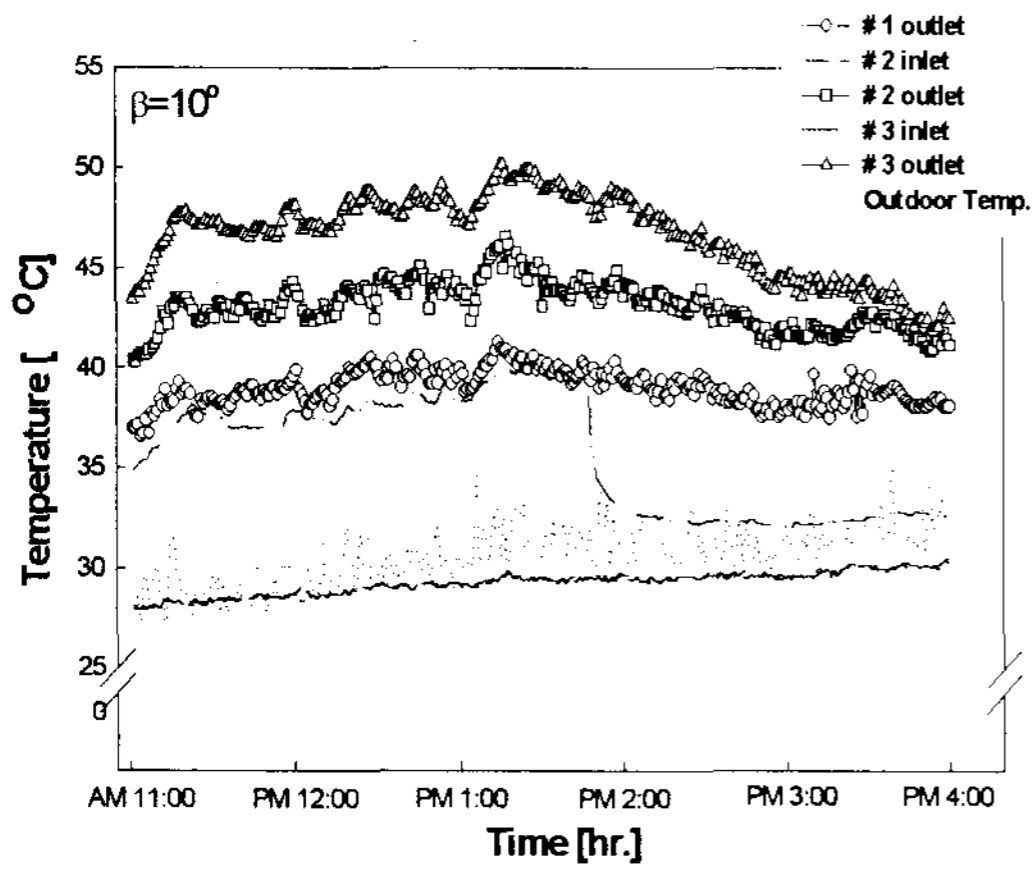


Fig. 6. Temperature distributions of $\beta=10^\circ$

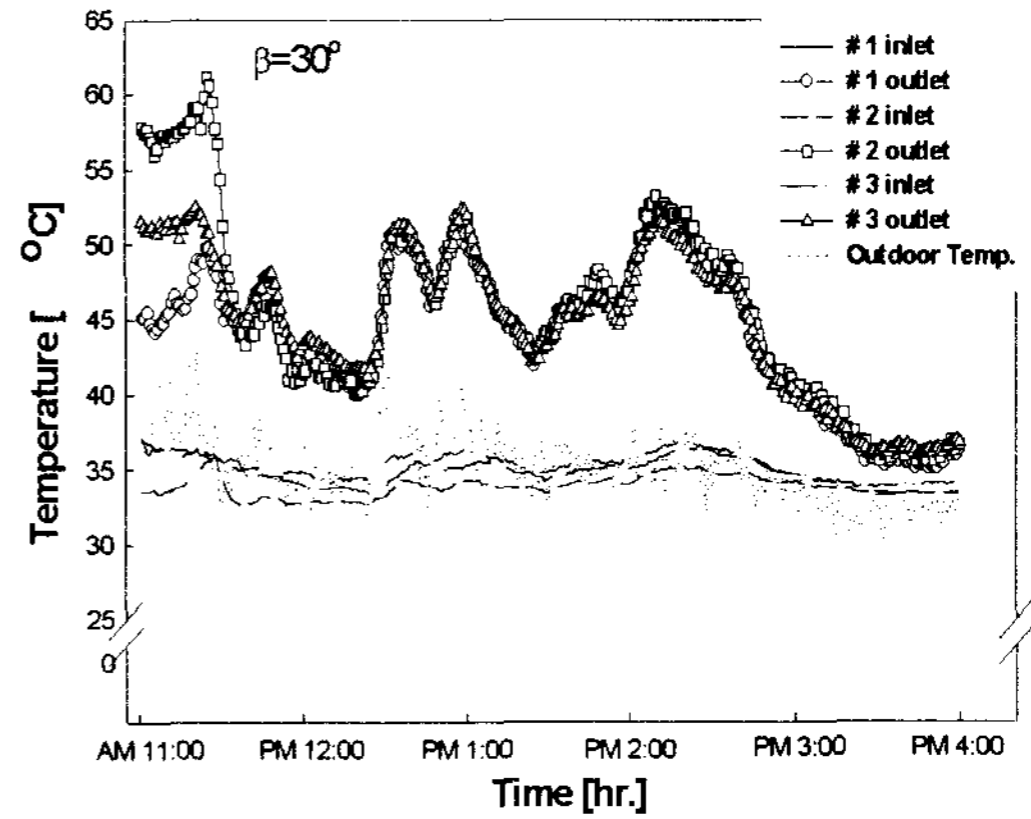


Fig. 9 Temperature distributions of $\beta=30^\circ$

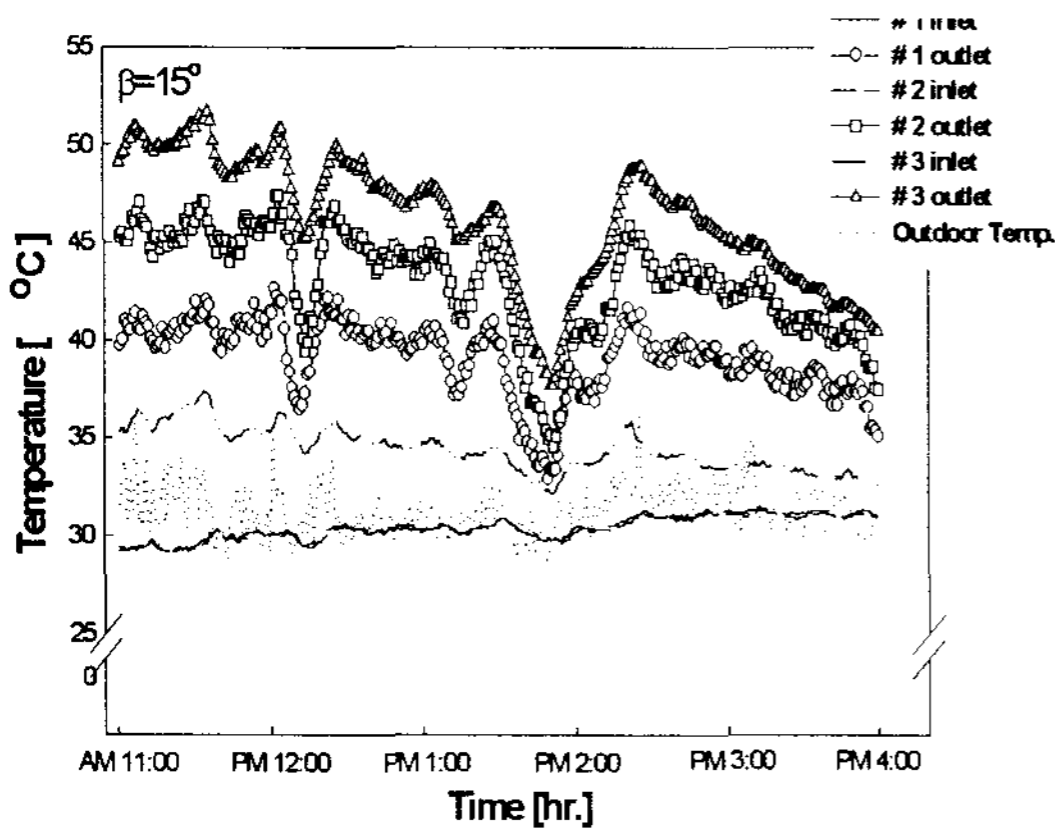


Fig. 7. Temperature distributions of $\beta=15^\circ$

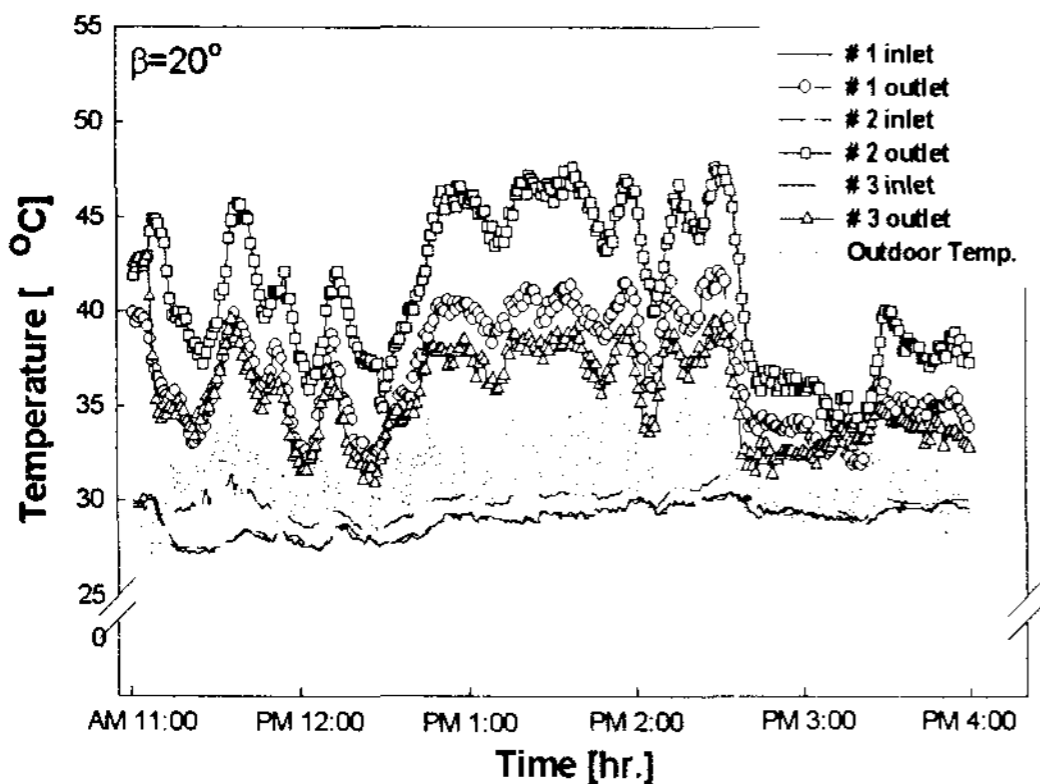


Fig. 8. Temperature distributions of $\beta=20^\circ$

승하였으며 다른 #2의 집열판이 약 47°C, 그리고 #1의 집열판이 42°C까지 상승한 것을 볼 수 있다. 그림에서 오후 12시일 때와 2시를 중심으로 약 1시간 동안 온도 분포가 급격히 하강하는 현상을 볼 수 있는데 이는 일시적인 구름과 바람의 영향을 받아 집열판 표면의 온도가 하강하여 나타나는 현상이다.

그림 8은 설치각도 20°일 때의 온도 분포를 나타내는 그림으로서 일사량이 가장 높은 오후 12시에서 3시 사이에 온도의 상승이 가장 높은 것을 알 수 있다. 20°일 때는 #2의 집열판이 온도 상승이 가장 높은 약 47°C까지 상승하였으며, #2와 #3의 경우는 온도상승이 거의 비슷한 35°C와 40°C사이의 상승을 보였다. 그림 9의 그림은 집열판 설치각도 30°일 때의 온도 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 보면 실험을 시작한지 약 30분 동안만 각 집열판의 온도상승폭이 차이를 보이지만 30분이 지나면서 각 집열판의 온도상승은 거의 비슷한 양상으로 상승하였으며 약 52°C까지의 온도상승이 나타났다.

3.1.2 각도 특성

각도에 대한 실험은 3.1.1에서 언급된 10°, 15°, 20°, 30°에 대해서 행하였다.

각각의 각도를 나타내는 그림에서 알 수 있듯이 온도의 상승은 약 50°C 근처에서 분포하는 것을 볼 수 있다. 일사량이 가장 많았던 10°의 경우 보다는 30°일 때가 온도의 상승은 가장 높는데 이는 10°의 실험 당일에 비해 30°의 실험 당일에 구름과 바람의 영향이 거의 없었기 때문이다. 그리고 30°를 제외한 나머지 각도에서의 각각의 집열판은 온도의 차이가 눈에 띄게 보이지만 구름과 바람의 영향이 거의 없었던 30°일 때는 각각의 집열판이 초기 실험시작 시를 제외하고는 거의 같은 수준의 온도상승을 보이고 있다. 이는 유리덮개를 설치하지 않았으므로 바람의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

3.1.3 지관형태 특성

실험에 사용된 3가지 형식의 집열판의 규격은 동일하며, 다만 지관의 형태에 따른 차이만 있을 뿐이다.

지관의 형태에 따라 실험한 결과 #2의 형태 즉, 수직 곡관의 경우가 성능이 가장 뛰어난 것을 찾을 수 있었다. 일반적인 집열판의 형태인 #1보다 #2가 성능이 우수하게 나왔는데 이는 #1의 경우는 여러개의 분지관으로 이루어졌으므로 초기 유입 순환수가 분배되어 얻어진 온도로서 각 지관의 온도는 동일할 수가 없으므로 최종적으로는 온도의 하강이 있을 수 있지만 #2의 경우는 하나의 단일관으로 형성되어 있으므로 지관을 통과하는 동안 동일한 열을 받아 상승한 온도이므로 #1의 경우보다 다소 높은 온도를 얻을 수 있었다고 판단된다.

3.1.4 열량과 효율

그림 10에서 그림 13까지는 실험에 의해 구해진 데이터를 이용하여 각 집열판에 대한 평균 열량을 구하였다. 이 열량은 식(4)를 다음과 같이 재 정의하여 사용하였다.

$$Q = G \cdot C_p \cdot \Delta T / AL \quad (6)$$

여기서, L은 집열관의 총길이이며, A는 집열관의 내부 단면적이다. 그림의 #1(직관)의 집열판은 관의 총 길이는 6.88m이다. #2(수직곡관)의 관의 총 길이는 5.45m이고 #3(수평곡관)의 관의 총 길이는 5.11m이다.

그림 10은 $\beta=10^\circ$ 일 때의 평균열량으로서 #2의 집열판의 열량이 약 120000kcal/m³hr로 가장 높게 나타나고 있다. Fig.11은 $\beta=15^\circ$ 일 때로서 그림 10과 같이 #2 type이 약 100000kcal/m³hr로 가장 좋은 성능을 보이고 있다. 그림 12는 $\beta=20^\circ$ 일 때로 역시 #2 type의 집열판이 약 100000 kcal/m³hr로 가장 좋은 열량을 보이고 있고 #3 type 또한 거의 비슷한 수준의 열량을 나타내고 있다.

그림 13 $\beta=30^\circ$ 의 경우로 그림 12의 경우와 동일한 형상을 하고 있으며 열량은 약 80000 kcal/m³hr를 나타내고 있고 #3의 집열판이 거의 비슷한 수준의 열량을 보이고 있다. 그림 14는 집열판 경사각도에 따른 집열 성능을 나타내고 있고, 이는 그림 15의 측정 당일 일사량을 포함하고 있다. 따라서, 각 경사각도변화에 대한 고려는 일사량이 각각 다르기 때문에 일률적인 비교는 곤란하다. 그러나 동일 경사각(일사량)에 대하여서는 전반적으로 #2의 집열 성능이 우수함을 알 수 있다.

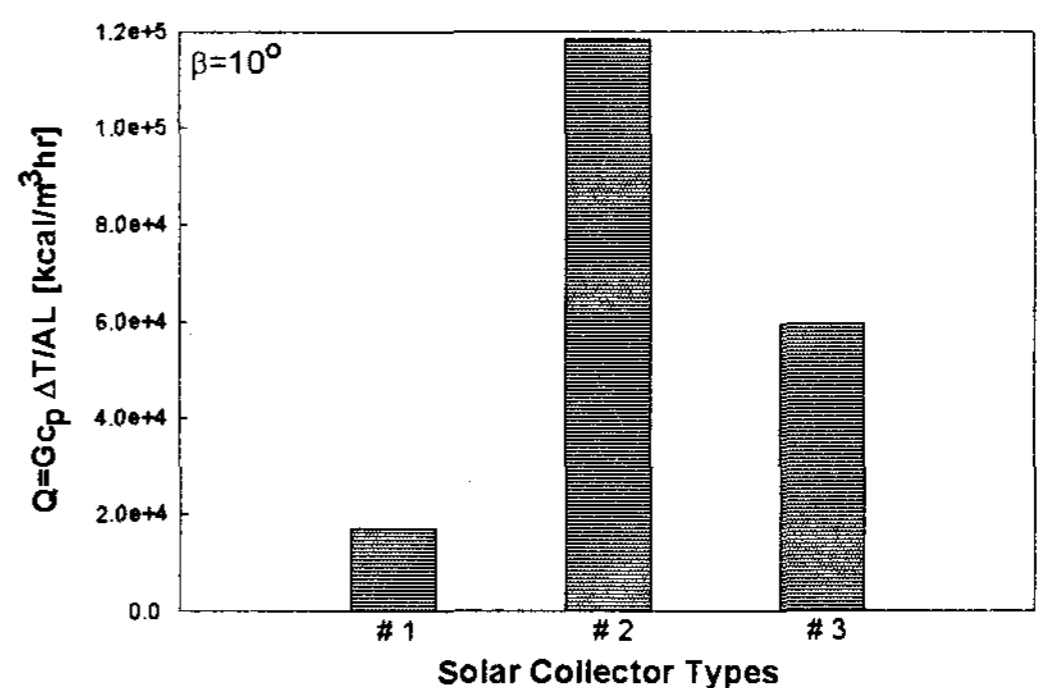


Fig. 10. Solar collector performances for various collector type in case of $\beta = 10^\circ$

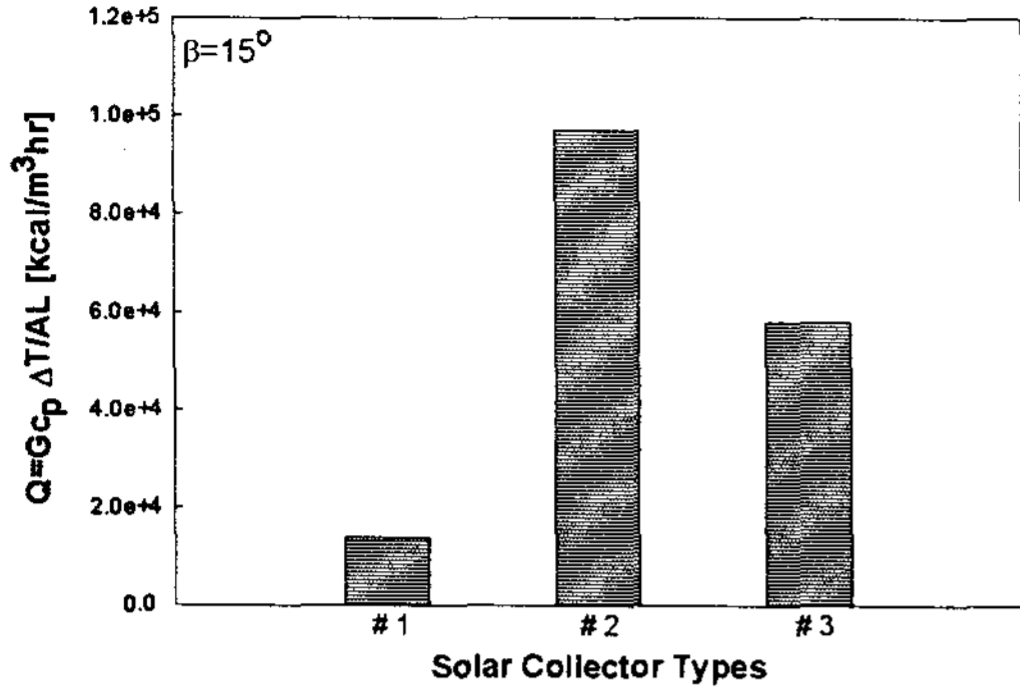


Fig. 11. Solar collector performances for various collector type in case of $\beta=15^\circ$

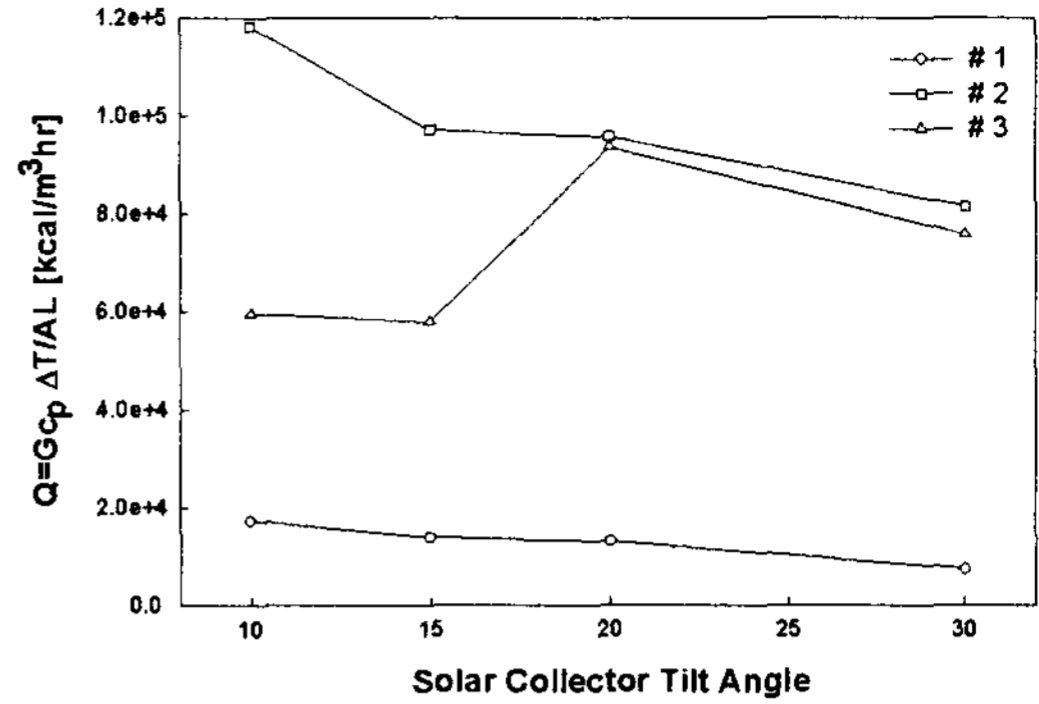


Fig. 14. Solar collector performances for various collector tilt angle

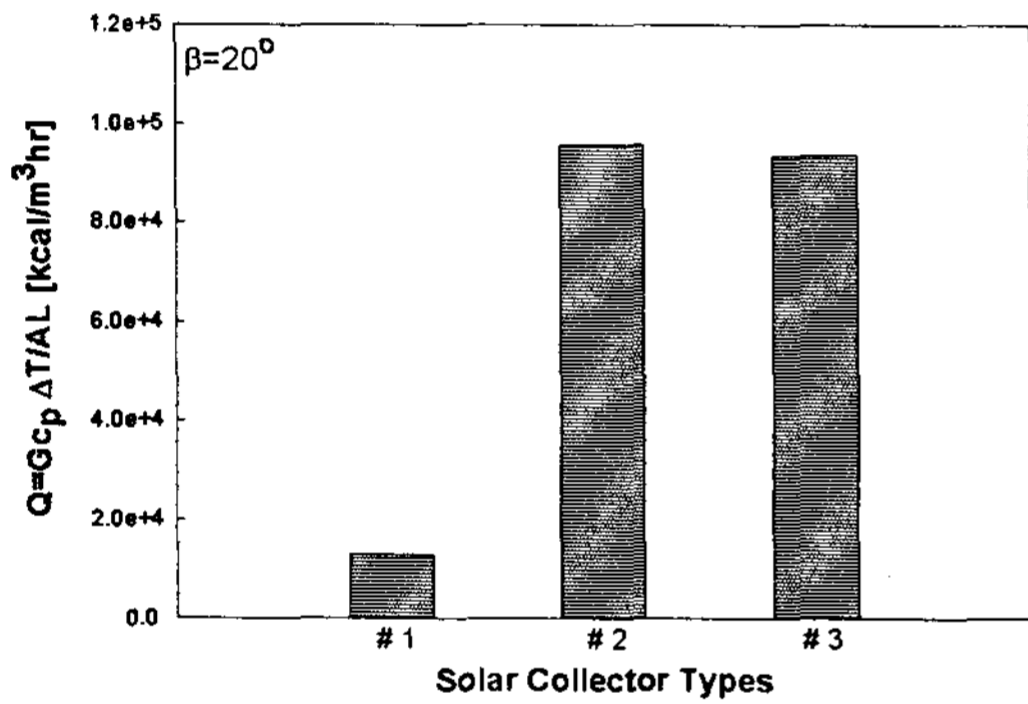


Fig. 12. Solar collector performances for various collector type in case of $\beta=20^\circ$

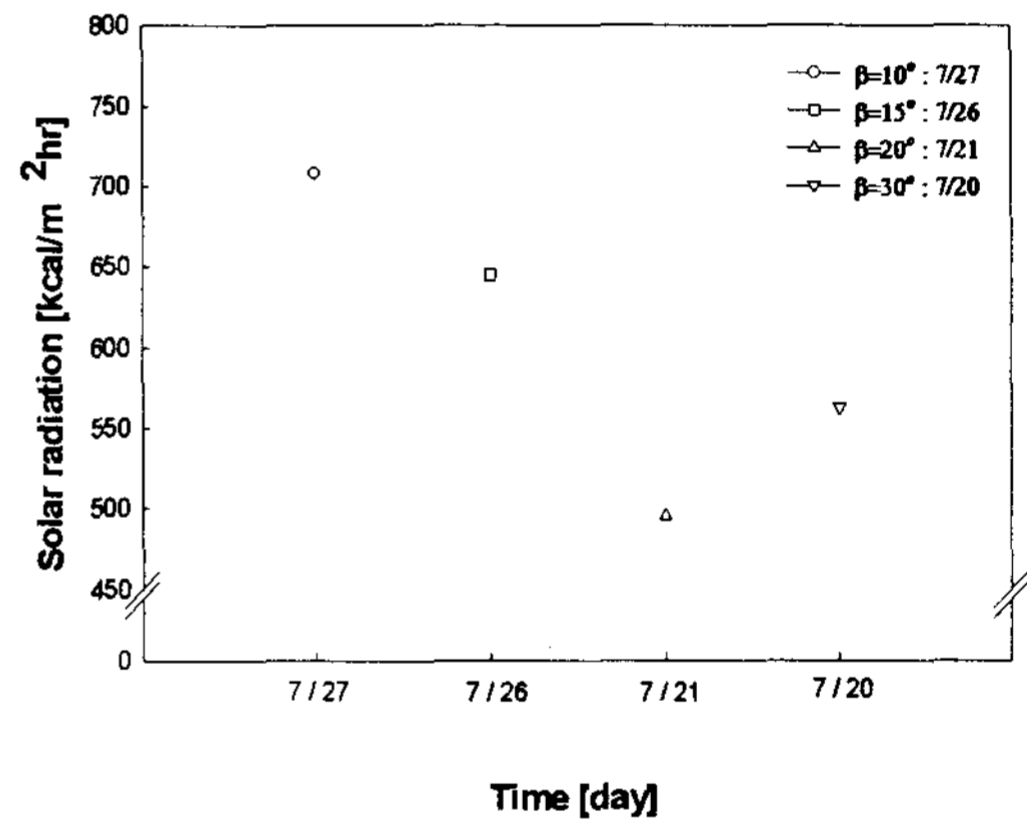


Fig. 15. Solar radiation distributions of experiment period

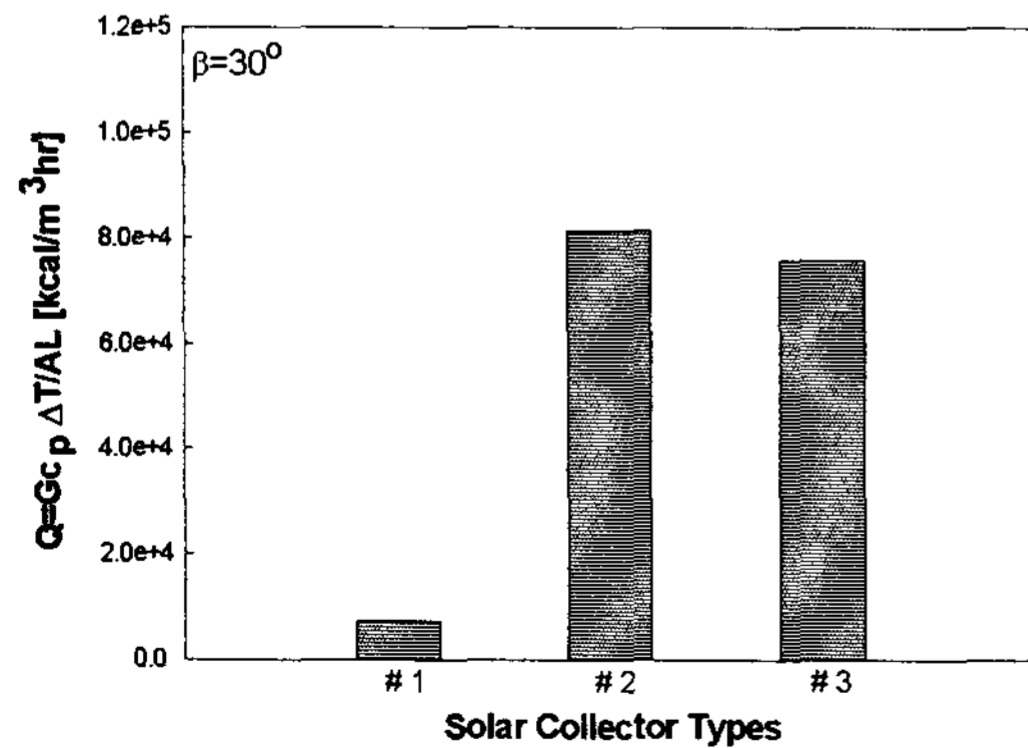


Fig. 13. Solar collector performances for various collector type in case of $\beta=30^\circ$

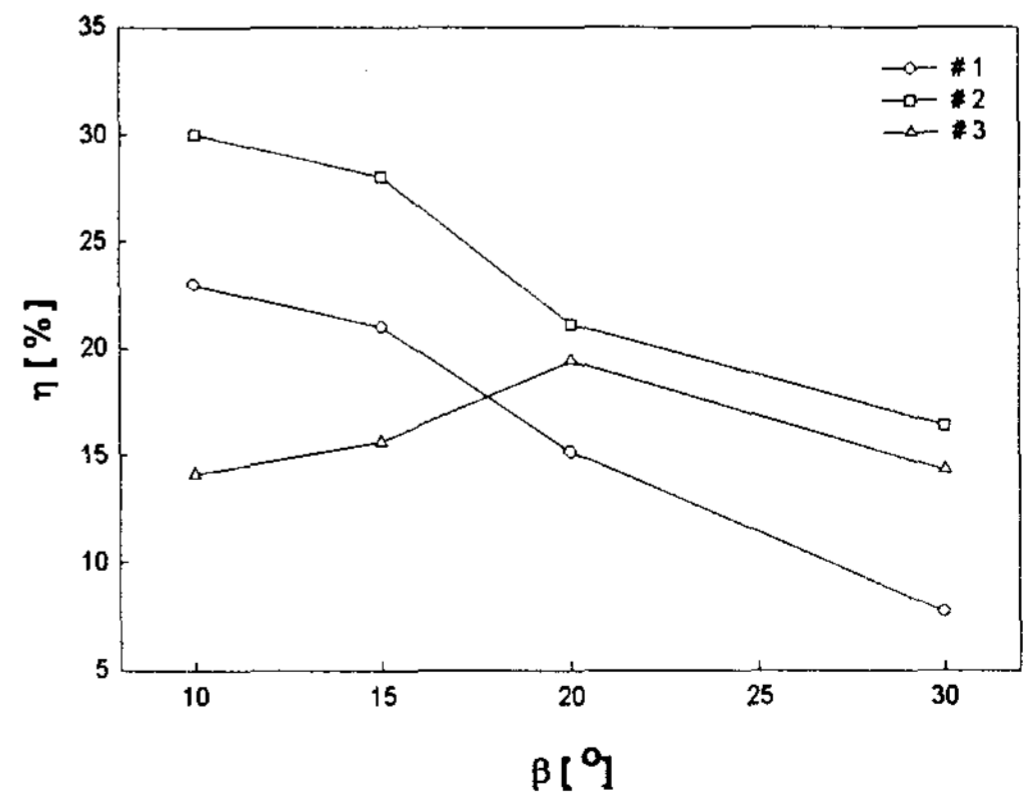


Fig. 16. Efficiency distributions of β

집열기 효율은 입사되는 태양에너지에 대한 사용할 수 있는 유용한 열에너지의 비로 나타내며, 앞에서 언급된 식(5)에 의해 구하였다.

그림 15는 실험 당일의 일사량 분포를 나타내는 그림으로서 평균일사량을 표시하고 있다.

그림 16은 각도에 따른 각 집열판의 평균효율을 구하였다. 그림에서 나타난 것처럼 #1, #2의 집열판은 설치각도가 15°보다 큰 20°, 30°가 될수록 효율이 낮아지는 것을 알 수 있다. #1과 #2의 경우는 설치각도 10°일 때가 각각 효율이 23%와 30%로 가장 좋은 효율을 보였고 #3의 집열판은 설치각도 20°일 때 가장 좋은 효율 19.4%를 나타내었다.

4. 결 론

1. 강제 대류형인 경우에는 여러 개의 지관을 가지는 직관보다는 단일관으로 구성되는 곡관이 직관에 비해 집열 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다.
2. 집열판 설치각도는 작을수록 태양 일사를 많이 흡수할 수 있다는 것이 강제 대류형에 관해서도 유효하다.
3. 곡관의 경우 수평곡관보다는 수직곡관이 15°이하의 각도에서는 약 2배 정도 집열 성능이 우수하였고 15° 이상의 각도에서는 수평곡관과 수직곡관의 경우는 거의 동일한 성능을 나타내었다.
4. 온도의 경우는 설치각도 30°일 때 #2의 경우가 62°C, 열량의 경우 설치각도 10°일 때 #2가 118199.1kcal/m³hr로 가장 좋게 나타났다.
5. 겨울철에 태양열을 보다 유용하게 사용하려면 한다. 즉, 이 시기에는 집열판이 어느정도 경사각도를 가져야하므로 경사 각도 20° 이상의

전영역에서 직관보다는 단일관인 곡관이 집열 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

6. 본 실험에 사용한 집열판 모델 #2의 경우 집열판 설치각도 10°일 때 효율은 30%, 열량은 118199.1kcal/m³hr로 최대 성능을 나타내었다.

후 기

본 연구는 해양수산부 '98수산특정 연구과제'의 연구비 지원과 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 연구된 결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. S. Chung and S. H. Yoo, "A study on the state of the art and the future utilization prospect of natural energy resources", Solar energy, Vol. 16, No.2, 1996, pp.15~37.
2. D. G. Ko and S. J. Yoon, "Analysis of an inner flow of duct using flat-plate solar collector", Proceedings of the SAREK, 2000, pp. 280~284.
3. K. Bai, S. H. Cho, S. M. Lee, "The measurements instantaneous efficiency & calculation of all-day efficiency of the concentrating solar collector." Solar energy, Vol. 5, No.1., 1985, pp.22~35.
4. Y. H. Kang and Y. S. Yang, "Development of solar technology in Korea", Solar energy, Vol. 18, No.2, 1998, pp.1~17.
5. "The Korean Solar Energy Society", 1991, Solar Energy handbook, pp.292~295.