

# 저가 Batch형 온수급탕시스템의 실험적 연구\*

## Experimental Study of a Low Cost Batch Type Solar Water Heater

이 길동\*\* 윤 환기\*\* 강 용혁\*\* 이 내준 오 정무\*\*  
(K. D. Lee) (H.G.Yoon) (Y.H.Kong) (R. J. Lee) (P.C.M.Auh)

### ABSTRACT

A low cost batch type solar heaters (capacity 200 litres) comprising horizontal tanks, which performs the dual function of absorbing heat and storing the heated water, have been designed and fabricated for the purpose of side-by-side testing.

Experimental results have indicated that the sufficient hot water can be obtained in the early morning if the glazing is aided by a reflector/insulation cover.

The water heater with best thermal performance such as type B supplied water at a maximum mean temperature of 46 - 49°C in the summer afternoon and the temperature of 36 - 39°C can be obtained in the early morning if insulation cover is used during night time.

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

### 1. 서 론

대체 에너지원으로써 세계적인 각광을 받는 태양에너지를 이용하기 위하여 가장 많이 사용되는 시스템은 온수급탕시스템이다.<sup>1,2)</sup>

이 시스템은 그동안 많은 연구 및 개발이 되어 왔으나,<sup>3,4)</sup> 특히 설비형 급탕시스템은 시스템의 복잡, 경제성의 미흡, 재료 개발 등의 부진으로 침체상태에 있다.<sup>5)</sup>

그래서 최근에는 좀 더 설계가 단순하고 효율이 높은 새로운 형태의 저가 Batch형 자연형 온수급탕시스템을 고안하게 되었다.<sup>3,6,7,8)</sup> 그러나, 이 시스템은 야간에 열손실이 커서 다음날 아침에 사용할 수 없는 단점이 있으나 오후 늦게 insulated night cover로 gla-

zing을 덮거나 별도의 insulated drum에 온수를 저장하면 어느 정도 해결할 수 있다.<sup>7)</sup>

한편 Sodha<sup>9)</sup>, Garg<sup>7,8)</sup>, Chauhan<sup>10)</sup> 등에 의해서는 시스템의 열적 성능이 광범위하게 연구된 바 있으며, 이길동<sup>11)</sup> 등은 급탕시스템의 심장부인 photothermal selective absorbers에 대해서 상세히 설명하였다.

본 연구에서는 이른 아침에도 온수를 가정에서 유효하게 사용할 수 있도록 reflector/insulation cover를 제작하여 시스템의 집열 효율을 향상시켰으며 최적 시스템을 개발하기 위하여 유형별로 설계제작된 3개의 batch형 온수급탕시스템과 batch형 Sun Runner Passive Heater (TEF, Model SR JR, U.S.A.)을 여러가지 작동 조건하에 열적 성능을 비

\* 본 논문은 동력자원부 국책과제로 일부가 수행된 것임.

\*\* 正會員 : 韓國動力資源研究所

교하였으며 그리고 외기온과 일사량의 측정치를 이용하여 Storage Tank에서의 시간에 따른 수온 변화를 계산하였다.

## 2. 이 론

### 1. 성능방정식

집열과 축열을 함께 점할 수 있는 Batch형 온수급탕시스템에서 낮동안 Storage Water는 배출되지 않는다고 가정하고 이상적인 조건에서 순간 열평형 방정식은 Garg의 식을 수정하여

$$(1+R) \cdot I_{Tt} (\tau \alpha)_e \cdot A_g = W_w \left( \frac{dt_w}{d\theta} \right) + W_s \left( \frac{dt_s}{d\theta} \right) + (U_L A_g + U_B B_i) \left[ (t_s - t_a) + \frac{\frac{dt_s}{d\theta} - \frac{dt_a}{d\theta}}{2} \right] \dots \dots \dots (1)$$

로 표시할 수 있다.

여기서 R은 반사판에 의한 일사량 증가율 (=0.1),  $I_{Tt}$ 는 총 일사량(Kcal/m<sup>2</sup>hr),  $(\tau \alpha)_e$ 는 투과율과 흡수율을 곱한 유효치(=0.8),  $A_g$ 는 glazing 면적(=2.36 m<sup>2</sup>),  $B_i$ 는 tank box 단열면적(=6.44 m<sup>2</sup>),  $W_w$ 는 물의 질량(=200 kg),  $W_s$ 는 탱크의 등가물 중량(=3.4 kg),  $U_B$ 는 탱크에서 단열재를 통한 외부까지의 총 열손실 계수(=1/(R<sub>1</sub>+R<sub>2</sub>)=0.098 Kcal/m<sup>2</sup>hr °C, R<sub>1</sub>은 conductivity resistance, R<sub>2</sub>는 convective resistance),  $U_L$ 은 탱크에서 glazing을 통한 외부까지의 총 열손실 계수(=2.93 kg/m<sup>2</sup>hr °C),  $\frac{dt_w}{d\theta}$ 는 평균 수온의 증가율(°C/hr),  $\frac{dt_s}{d\theta}$ 는 탱크 표면 평균 온도 증가율(°C/hr)이다.

정상 상태 조건에서

$$t_w = t_s \quad \text{혹은} \quad \frac{dt_w}{d\theta} = \frac{dt_s}{d\theta}$$

라 하면 Eq(1)은

$$(1+R) \cdot I_{Tt} (\tau \alpha)_e A_g = \left[ W_w + W_s + \frac{A_g}{2} U_L + \frac{B_i}{2} U_B \right] \frac{dt_w}{d\theta} + (U_L A_g + U_B B_i) t_w = \left( U_L \frac{A_g}{2} + U_B \frac{B_i}{2} \right) \left( \frac{dt_a}{d\theta} + 2 t_a \right) \dots \dots \dots (2)$$

여기서

$$X = W_w + W_s + \frac{A_g}{2} U_L + \frac{B_i}{2} U_B \dots \dots \dots (3)$$

$$Y = U_L A_g + U_B B_i \dots \dots \dots (4)$$

$$Z = (1+R) \cdot I_{Tt} (\tau \alpha)_e A_g + \left( U_L \frac{A_g}{2} + U_B \frac{B_i}{2} \right) \left( \frac{dt_a}{d\theta} + 2 t_a \right) \dots \dots \dots (5)$$

라 놓으면

(2)식은

$$X \frac{dt_w}{d\theta} + Y t_w = Z \dots \dots \dots (6)$$

가 되며 이때 (6)식의 해는

$$t_w = \frac{Z}{Y} + \left( t_{w1} - \frac{Z}{Y} \right) \text{Exp} \left[ - \frac{Y}{X} (\theta - \theta_1) \right] \dots \dots \dots (7)$$

가 된다.

여기서  $t_{w1}$ 는 시각  $\theta_1$ 에서 새로 가득 채워진 시수의 초기 수온이다.

### 2. 집열효율

하루 동안에 얻어진 집열효율

$$\eta = \frac{\int_0^\theta q_u d\theta}{A_g \int_0^\theta I_{Tt} d\theta} \dots \dots \dots (8)$$

로 정의된다.

여기서  $I_{Tt}$ 는 glazing 표면 위에 떨어지는 일사량(Kcal/m<sup>2</sup>hr),  $q_u$ 는 물의 열흡수량이다.

### 3. 실험방법

#### 1. Batch형 온수급탕시스템 제작

각각 용량 100ℓ 원통형 (φ380 × L900)수평탱크 2개를 직렬로 연결하여 isowall panel [100mm 고밀도 발포 폴리스티렌폼(EPS) 단열]로 된 강판 상자 속에 넣고 그 윗부분은 집열창(pair glass, 3 + A6 + 3mm)으로 완전 밀봉되게 덮어서 batch형 급탕시스템을 제작하였다.

시스템 내부는 Al foil을 붙여서 집열효과를 높였고 탱크 표면은 무광 흑색 페인트( $\alpha = 0.96$ )을 칠하였다. 이때 집열창은 남쪽으로 수평 경사각 40°로 하였다.

집열창 면적과 탱크의 용량은 A type, B type, C type, D type이 각각 2㎡ (200ℓ), 2㎡ (200ℓ), 2.36㎡ (200ℓ), 2.1㎡ (150ℓ)였다. main water supply line은 탱크의 밑부분에 고정된 inlet pipe (직경 15mm)에 연결되어 있으며 온수는 탱크의 하부 측면에 gate valve를 열므로써 수압에 의해 상부의 outlet pipe로 부터 나오게 하였다.

탱크 윗쪽 부분에는 air vent를 설치하여 water capacity를 증가시켰고 탱크 하부에는 drain valve를 설치하여 동파를 방지하였다.

그리고 reflector / insulation cover를 제작하여 야간에 집열창을 완전 밀봉되게 덮어 열손실을 줄일 수 있도록 하고 아침에는 수동으로 cover를 열어서 Solar intensity를 증가시킬 수 있도록 10°간격으로 조절이 가능하도록 시스템에 고정되게 부착시켰다.

한편 A type의 집열창 안쪽에는 1mm의 동판에 흑색 페인트를 칠한 absorber를 부착하여 thermal circulation을 유발시켜 수온의 상승 효과를 얻도록 시도하였다.

그림 1에는 유형별로 설계 제작된 연구용

온수급탕시스템의 개략도가 나타나 있다.

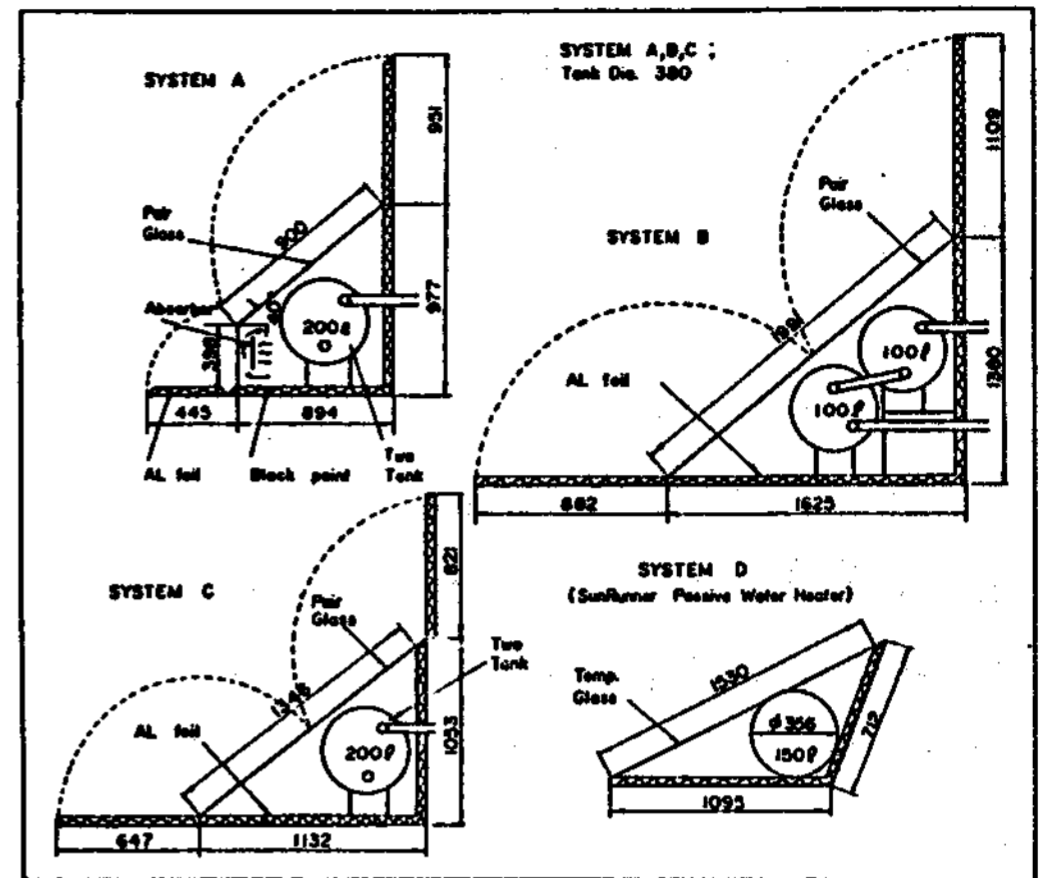


그림 1. 제작된 Batch형 온수급탕시스템의 개략도

#### 1.1 Temperature Probe 제작

Storage 탱크내 수직 온도 분포를 측정하기 위하여 temperature probe는 그림 2와 같이 플러그에 길이 4cm, 직경 10mm의 동관을 용접하여 맨 윗쪽으로 부터 5cm, 19cm, 33cm되는 위치에 teflon을 입힌 직경 0.8mm의 copper-constantan thermocouple (OMEGA Engineering Inc. U.S.A.)을 노출시킨 다음 선사이에 물이 스며들지 않도록 완전 밀봉 처리하였다.

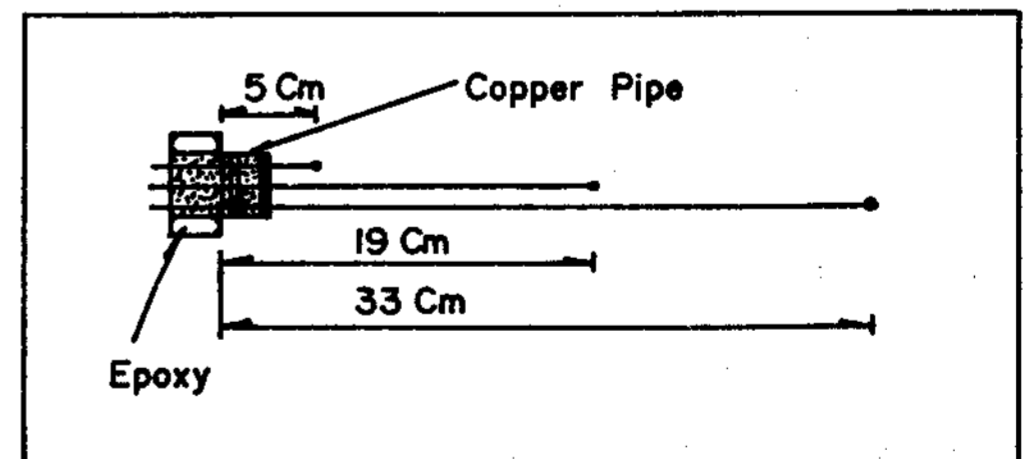


그림 2. Temperature Probe

#### 1.2 Distributer 제작

Distributer는 유입되는 차가운 물과 탱크의 맨 윗부분의 더운물과의 Mixing을 최소한 줄일 수 있도록 그림 3처럼 길이 80cm 동관에 3.5cm 간격으로 직경 0.4mm의 구멍 50개를 뚫은 distributer를 1차 탱크의 inlet pipe와 2차 탱크의 outlet pipe에 각

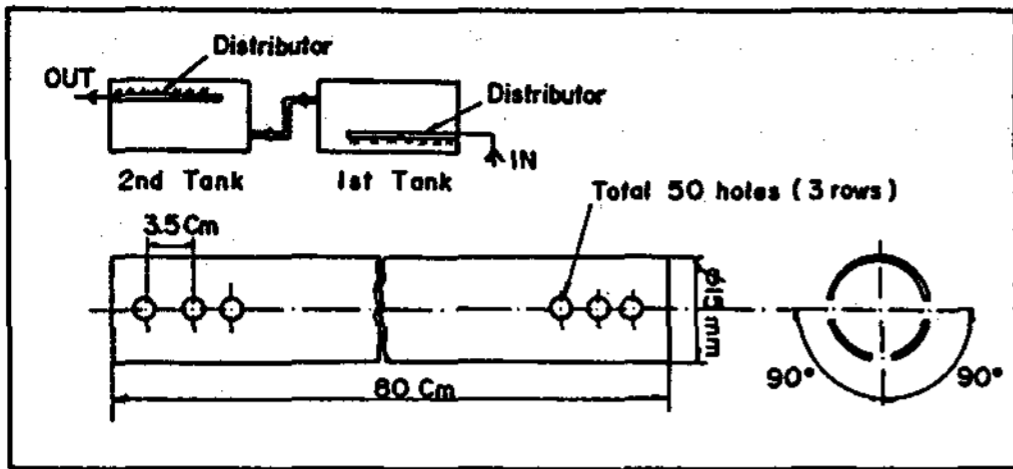


그림 3. 제작된 Distributor

각 부착시켜서 유입되는 유량의 속도를 줄였다.

## 2. 성능측정실험

이상과 같이 시스템을 나란히 4대를 설치하여 매일 아침 9시까지 inlet pipe에 설치된 gate valve를 열어서 신선한 시수로 가득 채웠다.

Calibration된 C-C Thermocouple(T type)을 HP 3054 A automatic data acquisition/control system의 scanner에 연결하고 Controller로는 HP 9825B를 사용하여 매 10분 간격으로 Storage water 온도, 외기온도, box내부 공기 온도(interior air temperature), 유리 표면 온도, 탱크 표면 온도, solar intensity 등을 측정하였다.

Total solar intensity는 집열창과 평행되게 설치된 solar Radiometer (Eppley, Model PSP, U.S.A.)로 외기온은 백엽상에 고정된 T type thermocouple에 의해서 각각 기록되게 하였다.

Storage water 온도는 그림 4에서 처럼 수평 탱크 벽면에 구멍을 3군데 내어서 tem-

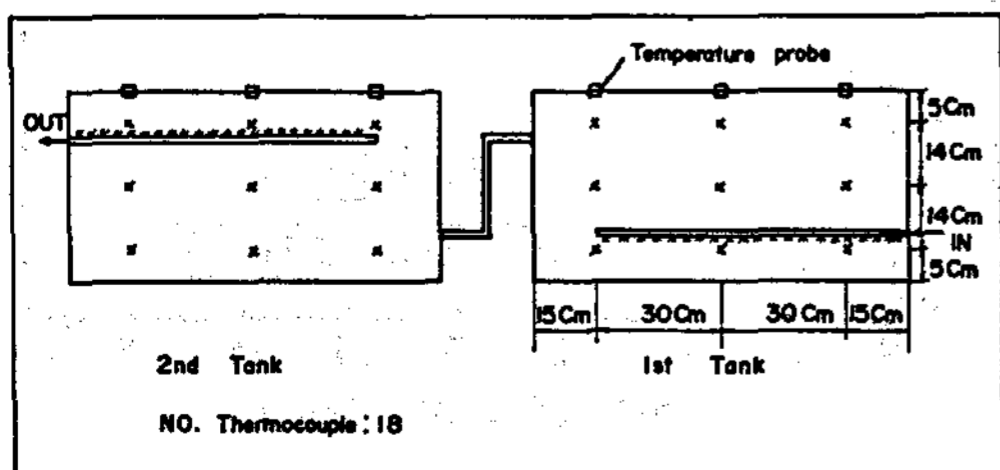


그림 4. Storage Tank의 온도분포측정

perature probe를 꽂아 수직 온도 분포를 알 수 있도록 모두 18군데를 측정하여 가중치(weighted-average temperature)를 계산하였다.

한편 야간에는 열손실이 크므로 Solar intensity가 급격히 감소하는 오후 4시경 reflector/insulation cover를 덮어 다음날 아침(7:00 a.m.)에도 온수 사용이 가능하도록 하였다. 급탕 사용시[Solenoid valve (Nichiden KoGYo, type SPB 15 A, Japan) open]는 적산유량계 (Hersey, Niagara 430, U.S.A.)로 하루 중 총 집열 유량을 산정하였으며, 탱크내 유입되는 유량은 inlet pipe에 설치된 flow meter (Nippon Flow Cell CO. Type FLT(10A), Japan)를 설치하여 gate valve로써 유량이 일정하게 흐르게하여 Storage tank의 수온 변화를 측정했다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 1. Thermal Storage의 효과 조사

그림 5는 1985년 7월 청명한 날 batch형 급탕시스템의 열적 성능을 HP Computer로 측정 및 분석한 실험 결과를 보이고 있다.

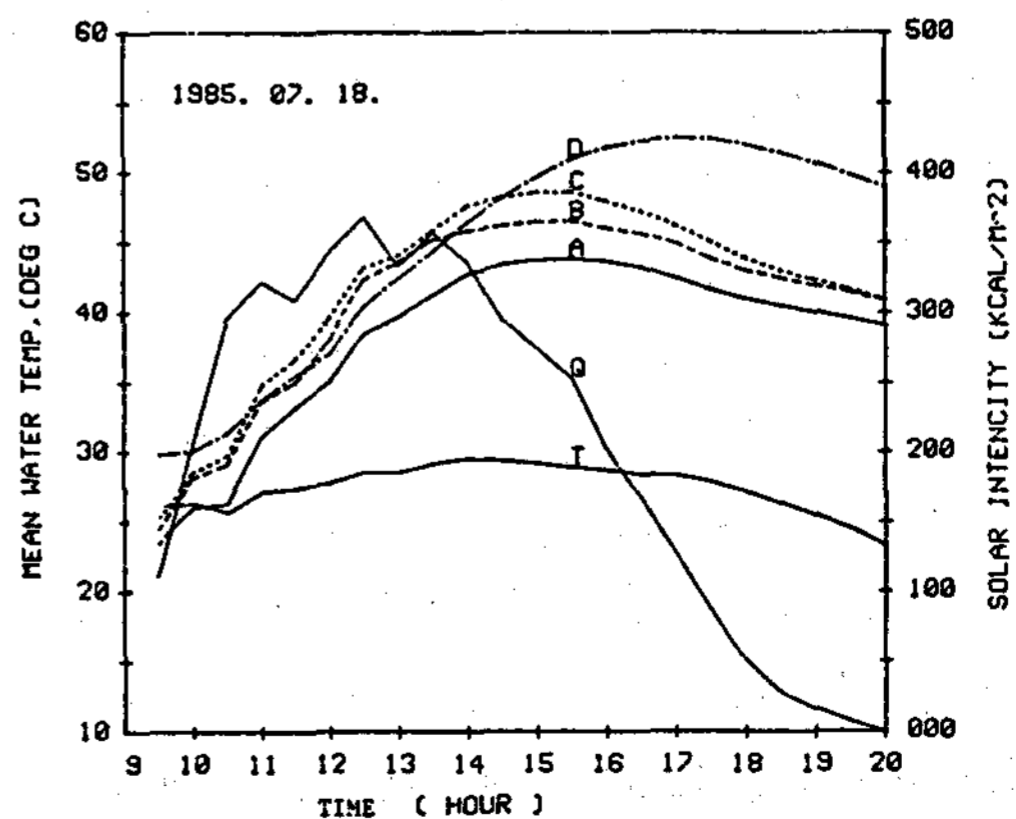


그림 5. Thermal performance of the batch type heater Q: Total Insolation T: Ambient A: Tupe A, B<sup>3/4</sup> Type B, C<sup>3/4</sup> Type C, D: Type D.

이 그림에서 A Type, B Type, C Type, D Type은 각각 오후 4시에 평균온도를 20.1°C, 21.7°C, 22.8°C, 22°C정도 증가시킬 수 있었고, 오후 8시에는 각각 39.13°C, 40.9°C, 40.9°C, 48.98°C가 됨을 나타내고 있다. 이때 D Type은 물이 약간 차 있는 상태에서 오전 9시 이전에 태양열을 받아 항상 초기수온은 높았다.

표 1. \* Performance Data of Batch Type Heater \*

1. Thermal Performance						Date : 07.18.
* Capacity of Storage Tank : A,B,C - 200 (liter) D - 150 (liter)						
* Glazing Area : A,B - 2 (m <sup>2</sup> ), C - 2.36 (m <sup>2</sup> ), D - 2.1 (m <sup>2</sup> )						
Ambient Temperature : Maximum - 29.529 Minimum - 23.324						
System Type	Time	Storage Water Mean Temp. (Deg C)	Total Heat Collected (Kcal/day)	Total Insol. on Glazing (Kcal/day)	Efficiency of Collection (%)	Tap Water Temp at 9 (Deg C)
A	09:30	23.6	4008.8	7818.6	51.3	20.3
	16:00	43.7				
B	09:30	24.4	4338.4	7818.6	55.5	20.9
	16:00	46.1				
C	09:30	25.2	4560.9	9225.9	49.4	20.8
	16:00	48.0				
D	09:30	29.8	3304.9	8209.5	40.3	20.7
	16:00	51.8				

2. Daily Means of Maximum Temperature with Reflector					
System Type	Time	Total Insol. on Glazing (Kcal/day)	Tap Water Temp. (Deg C)	Storage Tank Maximum (Deg C)	Max. Collection Efficiency (%)
A	15:30	7413.9	20.3	43.9	54.6
B	15:30	7413.9	20.9	46.5	59.7
C	15:30	8748.4	20.8	48.7	53.7
D	17:00	8825.4	20.7	52.5	38.6

표 1은 위의 성능 결과를 나타내었는데 각각 다른 시각에 최대집열효율이 54.6%, 59.7%, 53.7%, 38.6%로 계산되었다. B Type의 효율이 제일 높았으며, 이때 Type A, B, C는 윗 반사판은 수직, 아래 반사판은 수평으로 설치되어 있고 D Type은 반사판이 설치되어 있지 않았다.

그림 6은 탱크 내 Storage water의 시간에 따른 수온변화곡선을 식 (1)~(7)을 사용해서 계산한 이론치와 실험치를 비교해서 나타내었는데 최대 3.5°C의 차이가 생겼다. 이 계산에는 외기온, Solar intensity의 측정치 그리고 온수급탕시스템의 재료에 대한 제원이 사용되었다.

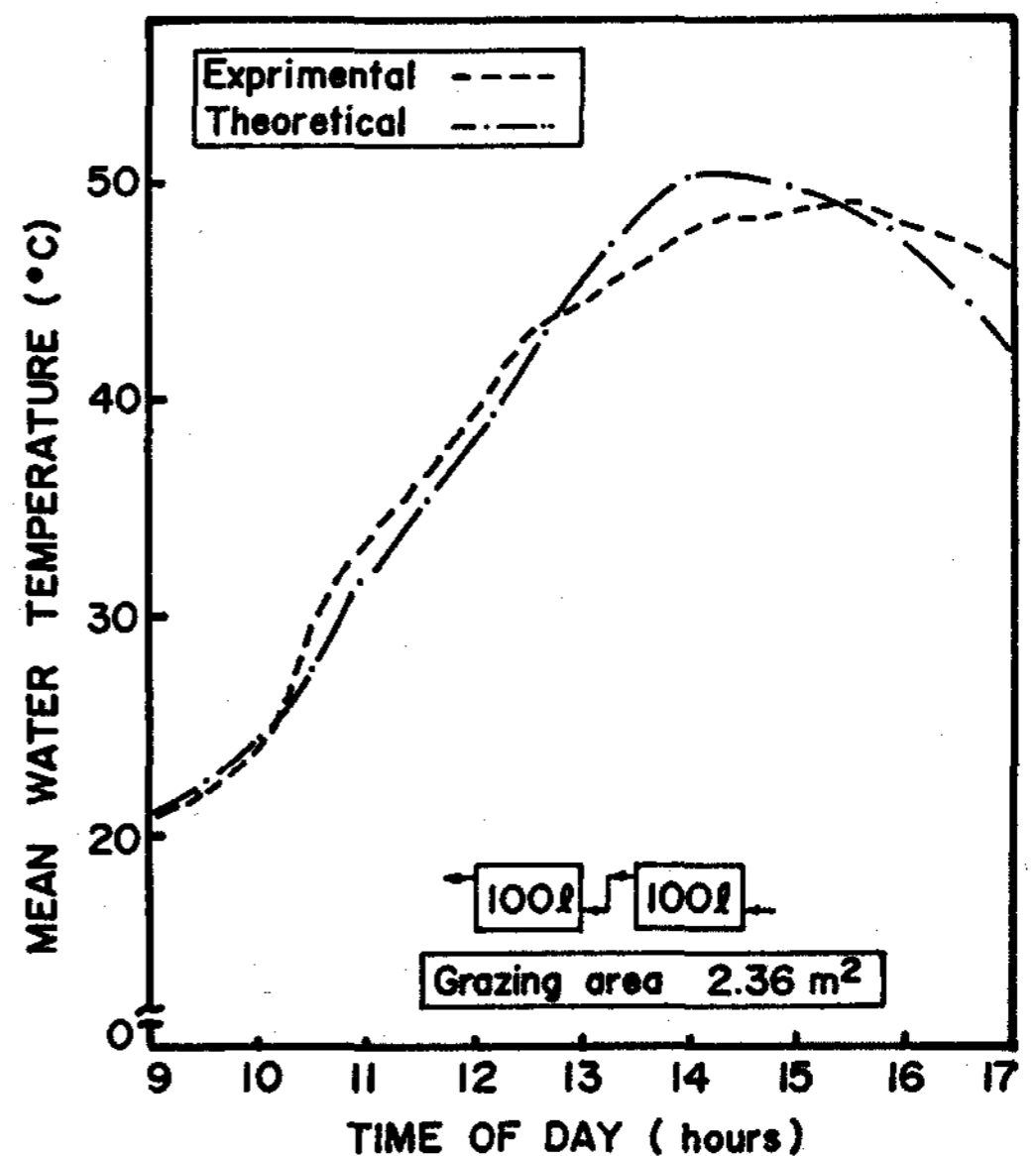


그림 6. Storage Tank의 수온변화곡선

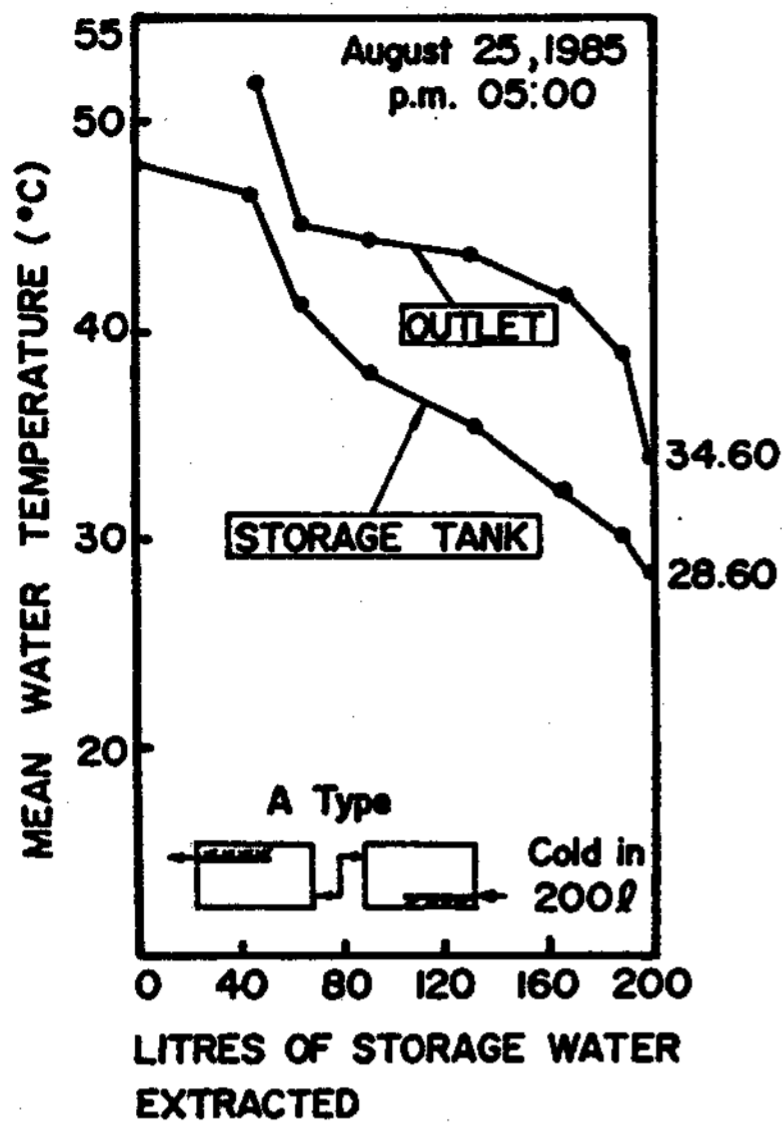


그림 7. 오후 5시에 배수한 양에 따른 Storage Tank의 수온변화곡선

그림 7은 오후 5시에 온수 200ℓ를 전부 사용한 경우 Storage tank의 수온변화를 나타낸 것인데 출구온도 및 Storage tank의 평균온도는 각각 34.6°C, 28.6°C였다. 이 온도는 낮아 다음날 아침에 사용할 수 없다.

배수한 양에 따라 출구온도 변화곡선이 Storage tank 수온변화곡선보다 완만한 것이 이 그림에서 볼 수 있는데 이것은 1차 탱크의 입구와 2차 탱크의 출구에 설치된 distributor의 효과인 것으로 보여진다.

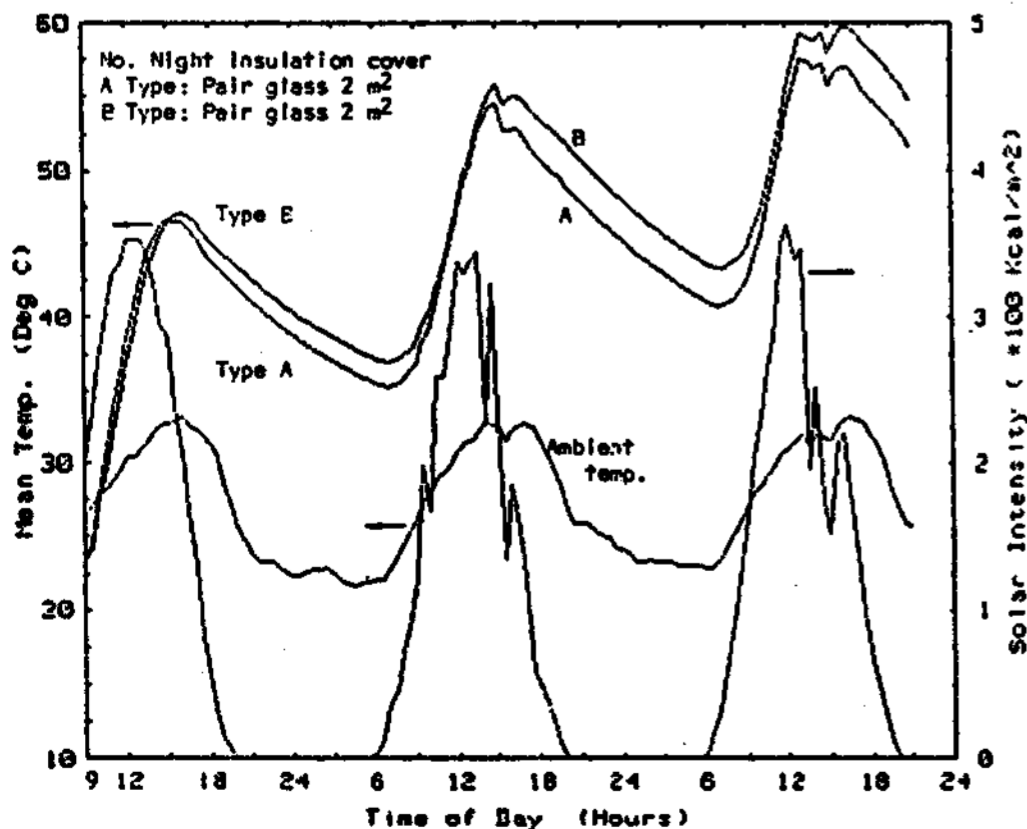


그림 8. 3일동안 연속측정한 Batch형 급탕시스템의 주기적 온도변화

그림 8에는 7월 20일부터 3일 동안 물을 배수시키지 않고 night insulation cover를 사용하지 않은 상태에서 연속 측정한 Storage tank의 heating 및 cooling되는 주기적 온도변화곡선을 A Type과 B Type을 비교해서 나타내었는데, 이 그림에서 알 수 있듯이 아침 수온은 각각 A Type이 23°C (9:00 a.m.), 35.3°C (7:00 a.m.), 40.8°C (7:00 a.m.)이고 B Type이 23°C (9:00 a.m.), 36.9°C (7:00 a.m.), 43.4°C (7:00 a.m.)였다.

아침 수온이 점점 증가한 것은 외기온(21.5 ~ 33.2°C)이 높아 야간에 열손실이 적었기 때문이라 보여지며, B Type이 A type에 비해 비교적 높은 Storage 효과를 나타내었다.

한편 온도증가폭( $\Delta T$ )은 A Type이 각각 23.7°C, 19.2°C, 16.3°C였으며 B Type이 각각 24.1°C, 18.9°C, 16.3°C였다.

그리고 Solar intensity가 불규칙하게 나타난 것은 구름이 끼었기 때문이고 수온변화곡선의 극대점과 solar intensity의 극대점의 위치가 서로 상이해서 수온이 최대가 되는 시각에 night insulation cover를 덮어서 열손실을 최대한 줄이면 다음날 아침에도 충분한 온수를 얻을 수 있을 것이다.

## 2. 설계변수가 수온에 미치는 영향

Batch형 급탕시스템은 Storage tank 표면과 물이 접해 있기 때문에 낮동안 집열효율은 우수하나 Solar intensity가 낮아지기 시작하는 오후 늦게는 convection과 radiation에 의한 열손실이 급격하게 증가한다.

그래서 본 실험에서는 reflector/insulation cover를 제작해서 이러한 결점을 보완하였다.

그림 9는 7월 중순경 집열효율이 가장 높은 B Type시스템의 낮동안 가열된 물을 배출시키지 않고 각각 다른 일사량 조건에서 24시

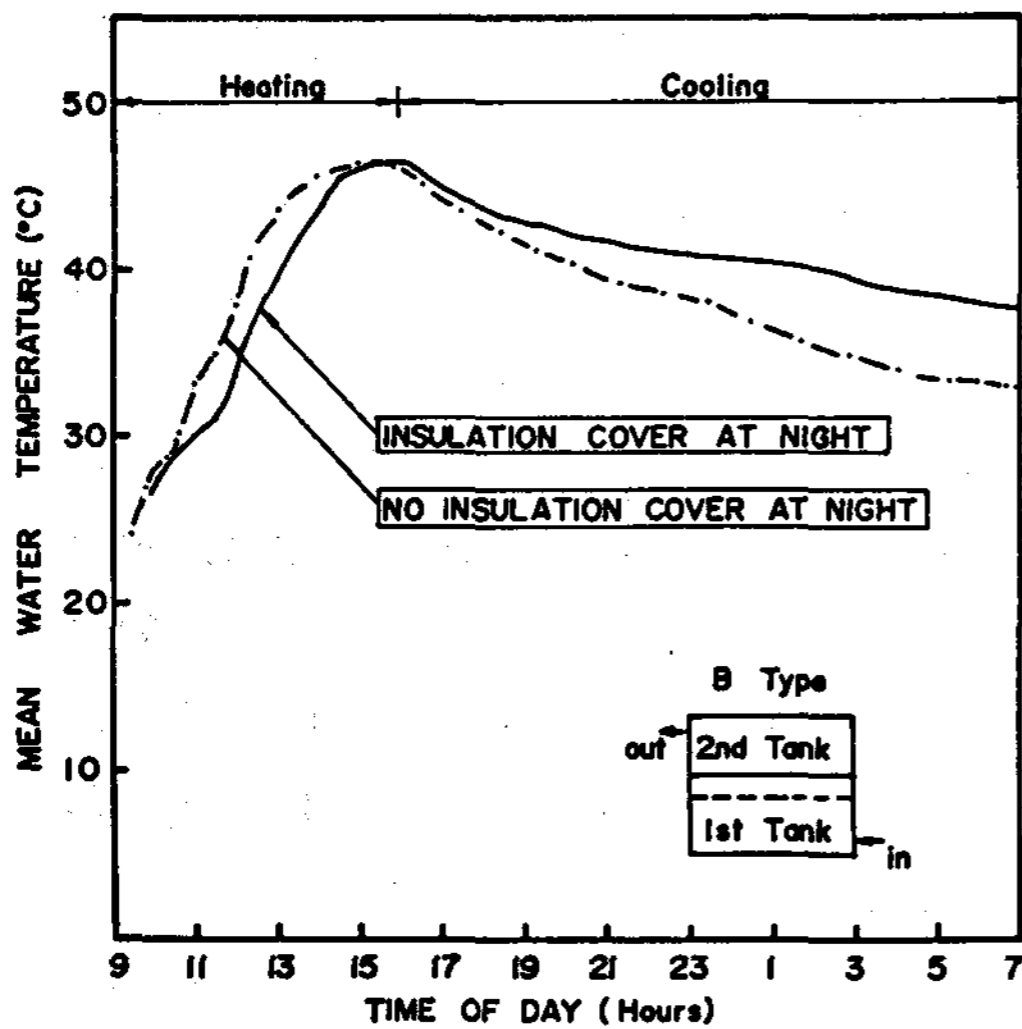


그림 9. Nigt Insulation Cover가 Storage Tank의 수온에 미치는 효과.

간 동안 측정된 Storage efficiency 결과를 나타내고 있는데 오후 4시경에는 평균 46°C 까지 가열되었으나 night cooling시간 동안 열손실로 인하여 다음날 아침수온은 33°C 였다. 그러나 오후 4시에 insulation cover 를 사용한 경우는 38.33°C였다.

이것은 온도감소폭  $\Delta T$ 를 13°C에서 7.67°C로 줄일 수 있음을 의미한다.

즉 수온이 최대로 가열된 시각에 insulation cover를 덮으면 heating curve는 급격하게 증가시키면서 cooling curve는 거의 완만하게 할 수 있는 가능성이 엿보인다. 반면에 외기온이 낮으면 낮을수록  $\Delta T$ 는 클 것이라고 추정할 수 있다.

Garg<sup>7)</sup> 등은  $\Delta T$ 를 줄일 수 있도록 낮동안 가열된 물을 오후 늦게 별도의 insulated storage drum에 옮겨 저장하는 방법을 제시하기도 하였으나 glazing에 insulation cover를 덮는 것보다 효율이 낮다고 보고하였다.

그림 10은 box interior color가 Storage water 온도에 미치는 영향을 조사하기 위해 box 내부에 black paint 및 reflec-

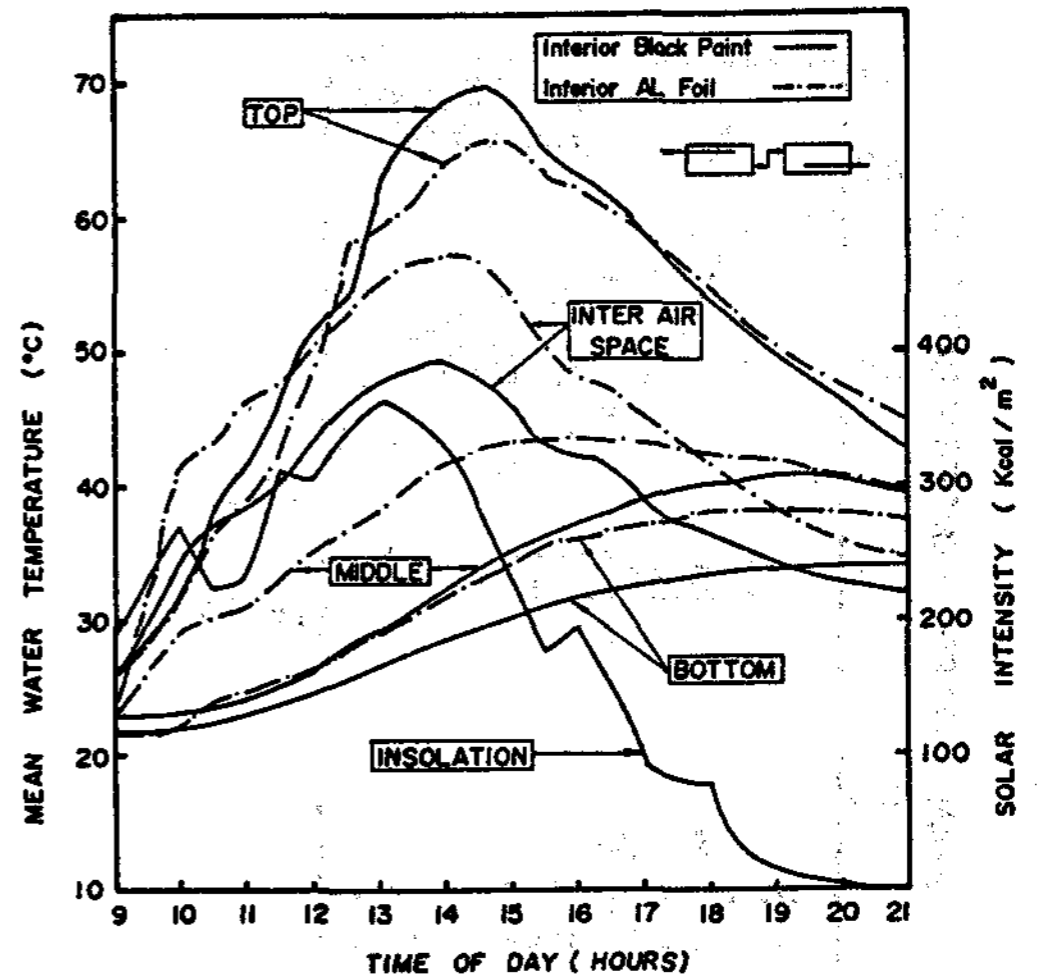


그림 10. Box Interior Color가 Storage Tank의 수온에 미치는 효과

tive Al foil을 붙인 급탕시스템의 열적 성능 비교를 나타내었다.

이 그림에서 낮동안 black box의 top탱크 수온은 Al foil box보다 1~5°C정도 높았고 오히려 bottom탱크 수온은 1~4.5°C 낮았다.

반면에 box내부 공기온도는 8°C까지 더 낮았다. 이 값은 Burton 등이 Al foil을 붙인 box보다 black paint을 칠한 box의 내부 공기온도가 높다고 한 실험적 사실<sup>3)</sup>과는 일치하지 않으나 시스템의 기하학적 모양에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

따라서 열적 성능에 대한 box color의 효과는 식별하기 어려웠고 여러 기후 조건에 따라 세심한 주의가 필요하다. 한편 absorber에 의한 thermal circulation을 유도하였으나 top tank 온도 증가폭에 비해 bottom tank 온도증가폭이 대단히 작은 것으로 미루어 보아 공기에서 물로 전달된 에너지는 거의 없고 top tank에서만 solar radiation을 거의 흡수하여 열전달이 일어나는 것으로 보여진다.

결국 수평 탱크에서는 top과 bottom 탱크 온도차이로 thermal circulation이 거의 일



어나지 않는 것을 알 수 있다.

급탕시스템의 열적 성능을 향상시키기 위해서는 storage 탱크에 solar selective surface 처리를 할 수도 있으나 내구성이 좋은 seletive surface 개발을 위해서는 먼저 표면구조를 이해하고 thermal degradation에 대해서 연구가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 실험장치의 미비로 glass cover가 시스템의 열적 성능에 미치는 효과만 조사하였다.

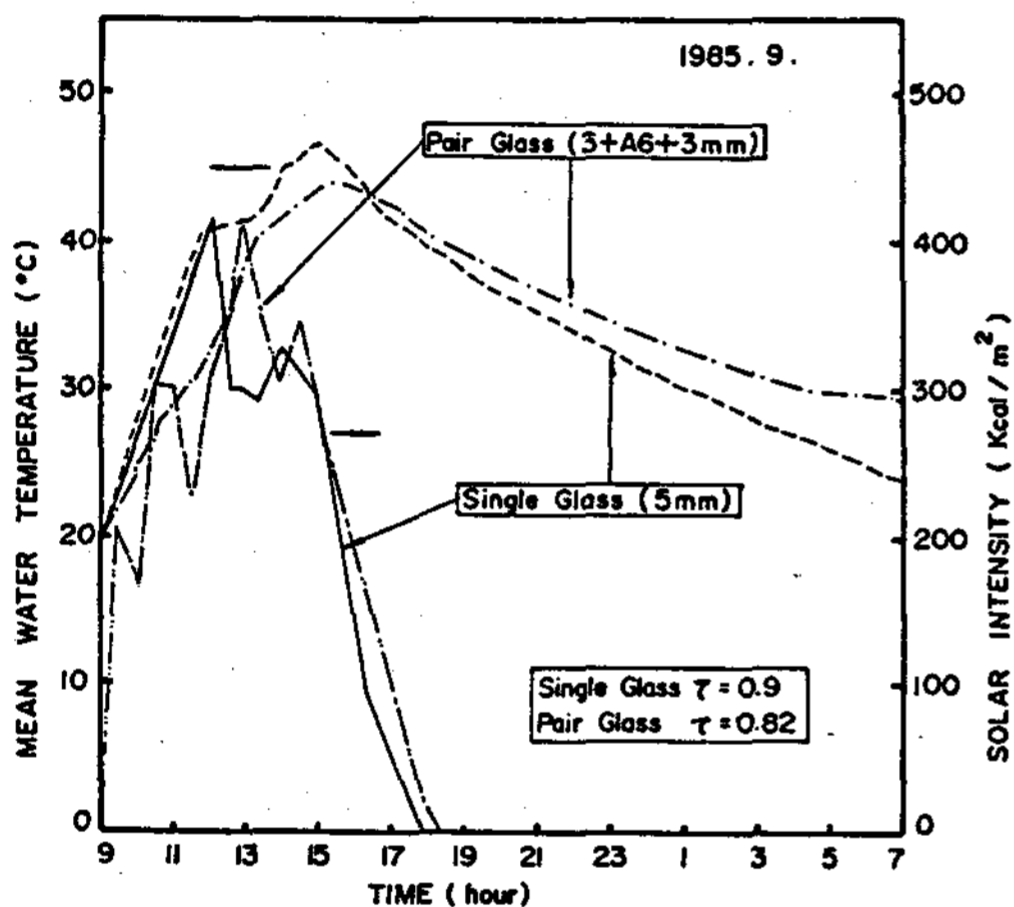


그림 11. glazing이 수온에 미치는 효과 (B Type)

그림 11에서 수온의 증가는 pair glass (3 + A6 + 3 mm)보다 single glass (5 mm)를 사용한 경우가 약간 높은 경향을 나타내었는데 pair glass reflection과 transmission loss의 증가 및 solar intensity가 낮았는데 그 원인이 있었다.

그러나 night cooling 시간에는 pair glass cover 보다 single glass cover에서 glass를 통한 열손실이 많았다. 그 결과 Pair glass에서는 아침 수온이 29°C가 유지되었다. 그리고 오후 늦게 온수를 사용할 경우는 pair glass보다 single glass가 보다 유리함을 볼 수 있다.

### 3. Storage Tank의 온도 분포

온수 급탕시스템의 성능을 향상시키기 위해

서는 광열변환효율이 높은 재료를 사용하는 것 이외도 storage 탱크에 높은 온도층화를 형성시킬 수 있다.

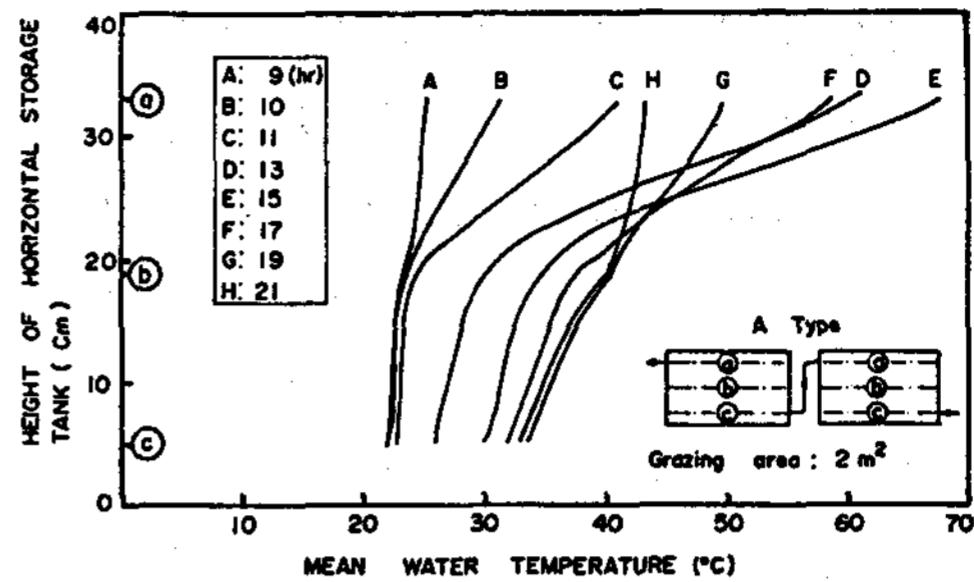


그림 12. Storage Tank의 수직온도분포

그림 12에는 7월 중순경 thermocouple의 위치에 따른 수직 온도 분포가 보이고 있는데 오전 9시에서 10시까지는 수온변화가 급소하여 열 재분배 (redistribution)가 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 이 때가 예열(warming up)되는 기간이기 때문에 수온이 서서히 증가하고 점차 시간이 경과함에 따라 15시까지 급하게 증가하였다.

그러나 17시 이후에는 heat collection이 거의 일어나지 않고 윗쪽 부분에서 아래쪽 부분으로 conduction이 일어나면서 열 재분배가 다시 일어나는 것을 볼 수 있는데 시간에 따른 온도 변화폭은 탱크 아랫부분보다 윗쪽이 훨씬 컸으며 최대 수온차  $\Delta T$ 는 15시경 39°C였다.

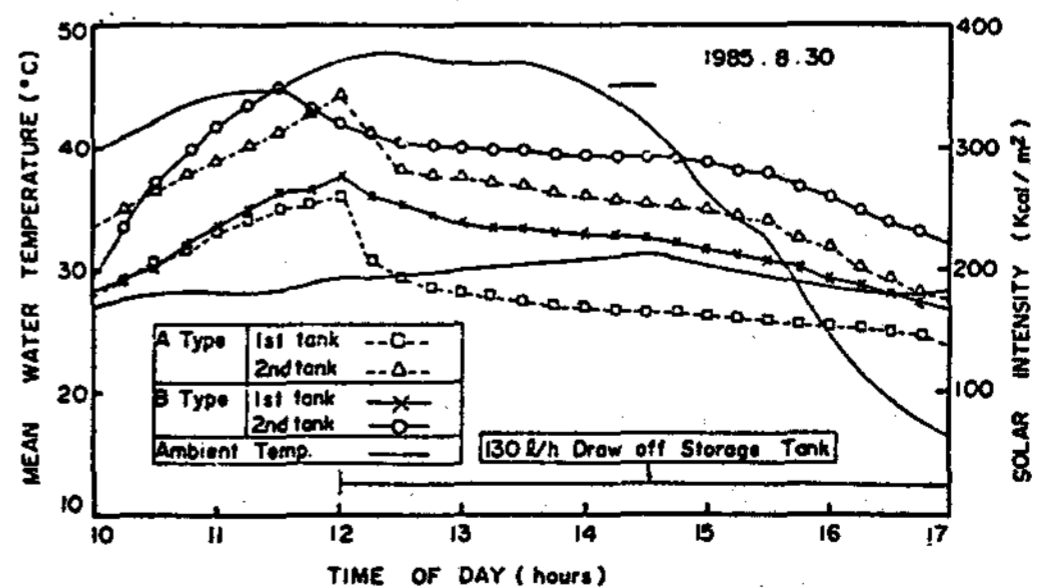


그림 13. Storage Tank 배열에 따른 수온변화 곡선

그림 13은 오전 9시까지 200 l 물을 가득



채운 후 유량(130ℓ/h)을 12시부터 17시까지 흘리면서 탱크 배열에 따른 Storage 탱크의 수온변화 측정결과를 표시한 것인데 11시 30분까지는 B Type의 2차 탱크의 수온이 가장 급격히 증가하다가 12시에는 A type, B type의 storage 탱크의 평균수온이 각각 40.5°C, 40.1°C였으나 유량(20°C의 시수)이 흐르기 시작한 순간 A type, B type의 1차 탱크의 수온변화가 2차 탱크에 비해 급속히 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 유량이 계속 일정하게 흐르는 동안은 수온변화곡선은 완만하였다.

그러나 A type의 1차 탱크 수온은 13시 이후는 외기온보다 낮아 열손실이 없는 것으로 판단된다.

한편 A type, B type의 2차 탱크는 1차 탱크보다 수온이 대체로 높았으며, B type이 더 높았다. 이것은 탱크를 직렬로 연결 및 distributor 설치효과로 mixing이 방지된 것을 알 수 있으며 계단형 탱크의 배열뿐만 아니라 시스템의 기하학적 모양도 열적 성능에 중요한 역할을 하였다.

4. 성능 Data

오전 9시까지 신선한 시수 200ℓ를 가득 채워서 낮동안 가열하여 오후 늦게 사용할 경우 표 2는 7월, 8월중 비오는 날은 제외하고 각각 17일동안 측정된 최대평균수온과 오후 4시에 night insulation cover를 사용할 때의 다음날 오전 7시 수온을 기록하였다.

표 2. 여름철의 최대 평균 수온(°C)

월	최대평균수온* (°C)	insulation cover 사용시 다음날 아침 수온(°C)** (7:00 a.m.)	시수 온도(°C) (7:00 a.m.)	수평면일사량*** (Kcal/m <sup>2</sup> ·day)	평균외기온도* (°C)
7월	Type A : 43.26 B : 45.64 C : 47.4 D : 55	34.2 35.72 34.9	21	3,612	27
8월	Type A : 46.5 B : 48.9 C : 50.4 D : 58	36.76 39 39	22	3,386	29

\* Heating시간(9:00 a.m. ~ 4:00 p.m.)사이에 측정된 값임.  
 \*\* cooling시간(4:00 p.m. ~ 7:00 a.m.)사이에 측정된 값임.  
 \*\*\* K.I.E.R. '83년도 보고서

lazing면적(2m<sup>2</sup>)으로 이루어진 A type의 온수급탕시스템보다 B type의 수온이 비교적 높았으며, 이때 최대평균수온은 46~49°C, 아침수온은 36~39°C였다.

D type은 drain valve가 따로 설치되어 있지 않아 물이 완전히 배수되지 않았으며, 오전 9시 이전에 태양열을 받아 초기수온이 비

교적 높은 상태에서 가열되어 최대 평균수온이 높았다.

## 5. 결 론

이상의 실험결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 본 실험실에서 설계 제작된 Batch형 온수급탕시스템의 열적 성능은 HP computer로 측정 분석되었으며 storage tank에서의 수온변화곡선은 수정된 Garg의 성능방정식으로 설명되었는데 오후 5시경 최대  $3.5^{\circ}\text{C}$  차이가 생겼으나 heating 부분은 실험치와 이론치가 비교적 잘 일치했다.

2. Batch형 온수급탕시스템은 낮동안 온수 사용이 가능하고 night insulation cover를 사용하면 열손실이 줄어 다음날 아침(7:00 a.m.)에도 충분한 온수( $38^{\circ}\text{C}$ )를 얻을 수 있었다.

3. Distributor를 storage 탱크의 입구 및 출구에 설치하면 mixing을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

4. Overnight의 경우 single glass보다 pair glass를 사용하면 아침에 비교적 높은 온수를 얻을 수 있었고 아침에 시수해서 오후 늦게 온수를 사용할 경우는 single glass가 보다 유리함을 알 수 있었다.

5. Box color 및 absorber가 storage 탱크의 수온변화에 미치는 효과는 식별하기 어려웠다.

6. 여름철 최대평균수온은 평균일사량  $3499$  ( $\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ), 평균외기온도  $28^{\circ}\text{C}$  하에서 A type이  $43 \sim 46^{\circ}\text{C}$ , B type이  $46 \sim 49^{\circ}\text{C}$ , C type이  $47 \sim 50^{\circ}\text{C}$ , D type(수입품)이  $55 \sim 58^{\circ}\text{C}$  정도 가열할 수 있었다.

7. 앞으로 온수급탕시스템의 상용화 보급을 위해서는 가격을 낮출 수 있는 재료개발에 많은 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

## References

1. J. I. Yellot and R. Sobatka, Trans. ASHRAE 70, 425 (1980).
2. R. N. Morse, Solar Energy Research and Development Industrial Application in Australia, ISES Conf. Melbourne, Paper 1/84 (1970).
3. Daniel K. Reif, Passive Solar Water Heaters, Brick House Publishing Co. Massachusetts (1983).
4. J. A. Duffie and W. A. Bechmann, Solar Engineering Thermal Process, John Wiley and Sons, New York (1980).
5. Solar Age, August (1983).
6. J.C.V. Chinnappa and K. Gnanalingan, Solar Energy 15, 194-204 (1973).
7. H. P. Garg, Solar Energy 17, 167 (1975).
8. H. P. Garg and Usha Rani, Solar Energy 29, 467-478 (1982).
9. M.S. Sodha, P.K. Bansal and S.C. Kaushik, Int. J. Energy Res. (1980).
10. R.S. Chauhan and V. Kadambi, Solar Energy 18, 327-335 (1976).
11. 이길동, 유창균, 오정무 태양에너지 4.2.(1984)