

【 論 文 】

BATCH형 자연형 태양열 온수급탕 시스템의 열적 성능에
관한 실험적 연구

Experimental Study for Thermal Performance of Batch
Type Passive Solar Hot Water System

강 용 혁* 조 일 식* 윤 환 기** 오 정 무*
Y.H.KANG Y.S.CHO H.K.YOON P.CHUNGMOO AUH

ABSTRACT

A batch type passive solar water systems, which perform the dual function of absorbing the solar energy and storing the heated water, have been designed and fabricated for the purpose of side-by-side testing at K I E R.

The test models included an A, B and C type batch systems which were classified according to the design of box and arrangement of tanks.

The year-round performance tests show that B type batch system taken the step-wise tank arrangement indicates 55.7% yearly-average collection efficiency factor and 61% yearly-average maximum collection efficiency factor.

Computer-aided-experimental results show that the sufficient hot water can be obtained in the early morning if the glazing is supplemented by a reflector/insulation cover.

The thermal performance equation has been developed for the prediction of hourly variation of the water temperature in tank.

1. 서 론

현재 태양열 이용 분야중 가장 각광을 받는 가정용 태양열 급탕 시스템중에는 설비형 태양열 시스템보다 자연형 태양열 시스템이 설계와 제작이 용이하고, 사용 및 작동의 간편성, 저가, 고효율 등으로 보다 경제적이다.

자연형 태양열 시스템에도 여러 형태의 시스템이 있으나 그 대부분이 집열부와 축열부(저장부)가 분리되어 있어 설비형 태양열 시스템에서와 같이 배관 및 복잡한 구조와 작동상에서 오는 피할 수 없는 열손실로 인해 보다 높은 효율과 경제성을 갖지 못한다.¹⁾

그래서 요즘 관심의 대상이 되고 있는 자연형 태양열 시스템은 이러한 단점을 만족시키는 batch형 자연형 급탕 시스템이다.

이 시스템은 collector/storage type, built-in-storage type, bread box type, integral type 등으로도 불리우며, 다른 종류의 자연형 태양열 급탕 시스템보다 오랜 역사를 가지고 있으며, 집열과 축열 기능을 동시에 만족하는 가장 간단한 구조로 각광을 받고 있는 시스템이다.²⁾

이러한 유형의 시스템들은 일본,³⁾ 남아프리카공화국,⁴⁾ 인도,⁵⁾ 이스라엘,⁶⁾ 호주,⁷⁾ 등에도 사용중에 있다. 그러나, 시스템들의 단점은 지역적 차이는 있지만 야간 열손실 및 동파 가능성이다. 이런 단점의 보완은 insulation cover, baffle plate 등의 설치와 별도의 insulated drum 에

* 正會員 : 韓國動力資源研究所

** 韓國動力資源研究所

저장하는 방법을 사용할 수 있다.

본 연구에서는 우리나라 기후 조건에 적합한 최적 시스템을 제작하여 개발하기 위해서 유형별로 3개의 batch형 자연형 태양열 온수 급탕 시스템을 제작하여 여러 작동 조건하에서의 열적 성능을 비교 분석하였다.

또한 시스템의 열적 성능을 향상시키고 야간열 손실을 줄이는 방안으로 reflector/insulation cover를 제작 실험하였고, 각 설계 변수가 열적 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 이론적 해석

가. 성능 방정식

시스템의 이론적 해석은 H.P. Garg²⁾에 의해 비교적 정확히 할 수 있게된 이래 W. Place 등은⁸⁾ 시스템간의 월평균 성능을 비교할 수 있는 간단한 분석 방법을 제시 하였고 이런 수치적 해석은 M. Dameshyar⁹⁾에 의해 실험치와의 비교를 통해 오차가 10%내외라는 정확도를 갖게된다. 또한 Gregory L. Askew, PE¹⁰⁾과 Peter E. Nelson¹¹⁾은 각각 수치적 해석방법과 각 component 별로 열평형 연립방정식을 세워 computer simulation을 수행하였다.

시스템의 열적성능 성격은 시스템 각 요소의 고유열용량 및 계속적으로 변하는 기후조건에 의해 순간적(transient)이 된다.

시스템의 순간열평형 방정식은 H.P. Garg의 연구와²⁾ Usha Rani의 이론적 해석 방법을¹⁾ 도입하여 batch형에 알맞는 방정식으로 표시하고자 한다.

시스템의 열전달 mechanism은 시스템 전체를 하나의 control volume으로 잡지않고 시스템의 각 node에서 순간 열평형방정식을 수행할 수 있도록 잡는다. 이 각 node들은 집열창, tank 표면, tank 내의 물이다.

시스템의 성능을 구하기 위해서는 실제 순간 일사량과 외기온 data가 필요하며 이것은 fourier series로 표시한다.

다음 순간 열평형방정식은 두 경우로 나눈다.

첫째는 주간 순간열평형방정식이고 둘째는야간 insulation cover가 덮였을 경우의 순간열평형 방정식이다.

1) 주간 순간열평형방정식 (Insulation cover가 없을경우)

각 node에서의 순간열평형방정식은 다음과 같다. Fig.2.1은 시스템의 열전달 mechanism을 나타내고 있다.

○ 집열창

$$\begin{aligned} \partial_g \cdot I \cdot A_g = m_g \cdot C_g \frac{dt_g}{d\theta} + h_{e,ga} \cdot A_g (t_g - t_a) \\ + h_{r,gs} \cdot A_g \cdot (t_g - t_s) - h_{c,ig} \cdot A_g \\ (t_i - t_g) - h_{r,tg} \cdot A_t \cdot (t_t - t_g) \end{aligned} \quad (1)$$

○ tank 표면

$$\begin{aligned} (1+R) \cdot \tau_g \cdot \partial_t \cdot I \cdot A_g = m_t \cdot C_t \cdot \frac{dt_t}{d\theta} + h_{r,tg} \\ \cdot A_t \cdot (t_t - t_g) + h_{c,tw} \cdot A_w \cdot (t_t - t_w) + \\ U \cdot A_I \cdot (t_t - t_a) \end{aligned} \quad (2)$$

○ tank 내의 물 (water column)

$$h_{c,tw} \cdot A_w \cdot (t_t - t_w) = m_w \cdot C_w \cdot \frac{dt_w}{d\theta} \quad (3)$$

여기서 $t_a = t_s$, $t_i = \frac{t_g + t_t}{2}$, $A_t = A_w$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{c,ti}} + \frac{d}{K}} \quad \text{라 가정한다.}$$

식(1)의 좌변항은 집열창에 흡수된 순수 복사열이고 우변 첫째항은 집열창의 열용량이고 둘째항은 집열창에서 공기로의 대류열손실이고 셋째항은 집열창에서 외기로의 복사열 교환량이고 넷째항은 box 내부로 부터의 열획득량이며 마지막항은 tank 표면과 집열창 사이의 복사열 교환량이다.

식(2), (3)의 물리적 성질도 식 (1)과 동일한 의미를 갖는다.

여기서 초기 조건을

$$\begin{aligned} t_g(\theta=0) = t_t(\theta=0) = t_w(\theta=0) = \\ t_i(\theta=0) = t_a(\theta=0) \end{aligned} \quad \text{로 가정한다.}$$

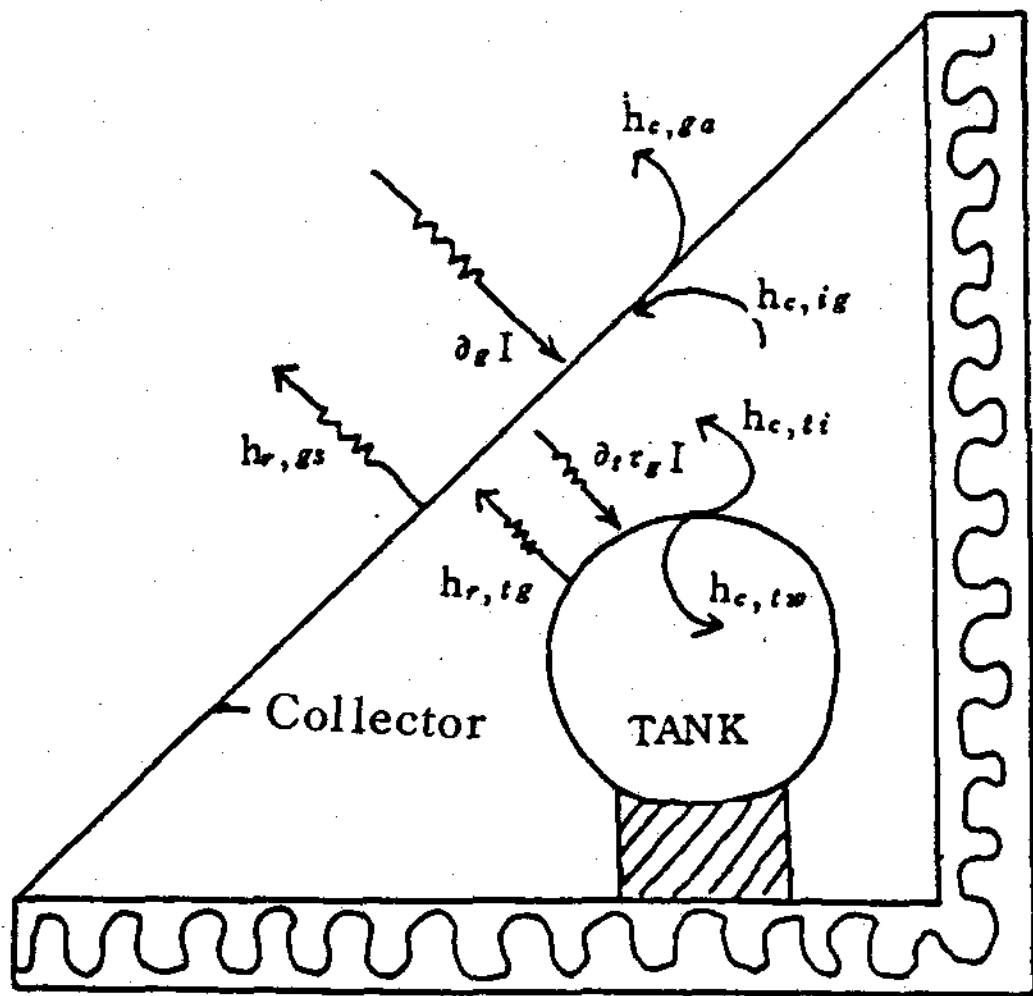


Fig. 2.1 Heat transfer mechanism of Batch type passive solar hot water system

2) Insulation cover 설치시의 순간열 평형 방정식

각 node에서의 순간열평형 방정식은 다음과 같다.

○ 집열창

$$-m_g \cdot C_g \cdot \frac{dt_g}{d\theta} + h_{c,ig} \cdot A_g \cdot (t_t - t_g) + h_{r,tg} \cdot A_g \cdot (t_t - t_g) = U_1 \cdot A_g \cdot (t_g - t_a) \quad (4)$$

○ tank 표면

$$-m_t \cdot C_t \cdot \frac{dt_t}{d\theta} = h_{c,tw} \cdot A_t \cdot (t_t - t_w) + h_{r,tg} \cdot A_t \cdot (t_t - t_g) + h_{c,ti} \cdot A_t \cdot (t_t - t_i) \quad (5)$$

○ tank 내의 물 (water column)

$$-m_w \cdot C_w \cdot \frac{dt_w}{d\theta} + h_{c,tw} \cdot (t_t - t_w) = 0$$

여기서 $U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_{c,gia}} + \frac{d}{k}}$ 라 가정하고 초기

조건은 식 (1), (2), (3)의 경우에서 구해진다.

그리고 식(4), (5), (6)의 물리적 의미도 전과 같다.

이상의 방정식은 F.D.M. (Finite Difference Method) 를 사용하여 푼다.

F.D.M을 사용하여 방정식을 풀기 위해서는 finite difference grid가 필요하며 이것은 시간변수이다. 시간증분, K, 을 사용하여 현재값에서 미래치를 계산하며 K값이 적을수록 정확도가 커진다.

임의의 위치, i, 에서 $\theta = jk$ 시간에서의 온도는 $t(i, j)$ 로 표시하며 똑같은 위치에서 $\theta + K$ 때의 온도는 $t(i, j+1)$ 로 표시할 수 있다.

식(1)-(6)의 방정식을 finite difference 형으로 바꾸기 위해서는 시간에 대한 미분형을 다음과 같은 형을 사용하여 수행할 수 있다.

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{t(i, j+1) - t(i, j)}{K}$$

일사량과 외기온은 Fourier series로 표현하여 대입하고 각 열전달 계수는 각 경우 실험치를 사용하여 계산하고 ^{12), 13)} 각 constant들을 분석하고자 하는 시스템의 고유물성치를 대입한다.

나. 집열효율

하루동안의 얻어진 집열효율

$$\eta = \frac{\int_0^\theta q_w d\theta}{A_g \int_0^\theta I_{Tt} d\theta} \quad (7)$$

로 정의된다.

여기서 I_{Tt} 는 집열창위에 떨어지는 일사량 (kcal/m²hr) 이고, q_w 는 물의 열흡수량 ($m_w C_w \Delta T$) 이다.

한편, $\theta = \theta_1$ 에서 물의 온도가 최대가 될때

$$\eta_{max} = \frac{\int_0^{\theta_1} q_w d\theta}{A_g \int_0^{\theta_1} I_{Tt} d\theta} \quad (8)$$

를 최대집열효율이라 정의한다.

3. 실험

가. 실험장치 제작

Fig. 3.1 에서 보는바와 같이 batch형 자연형 태양열 온수 급탕 시스템을 A,B,C type 3 유형으로 제작하였다.

시스템의 모양은 단열 [100 mm고밀도 발포폴리 스티렌 (EPS)] 된 box 속에 용량이 100 ℓ 인 수평 tank (φ380 × L 900) 2 개를 직렬로 연결 배치하여 그 윗부분은 집열창 (pair, 3+6A+3 mm) 을

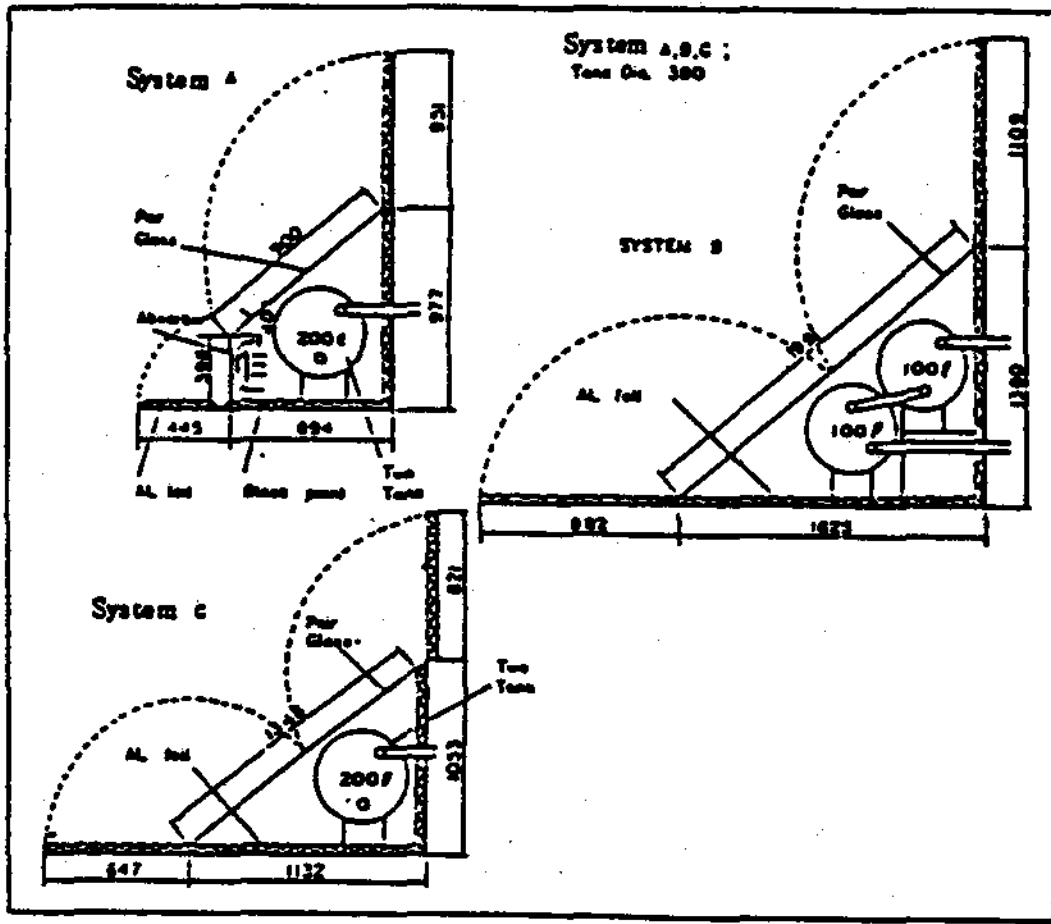


Fig. 3.1 Cross sectional view of Batch type passive solar hot water system - A, B, C Type

Table 3.1 Specification of Batch type passive solar hot water system - A, B, C Type

System Type	A Type	B Type	C Type
Classification			
Collection Area of Glazing	2 m ²	2 m ²	2.36 m ²
Glazing Material	Pair Glass (3+A6+3mm)	Pair Glass (3+A6+3mm)	Pair Glass (3+A6+3mm)
Incidence Angle	40°	40°	40°
Tank Material & Tank Surface	Stainless Steel Flat Black Paint	Stainless Steel Flat Black Paint	Stainless Steel Flat Black Paint
Tank Size	100ℓ x 2 = 200ℓ	100ℓ x 2 = 200ℓ	100ℓ x 2 = 200ℓ
Tank Array & Connection	a Row & Series	a Staircase & Series	a Row & Series
Box Material	Color Steel Board	Color Steel Board	Color Steel Board
Insulation	EPS (100mm)	EPS (100mm)	EPS (100mm)
Interior (Reflector)	Flat Black Paint	Al Foil	Al Foil

남쪽으로 수평경사각 40°로 설치한 구조이다.

유형별 집열창의 면적, 재질, 경사각과 tank의 재질, 크기, 배열 및 연결등은 Table 3.1에 나타내었다.

시스템의 작동은 main water 공급관이 1차 tank 하단에 설치된 inlet pipe (φ15)에 연결되어 있고 온수는 2차 tank 상단에 설치된 outlet pipe 밸브를 열므로써 시수압에 의해 온수가 나오

는 단순한 원리로 이루어진다.

야간열손실을 줄이기 위해 Insulation/Reflection Cover를 box와 같은 재질로 제작하여 내부에 Al foil을 붙여 설치하였다.

그리고 각 tank의 하단에 drain valve를 설치하였고 water capacity 증가와 수압에 의한 tank 파괴 방지를 위해 air vent를 각 tank 상단에 설치하였다.

Insulation/Reflection cover의 조작은 수동으로 하며 일사량 증가를 위한 일사각 조절을 위해 10° 간격으로 조절이 가능한 도어조정기를 설치하였다.

A type에는 집열창 안쪽에 absorber(흑색 페인트를 칠한 1mm 두께의 동판)를 설치하여 시스템 내부의 공기온도를 상승시키기 위한 자연대류를 유발하도록 시도하였다.

나. Distributor 제작

이론적 배경 고찰에서^{14~17)} 언급한 것과 같이 tank 내의 온도성층화 (Thermal stratification)는 시스템 성능에 결정적 인자이며 이를 위하여 성층화 촉진기구의 사용을 권하는 연구도¹⁸⁾ 발표되었다.

제작된 distributor는 열성층화를 최대한으로 하고, 유입되는 찬물과 성층화되어 있는 온수와의 mixing을 최대한으로 줄이기 위해 80cm 동관에 3.5cm 간격으로 φ2mm의 구멍 50개를 뚫은 구조로 제작되었다.

다. 실험 및 측정방법

실험은 Fig.3.2에서 보는 바와같이 제작된 3대의 시스템에 매일 오전 9시까지 시수로 tank를 채워 실제 측정에 들어갔다.

시스템의 일시측정과 연속측정은 계절별 data를 얻기 위해 1년간 실험을 수행하였다.

매일 오전 main supply water valve 1을 열고 inlet valve 2를 열어 tank에 시수를 채우

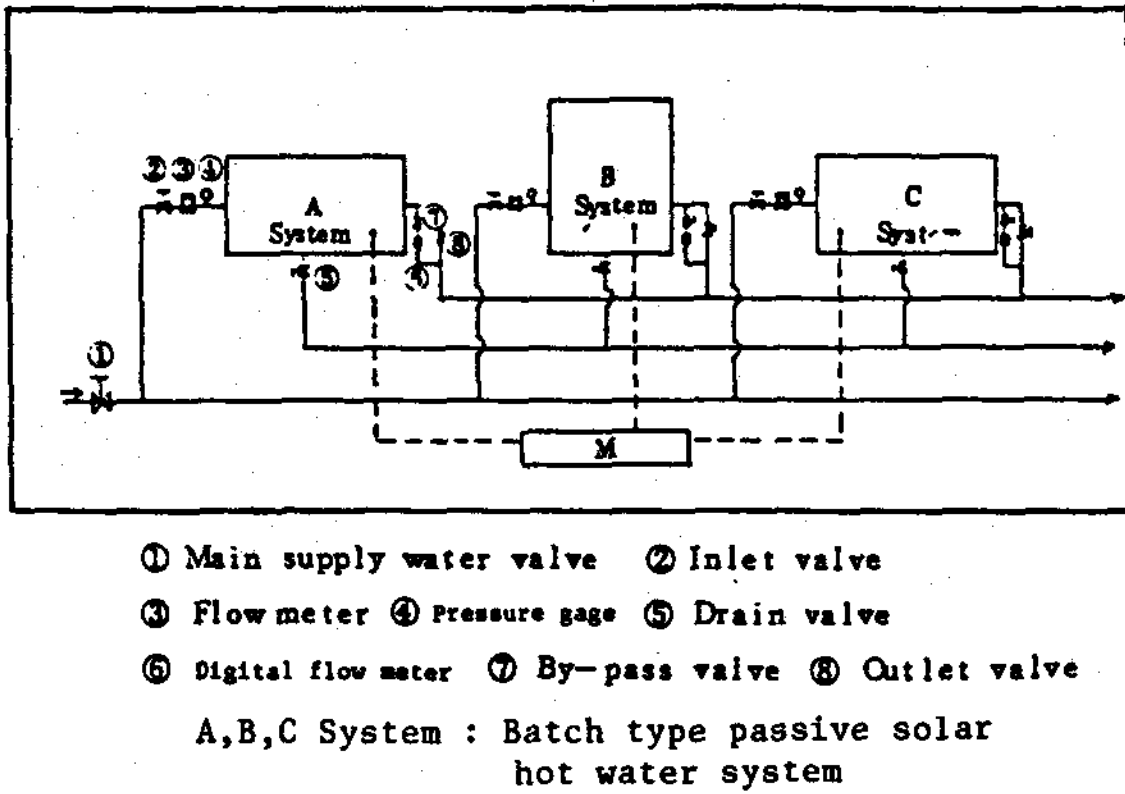


Fig. 3.2 Schematic diagram of experimental apparatus

고 단순히 오후에 outlet valve 8을 열어 그동안의 data를 얻어 주간 열적성능을 구한다. 실제 사용시는 1,2는 열려 있고 온수 사용시만 8을 열어 사용한다.

7은 by-pass valve 이고 6은 적산유량계 (Hersey Niagara 430, U.S.A) 로써 온수 사용시 총 열유량을 계산하는데 사용하고 inlet valve 다음에 설치된 Flow meter 3(Nippon Flow Cel co. FLT 10A)는 유입되는 유량을 일정하게 유지시켜 tank 내의 온도분포 변화를 측정하였다.

시스템의 설계변수를 변화시켜 1년간 (85.7 - 86.6) 실험하였고 주로 쾌청한 날에 측정을 수행하였다.

압력계 4는 outlet valve 8이 닫힌 상태에서 시수압을 점검하여 tank의 안전도 검사를 하며 drain valve 5는 겨울철 실험시 동파방지 및 일시 측정시 빠른 물교환을 위해 사용하였다.

측정 및 분석작업은 측정점과 HP 3054 A automatic data acquisition/control 시스템의 scanner 사이에 C-C thermocouple (T type) 을 연결하여 Controller인 HP 9825 B로 data를 매 10분 간격으로 수집하여 HP 9845 B로 정리 분석하였다.

측정점은 동일 요소에도 여러개의 thermocouple 을 설치하여 그 측정 data를 산술평균하여 그 요소의 측정값으로 취하였다.

일사량은 집열창 설치경사각과 동일하게 설치된

Pyranometer (Epply, MO. PSP, U.S.A) 로, 외기온은 백엽상에 thermocouple 을 설치하여 측정하였다.

특히, tank 내 평균수온은 Fig.3.3 에서와 같이 18군대의 측정 data를 가중치 (Weighted-average temperature) 로 계산하였다.

가중치 계산의 배경은 tank 내의 온도성층화에 관한 측정 data와 연구결과들이다.^{14~17)}

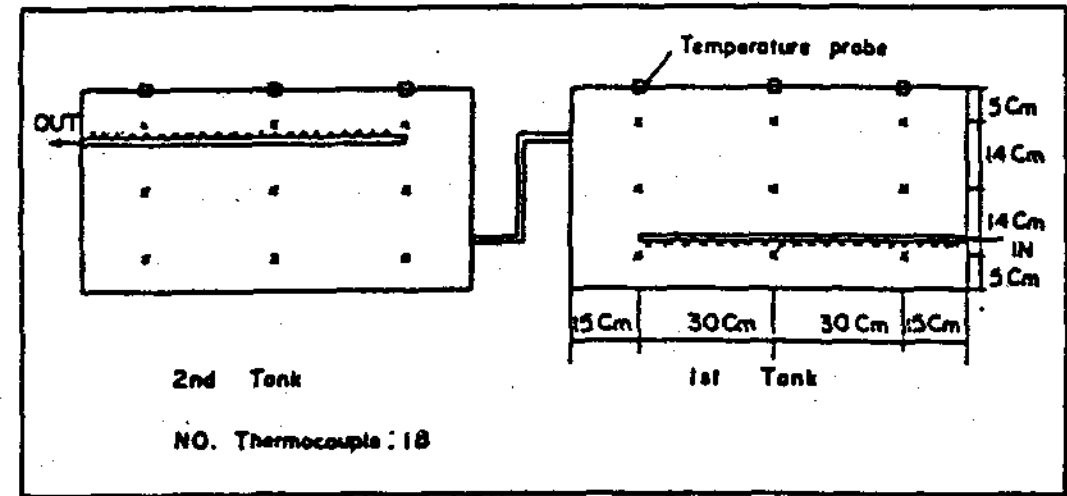


Fig. 3.3 Location of thermocouples

4. 실험 결과 및 분석

가. 시스템 효율분석

Fig.4.1에서 알 수 있듯이 이론해석에 실험치의 일사량과 외기온을 적용하여 실험치와 비교할 때 예상온도의 오차범위가 10% 이내임을⁹⁾ 알 수 있다.

시스템의 효율은 일시 측정 결과치보다는 연속 측정에 의한 년중 data를 분석하는 것이 보다 정확하게 분석할 수 있다.

Fig.4.2는 type 별 월평균 효율 곡선을 나타낸 것으로 B type이 A, C 두 type보다 년중 항상 효율이 좋으며 A type이 51.5%, B type이 55.7%, C type이 52.3%이다.

최대 집열 효율도 집열 효율과 같이 시스템의 성능을 나타내는 parameter 로써 Fig.4.3에서 알 수 있듯이 월평균 최대 집열 효율의 변화도 월평균 집열 효율의 변화와 같은 경향을 보이고 있다. 각 type 별 연평균 최대 집열 효율은 A type이 54.7%, B type이 61%, C type이 57.3%이다. 이와같이 B type보다 우수한 이유는 tank의 배

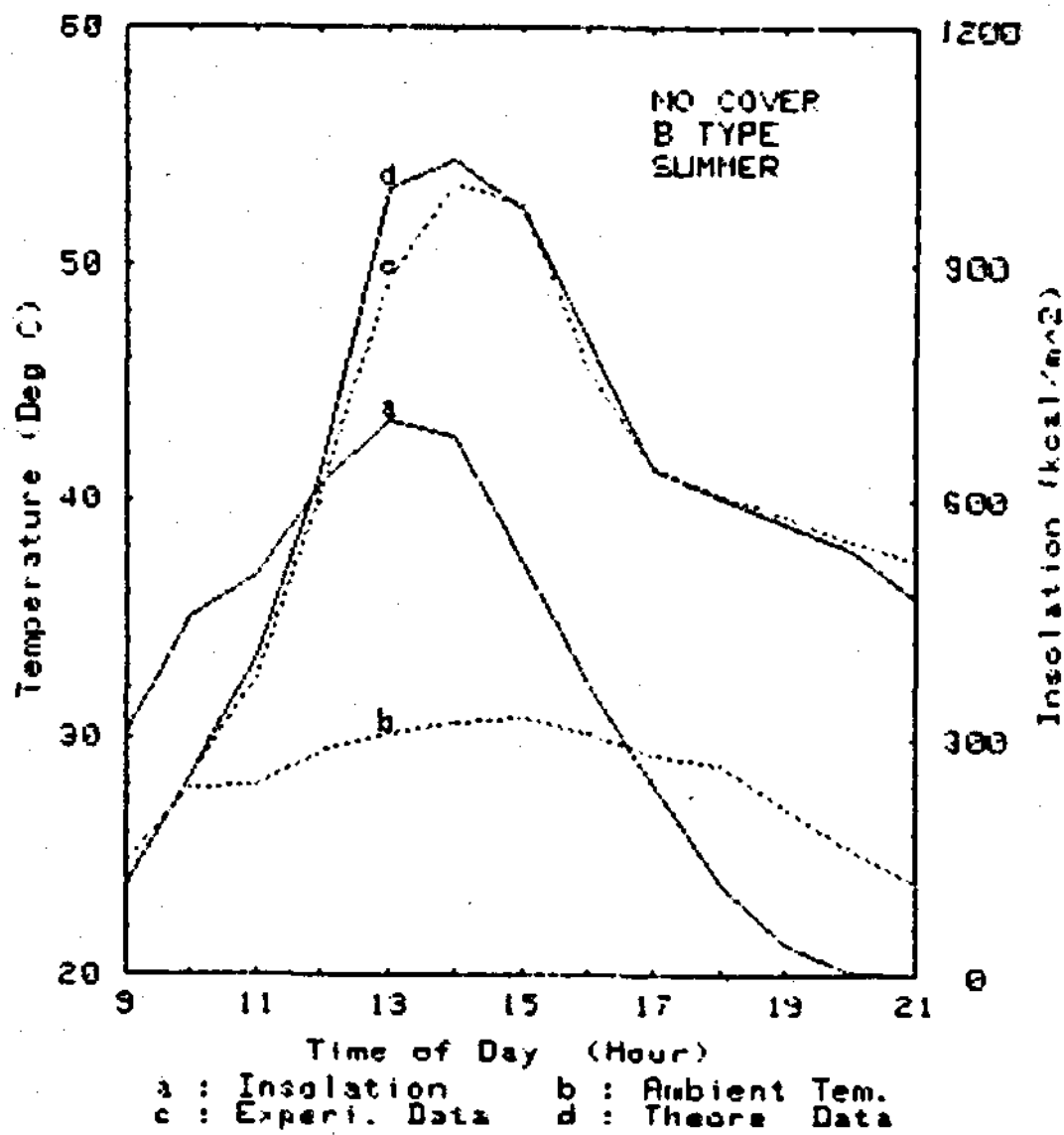


Fig. 4.1 Comparison between experimental and theoretical average water temperature in the tank for the various hours of the day - B Type, summer

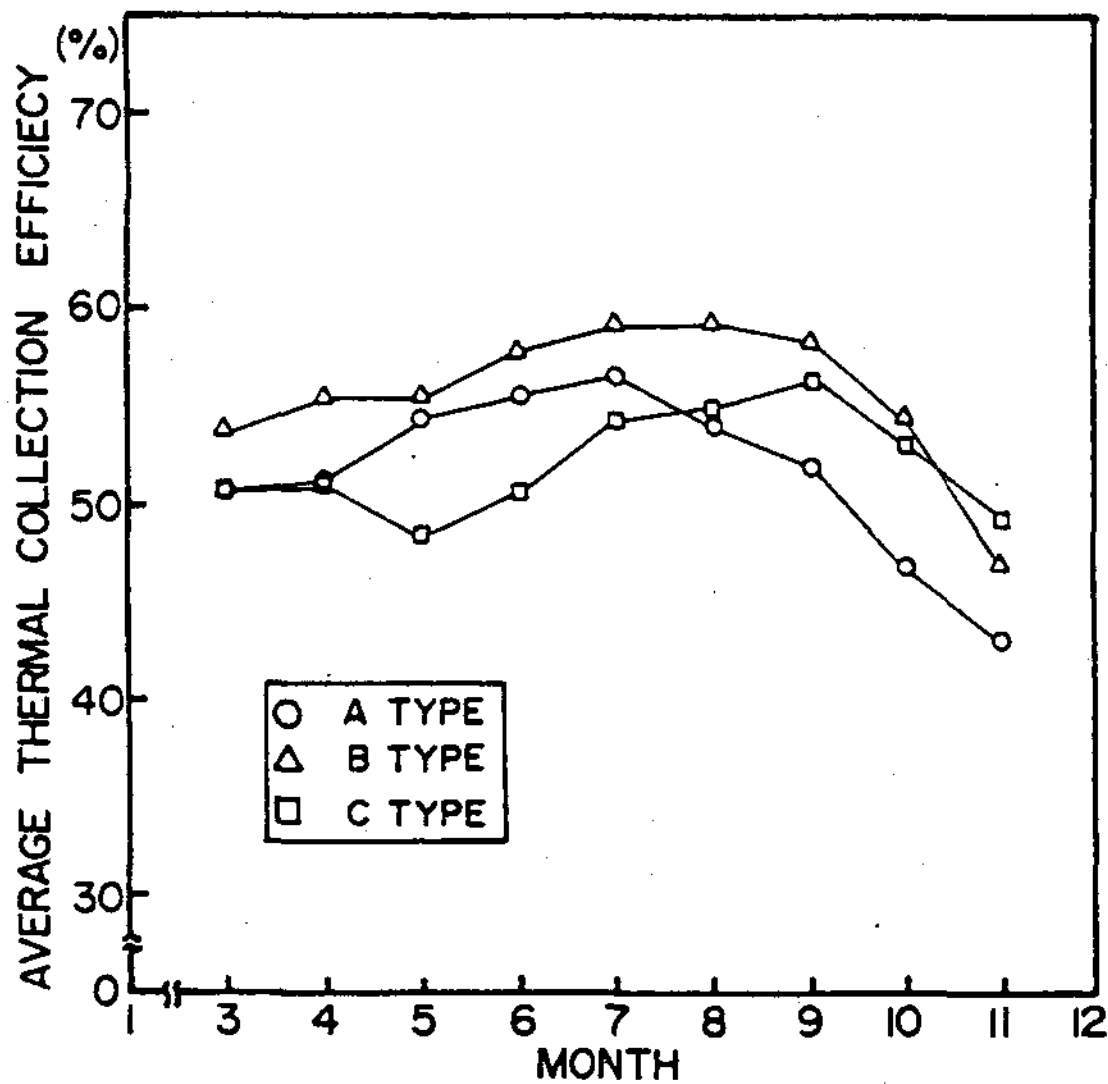


Fig. 4.2 Monthly average thermal collection efficiency curves - A, B, C Type

열과 box의 기하학적 형태에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 4.4는 계절별로 3일동안 물을 배수하지 않은 상태에서 야간에 insulation cover를 사

용하지 않고 연속측정한 B type의 heating과 cooling되는 주기적 수온변화를 나타낸 곡선이다. 모든 계절의 아침수온이 점점 증가한 것은 tank의 storage 효과를 나타낸 것이고 수온이 최대가 되는 시각에 insulation cover를 덮을 경우보다 높은 아침 수온을 얻을 것이다. 한편 온도증가폭은 여름철(7월)에 1일째, 2일째, 3일째, 각각 24.1°C, 19.6°C, 18°C이고 봄철(3일)에는 21.9°C, 20°C, 24.5°C이고 가을철(11월)에는 14.2°C, 18.6°C, 20.8°C이다.

그리고 최대수온이 되는 시각과 최대일사량이 되는 시각이 상이하며 type별 최대수온이 되는 월평균시각의 변화곡선은 Fig. 4.5와 같으며 이것은 최대집열효율 곡선과 동일한 경향을 갖는다.

각 type별 연평균 최대수온이 되는 시각은 A type이 15시 42분, B type이 15시 30분, C type이 15시 37분으로 B type이 가장 빠르며 일사량이 최대가 되는 시각인 13-13시 30분과는 모두 상이함을 알 수 있다. 이는 일사량이 최대가 되는 시각을 지나서 일사량은 감소하지만 그 일사량과 외기로의 열손실이 균형을 이루는 때가 최대수온이 되는 시각이기 때문이다.

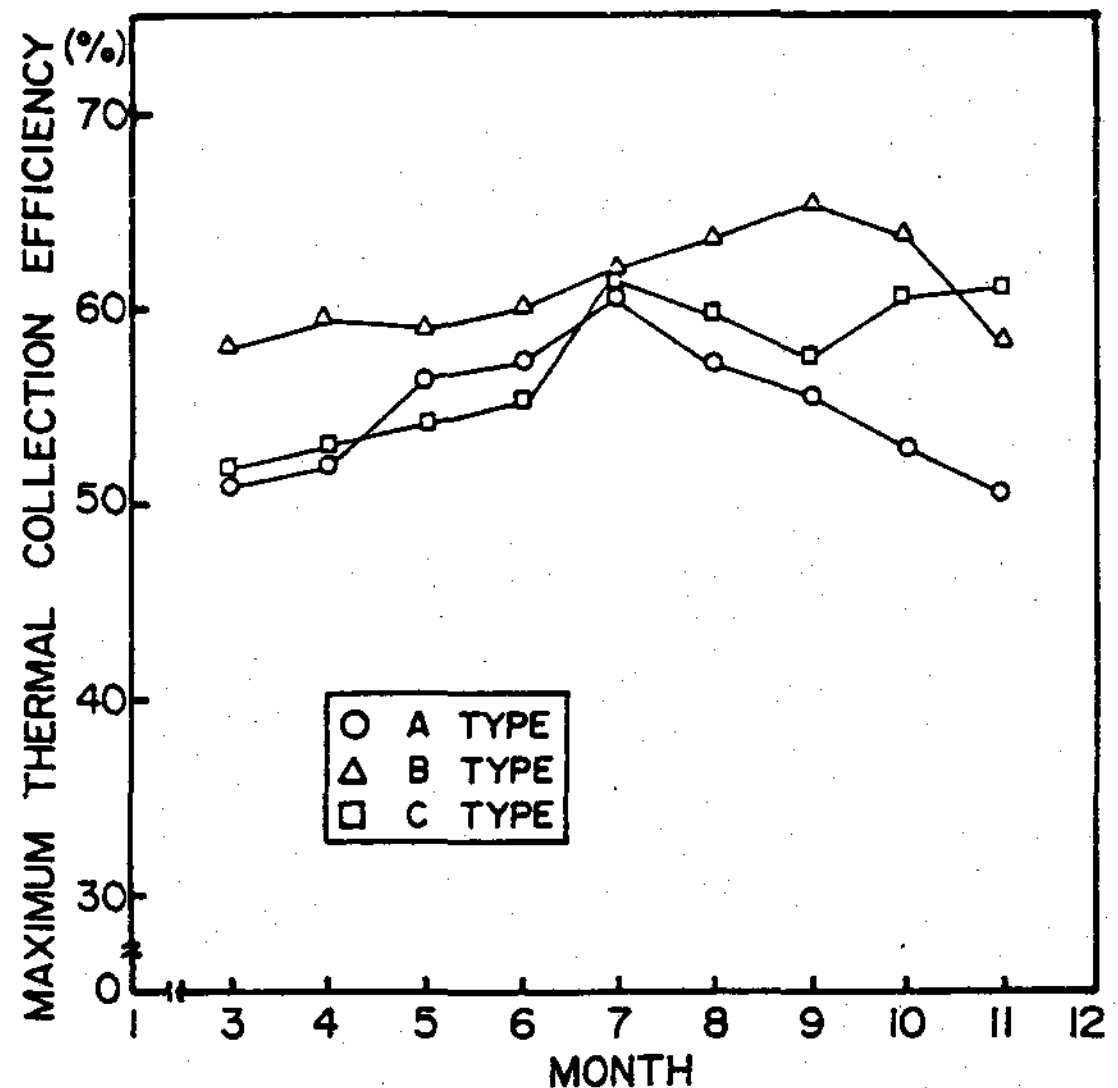


Fig. 4.3 Monthly average maximum thermal collection efficiency curves - A, B, C Type

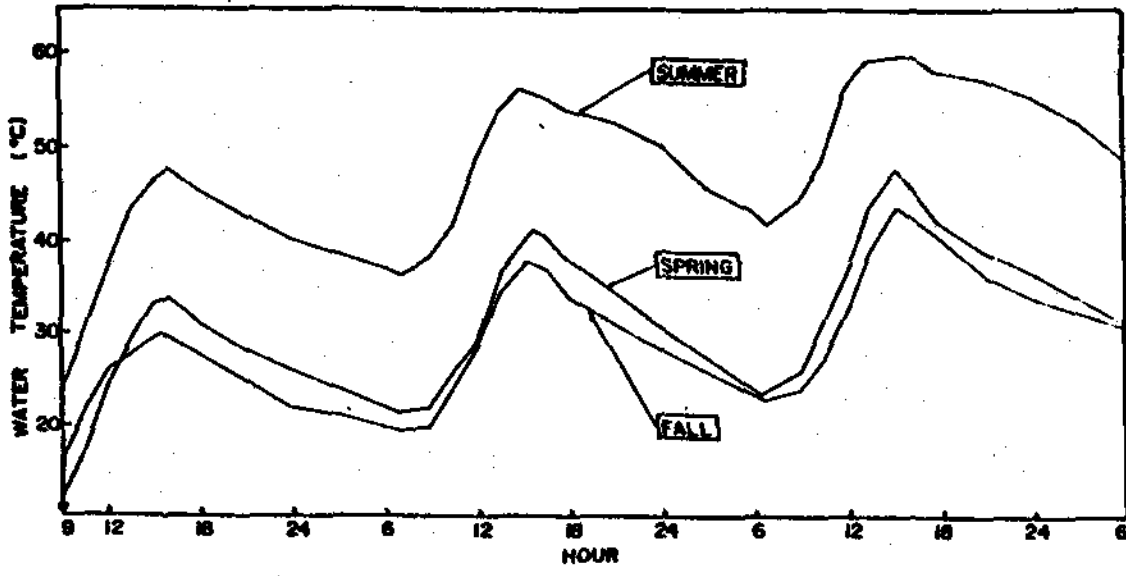


Fig. 4.4 Seasonal average water temperature rises in the tank for three consecutive days - B Type

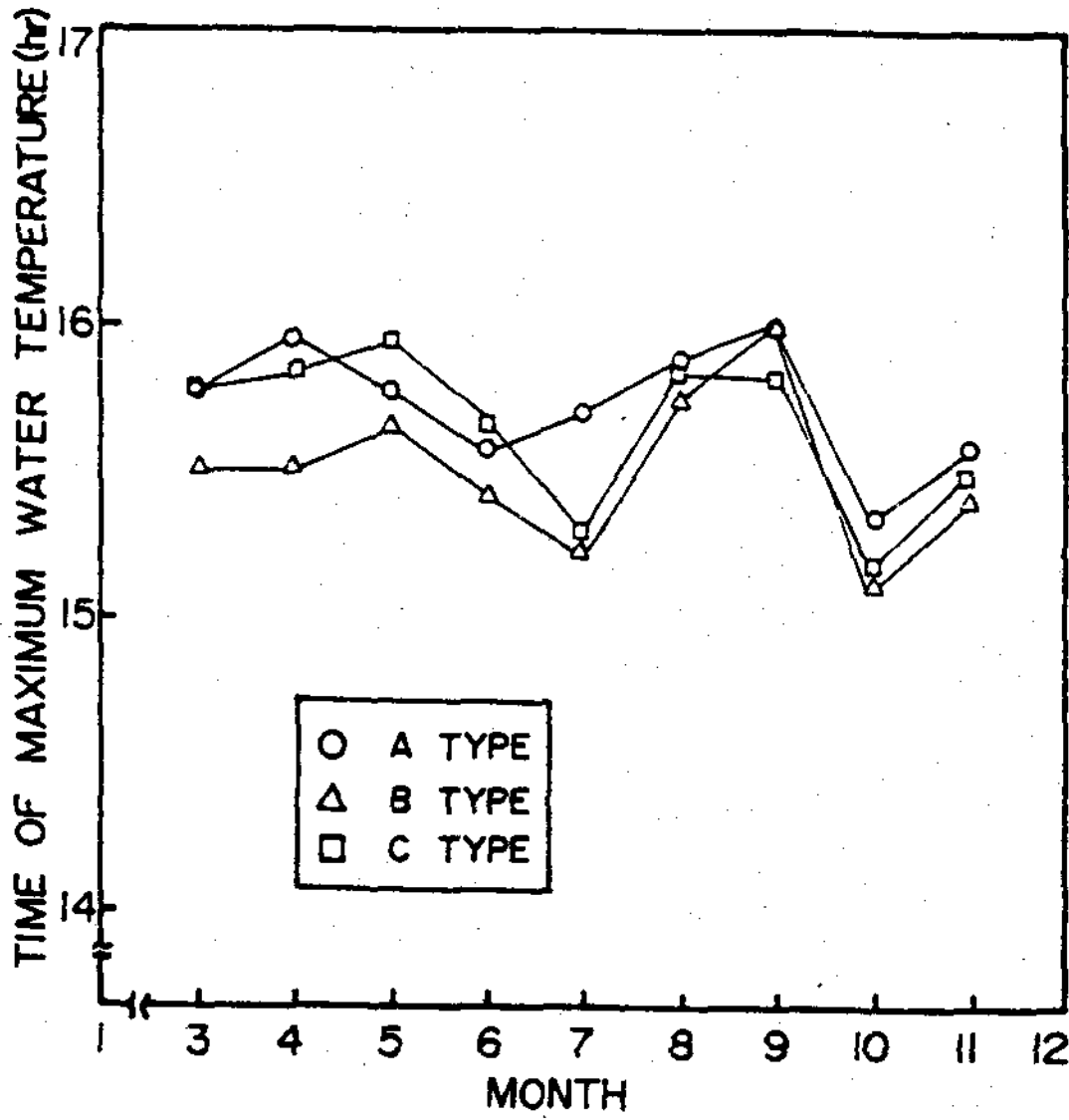


Fig. 4.5 Monthly average time curves of maximum water temperature - A, B, C Type

나. 설계변수가 열적 성능에 미치는 효과
 시스템 효율분석에도 언급한 것과 같이 집열창을 통한 열손실이 시스템 성능에 많은 영향을 주며 이 점이 이 시스템의 단점인 야간열손실 및 동파 가능성이다.

Fig.4.5 에서도 살펴본 바와같이 heating curve가 최대가 되는 시각에 insulation cover를 덮으면 cooling curve를 보다 완만하게 할수 있을 것이다.

Fig.4.6 은 봄(4월), 여름(8월), 가을(11월)에 insulation cover를 덮을시 tank 내의 수온변화를 나타낸 것으로 일사량과 특히 외기온이 다르나 쾌청한 날의 data를 선정 비교하였다.

계절별 cover를 덮을시의 온도감소폭은 봄에 10.45°C, 여름에 7.86°C, 가을에 9.86°C 줄일 수 있음을 알 수 있다. 이와같이 온도감소폭은 여름철의 외기온이 훨씬 높아 그로 인한 영향으로 사료된다.

Insulation cover 제작시 100mm 단열로 제작해 실험하였으나 큰 부피에 따른 취급의 어려움 및 경제성을 비교하기 위해 50mm 단열로 제작해 비교 실험한 결과치가 Fig.4.7에 나타나 있다. 이 실험은 봄철(4월)에 실시하였다. 온도 감소폭이 100mm 단열을 쓴 경우 9.85°C, 50mm 단열을 쓴 경우 9.29°C로 나타나 insulation cover의 열손실 한계 두께를 보다 줄일 수 있음을 입증하였다.

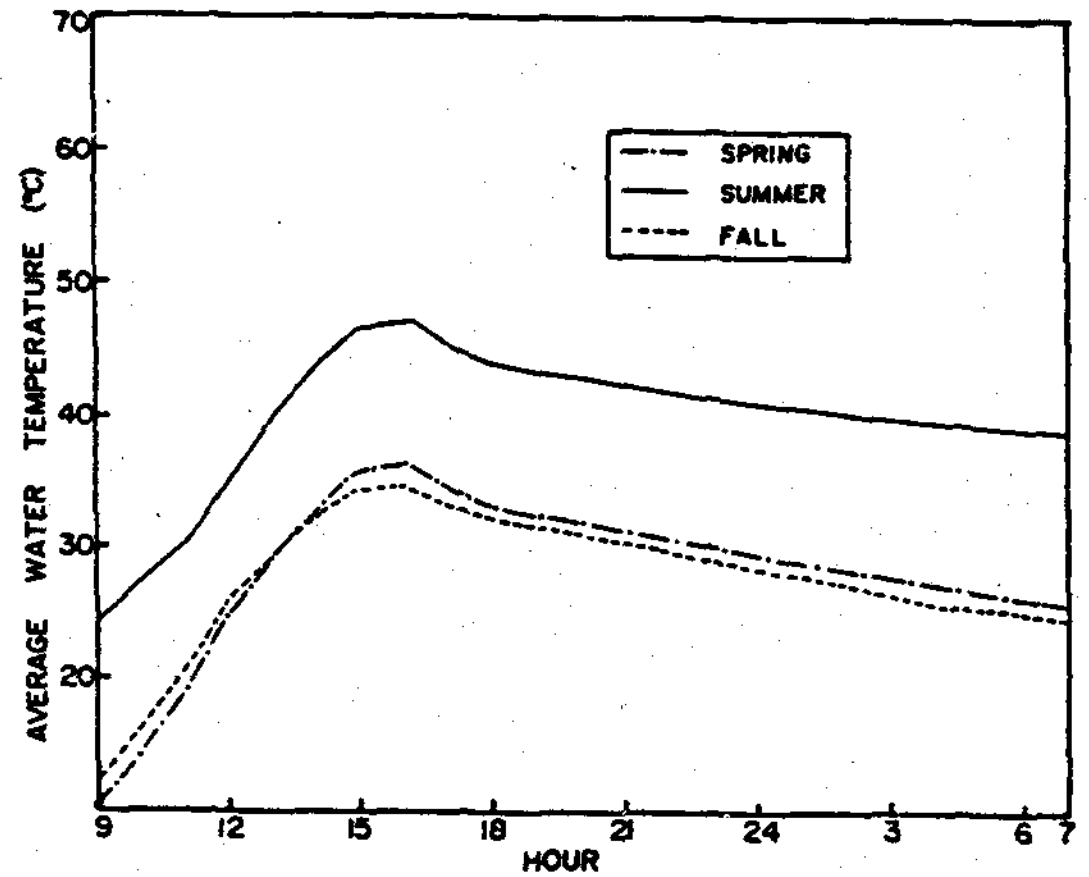


Fig. 4.6 Seasonal effect of insulation cover on the average water temperature - B Type

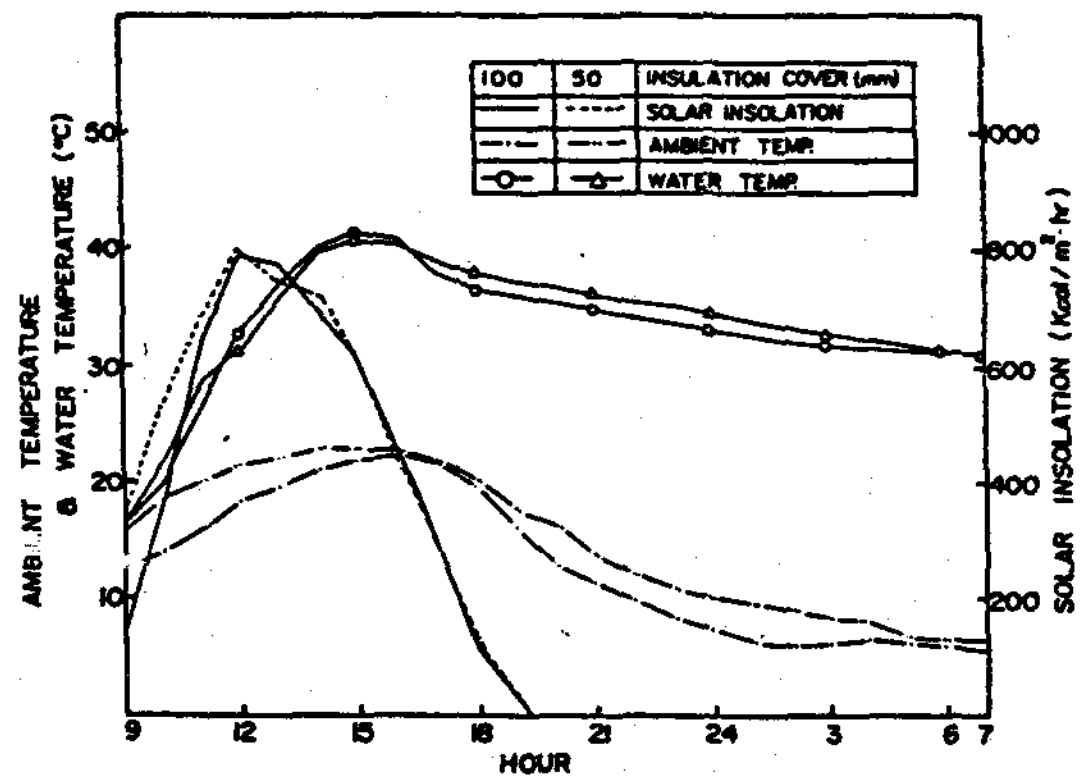


Fig. 4.7 Effect of insulation cover with different thickness - B Type

Fig.4.8은 봄(4월)과 가을(9월)에 기후조건이 거의 비슷한 경우 single glass(5mm)와 pair glass(3+6+3mm) 사용시 tank 내의 수온변화를 나타내고 있다.

이전의 연구결과와 같이 single glass는 heating curve에 pair glass는 cooling curve에 보다 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

최대 수온에서 다음날 아침 7시까지의 온도감소폭은 single glass의 경우 봄철에 20.09°C, 가을철에 21.5°C이고 pair glass인 경우 봄철에 8.83°C, 가을철에 17.6°C이다. Heating curve의 온도 증가폭은 single glass의 경우 봄철에 26.16°C, 가을철에 25.2°C이고 pair glass의 경우 봄철에 26.59°C, 가을철에 29.8°C이다.

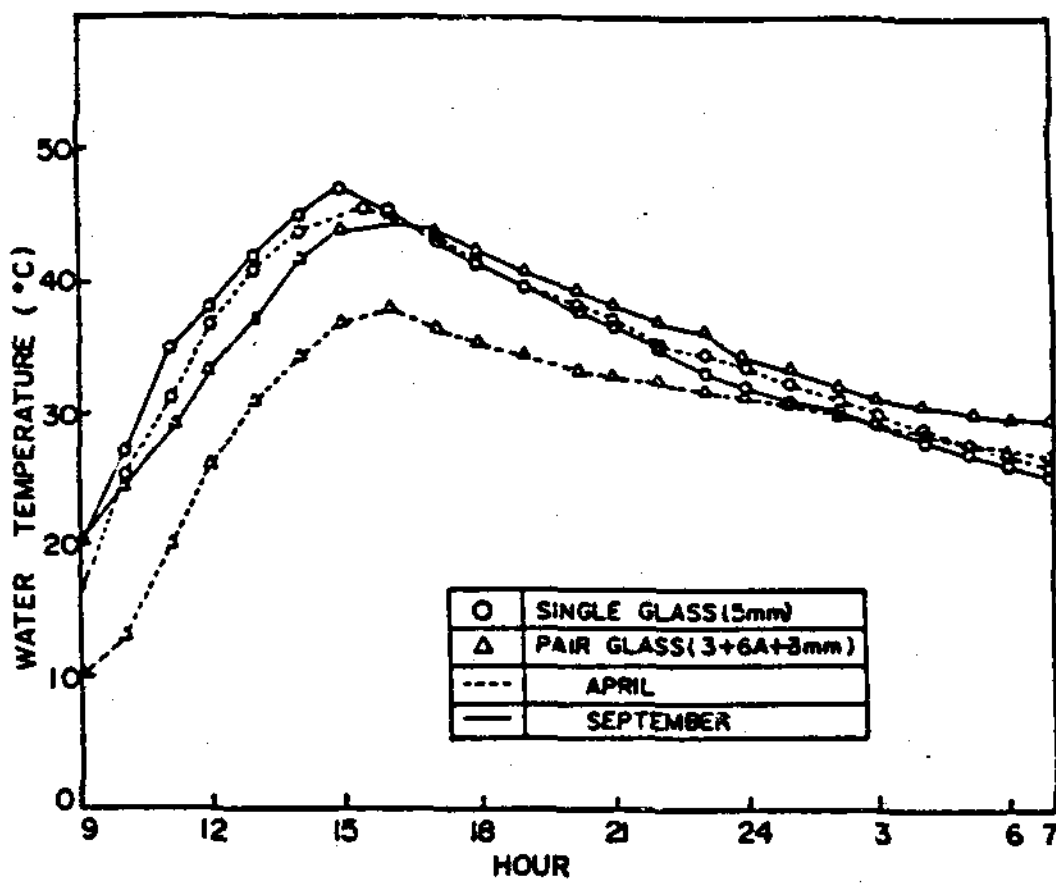


Fig. 4.8 Seasonal effect of glazing with different layer - B Type

이와같이 pair glass의 경우가 온도 증가폭은 single glass에 비해 뒤지지 않고 열손실 방지 효과는 우수한 결과를 나타내었다.

이것은 이시스템이 보다 많이 외기온의 영향을 받음을 알 수 있다.

내부반사재로 Al foil을 쓰는 경우가 흑색무광 paint로 처리한 경우보다 우수하며 일사측정에 의한 분석결과치에서도 tank상부와 하부의 온도차가 Al foil의 경우가 큰것으로 나타났다.

Box내에 투과된 복사열의 계산방법을 제시한 Gregory L. Askew, PE의 연구결과와도¹⁰⁾ 일치한다.

다. Tank 내의 온도성층화 분석

온도성층화에 대한 Z.Lavan 등의¹⁴⁾ 실험적 연구와 S.M.Han 등의¹⁶⁾ Computer simulation을 통한 연구에서 제시하듯이 tank내의 온도 성층화는 시스템성능 증대에 보다 큰 효과가 있다. Fig.4.9는 여름철(7월)에 tank내의 수직평균 온도분포를 나타내고 있다.

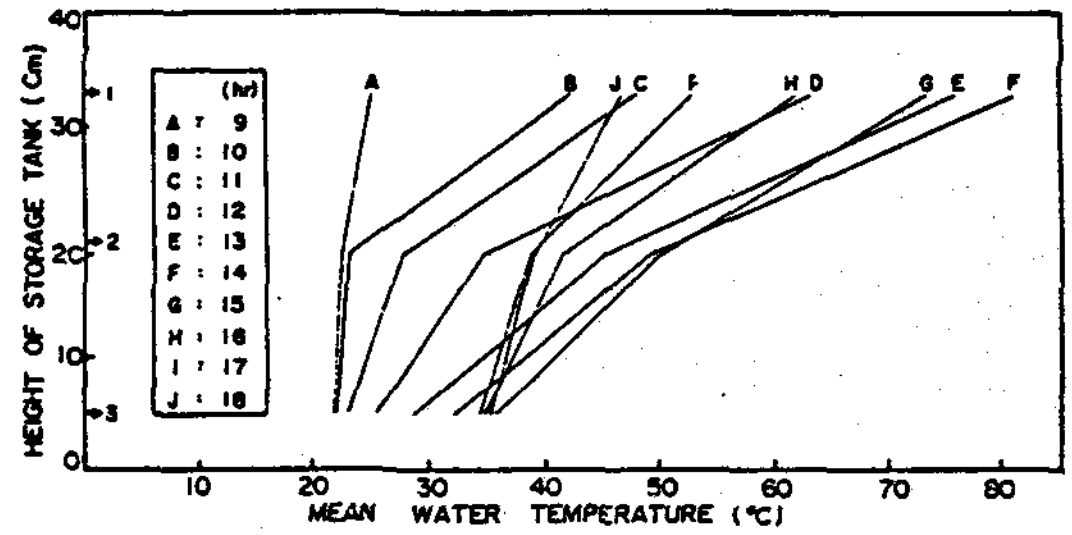


Fig. 4.9 Distribution of average water temperature for the height of tank - B Type, July

집열부분이 tank상부이기 때문에 오전 10시부터 14시까지 tank상부의 온도는 급격히 증가하며 그 이후 17시까지 보다 서서히 감소된다. 온도의 증감의 교체시각은 일사량 최대가 되는 시각과 거의 일치하고 있고 14시에 tank의 상부와 하부 사이의 온도차가 48.68°C로 최대가 된다. Tank의 증가부분은 17시 이후에, tank의 하부는 14시 이후 즉 Tank의 상부온도가 되는 시각부터 열재분배가 일어나기 시작하며 상부에서 하부로 열전도에 의해 진행된다.

집열량과 집열위치가 시각의 함수여서 tank내의 열전달 현상이 자연대류에 유도될 것으로 예상되나 집열위치가 tank상부인 관계로 대류에 의한 열전달은 미미하며 거의 열전도에 의해 열재분배가 일어난다.

Fig.4.10은 봄철(5월), 오후 6시(18:00)에 배수를 150 l/h의 유량으로 하여 tank내의 수온변화를 나타낸 것이다. Tank내의 평균 수온은 오후 6시에 36.15°C에서 200 l가 완전 배수된 오후 7시 20분에는 21.23°C로 14.92°C의 온도 감소폭을 갖는다.

온수의 배수경로는 1차 tank하부에서 상부로

다시 2차 tank 하부에서 상부로 직렬연결이다. 실제로 수온의 평균온도보다 배수시 2차 tank 상부의 온도가 보다 중요하며 수온의 변화는 직렬흐름 및 distributor의 효과로 인해 완만하다.

Tank하부의 온도변화는 1차 tank의 경우 50ℓ 배수 이후 부터 시수온도를 유지하나 2차 tank의 경우 1차 tank 상부의 온수가 유입돼 거의 100ℓ 까지 온도상승을 가져온다. 또한 2차 tank 상부 온도변화가 완만한 또하나의 이유는 가열된 내부공기와 tank 자체의 열보유량에 기인한다.

Fig.4.11도 봄철(4월), 오전 7시에 배수를 150ℓ/h의 유량으로 하여 tank내의 수온변화를 나타낸 것이다. 시간대를 달리하여 실험한 이유는 온수를 다음날 아침에 사용이 가능한가의 여부를 알기 위함이고 평균수온은 33.79℃에서 17.95℃였다. 이때도 오후 6시 배수한 경우와 마찬가지로 2차 tank 상부의 온도변화는 완만하여 보다 높은 수온을 충분히 이용할 수 있었다.

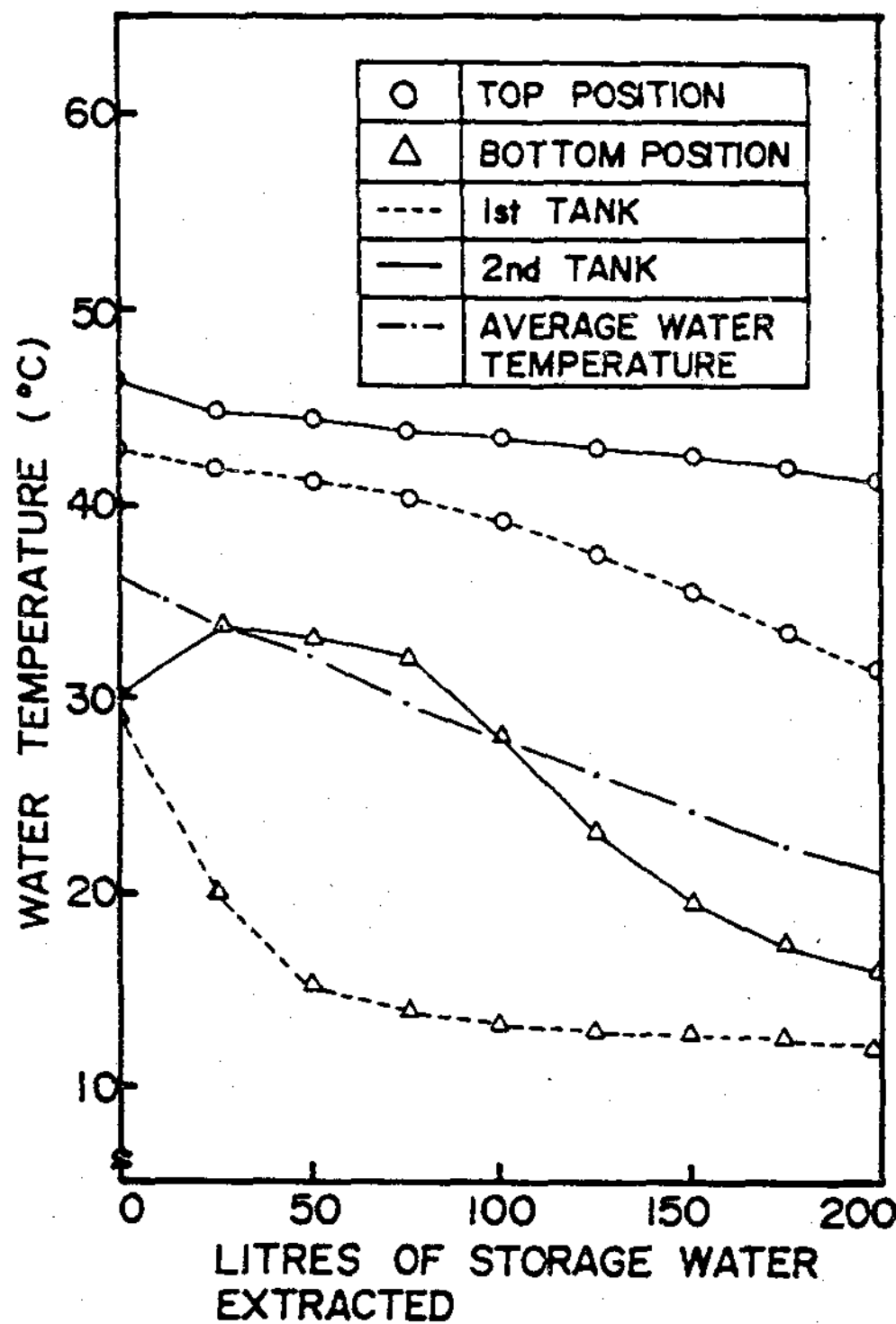


Fig. 4.10 Temperature variation of water with quantity drawn off at 18:00 - B Type, 1986.5.7

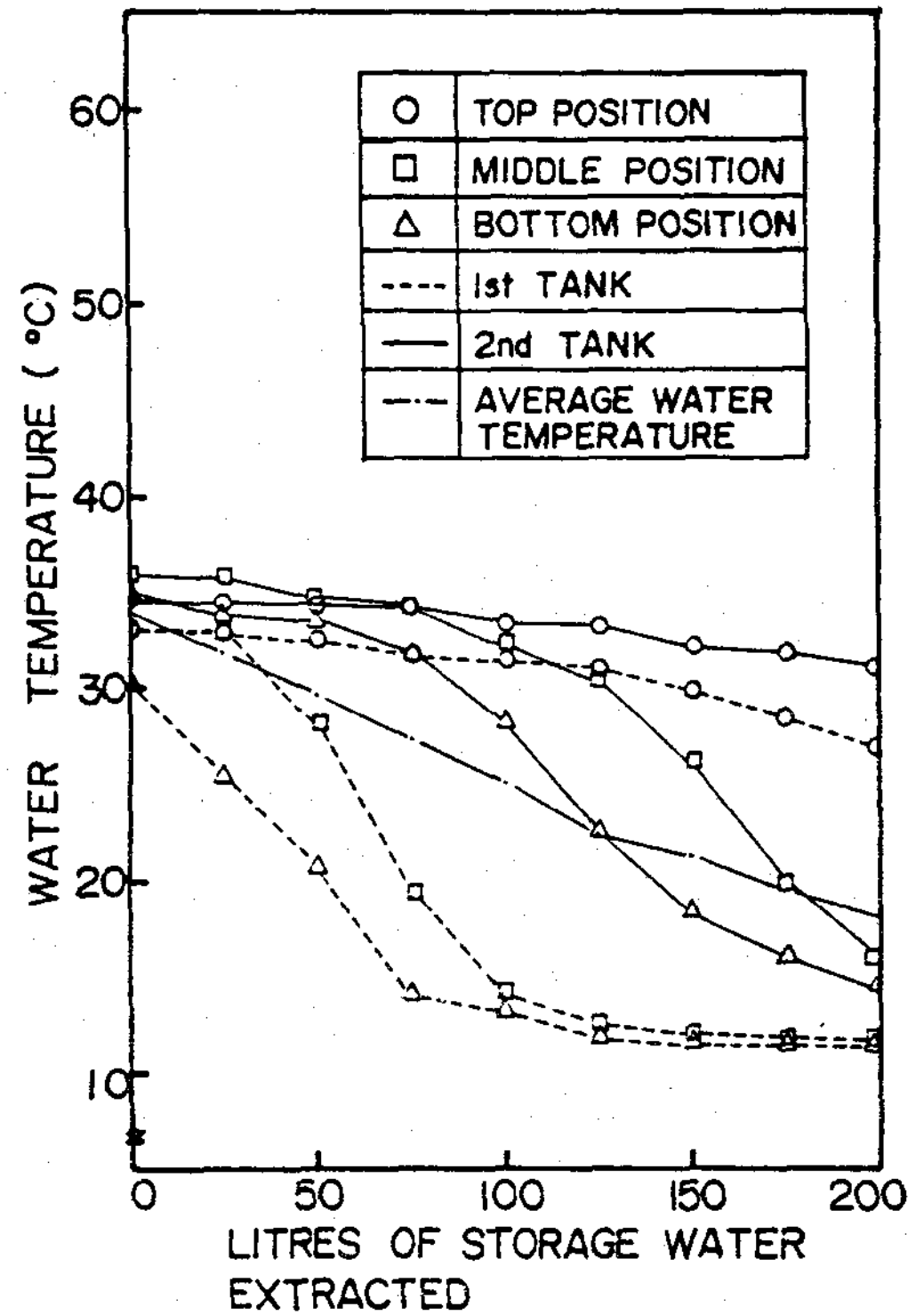


Fig. 4.11 Temperature variation of water with quantity drawn off at 07:00 - B type, 196. 4. 30

온도감소폭이 오후 6시 배수한 경우보다 큰 것은 내부공기온도와 tank 자체의 열보유량이 보다 적었기 때문이며 tank 내의 온도성층화가 재배열되었기 때문이다.

다음날 오전에 tank 내의 온도성층화 재배열은 Fig.4.12 과 Fig.4.13 을 비교하여 보면 쉽게 알 수 있다.

Fig.4.12는 시수하여 다음날 오전에 배수하기 전까지의 tank내의 수온변화를 나타낸 것으로 온도성층화의 과정을 밝히고 있다.

Fig.4.12는 Fig.4.13의 주간 변화와 동일하며 일사량이 완전 없어진 이후 24시경에 상부온도곡선과 중간온도곡선이 교차하며 그 이후 성층화가 재배열된다. 즉, tank 중심부의 온도가 가장 높고 그 주변 상, 하부는 낮은 분포가 된다.

Tank 하부온도변화는 열전도에 의해 계속된 열전달로 23시에 34.56℃로 가장 높으며 완만한 변화를 한다. Tank 상부온도는 14시에 74.48℃

로 가장 높고 중간온도는 18시에 40.54°C로 가장 높다. 이같은 온도분포가 Fig.4.13에서와 같은 상태의 온도성층화 상태에서 배수하는 경우 보다 2차 tank 상부에 보다 불리한 이유이다.

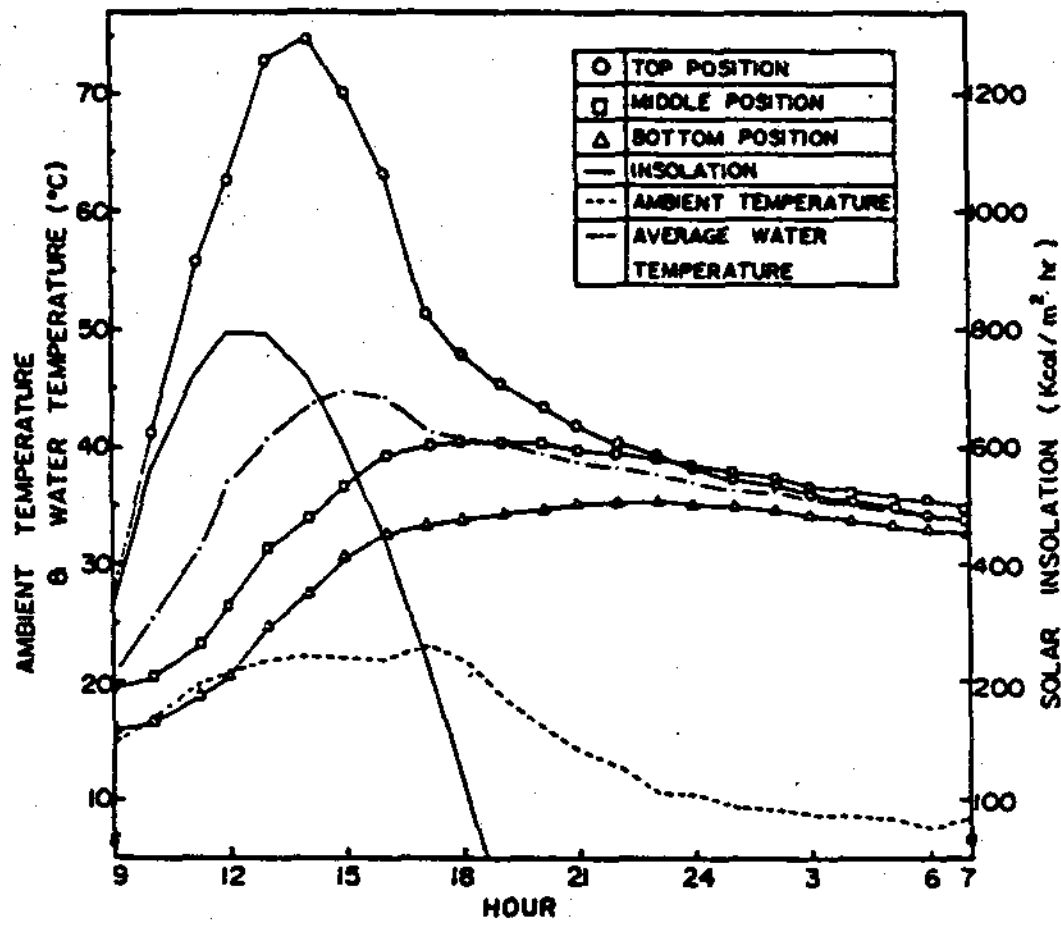


Fig. 4.12 Water temperature variation for the various hours of the days - B Type, 1986. 4. 29-30

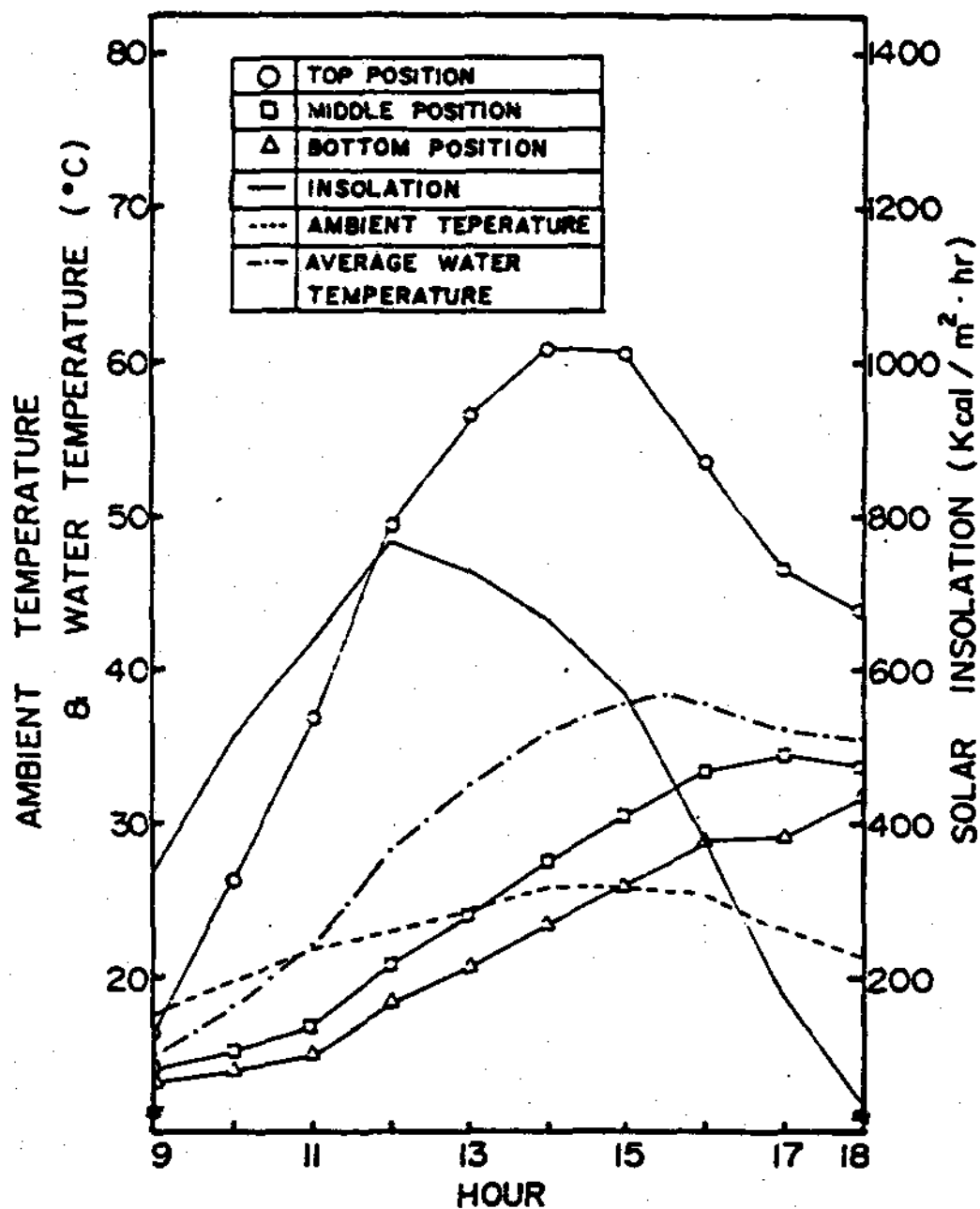


Fig. 4.13 Water temperature variation for the various hours of the days - B Type, 1986. 5. 7

5. 결론

이상의 Batch형 자연형 태양열 온수급탕시스템의 성능분석 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구실에서 제작실험한 유형별 Batch형 자연형 태양열 온수급탕시스템중 tank의 배열이 계단식이고 직렬연결된 B type이 연평균효율 55.7%, 연평균 최대집열효율 61%로 제일 우수하였다.

2) 야간열손실 방지용 Insulation cover의 효과는 tank내 수온감소폭을 계절에 따라 봄에 10.45°C, 여름에 9.86°C, 가을에 9.86°C 줄일 수 있었고, 수온감소폭이 외기온에 의해 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

3) 계절별 실험측정 결과, 집열창의 pair glass (3+6A+3mm) 사용이 single glass(5mm)의 사용 때보다 평균적으로 집열효과 및 열손실 억제 효과가 우수하며 Garg의 연구결과와 같이¹⁾ 집열효과 보다는 열손억제 효과가 더 큰 것을 알 수가 있다.

4) 온수 사용시 평균온도보다 높은 온수를 사용할 수 있으며, distributor의 사용, tank의 직렬연결이 보다 큰 온도성층화를 유지시켜 시스템 효율을 향상시키는 것을 알 수 있다.

5) 본 연구결과는 batch형 자연형 태양열온수급탕시스템의 상용화에 분석자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되며 보다 값싸고 우수한 재질 개발 연구도 병행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 동력자원부 국책과제로 그 일부가 수행된 것임.

REFERENCES

1. H.P. Garg and Usha Rani, "Theoretical and Experimental Studies on Collector/Storage Type Solar Water Heater", Solar Energy, Vol. 29, No. 6, pp. 446-478, (1982).
2. H.P. Garg, "Year Round Performance Studies on a Built-in-Storage Type Solar Water Heater at Jodhpur", Solar Energy, Vol. 17, pp. 167-172, (1975).
3. Tanishita, "Present Situation of Commercial Solar Water Heaters in Japan", International Solar Energy Congress, Melbourne, paper 2-73, (1970).
4. S.J. Ricards and U.N.W. Chinnery, "A Solar Water Heater for Low Cost Housing", NBRI Bulletin 42, CSIR Research Report 237, South Africa, (1967).
5. H.P. Garg and A. Krishnan, "Development of a Low Cost Water Heater at Jodhpur", Indian and Easter Engng. 115, 193, (1978).
6. Avram-Bar-Cohen, "Thermal optimization of compact Solar Water Heaters", Solar Energy Vol. 20, pp. 193, (1978).
7. J.T. Czarnecki and W.R.W. Read, "Advances in Solar Water Heating for Domestic Use in Australia", Solar Energy, Vol. 20, pp. 75-80, (1978).
8. W. Place, M. Daneshyar and R. Kammerud, "Mean Monthly Performance of Passive Solar Water Heaters", 4th National Passive Solar Conf. Kansas Mo, Oct. 2-3, (1979).
9. M. Daneshyar, "Mean Monthly Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation", 5th National Passive Solar Conf. Vol. 5.2., pp. 1071-1075, (1980).
10. Gregory L. Askew, PE, "Performance Simulation and Comparison to Test Results for TVA Passive Breadbox Water Heater", 5th National Passive Solar Conf. Vol. 5.2., pp. 1411-1445, (1980).
11. Peter E. Nelson, "Simulation/Description of a 3 tank Breadbox Water Heater", 5th National Passive Solar Conf. Vol. 5.2., pp. 1160-1164, (1980).
12. J.P. Hollman, "Heat Transfer", McGraw-Hill 5th ed., (1981).
13. J.A. Duffi and W.A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Process", John Wiley & Sons Inc., (1980).
14. Z. Lavan and J. Thompson, "Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tank", Solar Energy Vol. 19, pp. 519-520, (1977).
15. A. Cabelli, "Storage Tanks - A Numerical Experiment", Solar Energy, Vol. 19, pp. 45-54, (1977).
16. S.M. Han, S.T. Wu and D.L. Christensen, "The Effects of Thermal Stratification in Water Storage Tank for the Performance of a Solar Hot Water System", ERDA, #EG-77-S-02-4479, (1977).
17. Y. Jaluria and S.K. Gupta, "Decay of Thermal Stratification in a Water Body for Solar Energy Storage", Solar Energy, Vol. 28, No. 2, pp. 137-143, (1982).
18. 홍희기, 김효경, "태양열 난방시스템에 적용되는 축열조의 성층화에 관한 연구" 공기조화 냉동공학 제 15 권 1 호, pp.87~96.(1986)