

碩士學位論文

진공복사관식 집열기의 최적성능에
대한 實驗的 研究



에너지工學科

姜 尙 勳

2001년 12월

진공복사관식 집열기의 최적성능에 대한 實驗的 研究

指導教授 千 院 基

姜 尙 勳

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 12月

姜 尙 勳의 工學碩士學位 論文을 認准함

審查委員長 李 憲 周 印

委 員 千 院 基 印

委 員 姜 龍 燮 印

濟州大學校 大學院

2001年 12月

Experimental Study on the Optical Performance of Evacuated Solar Collectors

Sang-Hoon Kang

(Supervised by professor Won-Gee Chun)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF
ENGINEERING

DEPARTMENT OF NUCLEAR AND ENERGY ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2001. 12.

목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	v
SUMMARY	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	6
1. 열효율 이론	6
1) 흡수열	7
2) 열손실	8
2. 집열성능	8
III. 실험장치 및 실험방법	12
1. 실험장치	12
1) 평판형 집열기	12
2) SUNDA社의 진공복사관식 태양열 집열기	13
3) All Glass Evacuated Tube 태양열 집열기	17
4) 데이터 수집 및 장치	21
2. 실험방법	21
IV. 실험결과 및 고찰	29

1. 데이터 분석	29
1) 유량에 따른 시스템 분석	29
2) 온도에 따른 시스템 분석	30
3) 시스템 비교	37
VI. 결 론	42
참 고 문 헌	44

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Graph of the collector efficiency	10
Fig. 2. Schematic of a flat plate collector	13
Fig. 3. Performance test of SEIDO collectors	15
Fig. 4. Schematic of a SEIDO 2 collector	16
Fig. 5. Schematic of the installed SEIDO 2	16
Fig. 6. All glass evacuated tube	18
Fig. 7. System configuration of all glass evacuated collectors with water-in-glass manifolds	20
Fig. 8. Experimental apparatus	22
Fig. 9. Geometry of modeling system	23
Fig. 10. Temperature contour at 5 seconds	24
Fig. 11. Temperature contour at 50 seconds	24
Fig. 12. Temperature contour at 150 seconds	25
Fig. 13. Temperature contour at 255 seconds	25
Fig. 14. Temperature contour at 455 seconds	26
Fig. 15. Temperature contour at 550 seconds	26
Fig. 16. Temperature contour at 680 seconds	27
Fig. 17. Photograph of the installed all glass evacuated tube system ·	28
Fig. 18. Photograph of the installed SEIDO 2 system	28
Fig. 19. Test results of the all glass evacuated tube(flow rate: 4 ℓ/min)	31
Fig. 20. Test results of SEIDO 2(flow rate: 2 ℓ/min)	31
Fig. 21. Insolation	32
Fig. 22. Test results of the all glass evacuated tube(flow rate: 3 ℓ/min)	33

Fig. 23. Test results of SEIDO 2(flow rate: 3 ℓ /min).	33
Fig. 24. Insolation	34
Fig. 25. Test results of the all glass evacuated tube(flow rate: 2 ℓ /min)	35
Fig. 26. Test results of SEIDO 2(flow rate: 4 ℓ /min)	35
Fig. 27. Insolation	36
Fig. 28. Test results of the all glass evacuated tube	38
Fig. 29. Test results of SEIDO 2	38
Fig. 30. Test results of the direct flat plate collector	39
Fig. 31. Insolation	39
Fig. 32. Test results of the all glass evacuated tube	40
Fig. 33. Test results of SEIDO 2	40
Fig. 34. Test results of the direct flat plate collector	41
Fig. 35. Insolation	41

LIST OF TABLES

Table 1. Efficiency of SEIDO collectors	14
Table 2. Specifications of all glass evacuated tube	19
Table 3. Results of experimental data	43
Table 4. Comparison of experimental data	43

SUMMARY

This work has been carried out to find the ideal operating conditions for solar vacuum tube collectors which are widely used at present. Various types of solar collectors including a flat plate one were experimentally tested and examined to determine their thermal efficiencies and operating characteristics. Generally, solar vacuum tubes can be classified into two groups according to their design features. Of these, one is characterized by the insertion of a metallic device (such as a finned heat pipe) in an evacuated glass tube for the collection and transportation of solar energy. The other utilizes double glass tubes where the smaller one is contained inside the bigger one and soldered to each other after the small gap between them is evacuated. Both of these solar collectors are designed to minimize convection heat losses by removing the air which is in direct contact with the absorber surface. The performance of the former type can be readily analyzed by applying the relevant correlations developed for flat plate solar collectors. This has been demonstrated in the present study for the case of a solar collector where a heat pipe is inserted in an evacuated tube.

I. 서 론

무한한 에너지원인 태양열을 이용한 시스템을 건물의 냉·난방에 적용하기 위한 많은 연구와 개발이 진행되어 왔다. 우리 나라의 연간 에너지소비량의 40% 정도가 건물 및 상업 부문에서 소비되고, 경제 발전으로 인한 생활 수준이 향상됨에 따라 그 소비량도 증가하는 추세이다. 현재 계속적으로 유가의 변동이 심하여 거의 모든 에너지를 수입에 의존하는 우리나라로서는 그로 인한 경제적인 활동이 위축되어지고 있다고 볼 수 있다. 에너지 의존도를 줄이고 공해를 줄이는 환경적인 측면을 고려하더라도 태양열, 풍력등의 대체 에너지를 개발하는 것이 바람직할 것이라고 본다. 또한 이러한 대체 에너지 분야에 대해 국가적인 관심과 체계적인 지원이 이루어지고, 국민적인 신뢰도를 쌓아간다면 장기적으로 태양열의 이용은 기존의 에너지를 대신할 수 있는 무한한 잠재력을 갖게 될 것이다.

현재 온수 급탕 및 건물의 냉·난방에 이용되고 있는 태양열 시스템은 에너지를 전달하고 저장하는 방식에 따라 자연형(passive system)과 설비형(active system)으로 나뉘어 진다.

설비형 태양열 시스템은 기계적 장치들을 이용하여 시스템을 구동시키는 것으로, 태양열 집열기, 축열조, 펌프, 제어장치로 구성되어 있다. 이 시스템의 경우 기계 계통을 작동시키기 위해서 별도의 전력 공급을 필요로 하지만, 시스템 각 계통을 제어함으로써 시스템의 효율을 높이고 대규모 설비가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

자연형 태양열 시스템은 자연순환, 즉 열전도, 대류 및 복사 현상에 의해 에너지 전달이 이루어지므로 특별한 기계 장치 없이 태양열 에너지를 자연적인 방법으로 열을 저장하여 이용할 수 있도록 한 장치이다. 이 시스템은 경제성이 높은 것은 물론이고 고장이 잘 안 나고 오래 쓸 수 있으며 관리가 쉽다는

장점이 있으나, 열의 순환을 원하는 대로 조절하기가 어렵고, 원하는 만큼의 열만 공급 받을 수 있도록 제어하기 어렵다는 단점이 있다. 자연형 태양열 시스템은 그것을 건물에 적용하는 방법에 따라 직접 획득형, 분리 획득형, 축열 벽형으로 구분되어 진다.

직접 획득형은 남향면의 집열창을 통하여 겨울철에 많은 양의 태양 에너지가 실내로 들어오게 설계한 형태로 실내 바닥이나 벽에 열에너지로 태양 에너지를 저장하여 야간이나 흐린 날에 난방에 이용하게 된다. 실내의 난방이 태양의 직사광에 의하여 직접 이루어지는 방식이다. 하절기에는 태양열의 차단을 위해 적정 길이의 차양설치 및 투명창의 단열 덧문 설치하고, 동절기에는 남측의 집열창으로 들어온 태양열을 실내의 바닥 및 내벽에 저장해 야간이나 흐린날에 이용하게 된다.

분리 획득형은 실내로부터 떨어져 있거나 단열된 집열부를 두고 난방이 필요할 때 독립된 대류 작용에 의하여 그 효과를 얻도록 한 것이다. 하절기 과열방지를 위한 단열커튼 및 개폐용 창문을 설치하고, 동절기에는 부착온실에 태양열을 집열, 축열하여 인접 실내공간의 난방에너지로 이용하는 방식이다.

축열벽형은 태양의 열에너지를 별도의 구조물 벽이나 물벽에 축열한 다음 자연 순환에 의해 실내의 난방 효과를 얻도록 한 방식이다. 즉 태양과 실내 공간 사이에 집열창을 바로 앞에 둔 축열벽을 설치하여 주간에 집열된 태양열이 서서히 방출되도록 설계한 것으로 실내 난방은 태양 에너지의 간접 이용으로 이루어진다. 하절기에는 축열벽 전면에 개폐용 창문을 설치하고 적정 길이의 차양을 설치하고, 동절기에는 축열벽을 설치하여 전도, 대류, 복사와 같은 열전달 효과 및 자연대류현상에 의한 난방에너지를 이용하게 된다.

지금까지 연구되고 개발되었던 태양열 냉·난방 시스템들은 아직까지도 여러 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫째가 경제적 안정성과 신뢰성이 낮다는 것이다. 현재의 화석 연료나 계통 전력을 사용하는 것보다 초기 투자비용이 비싸고, 정부지원을 이용한 부실업체의 난립으로 태양열에 대한 인식이 나빠

져서 시장이 축소되고 있다는 것이다. 둘째는 냉·난방 공조설계의 개념이 부족하여 어느 한쪽에 치중하다보면 연간 사용하는 기간에 제약을 받는다는 것이다. 셋째는 공간 배치와 외관에 관한 문제이다. 기존 건물에 설치하는 경우가 대부분이므로 건물의 공간이용에 다소 무리를 주게 되며, 외관상의 문제가 발생한다는 것이다.

위에서 언급한 문제점들로 인해 무한한 에너지원인 태양열의 이용에 있어서 많은 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 이 연구에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법을 찾고자 진공복사관식 집열기를 이용한 시스템 구성과 적절한 시스템의 사용에 주안점을 두었다. 그중에서도 태양열 집열 시스템의 핵심인 집열기를 비교분석하는데 많은 부분을 할애하였다.

가정용 온수 급탕에 사용되는 평판형 집열기는 최고 집열 온도 80℃ 정도의 한계를 가지고 있다. 절대적인 대체 효과가 큰 부분은 산업 공정열이라고 할 수 있는데, 태양열을 산업용 열원으로 이용하기 위해서는 80℃에서 120℃의 중온 범위가 필수적이다. 현재 국내에서 사용되고 있는 평판형 집열기는 초기 투자 비용면에서 진공복사관식 태양열 집열기에 비해 저렴한 편이나, 겨울철에 난방용수와 온수사용이 증가하는 국내환경에는 맞지 않기 때문에 그 이용면에서는 미비한 실정이다. 반면, 진공복사관식 집열기의 경우 태양복사광에서 직달성분과 산란성분 모두 유효하므로 산란성분이 많은 국내의 경우 유리하다는 점이다. 또한 진공기술을 사용함으로써 흡수면에서의 대류 열손실을 획기적으로 줄일 수 있으며, 설치 면적을 30%가량 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

집열기의 종류는 전열 매체의 종류에 따라 구분하면 액체식 및 공기식의 두 가지로 구분된다. 집열기의 집열 방법 및 집열기의 형태에 의해서 구분하면 평판형 (flat plate collector), 진공관식(evacuated tubular collector), 집중식 (concentrating or focusing collector)등의 집열기가 있다. 태양열 집열기에서의 에너지 전환은 흡열부에 태양 복사 에너지가 흡수되어 이 자체가 가열되

면, 곧 열전달 매체에 열이 전달됨으로써 이루어진다. 가용 열에너지는 현열(sensible heat) 또는 잠열(latent heat) 형태로 나타나며 이를 이용하기 위하여 열전달 매체를 자연순환(natural convection) 또는 강제순환(forced circulation) 시켜 준다.

본 연구에서 기존의 직접식 태양열 온수기 그리고, 진공복사관식 태양열 집열기를 이용한 태양열 시스템을 비교하였다. 여기에 사용된 진공복사관식 태양열 집열기는 그 디자인에 따라 크게 2가지로 분류될 수 있는데 그 하나는 진공튜브안에 태양열 집열을 위한 금속성의 핀(fin)이 부착된 장치를 설치한 것이고, 다른 하나는 진공 튜브를 이중으로 제작하여 안쪽 튜브가 태양열의 집열을 피할 수 있도록 한 것이다. 물론, 전자나 후자 모두 태양열의 집열을 극대화하고 주위로의 열손실을 최소화하고자 고안된 공통점이 있으나 집열된 열은 그 형태에 따라 다양한 방법으로 이용부로 이동되게 된다. 전자의 경우, 태양에너지의 집열은 평판형 태양열 집열기의 핀효율(fin efficiency) 등 집열 이론을 그대로 적용하여 열해석을 유도할 수 있으며 그 대표적인 case가 진공관 안에 구리 핀이 부착된 히이트 파이프가 삽입된 형태이다. 진공관식 태양열 온수 시스템의 특징은 기존의 평판형 집열기에서 최고 80℃ 정도의 온수를 얻을 수 있는데 비해 진공관식 집열기의 경우 가압시 100℃ 이상의 중고온 범위까지 온도를 높일 수 있다. 즉, 가정용 온수 시스템뿐만 아니라 대량설치를 통해 산업용으로도 이용이 가능하다는 것이다. 또한, 중국, 미국, 일본, 호주 등의 국가와 유럽 각국에서도 그 이용이 증가하고 있으며, 진공복사관식 집열기의 개발에도 많은 연구와 투자를 하고 있다. 현재 규모면에서는 중국이 가장 거대한 시장을 형성하고 있는데, 연간 1000만개 정도의 집열튜브를 소비하고 있다. 이렇듯 시장성에 있어서도 그 가치가 높아지고 있으며, 경제적인 측면에서도 그 이용성이 높다고 할 수 있다.

본 논문은 현재 널리 보급되고 있는 평판형 태양열 집열기와 진공복사관식 태양열 집열기의 다양한 형태와 특징 그리고 그 열성능에 대한 분석을 통하

여 향후 진공복사관식 집열기의 효율적인 보급을 위한 최적안을 모색하고, 국내 기후에 맞는 효과적인 태양열 시스템을 구성하기 위함이다.



II. 이론적 고찰

진공관식 태양열 집열기는 집열 시스템의 대류에 의한 열손실을 진공 단열을 통하여 획기적으로 줄인 것으로 기존의 평판형 집열기에 비해 그 집열효율이 30% 이상까지 향상시킬 수 있도록 설계된 것이다. 진공관식 태양열 집열기는 특히 그 유형에 따라 정도의 차이는 있으나 작동 온도의 범위가 190℃까지 이론적으로 가능하며 이는 가압식으로 시스템을 운영할 수 있기 때문이다.

집열 효율과 집열 성능은 집열기에 따라 다소 차이가 나는데 그 이론적 산술치는 다음과 같은 가정 및 수식(equations)을 이용하여 체계적으로 구할 수 있다.



1. 열 효율 이론

안정된 상태하에서 어떤 주어진 시간 동안에 태양열 집열기가 취득한 에너지는, 흡수판에서 흡수한 에너지와 주위로 손실된 에너지와의 차이이다. 이와 같은 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다.

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

여기서

Q_w : 집열 에너지(kcal/hr)

A_a : 집열 면적(m^2)

I_t : 집열면 일사량(kcal/hr · m^2)

τ : 투명덮개 투과율

a : 흡열판 흡수율

U_L : 열손실계수 ($kcal/hr \cdot m^2 \cdot ^\circ C$)

\bar{t}_p : 흡수판 표면의 평균 온도 ($^\circ C$)

t_a : 외기 온도 ($^\circ C$)

집열판의 성능을 크게하려면 위의 식 (1)에서 $I_t \tau a$ 값을 최대한으로 크게 하고, $U_L(\bar{t}_p - t_a)$ 값을 최소로 줄일 수 있도록 설계하고, 가동 조건도 적절히 선택하면 된다.

이와 같이 집열기의 성능은 태양열의 흡수량과 집열기로부터의 열손실 등 두 가지 요소에 의해 좌우된다.

1) 흡수열



태양열을 흡수할 수 있는 양은 다음과 같은 요소에 의해 결정된다.

(a)경사진 집열판에 입사되는 입사 광선의 양 : 경사각에 따라 변한다.

(b)흡열판 표면의 광선 흡수율(a) : 집열기 전체의 효율은 이 흡수율에 의해서 많이 좌우되며, 금속 산화물과 대부분의 흑색 페인트는, 그 흡수율이 95% 가량이다. 가장 흔한 흡열 표면은 내열 페인트를 칠한 후 열처리를 하는 것이다.

(c)유리 덮개판의 광선 투과율(τ) : 유리의 광선 투과율은 유리의 질과 입사 광선이 유리 표면에 도달할 때에 표면과 이루는 각도에 의해 달라진다. 보통 유리 한 장이 반사시키는 양은 직사 광선의 약 8% 정도이다. 유리 속의 불순물 특히 철분은 광선을 흡수하므로 철분이 적은 유리를 사용하면 광선을 거의 다 투과시킬 수 있다. 현재 시판되는 유리의 투과율은 양호한 것이 약 80% 내외이다.

2) 열손실

집열기의 열손실은 다음과 같은 요소에 의해서 결정된다.

- (a) 유리 덮개판의 수 : 대류와 복사에 의한 열 손실을 줄이기 위해 하나 또는 두 겹의 유리와 같은 투명한 덮개판을 금속 흡열판 위에 놓게 된다. 즉, 흡열판과 유리 사이의 공기를 가두어 덤으로써 대류에 의한 열 전달을 막아 전체 열 손실 계수(U_L)를 적게 할 수 있다. 특히 유리는 흡열판으로부터 방사되는 장파장의 열 복사를 막을 수 있다.
- (b) 집열기 아랫면 및 옆면의 단열 : 집열기의 아랫면과 옆면으로부터 많은 열을 잃게 되므로 단열을 철저히 해야 한다.
- (c) 흡열판의 평균 온도 : 식 (1)에서 보면 흡열판의 온도와 외기 온도와의 차이가 적을수록 열 손실도 적어짐을 알 수 있다. 그러나 주위 공기의 온도는 조절할 수 없으므로 흡열판의 평균 온도를 조절해야 한다. 이 흡열판의 온도는 집열기의 설계 및 그 작동방법에 관계된다. 가장 중요한 요소는 집열기를 흐르는 전열 매체의 유속, 유체의 종류, 집열기로 들어올 대의 전열 매체의 온도, 흡열판의 열전도도 등이다.

2. 집열 성능

태양열 가용 집열량(useful energy gain) Q_w 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 평균 온도 대신 쉽게 알 수 있는 집열기 입구 온도로 바꾸고, 집열 효율 수정 계수 F_R 을 사용하며 식 (1)을 식 (2)로 표현될

수 있다. 태양열 시스템에서 유체의 온도는 쉽게 측정될 수 있으며, 액체식 집열기의 흡열관 온도는 집열기 입구의 유체 온도보다 5℃ 내지 10℃가 높고, 공기 식의 경우는 20℃ 내지 30℃ 높다.

$$Q_w = F_R A_C [I_t \tau a - U_L (t_i - t_a)] \quad \dots \dots \dots (2)$$

t_i : 집열기 입구의 열 매체 온도 (℃)

F_R : 집열 효율 수정 계수

식 (2)를 태양열 집열 효율식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{Q_w}{I_t A_C} = F_R \tau a - F_R U_L \frac{(t_i - t_a)}{I_t} \quad \dots \dots \dots (3)$$

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

전열 매체의 유속을 일정하게 유지하면서 작동하는 태양열 집열기에서 $A_C F_R \tau a$ 및 U_L 등은 거의 항상 일정하므로, 상수로 가정한다면 집열 효율 η 는 $(t_i - t_a)/I_t$ 의 조건에 따라 변하는 일차식으로 나타낼 수 있으며 기울기가 $-F_R U_L$ 이고, 수직축인 효율축의 $F_R(\tau a)$ 를 지나는 직선 그래프로서 나타난다. Fig 1은 집열 성능 그래프이다

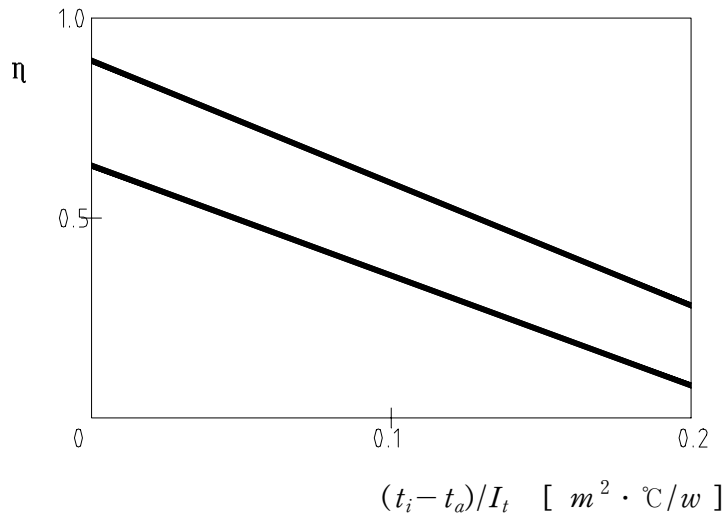


Fig. 1. Graph of the collector efficiency

태양열 집열기의 성능은 일반적으로 실험에 의하여 구하며, 태양열 집열기를 통과하는 열 전달 매체의 유량과, 집열기 입출구의 온도차를 측정하면 된다.

$$Q_w = AGC_p(t_i - t_o) \dots \dots \dots (4)$$

A : 집열 면적

G : 집열 매체의 유량

C_p : 열 매체의 비열

t_i : 집열기 입구의 온도

t_o : 집열기 출구의 온도

식 (3)의 집열기 효율은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta &= Q_w / AI_t \dots \dots \dots (5) \\ &= GC_p(t_i - t_o) / I_t \\ &= F_R \tau a - F_R U_L(t_i - t_o) / I_t \\ &= F_R \tau a - F_R U_L(t_i - t_a) / I_t \end{aligned}$$

Fig. 1에서 $(t_i - t_a)/I_t$ 의 조건에 의한 집열 효율 그래프의 기울기와, 효율축 값에 영향을 미치는 집열기의 주요 요소는, 투명덮개의 수효와 흡열관의 특성 등이다. 어떤 경우에는 태양열 집열기의 성능 시험 결과로서 집열 효율 그래프가 집열기 내의 열 매체 평균 온도나, 집열기 출구의 열 매체 온도에서 외기 온도를 뺀 값을 집열면 일사량으로 나눈 값으로서 표시하기도 한다. 즉, $(\frac{t_i - t_a}{2} - t_a)/I_t$ 나 $(t_i - t_a)/I_t$ 의 조건에 의한 집열 효율 성향과 매우 비슷하게 나타난다. 그러나 이 그래프가 기울기나 효율축 값은 다르게 나타난다.



Ⅲ. 실험장치 및 실험방법

1. 실험장치

평판형 집열기는 그 단가가 진공관식 집열기에 비해 일반적으로 저렴하고 내구성도 신뢰할 만하여 품질이 비교적 균일하고 보급이 용이하다는 여러 장점들도 갖추고 있어 계간 축열 시스템 및 산업용 태양열 이용 시스템에 활발히 적용되고 있다. 진공관식 태양열 집열기의 경우, 평판형에 비해 그 종류가 다양하고 가격도 제조사에 따라 상당한 격차가 있으며 품질 또한 차이가 많아 시스템 적용 시 충분한 사전 조사가 필요하다. 진공복사관식 태양열 집열기는 현재 대규모의 태양열 이용 시스템 뿐 아니라 소규모의 원예단지, 공중목욕탕 및 냉방 시스템 등 다양하게 적용되고 있으며 향후 새로운 제작 공정 기술의 개발을 통한 가격의 하락과 품질 향상으로 그 보급이 더욱 활발해질 것으로 전망된다. 본 연구에서는 평판형 집열기, 중국 SUNDA社의 진공복사관식 태양열 집열기와 역시 중국의 청화대학에서 개발한 All Glass Tube 방식의 진공복사관식 태양열 집열기를 사용하여 실험하였다.

1) 평판형 집열기

평판형 집열기(平板型 集熱器)는 태양열 난방 및 급탕 시스템에 사용되는 기본적인 태양열 기기이다. 집열기로 입사된 태양 에너지는 흑색으로 도장된 흡수판에 열에너지로 대부분 흡수되며, 흡수된 열에너지는 순환되는 열전달 매체에 전달되고 일부는 주위로 손실된다. 열전달 매체에 옮겨진 열에너지는 가용 집열량으로 저장되거나 열 부하에 직접 공급된다.

평판형 집열기의 필수적인 구성품은 투명 덮개(transparent cover), 흡열판

(absorber plate), 열전달 매체 도관(riser), 단열재(thermal Insulation) 및 집열기를 (housing)로 이루어진다. 투명 덮개는 태양 에너지가 입사될 수 있으면서 집열기 윗면의 단열 효과를 얻기 위한 것이며, 흡열판은 일반적으로 금속으로 만들어져 태양 에너지를 최대한 흡수할 수 있도록 무광 흑색 도장(non-reflective black coating finish)한 것이며, 열전달 매체 도관은 흡열판에 밀착되어 물이나 공기 등과 같은 열전달 매체가 순환될 수 있는 파이프나 덕트(duct)로 되어 있다. 집열기 내의 단열재는 아랫면과 가장자리면에 열 손실을 줄이기 위하여 부착되며, 집열기들은 집열기 자체의 내구성과 내후성을 보장하기 위한 것이다. 평판형 집열기는 열전달 매체의 취득 온도를 외기 온도 이상 100℃이하의 범위로 보며, 이 집열기의 장점은 전 일사량, 즉 직달 및 분산 일사 성분 모두를 이용할 수 있다는 점과 태양광을 추적하지 않아도 된다는 점이다.

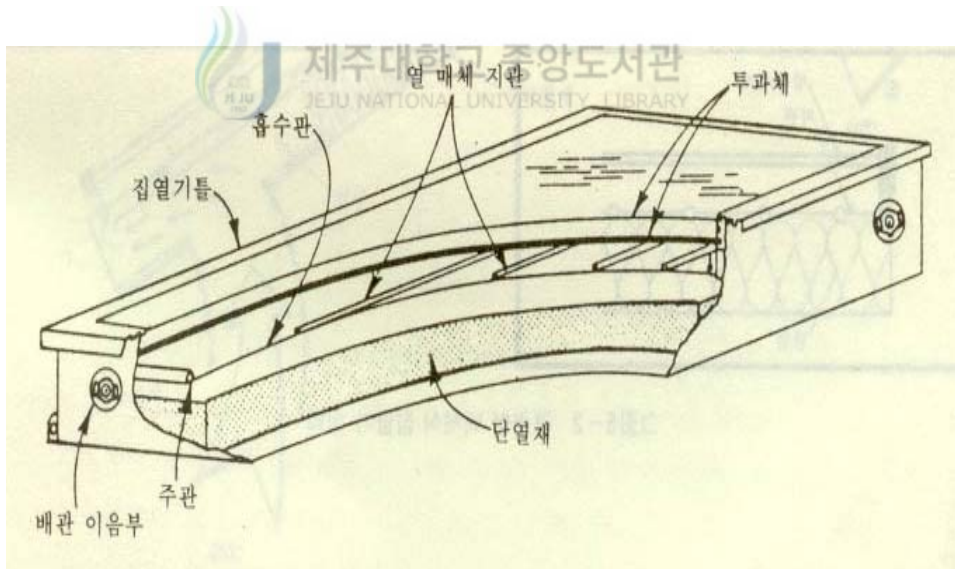


Fig. 2. Schematic of a flat plate collector

2) SUNDA社의 진공복사관식 태양열 집열기

중국 SUNDA社의 진공관 SEIDO 2 모델과 그 밖의 향후 국내의 태양열 보

급 활성화를 위해 고려될 수 있는 SEIDO 1과 5 모델의 진공복사관식 태양열 집열기에 대하여 그 열성능 그리고 경제성 등에 대하여 살펴보고자 한다. Table 1.에서 나타낸 SEIDO 1-16, SEIDO 2-6, SEIDO 5-16에서 뒤에 나타낸 수는 집열기의 개수를 나타내는 것이다. 표에 나타낸 흡수면적과 유량을 가지고 집열기의 성능을 비교한 것이 Fig. 3에 도식되었다. 그림에서 보듯이 SEIDO 2의 효율이 가장 높고 SEIDO 1과 5의 경우 전체적인 효율면에서는 별다른 차이가 없지만, 일출후와 일몰전 일사량이 적은 시간대에 SEIDO 5가 보다 우수한 성능을 나타낸다. 본 실험에서는 아래의 실험 테이터를 기초로 하여 가장 성능이 우수한 SEIDO 2를 이용하여 실험에 사용하였다.

<Table 1> Efficiency of SEIDO collectors

Type	Efficiency	Absorption Area [m ²]	Flow Rate [l/h*m ²]
SEIDO 1-16	$\eta=0.7469 - 2.04X$	2.704	110
SEIDO 2-6	$\eta=0.8131 - 2.19X$	1.008	102
SEIDO 5-16	$\eta=0.7356 - 1.78X$	2.592	300

$$X = (T_m - T_a) / G_k \quad [\text{Km}^2 / \text{W}]$$

T_m : average running temperature [K]

$$T_m = (T_i + T_o) / 2 \quad T_i: \text{input temperature of collector [K]}$$

$$T_o: \text{output temperature of collector [K]}$$

T_a : ambient temperature [K]

G_k : solar irradiation on collector surface [W/m²]

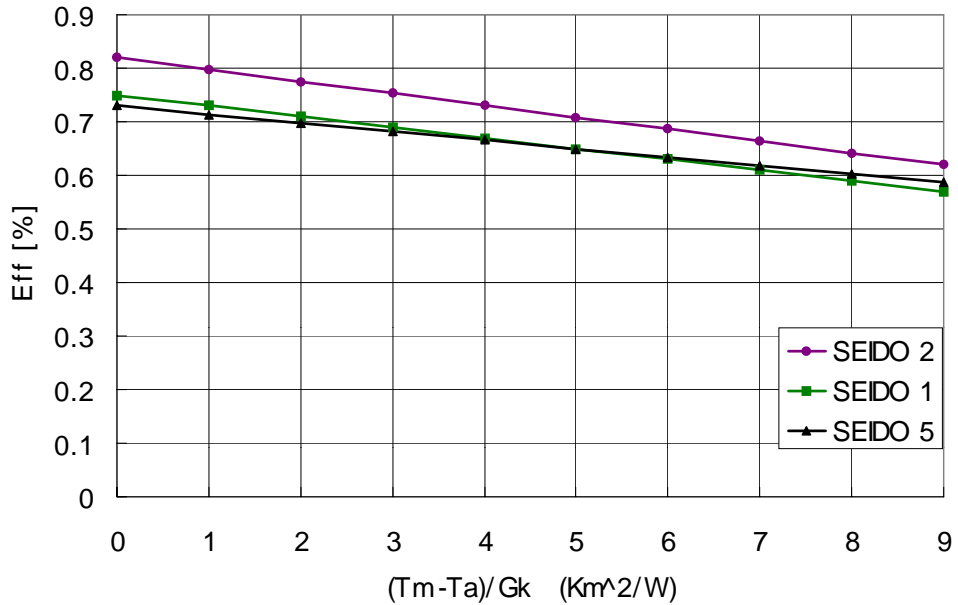
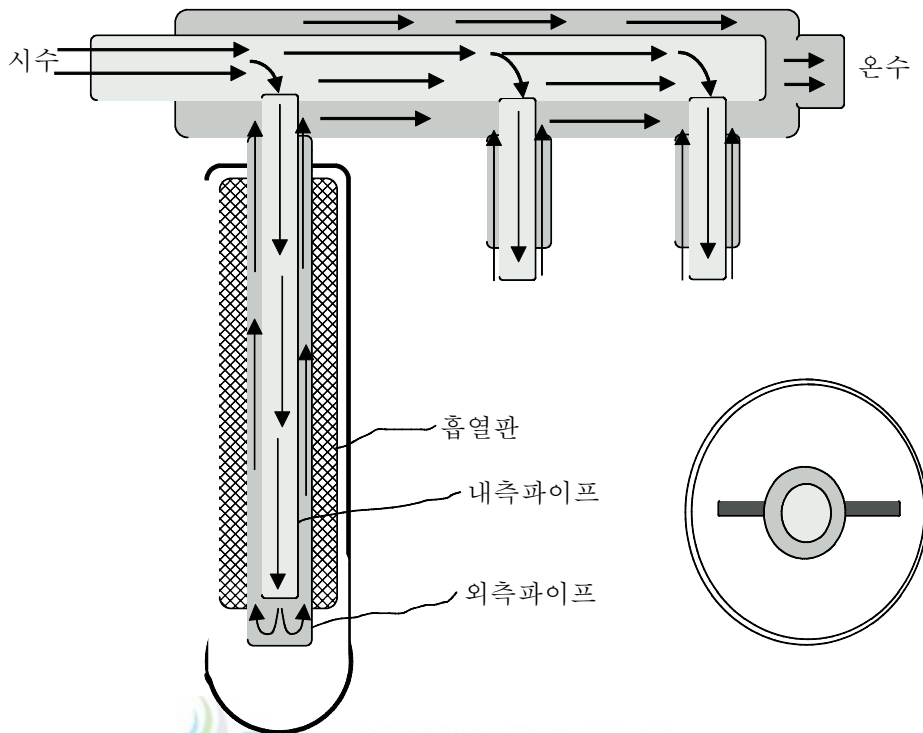


Fig. 3. Performance test of SEIDO collectors

SEIDO 2는 Fig. 4.에서 보는 바와 같이 진공으로 처리된 유리 튜브 속에 삽입된 이중 파이프 속을 물이나 그 밖의 열 매체가 직접(순환 펌프에 의해) 흐르면서 데워지도록 되어 있는 태양열 집열기이다. 즉 이중 파이프 중 내측 파이프를 통과한 열매체는 태양열 흡열관이 부착된 외측 파이프를 따라 흐르면서 데워지도록 설계되어 있다. 이와 같은 형태의 태양열 집열기는 강제 순환에 의해 열 매체가 유동하므로 태양열 집열기는 Fig. 5와 같이 지붕이나 혹은 벽에 수평으로 혹은 수직으로 설치될 수 있어 기존의 집열기 중 가장 그 적용성이 뛰어나며 효율면에서도 가장 우수한 성능을 나타낸다. 물론, 진공 튜브 내의 흡열관(Fig. 4 참조)은 남측을 향해 적당한 각도(e.g., 45°)로 설치하여야 최대의 집열 효율을 얻을 수 있다.



제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig. 4 Schematic of a SEIDO 2 collector

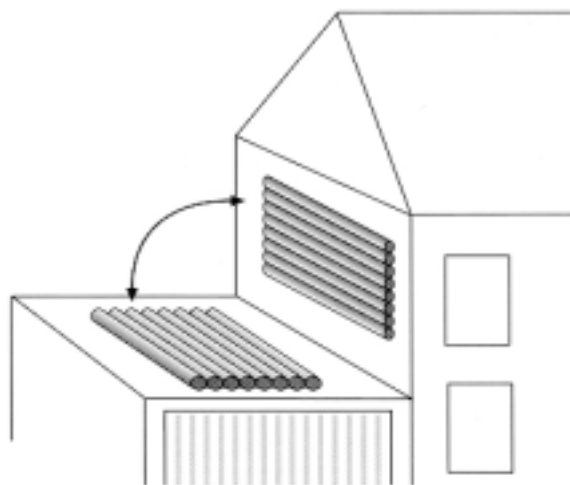


Fig. 5 Schematic of the installed SEIDO 2

3) All Glass Evacuated Tube 태양열 집열기

All Glass Evacuated Tube 태양열 집열기는 전술한 SUNDA社의 태양열 집열기의 경우 진공처리된 유리튜브 안에 구리로 제작된 흡열판이 부착된 금속제 유로 내부를 열매체가 직접 흐르거나(SEIDO 2), 별도의 작동유체가 지속적으로 상변화를 일으키면서 태양열을 집열하도록 (역시 흡열판이 부착된) 히이트파이프(SEIDO 5)가 삽입되어 있다. 이들 SUNDA社의 태양열 집열기의 공통된 특징은 그 내부가 진공처리된 유리 튜브 안에 금속제의 튜브나 원통형의 축열조가 들어 있으며 유리관 외부의 금속 재질의 파이프망(piping network)과 연결되어 있어 결국 유리 튜브의 한 쪽 끝은 반드시 금속과 유리의 접합이라는 상당히 난해한 기술적 문제가 상존한다는 것이다. 즉, 금속과 유리는 그 팽창계수가 상이해 금속과 유리가 접합된 부분을 통해 언제든지 유리 튜브의 진공상태가 파괴될 수 있는 가능성이 있는 것이다. 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 바로 집열기 전체를 유리로 제작하는 것이다. Fig. 6은 바로 이와 같은 개념으로 설계·제작된 All Glass Evacuated Tube 태양열 집열기의 구조를 나타낸 것이다. <Table 2>은 중국 청화대학에서 개발한 All Glass Evacuated Tube의 재질과 설계 사양 등을 나타내고 있다.

Fig. 7은 All Glass Evacuated Tube를 다수 이용한 태양열 급탕 시스템을 나타내고 있다. All Glass Evacuated Tube를 이용한 태양열 시스템의 장점은 무엇보다 그 가격경쟁력에 있다. 즉, All Glass Evacuated Tube를 이용하여 태양열 시스템을 구성할 경우, 시스템의 가격은 평판형 시스템 정도로 맞출 수 있는 반면 급탕 온도는 평판형보다 훨씬 높고 시스템 효율 역시 높아 같은 부하의 경우 집열면적을 줄일 수 있어 경제적이다. 그러나, 추운 지방에서 이 시스템을 이용할 경우, 갑작스런 온수의 배수와 시수의 공급시 열쇼크(thermal shock)에 의한 시스템 손상이 우려되며 이를 방지하기 위한 충분한 사전 연구가 필요되어 진다.

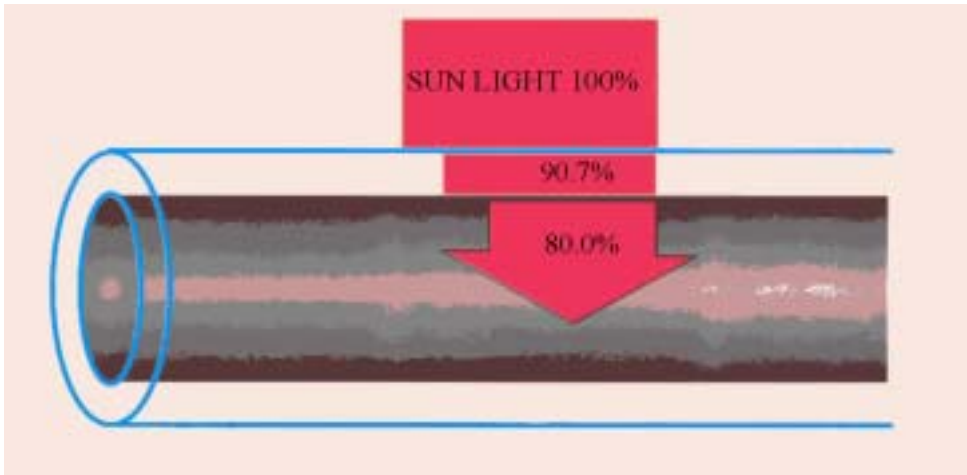


Fig. 6 All glass evacuated tube

<Table 2> Specifications of All Glass Evacuated Tube

Type	SL-1200 (QB-AI-N/AI-37/47-120 0-1)	SL-1500 (QB-AI-N/AI-37/47-1500- 1)
Configuration	Two concentric borosilicate glass tubes	Two concentric borosilicate glass tubes
Glass thermal expansion coefficient	$3.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$3.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Length	1200 mm	1500 mm
Cover tube diameter	47 mm	47 mm
Absorber tube diameter	37 mm	37 mm
Wall thickness	1.6 mm	1.6 mm
Transmittance of cover tube	0.91	0.91
Solar selective absorbing coating, Technology	Graded-N/AI selective surface Sputtering	Graded-N/AI selective surface Sputtering
Solar absorptance(AM1.5)	0.93	0.93
Emittance(80°C)	0.06	0.06
Vacuum Gas Pressure	$\leq 5 \times 10^{-3}$ Pa	$\leq 5 \times 10^{-3}$ Pa
Stagnation temperature (typical)	200 °C	200 °C
Heat loss coefficient of collector tube	≤ 0.85 W/m ² °C	≤ 0.85 W/m ² °C
Impact resistance	Withstand in(25mm) diameter hailstone without breaking	Withstand in(25mm) diameter hailstone without breaking
Strength(pressure tested)	1 MPa	1 MPa
Empty weight	1.1 kg	1.3 kg

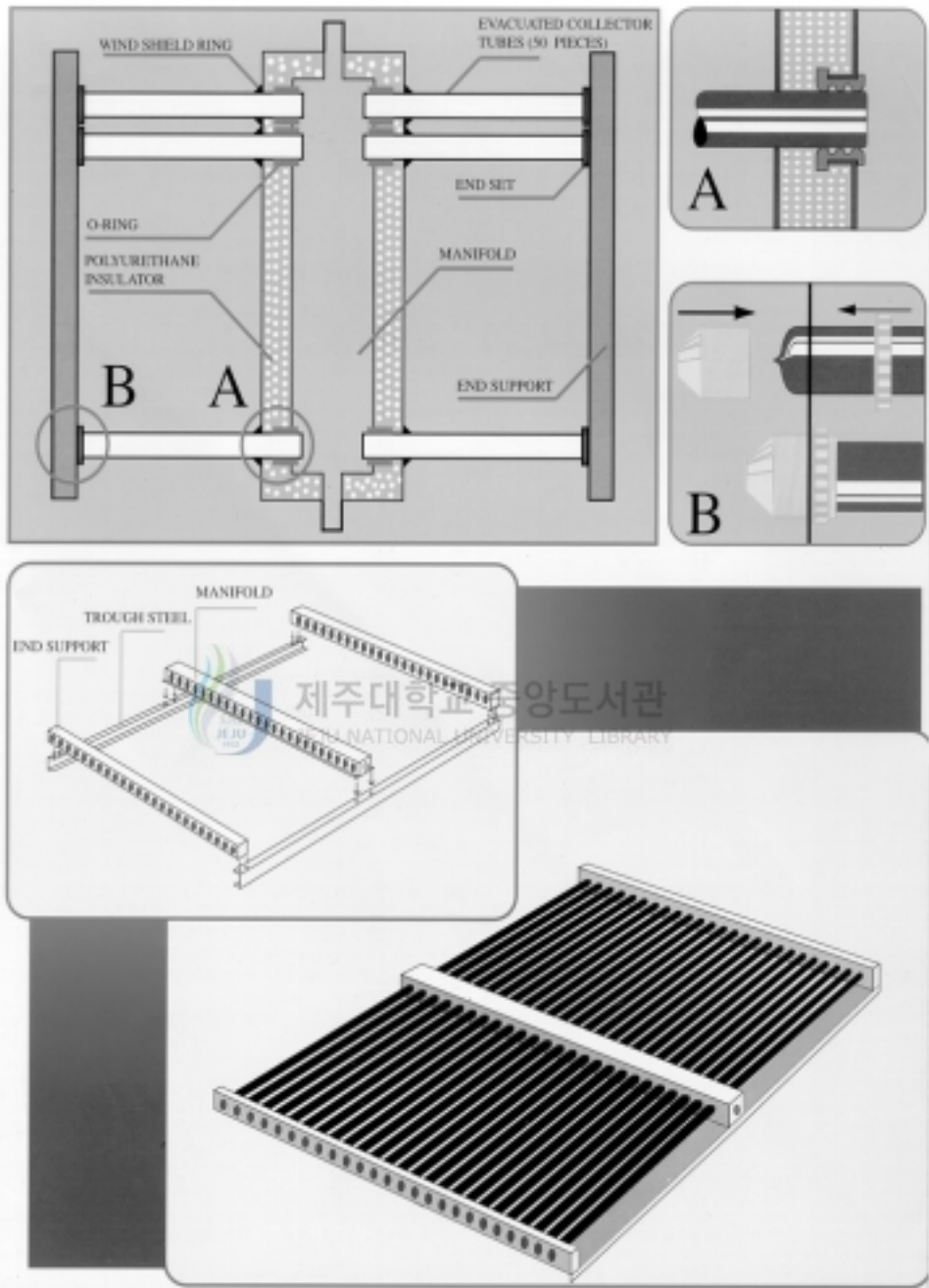


Fig. 7 System configuration of all glass evacuated collectors with water-in-glass manifolds

4) 데이터 수집 및 열전대 보정

온도 측정을 위한 열전대(thermocouple)는 T타입을 이용하였고, 설치는 집열기 입구, 출구, 축열조의 상부, 중간, 하부 그리고 대기온도를 모니터링 할 수 있도록 각각 설치하였고, 일사량계를 설치하여 실험하는 동안에 집열기가 받는 태양 에너지의 양을 측정하였다. 자료 획득 시스템(HYDRA: Data Acquisition System)을 이용하여 매 2분마다 자료를 수집, 기록하였다. 열전대의 설치에 앞서서 측정에러를 줄이기 위해 열전대의 보정작업이 이루어졌다. 삼일될 모든 열전대는 데이터 수집 장치에 연결하고 항온조를 이용하여 0°C와 80°C까지의 범위에서 이루어진 열전대를 사용하였다. 보정된 열전대는 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이내의 오차범위로 모두 보정하였다.

2. 실험방법



실험장치는 강제 대류 방식으로 Fig. 8에 그 구성을 도식화하였다. 그림에서 알 수 있듯이 부동액을 사용하지 않고 집열기에서 데워진 물을 직접 축열조로 보내 저장하는 방법으로 실험하였다. All Glass Evacuated Tube 와 SEIDO 2의 경우 시스템에 주어지는 환경적 변화를 최소화하기 위하여 시스템을 운전하지 않는 시간대에는 은박 차단막을 이용하여 집열기를 태양열로부터 차단하였다가 실험 시 이를 제거하여 실시하였다. 실험장치에 사용된 펌프, 유량계, 차온제어기는 각각 동일한 것으로 사용하였다.

펌프는 태양열 온수 시스템에서 주로 사용되는 것으로 50미크론필터와 V-Seal을 사용하여 이물질이 유입되는 것을 방지하고 터미널박스에 부착된 속도 조절 장치로 출력을 4단으로 조정할 수 있어 유량을 조절할 수 있는 것을 사용하였다. 유량계는 작동유체의 유량을 분당 7ℓ 까지 측정할 수 있는 것을 사용하였다. 시스템을 제어하기 위해 사용된 차온 제어기는 써미스터를 이

용하는 것으로써, 써미스터를 집열기 헤더의 outlet에 또 다른 써미스터는 축열조 하부에서 작동 유체가 집열기로 들어가는 곳에 각각 설치하여 두 써미스터간의 온도차가 12℃이상일 경우 펌프를 작동시켜 집열기내의 데워진 작동유체를 축열조로 밀어내고, 그 온도차가 4℃이하로 떨어지게 되면 펌프를 정지시키도록 설정하였다.

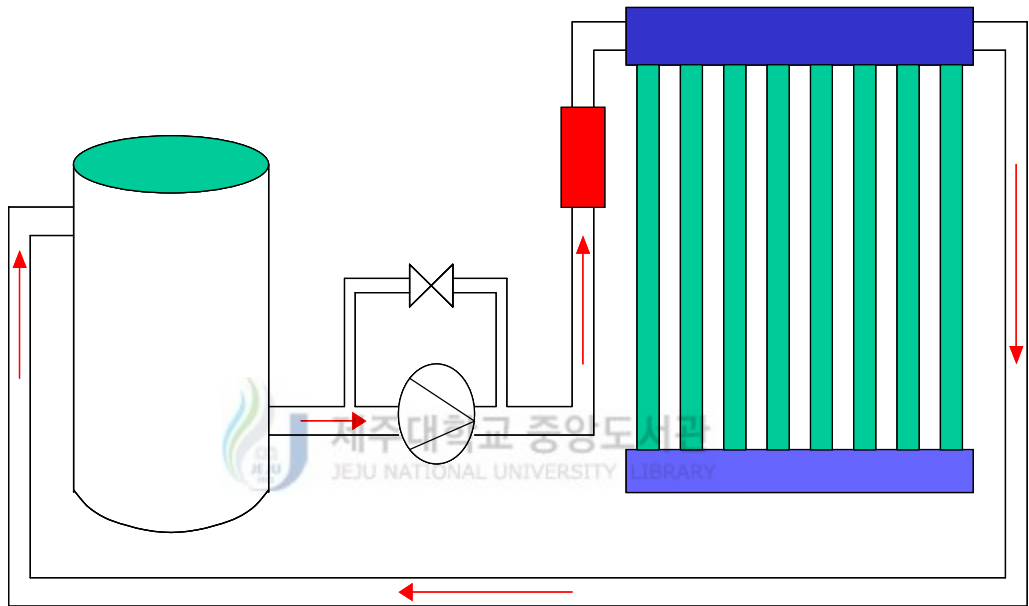


Fig. 8 Experimental apparatus

SEIDO 2의 경우 집열기를 80cm정도 지면에서 올린 상태에서 수평으로 배열하였으며, 집열기 개당 집열 면적이 0.175m^2 이고, 축열조 용량은 m^2 당 75ℓ로 설정되어 있다. 이 실험에 이용된 집열기의 개수가 8개이므로 총 집열 면적은 1.4m^2 이므로 축열조 용량은 105ℓ이다. 하지만, 이 실험에서는 110ℓ용량의 축열조를 사용하였다.

All Glass Evacuated Tube의 경우 시스템 구성에 앞서 강제 순환식 시스템을 수평으로 설치했을 때 시스템 내에서 열전달이 일어나는 과정에 대해 시뮬레이션을 실시 하였다. 수치해석은 비교적 간단하게 진행 되었으며 해석 영역도 Computation Time을 줄이기 위해 편의상 단순화 하였으며, 시뮬레이

선에 사용된 프로그램은 PROSTAR 3.00c를 사용하였다.

해석 영역은 헤더 부분에 접합된 튜브로 이루어진 태양열 집열판이며 이의 개략도 및 치수를 Fig. 9에 나타내었다. 초기에 80℃인 집열판에 10℃ City water(시수)가 헤더로 100 ~ 2000kgm/hr의 질량유량으로 유입된다. 헤더의 직경이 0.1m 이므로 Reynolds 수 범위는 414~2000까지로 제한하였는데 이는 Reynolds 수 2000 이상일 경우 헤더부분이 난류유동이 되므로 본 연구에서는 제외시켰다. 튜브는 끝부분이 막혀 있는 상태이므로 시수는 헤더의 출구로만 유출되게 된다.

집열판의 온도분포를 시간에 따라 관찰하기 위해 위에서 언급한 조건들 중에서 Reynolds 수가 1169일 때 비정상상태 해석을 수행하여 각 시간에 대한 온도분포를 Fig. 10~16까지 나타내었다.

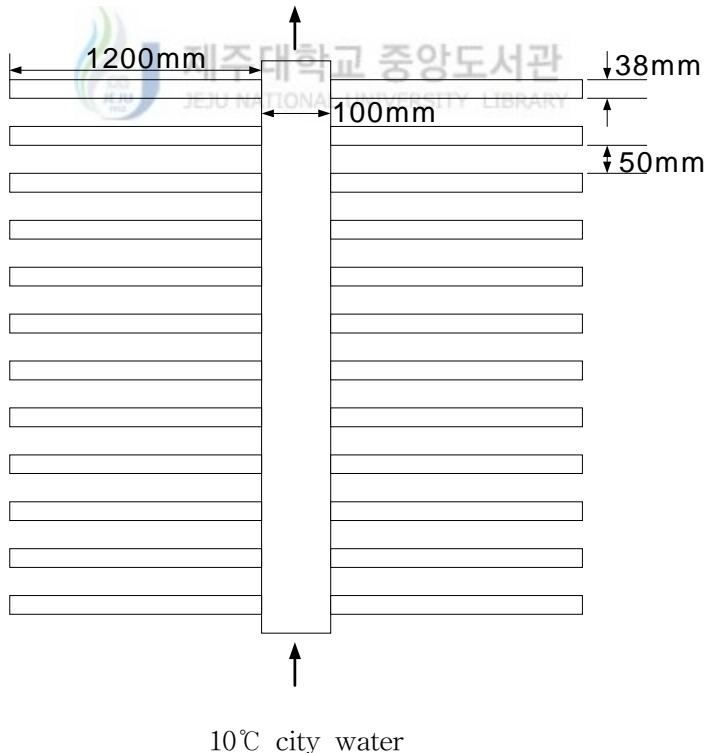


Fig. 9 Geometry of modeling system.

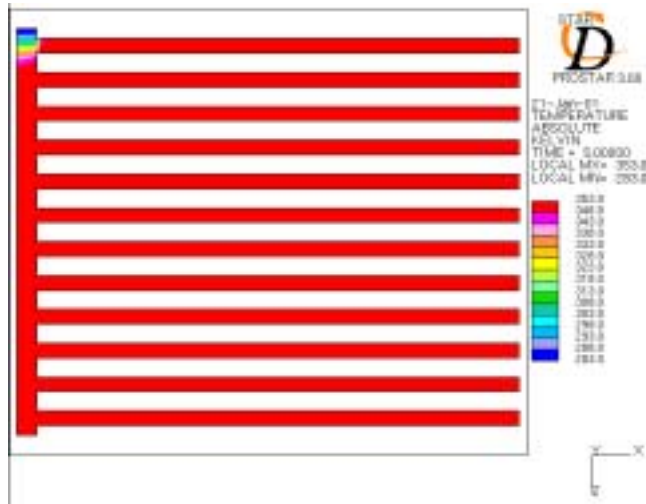


Fig. 10 Temperature contour at 5 seconds



Fig. 11 Temperature contour at 50 seconds

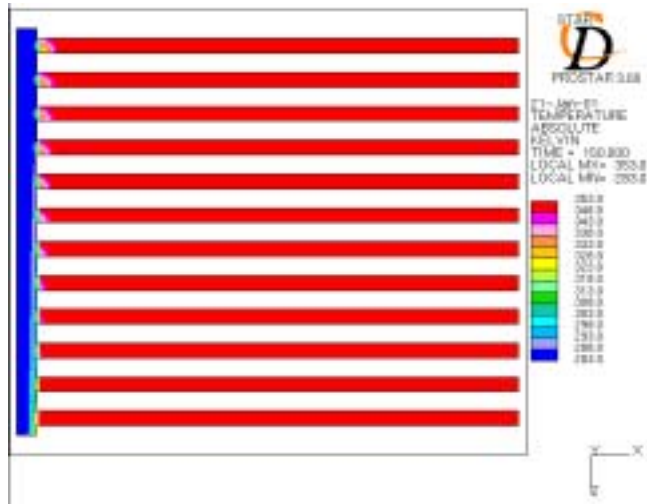


Fig. 12 Temperature contour at 150 seconds



Fig. 13 Temperature contour at 255 seconds

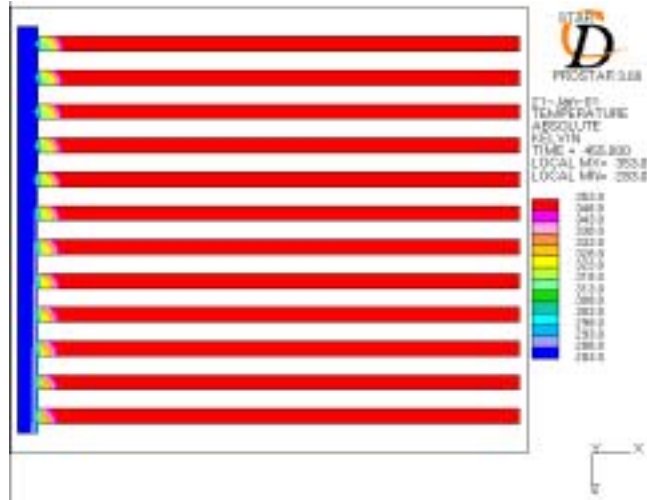


Fig. 14 Temperature contour at 455 seconds

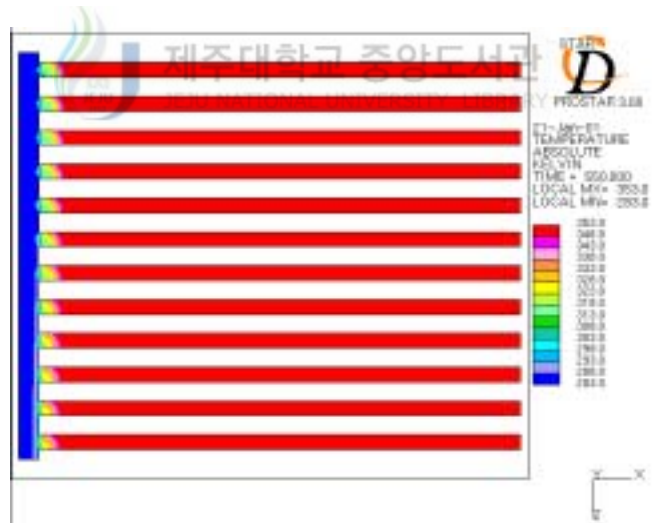


Fig. 15 Temperature contour at 550 seconds

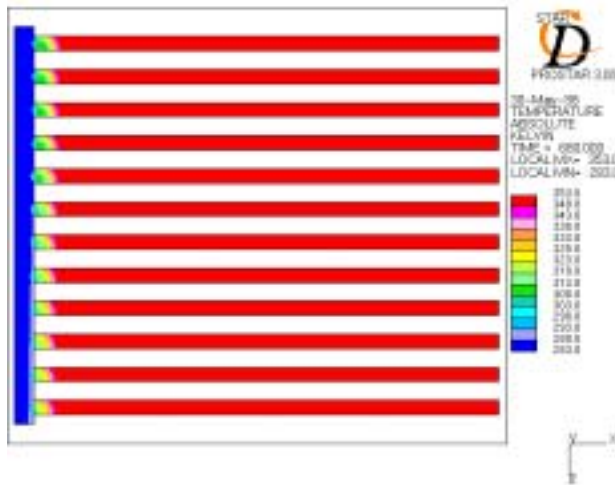


Fig. 16 Temperature contour at 680 seconds

그림에서 보듯이 헤더로 유입된 저온의 시수는 약 150초 이상 시간이 흘러야 출구까지 전파되며 천천히 집열기 안쪽으로 온도 전파가 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 집열기의 끝부분이 막혀 있기 때문에 헤더로 유입된 시수가 집열기 안쪽으로 침투하지 못하여 열전달은 주로 전도에 의해 이루어진다. 이로 인해 집열기 안쪽으로의 온도 전파는 상당히 느리게 진행됨을 알 수 있다. 이를 바탕으로 보다 안정적인 시스템 구성을 위해 All Glass Evacuated Tube 태양열 집열기의 경우 40.°의 경사를 주어 배열하였다. All Glass Evacuated Tube의 경우 총 집열 면적이 1.2m²로 SEIDO 2보다 작지만 열성능이 우수하여 축열 용량을 100ℓ로 SEIDO 2와 비슷한 양을 설정하였다. Fig. 17과 18은 시스템을 완전히 설치한 후의 사진이다.



Fig. 17 Photograph of the installed all glass tube system

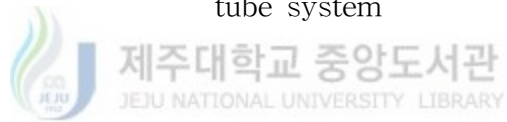


Fig. 18 Photograph of the installed SEIDO 2

IV. 실험결과 및 고찰

이번 실험에서는 All Glass Evacuated tube형 집열기의 경우 시뮬레이션에서 보았듯이 대부분의 열전달이 전도에 의해 이루어지므로 유량이 많아질수록 집열기와 헤더사이에서 열전달이 일어나는 양이 줄어들게 된다. 이를 기초로 하여 유량을 분당 4ℓ, 3ℓ, 2ℓ로 줄이면서 실험하였다. 반면, SEIDO 2에 경우는 유량을 분당 2ℓ, 3ℓ, 4ℓ로 높이면서 실험을 실시하였고, 일사량에 따른 변화와 직접식 평판형 집열기와 비교하기 위해 All Glass Evacuated tube와 SEIDO 2를 동시에 가동시켜 그 성능을 비교하였다.

1. 데이터 분석



1) 유량에 따른 시스템 분석

Fig. 19에 outlet 그래프를 보면 온도가 서서히 상승하면서 규칙적으로 튀는 것을 볼 수 있다. 이는 집열기의 온도가 상승하면 차온제어기에 의해 펌프가 작동하고 물이 헤더부분에 유입되면서 서서히 온도가 내려가게 되면서 나타나는 현상이다. Fig. 20에서도 이러한 현상이 반복해서 일어난다. 각각의 시스템에 흐르는 유량에 따라서 그 상승과 하강 폭이 커지기도 하고 작아지기도 하며, 일사량에 따라서 상승과 하강 그래프의 간격이 좁아지기도 하고 넓어지기도 한다. Fig. 19, 22, 25를 비교해 보면 유량이 4ℓ/min일 때 이러한 변동이 눈에 띄게 크지만, 3ℓ와 2ℓ로 줄어들면서 시스템 작동 초기에 잠시 이런 현상이 일어나다가 어느 정도 시간이 흐르게 되면 이러한 변동은 일어나지 않는다. Fig. 22와 25에서 outlet 곡선이 일정하게 상승했다는 것은 시스템에

서 헤더를 지나는 저온의 유체와 집열기내에 가열된 유체 사이에 열전달이 적절하게 이루어졌다는 것을 의미한다. 하지만, 유량이 낮아지고 열전달이 원활하게 이루어짐에 따라 펌프의 작동 시간은 계속해서 증가하게 된다.

Fig. 20, 23, 26에서는 유량이 2ℓ일 때 변동 폭이 크고, 유량이 3ℓ, 4ℓ로 증가하면서 온도의 변동폭이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 SEIDD 2의 경우 집열기 헤더 부위에 저온의 작동유체가 지나가는 All Glass 형태와 다르게 진공관내에 설치된 관을 따라서 유체가 흐르기 때문에 유량이 느린 경우에는 작동유체가 집열관내를 빠져 나오는 시간이 늦어지게 되고, 이에 따라 집열기 출구에 설치된 써미스터의 온도는 펌프가 작동하면서 더욱 증가하게 되고 이에 유량이 증가할수록 outlet의 온도 변동폭은 감소하게 되는 것이다.

2) 온도에 따른 시스템 분석

Fig. 19와 20을 비교해 보면, 시스템 작동 초기에 SEIDO 2의 온도 변화가 보다 급격히 일어나는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 나머지 그래프에서도 같은 형태를 보이고 있다. 반면, 일사량이 줄어드는 오후 4시 이후에는 급격히 감소한다. All Glass 형태의 진공관에서는 이러한 현상이 완만하게 일어난다. 이것은 SEIDO 2가 일사량에 의해 크게 좌우되는 것을 의미한다. Fig. 21, 24, 27에서 일사량이 평균적으로 0.6kW/m²을 넘어서는 오전 시간대에는 outlet 온도가 급격히 증가하고, 그 이하로 떨어지는 오후 4시 이후에는 급격히 감소하는 것으로 알 수 있다. 반면 All Glass Evacuated Tube는 유량이 4ℓ/min일 때를 제외하고는 시스템 작동 초기에 소폭의 변화가 있을 뿐, 온도 변화가 완만하게 이루어지는 것을 볼 수 있었다.

All Glass Evacuated Tube의 경우 유량이 3ℓ/min일 때 가장 안정적으로 평균 온도가 상승하는 것을 볼 수 있었고, SEIDO 2의 경우는 4ℓ/min일 때 그 온도 분포가 일정하게 상승하는 것을 볼 수 있었다.

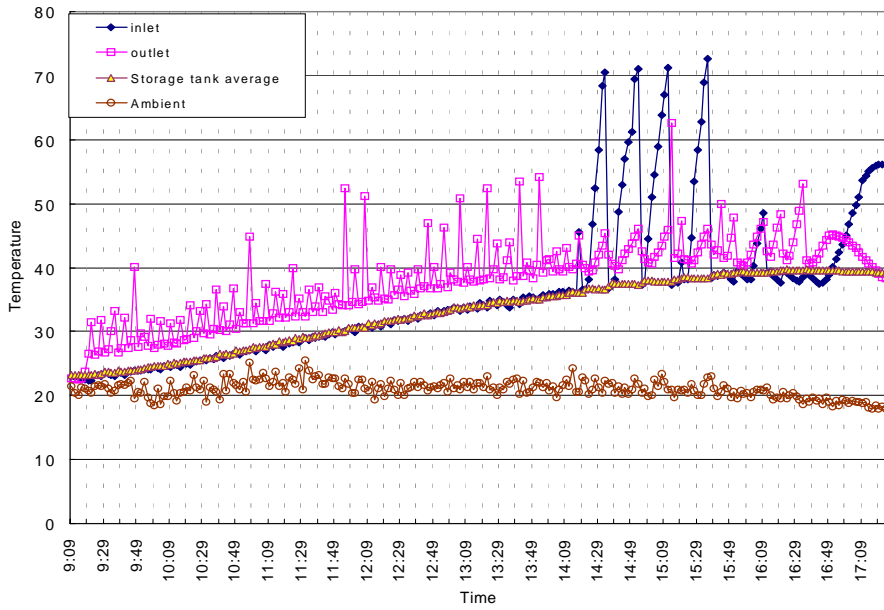


Fig. 19 Test results of the all glass evacuated tube(flow rate : 4 l/min)

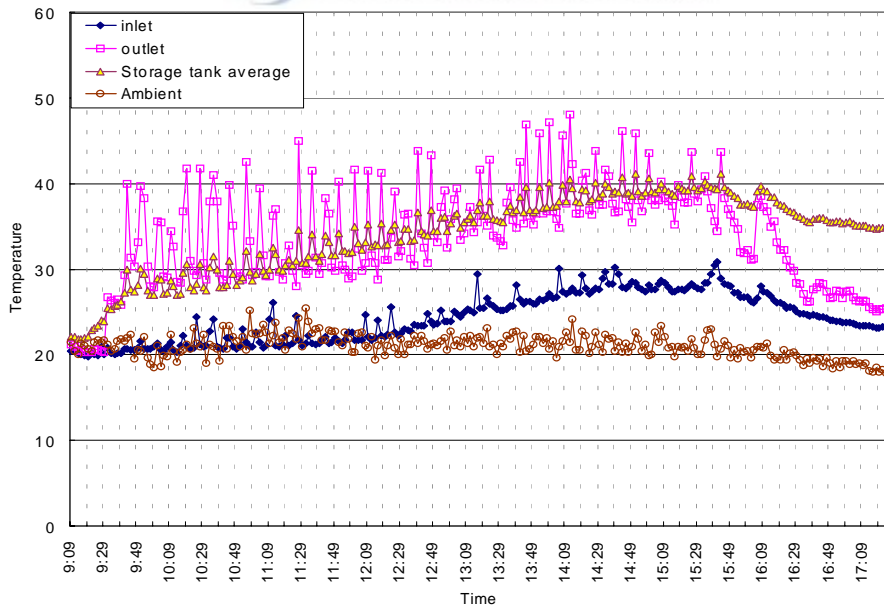


Fig. 20 Test results of SEIDO 2(flow rate : 2 l/min)




 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig. 21 Insolation

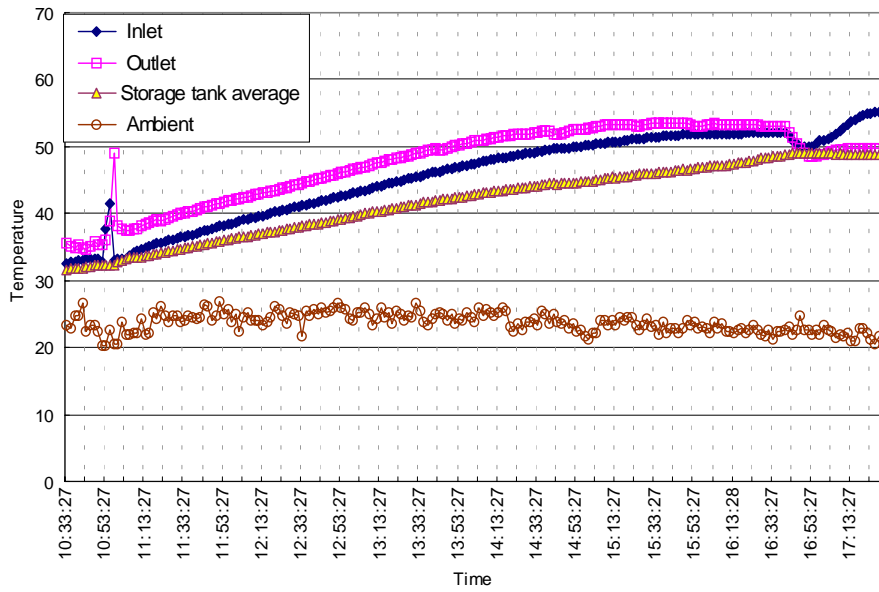


Fig. 22 Test results of the all glass evacuated tube(flow rate : 3 ℓ /min)

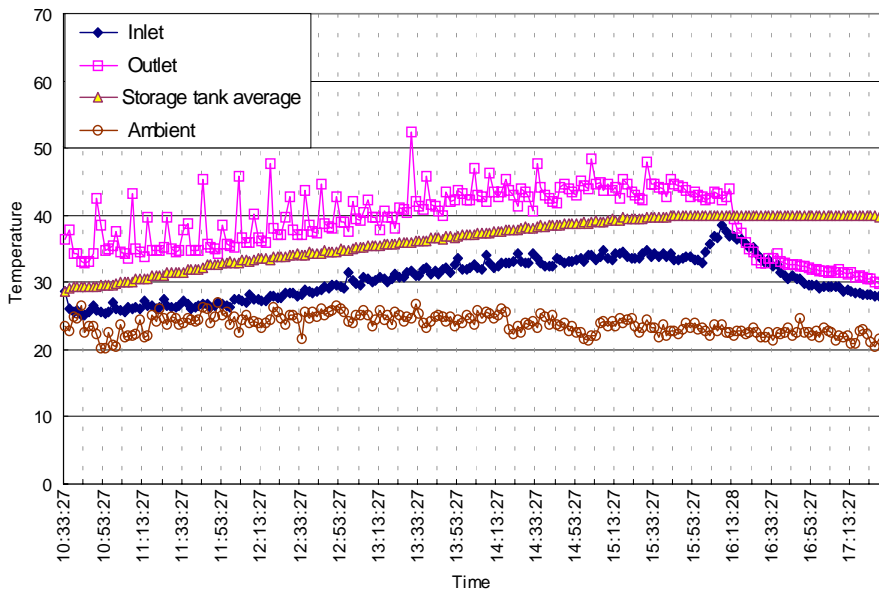
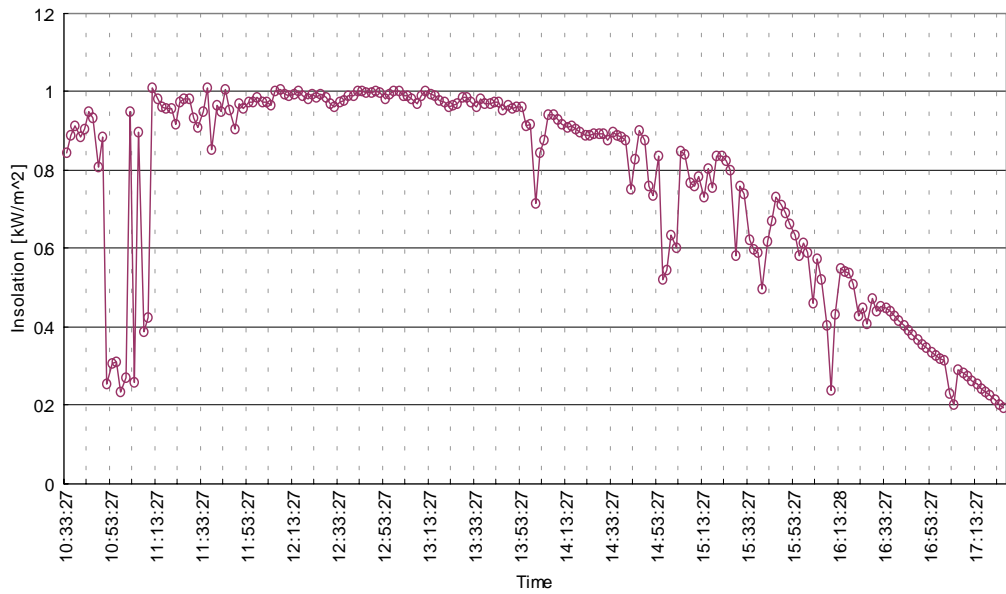


Fig. 23 Test results of SEIDO 2(flow rate : 3 ℓ /min)




 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

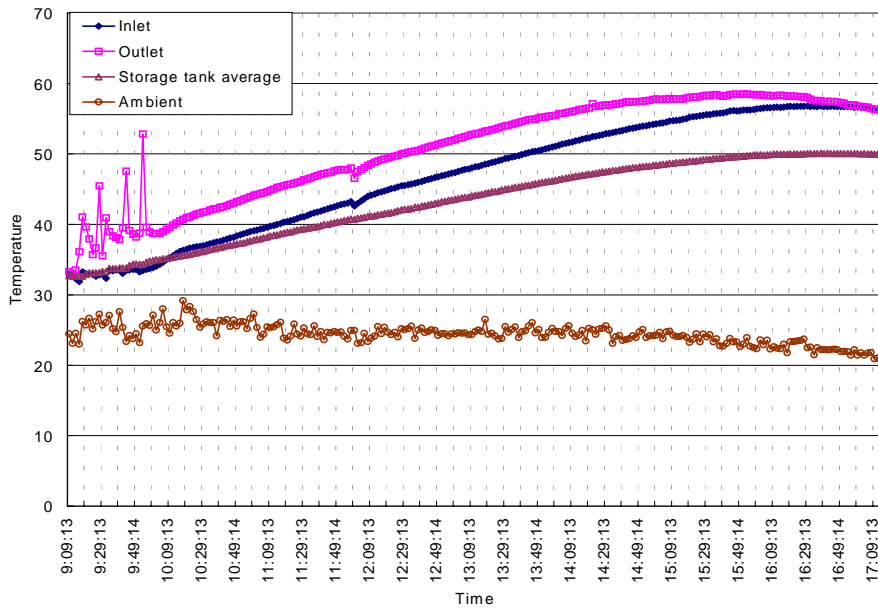


Fig. 25 Test results of the all glass evacuated tube(flow rate : 2 l/min)

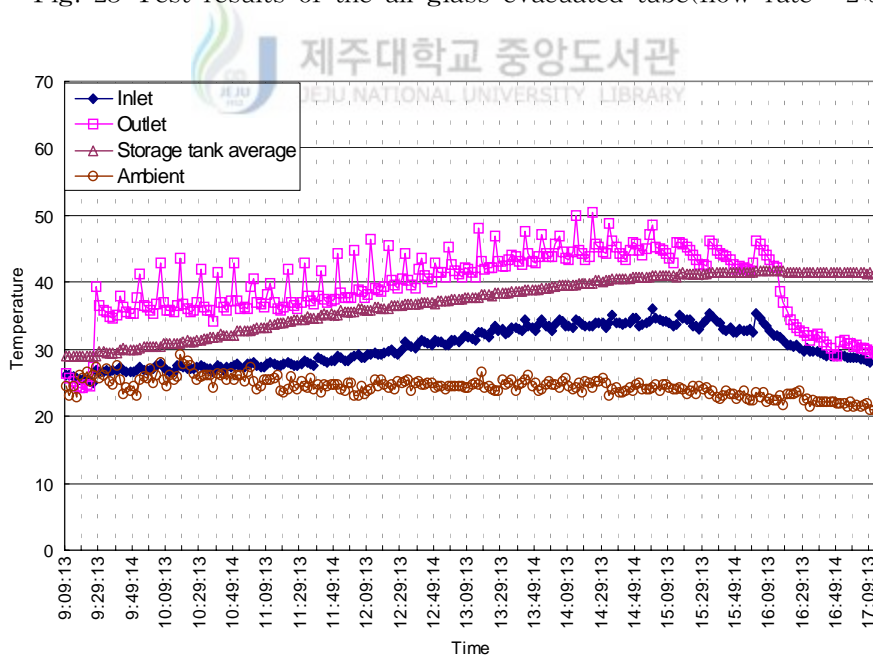
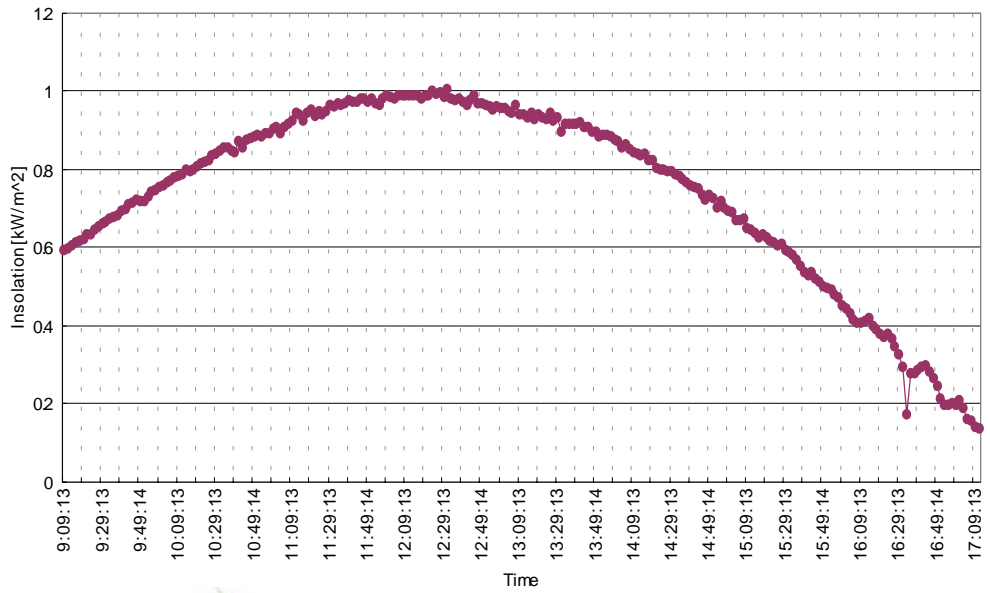


Fig. 26 Test results of SEIDO 2(flow rate : 4 l/min)




 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig. 27 Insolation

3) 시스템 비교

앞선 실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 두가지 형태의 진공복사관식 집열기의 최적 유량을 실험적으로 산출한 뒤에 직접식 평판형 집열기와 비교하여 실험하였다. All Glass Evacuated Tube 와 SEIDO 2의 경우 강제대류 방식으로 시스템을 운전하므로 일사량에 따른 Inlet과 Outlet의 온도 변화는 거의 무시해도 된다. 하지만, 직접식 자연대류형 태양열 시스템에서는 그 변화가 일사량 변화에 따라 민감하게 반응하는 것을 Fig. 30과 34에서 볼 수 있다. 또한 직접식 평판형 집열기의 경우 진공복사관식 집열기에 비해 외기온의 변화에 의한 영향을 받는 정도가 큼을 알 수 있었다. Fig. 28의 경우 Inlet 과 Outlet의 온도가 16시42분 이후에 역전되고 Fig. 32의 경우 15시39분 이후에 같은 현상을 보이는 것을 볼 수 있다. 이것은 All Glass Evacuated Tube 시스템의 경우 일사량이 $0.2\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때를 전·후해서 이러한 현상이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 하지만, Fig. 29와 33에서 알 수 있듯이 SEIDO 2의 경우는 이런 현상이 일어나지 않았다. 직접식 평판형 집열기의 경우는 Fig. 30와 34에서 보이듯이 All Glass Evacuated Tube와 비슷한 현상이 일어나는데 일사량이 강도가 $0.4\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때를 전·후해서 이런 현상이 일어난다. 직접식 평판형 집열기의 경우 All Glass Evacuated Tube보다 강한 일사량에서 이러한 온도역전 현상이 일어나는 것은 외기와의 전도에 의한 열손실이 All Glass Evacuated Tube보다 많기 때문이라고 판단되어 진다. 또 다른 관점에서 이 문제를 본다면 직접식 평판형 집열기와 All Glass Evacuated Tube의 경우는 설치시 45. 가량 기울여서 시스템을 구성하였고, SEIDO 2의 경우는 지면과 평행하게 설치하였기 때문에 이로 인한 작동유체의 유동변화에 따른 현상일 수도 있다고 사료되어진다.

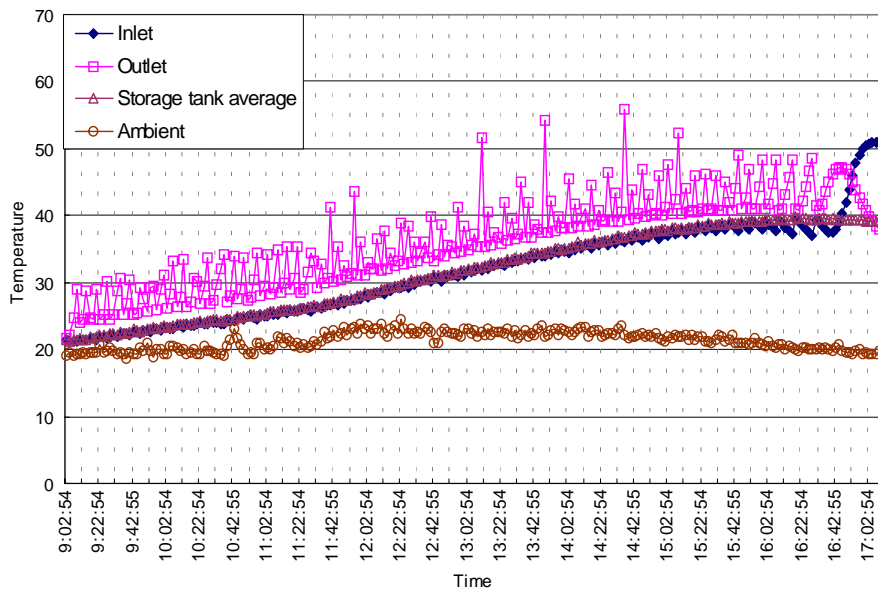


Fig. 28 Test results of the all glass evacuated tube

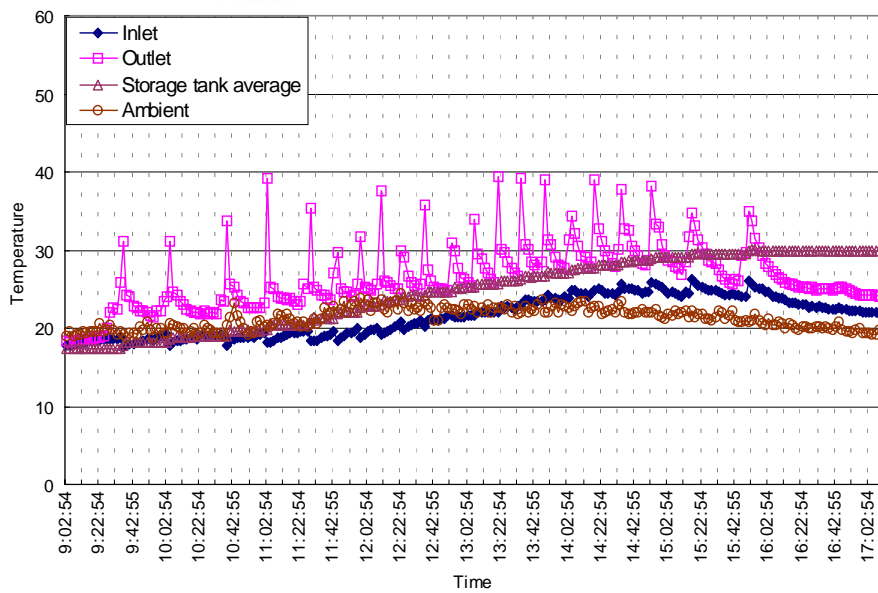


Fig. 29 Test results of SEIDO 2

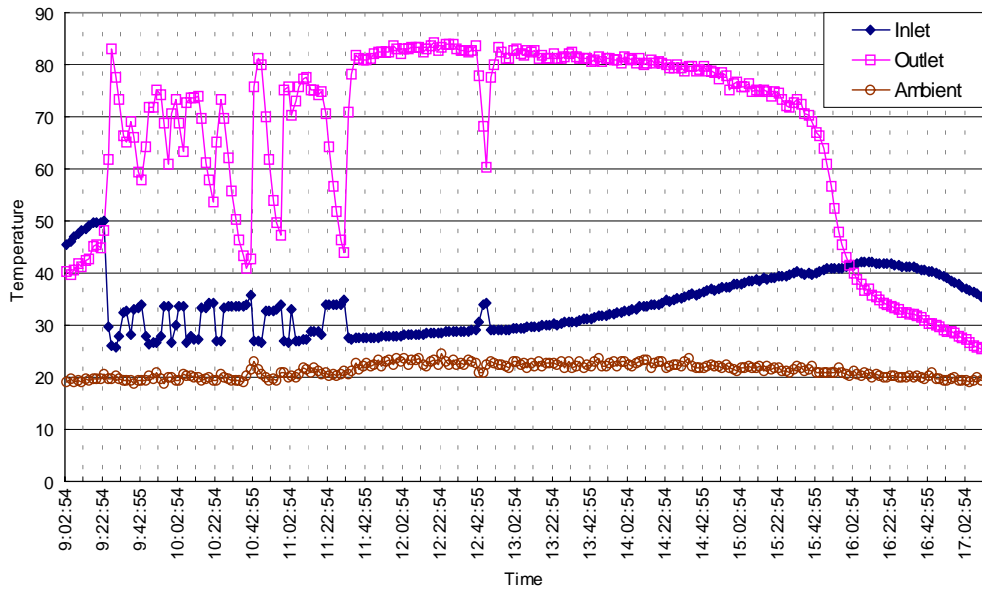


Fig. 30 Test results of the direct flat plate collector

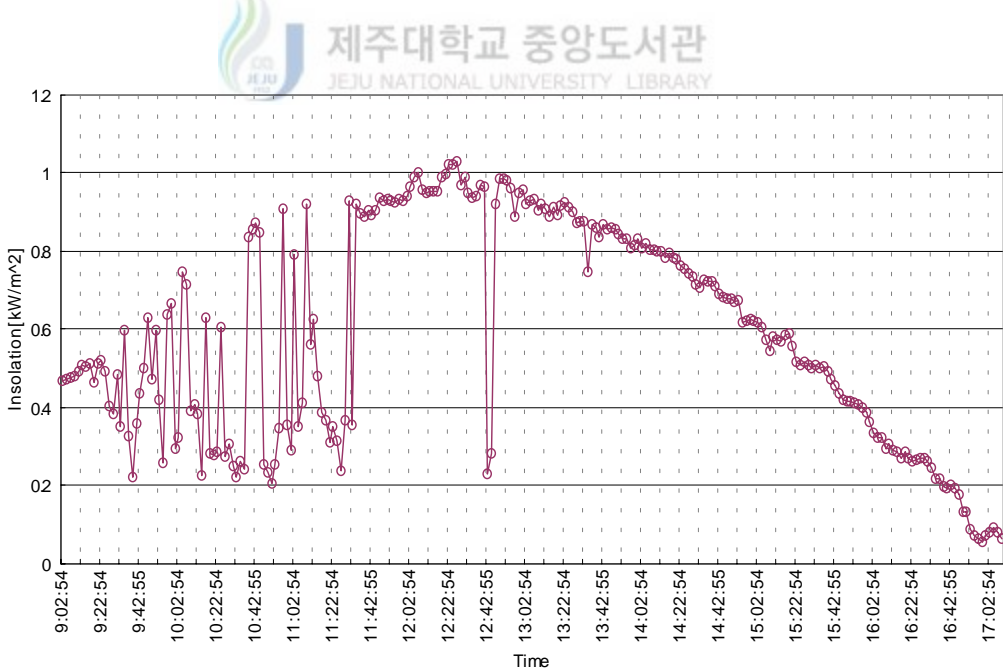


Fig. 31 Insolation

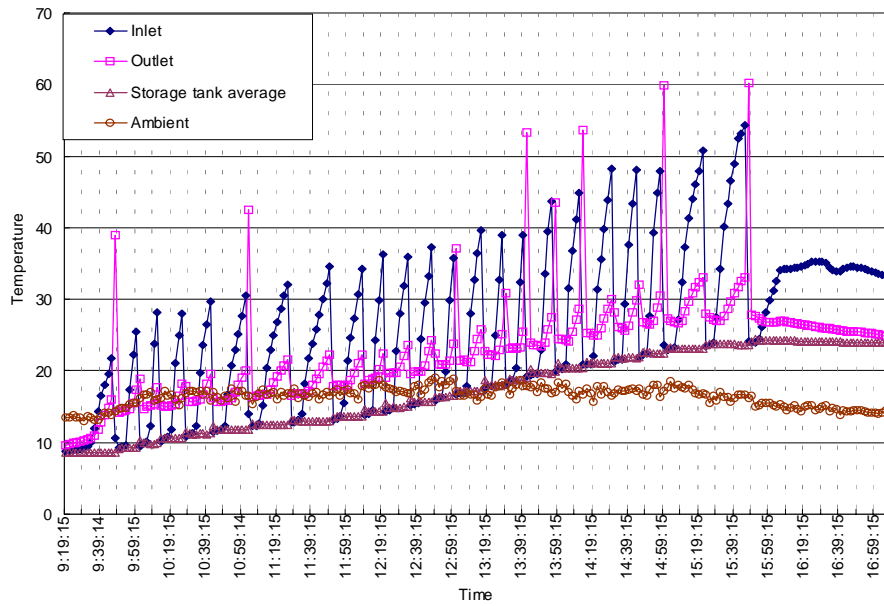


Fig. 32 Test results of the all glass evacuated tube

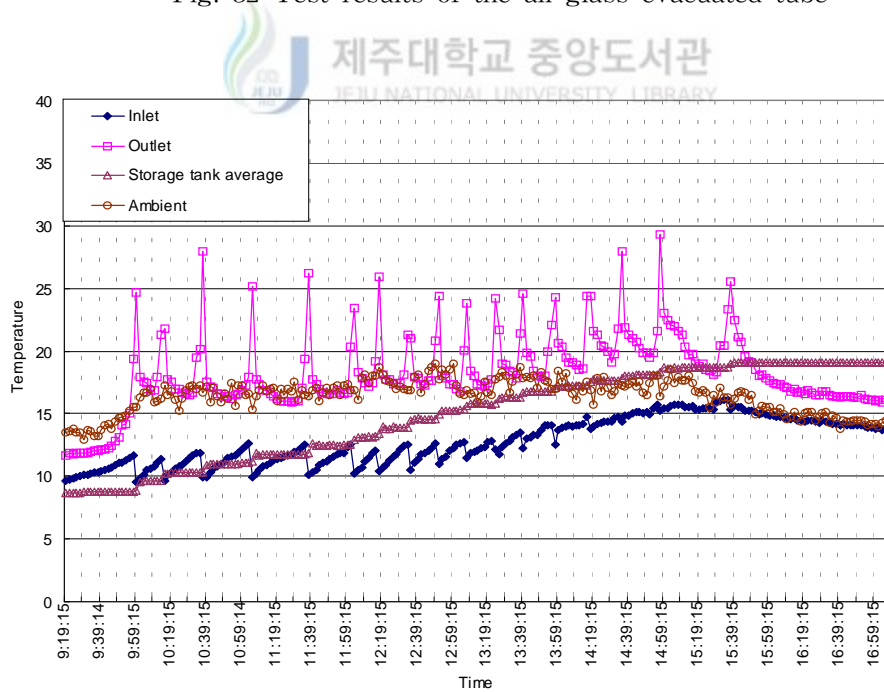


Fig. 33 Test results of SEIDO 2

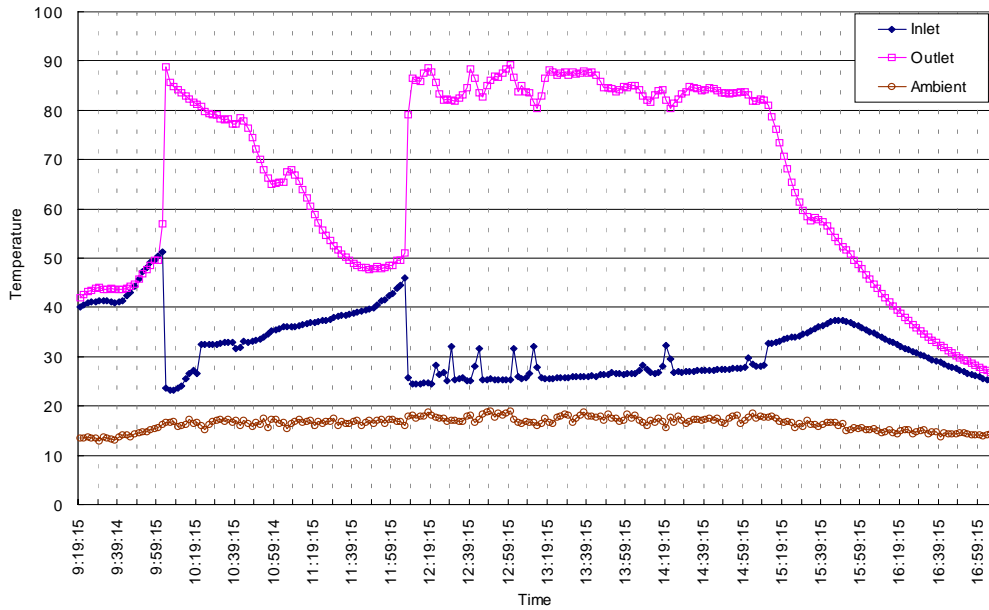


Fig. 34 Test results of the direct flat plate collector

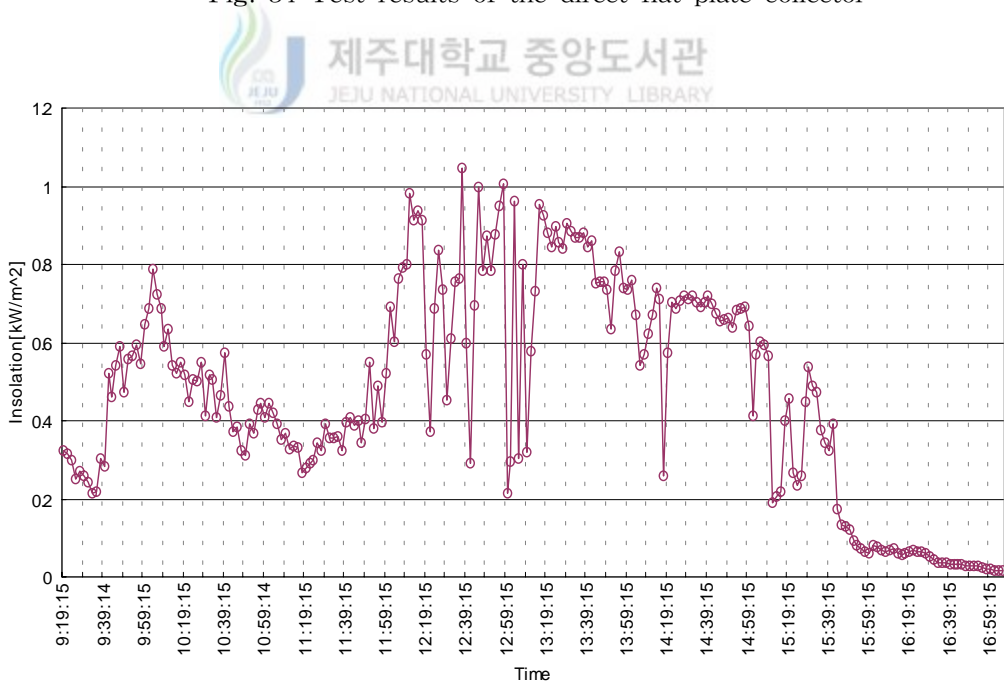


Fig. 35 Insolation

V. 결 론

진공복사관식 태양열 집열기 최적성능에 대한 실험적 연구에 대하여 실측 및 이론 분석을 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

Table 3은 유량을 변화시키면서 실험한 결과 얻어진 데이터를 각각 정리한 것이다. 아래의 결과에서 알 수 있듯이 두 시스템 모두 시수온도와 최종온도차가 큰 차이 없이 일정한 값을 보이고 있음을 알 수 있다. All Glass Evacuated Tube 형인 경우 온도차가 16°C에서 17°C정도의 차이를 보이고 있다. 여기서 유량이 3ℓ/min일 때 누적 일사량은 158.4kW/m²으로 가장 낮지만, 그 온도차는 17°C를 넘는다. 또한 그래프에서 나타나는 평균온도의 증가도 다른 실험에 비해 우수하게 나타남을 알 수 있었다. 반면 SEIDO 2의 경우는 분당 흐르는 유체의 양이 적어지면 그 효율이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이 실험을 위해 구성된 시스템에서는 유량이 3ℓ/min일 때 가장 적절한 효율을 내는 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 직접식 평판형 집열기와 진공관식 집열기를 동일한 일사량하에서 실험한 결과에서 가장 적절한 데이터를 추출하여 Table 4에 정리하였다. 비교실험 결과에서 보이듯이 열전달율을 보면 All glass evacuated tube의 경우 가장 높은 것을 알 수 있다.

All Glass Evacuated Tube 구조의 진공 복사관식 태양열 집열기는 히이트 파이프형 집열기에 비해 성능과 경제적인 측면에서도 우수하지만, 실험 결과에서도 알 수 있듯이 유량이 저속으로 유동해야 우수한 성능을 발휘하게 되므로 겨울철의 동파 문제와 태양열에 의해 가열된 집열 튜브 내에 물이 갑자기 유입될 경우 열응력에 의해 집열 튜브가 파손되는 열쇼크 현상이 발생하는 문제점을 갖고 있다. 반면, SEIDO 2의 경우 전반적으로 All Glass 구조의 진공관식 집열기에 비해 성능면에서는 떨어지지만, 겨울철 동파에 대한 저항력이 우수하고 안정적이라는 장점도 있다. 하지만, 제작상에 있어서 유리화

금속을 접합하고 진공을 유지해야 하기 때문에 열응력에 의해 시간이 지남에 따라서 유리와 금속 접합면에 균열이 생겨 진공이 빠지는 경우가 대부분이다.

현재 가장 많이 사용되는 평판형 태양열 집열기는 외관 뿐아니라 효율적인 측면과 온도 활용 범위 등 여러 가지 면에서 진공복사관식 태양열 집열기에 비해 뒤떨어진다. 본 실험에서는 행하지 못하였으나 겨울철 실험을 통하여 All Glass Evacuated Tube 형 집열기의 열쇼크 문제와 동파문제를 보완한다면 히이트 파이프식 진공복사관식 집열기에 비해 국내 태양열 이용분야에서 폭 넓게 활용될 것으로 판단된다.

<Table 3> Results of experimental data

All Glass Evacuated tubes			
누적일사량(kW/m ²)	시수온도(℃)	최종온도(℃)	유량(ℓ/min)
162.326	23.24	39.22	4
158.400	31.66	48.78	3
180.050	32.69	49.95	2
SEIDO 2			
162.326	22.12	33.88	2
158.400	28.66	39.80	3
180.050	29.09	41.32	4

<Table 4> Comparison of experimental data

구분	시수온도(℃)	최종온도(℃)	온도차(℃)	집열용량(ℓ)	열전달율(W)
All glass evacuated tube	21.43	39.03	17.60	100	255.4
SEIDO 2	20.32	35.97	13.65	110	217.9
직접식 평판형 집열기	20.11	34.21	14.10	80	163.7

참 고 문 헌

Ghoneim A. A., Fisch N., Ammar A. S. A. and Hahne E., 1994, "Investigation of Evacuated Tube Collectors", *Solar Energy*, Vol. 16, pp.16~23.

Hawtlader M. N. A and Qijeysundera N.E., 1987, "Solar Collector Testing", *Renewable Energy Review Journal*, Vol. 9, pp. 11~25.

HE ZINIAN., GE HONGCHUAN., JIANG FULIN and LI WEI., 1997, "A Comparison of Optical Performance between Evacuated Collector Tubes with Flat and Semicylindric Absorbers", *Solar Energy*, Vol. 60(2), pp. 115~116.



Ismail. K. A. R and Abogderah M. M., 1998, "Performance of a Heat Pipe Solar Collector", *Transactions of the ASME*, Vol. 120, pp. 52~58.

Mason. A. A and Davidson J. H., 1995, "Measured Performance and Modeling of an Evacuated-Tube, Integral-Collector-Storage Solar Water Heater", *Transactions of the ASME*, Vol. 117, pp.225~229.

Oliveti. G and Arcuri N., 1996, "Solar Radiation Utilisability Method In Heat Pipe Panels", *Solar Energy*, Vol. 57, pp. 346~349.

Othman. M. Y., Yatim. B., Ruslan. M. H and K. Sopian., 1996, "Indoor Testing of Various Collectors", *Solar Energy Research Group*, pp.149~150.

Sumathy. K., 1997, "Solar Flat-Plate Collector Testing for The HongKong Climate", *ISES 1997 Solar World Congress*, Vol. 2, pp. 57~58.

Wu Jinfan., Zou Huaisong., Zhang Jian and Fang Jun., 1997, "Experiments of All-Glass Evacuated Tubular Collect with U-Tube and Al Fin Manifold and Embodiment", *ISES 1997 Solar World Congress*, Vol. 2, pp. 79~84.

강용혁 등, "태양열 온수 급탕 시스템 성능 표준화", 한국에너지기술연구소, KIER-991423, 1999.

조일식 등, "태양열 열전 발전 시스템의 실험적 연구", 한국태양에너지학회 논문집, 제 18권, 제 3호, pp. 114~116, 1998.



천원기 등, "진공복사관식 태양열 집열기의 최적모델 개발 연구", 포항산업과학연구원, 2001.

감사의 글

먼저 부족한 저에게 많은 격려와 가르침을 주신 천원기 교수님과 학과 교수님들께 이 글을 빌어 진심으로 감사하다는 말을 드리고 싶습니다. 모든 면이 부족하고 서툴렀지만, 교수님들의 가르침과 도움이 있었기에 이렇듯 결실을 얻을 수 있었다고 생각합니다. 그리고 옆에서 친형처럼 학과 생활에 편의를 봐주신 조교선생님에게도 감사드립니다.

항상 든든한 후원자로서 저를 믿고 사랑해주시고, 애정어린 눈길로 지켜봐 주신 부모님과 누나, 여동생에게도 감사하다는 말을 전합니다. 제게 항상 편안한 휴식을 준 가족들이 있었기에 편한 맘으로 학교생활에 전념할 수 있었습니다.

비록 길지 않은 2년이라는 시간동안 많은 어려움에 부딪칠 때마다 친동생처럼 도움을 주셨던 창수형, 그리고 무리한 부탁도 흔쾌히 들어주며 격려해준 준호형, 지훈, 상범, 보안이에게도 고마움을 전합니다.

바쁜 와중에도 항상 관심을 가져주었던 친구들 영동, 승화, 민호, 정빈, 영준, 승범, 성택, 선보, 성우, 용철, 재철, 재훈이에게도 고마움을 전합니다.

학교에서 밤샘작업을 할 때면 정성스레 도시락을 챙겨주고, 격려의 글을 보내며 지켜봐 준 수영이에게도 진심으로 고맙다는 말을 전합니다.

이렇듯 주위에 많은 분들의 격려와 도움이 있었기에 부족한 제가 이나마 작은 결실을 얻을 수 있었다고 생각됩니다. 앞으로 더욱 발전된 모습으로 많은 도움을 주신 분들에게 보답하겠습니다.