

【 論文 】

자연대류형 태양열 온수급탕 시스템의
열적성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Thermal Performance
of Thermosyphon Solar Hot Water System

전 홍 석** 강 용 혁** 윤 환 기* 곽 희 열*
H.S. Jeon Y.H. Kang H.K. Yoon H.Y. Kwak

ABSTRACT

This study has been conducted to measure the performance of 5 thermosyphon solar water heaters suitable for Korean climate and to develop the most optimum system.

Each system consists of two flat plate collectors of 4' x 8' (or three flat plate collectors of 3' x 6') connected in parallel and a storage tank of 300ℓ capacity.

Among the tested systems, the configuration that has two flat plate collectors of 4' x 8' and a horizontal tank-in-tank type storage unit with internal fins (C system) showed the highest performance.

1. 서 론

현재 국내에서 가장 실용성 있는 태양열 이용 분야는 가정용 급탕을 위한 자연형 태양열 이용 분야이다. 급탕시스템 중에서 가장 각광을 받고 있는 thermosyphon 온수 급탕 시스템에 대해서는 호주^{1,11)} 미국^{8,12,15)} 뉴질랜드¹⁴⁾ 일본¹⁰⁾ 이스라엘¹³⁾ 등 세계 각국에서도 지역 특성을 고려하여 시스템 개발에 역점을 두고 있다. 특히 집열기 효율 증대, 축열조 및 열성층화 그리고 시스템의 열적성능 향상에 대해서는 이론^{2~5)} 및 실험^{1,8,17)} 적으로 많은 연구가 수행되어 왔다. 이

러한 연구배경을 토대로 국내에서도 년차적으로 자연형 태양열 온수 급탕시스템을 연구해 오고 있다. 설비형 시스템보다 설치 및 유지비가 거의 들지 않으며, 사용 및 작동의 간편성, 저가 등으로 보다 경제적 이고 국내 생활수준 향상으로 단기간내에 보급이 가능하다. 그러나 현재 국내 이용 및 보급 현황은 극히 미진한 형편이며 단지 몇 종류의 외국산 수입품에 의존하고 있다. 이미 보다 저렴한 가격으로 보급 될 예정으로 있는 집열과 축열을 동시에 만족하는 batch 형 온수급탕 시스템을 개발 완료¹⁸⁾ 하였으나, 동절기 사용의 불편함이 지적되고 있다. 따라서 열교환방식을 갖는 자연 대류형 시스템은 이러한 동절기 사용의 불편함과 동파 방지를 해결할 수 있고 가격 면에서도 수입품의 절반 수준 정도로 보급촉진 및 수입

* 한국동력자원연구소

** 정회원 : 한국동력자원연구소

대체 효과를 가져올 수 있다. 본 연구에서는 batch형 시스템 연구로 기록된 온수급탕 시스템의 이론 및 기술을 사용하여 수행한 이론분석을 바탕으로 열교환기를 사용한 간접식 자연 대류형 태양열 온수급탕 시스템의 열성능 비교 분석을 수행하였다.

이와 같은 연구결과는 차후 계획되는 자연형 태양열 시스템의 기초자료로 활용되어 짐은 물론 보급을 확대시킬 수 있을 것이다. 또한 우리나라의 기후조건에 적합한 자연대류형 온수급탕 시스템의 개발은 태양에너지를 효율적으로 이용함으로써 범 국가적인 대체에너지원 개발 정책에 부응하고 장기적인 에너지절약에 이바지할 수 있을 것이다.

2. 실험 및 측정

1) 시스템 개요

자연대류형 온수급탕 시스템은 열매체의 비중차에 의하여 자연순환하는 시스템으로 열매체의 열교환 방식에 따라 직접식과 간접식으로 구분된다. 열교환기가 없이 열매체로 물을 사용하는 직접식은 간접식 보다 비교적 높은 온도의 온수를 얻을 수 있으나 동절기 동파의 위험성을 내포하고 있는 반면, 열매체로써 부동액을 사용하여 열교환기를 통하여 축열조내의 물을 가열하는 간접식은 직접식에 비하여 효율은 다소 떨어지나 동파를 방지할 수 있는 장점이 있다.

따라서 열교환방식을 갖는 간접식의 경우 최적 전열 면적과 열매체의 유량간의 상관관계가 효율을 결정하므로 최적의 열교환방식과 최대 축열의 내부구조가 중요한 설계 인자이다.

최적 시스템과 각 설계 인자의 최적치를 산정하기 위한 비교실험을 위해 전년도 기초설계 분석치를 참고하여 다음 사항을 결정 및 선정하였다.

i) 시스템 규모

시스템 규모는 사용 온수량에 따른 급탕부하에 의해 결정된다. 즉 급탕부하에 따라 급탕량, 집

열면적, 축열조 규모등이 결정된다.

급탕부하는 5인 가족을 기준으로 1인당 일일 급탕량을 50°C 온수 60 ℓ를 사용하는 것으로 보아 급탕조 용량은 300 ℓ이다.

적정 시스템 규모는 경제성이 가장 좋은 규모로 산정하여야 하며 일반적으로 에너지절감량과 시스템설치비를 고려하여 산정하여야 한다. 그러므로 에너지절감량을 결정하는 시스템 효율과 시스템설치를 위한 초기 투자비가 적정 시스템 규모를 결정하는 주인자가 되는데 태양의존율이 클수록 시스템 효율은 저하된다.

급탕부하는 식(1)과 같이 산출되며 하절기(6, 7, 8월)의 급탕부하는 타절기의 70%로 한다.

$$\text{급탕부하 (Kcal/m)} = \text{급탕량 (ℓ/day)} \times (\text{온수온도} - \text{시수온도}) (\text{C}) \times \text{월간일수 (day/m)}$$

ii) 집 열 기

집열기 선택은 자연대류형 시스템에서 요구하는 온수 및 열매체의 온도범위에 따라 결정해야 하며 국내 제작과 구입이 용이하여야 한다. 가정용 급탕의 경우 온수온도의 범위가 40°C ~ 60°C 정도의 중간 온도범위의 온수가 필요하므로 우리나라 외기온 조건하에서는 주로 단층유리로된 관모음식 평판형 집열기가 효율 및 경제성 면에서 적합하다. 그러므로 본 연구에서는 국내에서 제작된 평판형 집열기로,

$$F_R (\tau \alpha)_m = 0.77, F_{RUL} = 5.4$$

F_R : 집열성능계수, $(\tau \alpha)_m$: 평균투과 흡수율, U_L : 열손실 계수

의 기준치를 만족하는 집열기를 선택하여 비교실험에 사용하였다. 집열면적은 소요 급탕량에 따라 하였다.

Fig.1.1은 급탕 용량에 따른 집열면적비 선도를 나타내었다.

300 ℓ용량의 경우 당 0.011 ~ 0.016 m²이므로 집열면적은 3.3 ~ 4.8 m²의 범위를 갖는다. 그

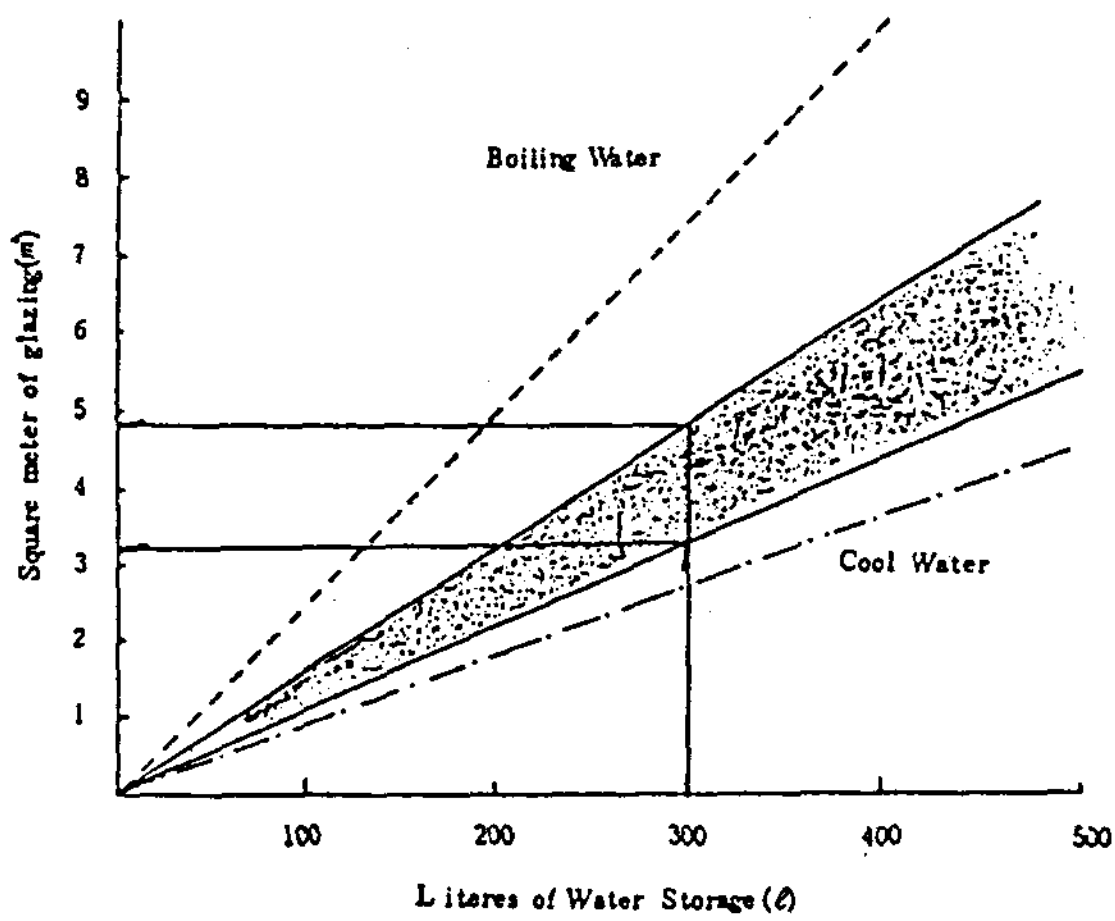


Fig. 1.1 Diagram of collector area ratio with supply capacity

리고 온수의 매일 급수를 위한 최소 집열면적은 $0.0135 \text{ m}^2 / \ell$ 이상이므로 300 ℓ의 경우 4.05 m^2 이상의 집열면적을 가져야 한다. 따라서 간접식 열교환 형태를 갖는 시스템의 국내기후 특성을 고려한다면 앞에서 언급한 최소 집열면적 보다는 커야 한다. 그러므로 본 연구에서는 국내에서 제작되어 구입이 가능한 규격 제품 ($0.91 \text{ m} \times 1.83 \text{ m}$, $1.22 \text{ m} \times 2.44 \text{ m}$) 으로 적정 집열면적을 구성하였다. 즉 3'×6' 규격 3장 또는 4'×8' 규격 2장으로 구성하면 집열면적은 각각 4.86 m^2 , 5.76 m^2 이 되며 집열면적에 따른 시스템 효율을 비교분석하였다.

iii) 축 열 조

자연대류형 시스템에서 집열기 효율 및 적정 집열면적과 축열조 성능은 전체 시스템 효율을 좌우한다. 축열조는 사용 온수 온도 범위, 사용방법 그리고 열교환방식에 따라 재질 및 형태가 달라진다. 열교환 형태를 갖춘 축열조는 열매체에 따라 재질이 결정되어야 하는데 본 연구에서는 열매체로 부동액인 50% ethylene glycol을 사용하였다. 축열조의 재질은 열교환 특성을 만족시키기 위해 스테인레스스틸로 정하였고 경제성 비교를 위해 내부 코팅이 된 철판으로도 제작하여 비교분

석 하였다. 본 연구의 주된 실험중의 하나는 가장 중요한 설계인자인 최적 열교환방식의 결정이다.

여러 열교환기 형태중 축열조의 수평설치, 내부 온수의 성층화, 순환유량 그리고 전열면 확대등을 고려할 때 두탱크를 동심원으로 겹쳐 작은 탱크의 전 표면을 통한 열전달로 tank-in-tank 형이 적절하다. 이 tank-in-tank형 열교환 방식에서도 열매체의 순환방식에 따라 평균온수 온도, 성층화가 다를 것이고 시스템 효율도 변할 것이다.

2) 실험장치 및 방법

자연대류형 태양열 온수 급탕 시스템의 실험장치 개략도는 Fig.2.1에 나타나 있고, 축열조의 형태는 열매체의 유동, 열교환 형태 그리고 축열조의 재질에 따라 Table 2.1과 같이 분류하였다.

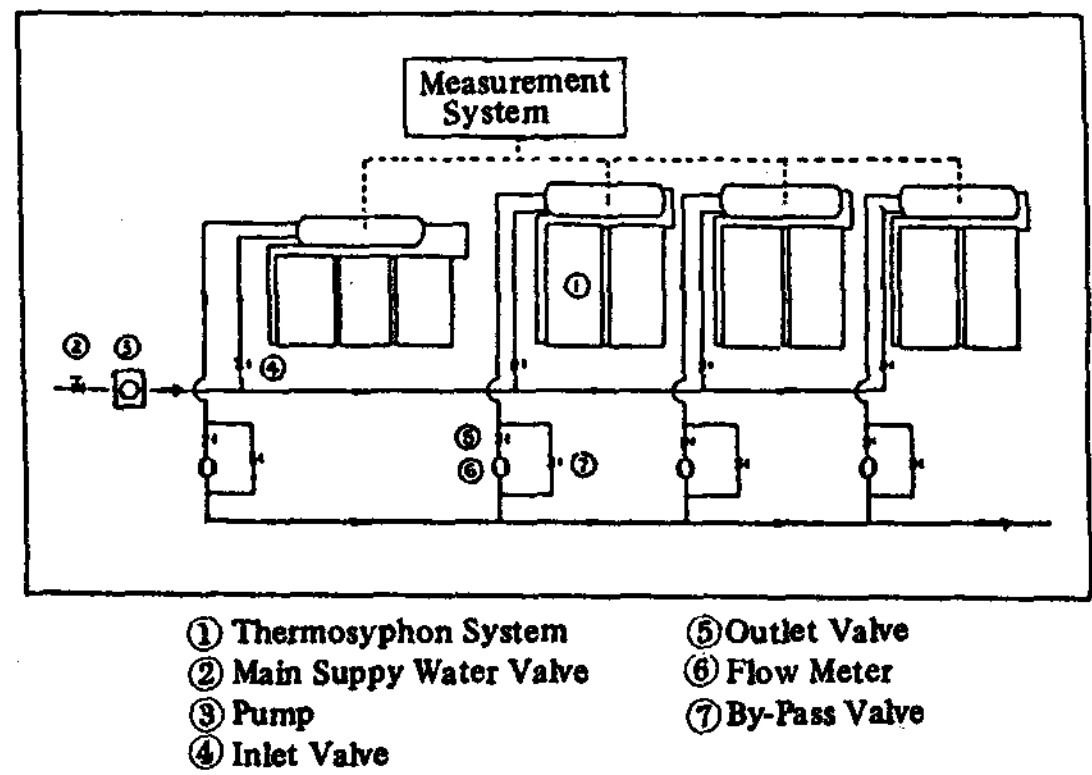


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2.1 Classification of storage tank

MODEL	A	B	C	D	E
HEAT TRANSFER FLUID FLOW TYPE					
HEAT TRANSFER FLUID FLOW DEVICE	DISTRIBUTOR AT THE TOP & BOTTOM OF THE JACKET			PIPE CONNECTION AT THE TOP & BOTTOM OF THE JACKET	
CONTAINER & JACKET MATERIAL	STAINLESS STEEL	STEEL		STAINLESS STEEL	STEEL
INNER TANK				FIN	

그리고 축열조의 재질 및 규격등에 대한 사양은 Table 2.2와 같으며, 단열재는 고밀도 발포우레탄 (Polyurethan Foam) 을 사용하였으며, 온도성충화를 고려하여 고온부의 열손실을 줄이기 위해 단열두께는 동심원 상에서 편심 (variable thickness) 되게 하였다.

Table 2.2 Specification of storage tank

ITEM		SPECIFICATION
TOTAL CAPACITY		300 ℓ
SOLAR RATED CAPACITY		289 ℓ (φ400 × L 2300 %)
HEAT EXCHANGE TYPE		TANK-IN-TANK TYPE
INSULATION		POLYURETHAN FOAM
VOLUME IN JACKET ON TANK		15 ℓ
HEAT TRANSFER MATERIAL		E-GLYCOL 50 %
OUTER CASE	MATERIAL	ALUMINIUM
	THICKNESS	1 %
CONTAINER (TANK)	MATERIAL	STAINLESS STEEL OR STEEL
	SPEC. & THICKNESS	φ 404 × L 2300 (BODY) 2400 (END) 2 %
JACKET	MATERIAL	STAINLESS STEEL OR STEEL
	SPEC. & THICKNESS	φ 404 × L 2300 (BODY) 2 %
JACKET SPACE		5 %
WATER DISTRIBUTOR		PVC 15 A
HEAT TRANSFER FLUID DISTRIBUTOR		SUS OR STEEL 8 A
ELECTRIC HEATER		2 KW / 220 V

또한 실험에서 사용한 집열기는 국내외 급탕시스템에 널리 이용되고 있고 제작 및 구입이 가능한 규격으로 적정 집열면적을 구성하였다.

이에 따른 집열기의 재질 및 규격은 Table 2.3과 같으며 4' × 8' 규격 집열기의 Absorber plate의 표면처리는 Black-Cr 대신에 수입품인 선택 흡수막 (Solar-L-Foil) 을 부착하여 집열성능을 비교해 보았으며 선택 흡수막의 재질 및 사양은 Table 2.4와 같다.

자연형 시스템은 밀도 변화에 따라 열매체가 자연 순환됨으로 밀폐 흐름계 (Closed flow circuit) 에서 air는 전체 system의 열적

Table 2.3 Specification of collector

ITEM		MODEL	3' × 6'	4' × 8'
TYPE		FLAT PLATE		
OVERALL DIMENSION			909 × 1818 × 100 %	1212 × 2424 × 100 %
ABSORBER PLATE DESIGN		TUBE AND SHEET TYPE		
ABSORBER PLATE	MATERIAL	COOPER		
	THICKNESS	0.2 %		
	AREA	1.653 m ²	2.925 m ²	
ABSORBER SURFACE TREATMENT		BLACK-Cr	BLACK-Cr OR SOLAL-L-FOIL	
HEADER TUBE	MATERIAL	COOPER		
	SPC.	20 A		
RISER TUBE	MATERIAL	COOPER		
	SPC.	9 A		
CASE	MATERIAL	FF.R.P.		
	THICKNESS	2 %		
WINDOW (GLAZING)	MATERIAL	SINGLE TEMPERED GLASS		
	THICKNESS	5 %		
	TRANSMITTANCE	89.7 %		
WINDOW FLAME	MATERIAL	ALUMINIUM		
	THICKNESS	2 %		
INSULATION	MATERIAL	FIBERGLASS		
	THICKNESS	50 % AT BOTTOM		

성능에 중요한 저해변수이므로 열매체 주입시 air를 제거하기 위해 공기변을 설치하여 열매체가 원활한 유동을 하게 하였으며, 또한 탱크 시수압 및 축열조내의 온도상승으로 인한 압력상승으로부터 축열조의 파손을 방지하기 위해 안전 변을 설치하였다. 실험 방법은 Fig. 2.1에서 보는 바와 같이 5가지 유형의 축열조와 3가지 유형의 집열기를 서로 조합하여 4대의 시스템을 구성하였고 매일 오전 9시까지 시수를 탱크에 채워 비교 실험을 수행하였다. 시수를 채우기 위해 main value ①과, inlet value ④와, outlet value ⑤를 열어 탱크에 물을 가득채운 후 밸브를 닫고 각 측정부분의 온도를 동시에 측정하였다. 일몰후 배수실험은 outlet value ⑤를 열어서 시수량에 따른 적산유량계 ⑥로 시간에 따라 유량 및 온도를 측정하였다.

3) 측정장치 및 방법

탱크내의 평균수온 및 온수온도의 변화를 측정하

Table 2.4 Specification of Solar-L-Foil

Item	Specification
Material	Cooper Foil (Self-Adhesive Film)
Thickness	0.002"
Wide	24"
Surface	Selective Black Chrome Eletrodeposit
Treatment	With Nickel as an Intermediate Layer
Aborptance	95 ± 2%
Emittance	11 ± 2%
Durability	15 Years
Insulation Effect	More Than R-9 Night Insulation

기 위한 test section과 측정점은 Fig. 2.2와 같고 열전대는 ϕ 0.25, T-type(copper-constantan), OMEGA, U.S.A을 사용하였으며, 각 열전대는 보정장치(Calibration Standard, Kaye Inc, U.S.A)를 사용하여 보정하였다.

측정은 각 설계 변수의 효과를 비교분석하기 위한 간이 측정과 시스템 성능의 평균치를 산출하기 위한 연속 측정으로 구분하여 실시하였다. 측정 및 결과분석 작업은 Fig.2.3에서 보는 바와 같다.

3. 측정결과 분석

시스템 열성능 분석을 위하여 일일(주간) 측정과 3일 연속 측정을 수행하였다. 간접식 시스템의 동절기 열성능 분석을 위하여 실험은 겨울철인 12월에 수행하였다. 비교 실험을 위한 시스템은 집열기와 축열조의 형태에 따라 A, B, C, D, E형으로 구분하였다. Fig.3.1은 일일

주간 측정결과를 나타내었다.

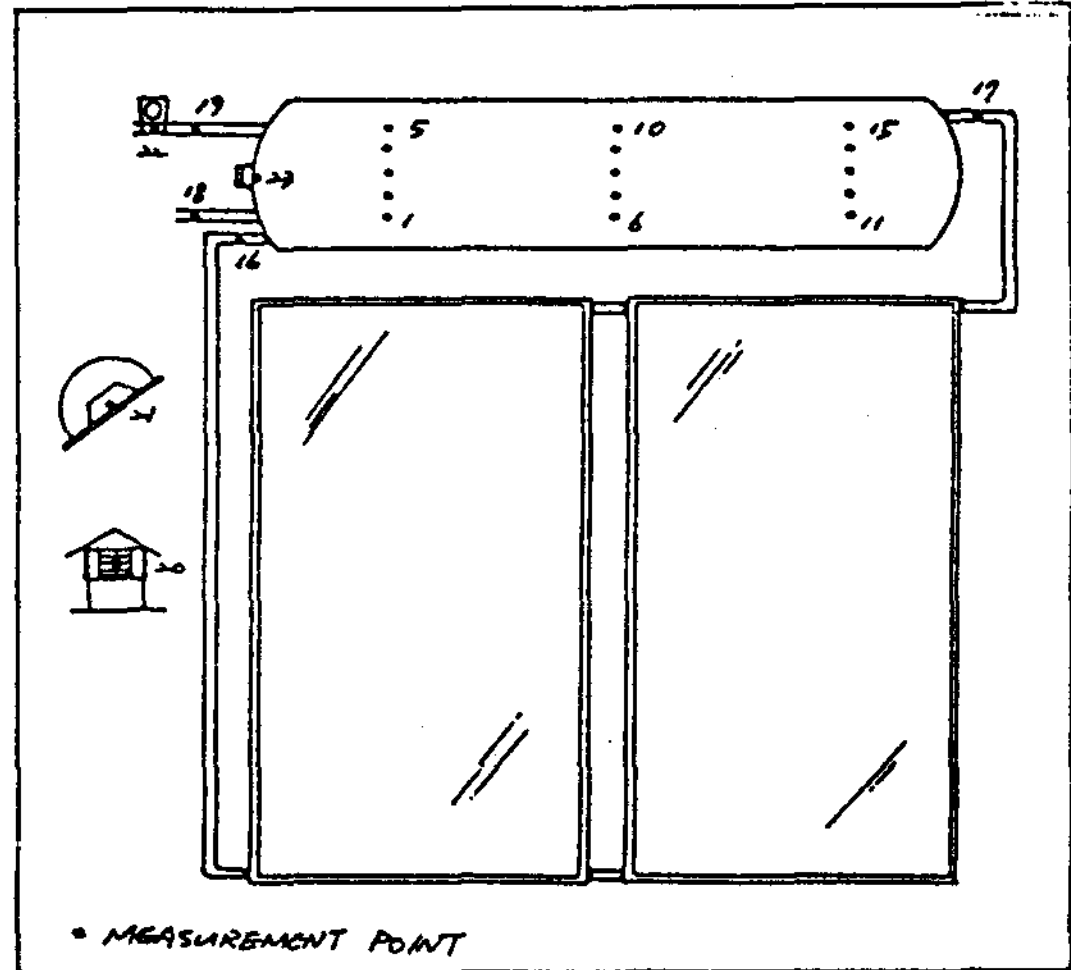


Fig. 2.2 Test section and measurement points

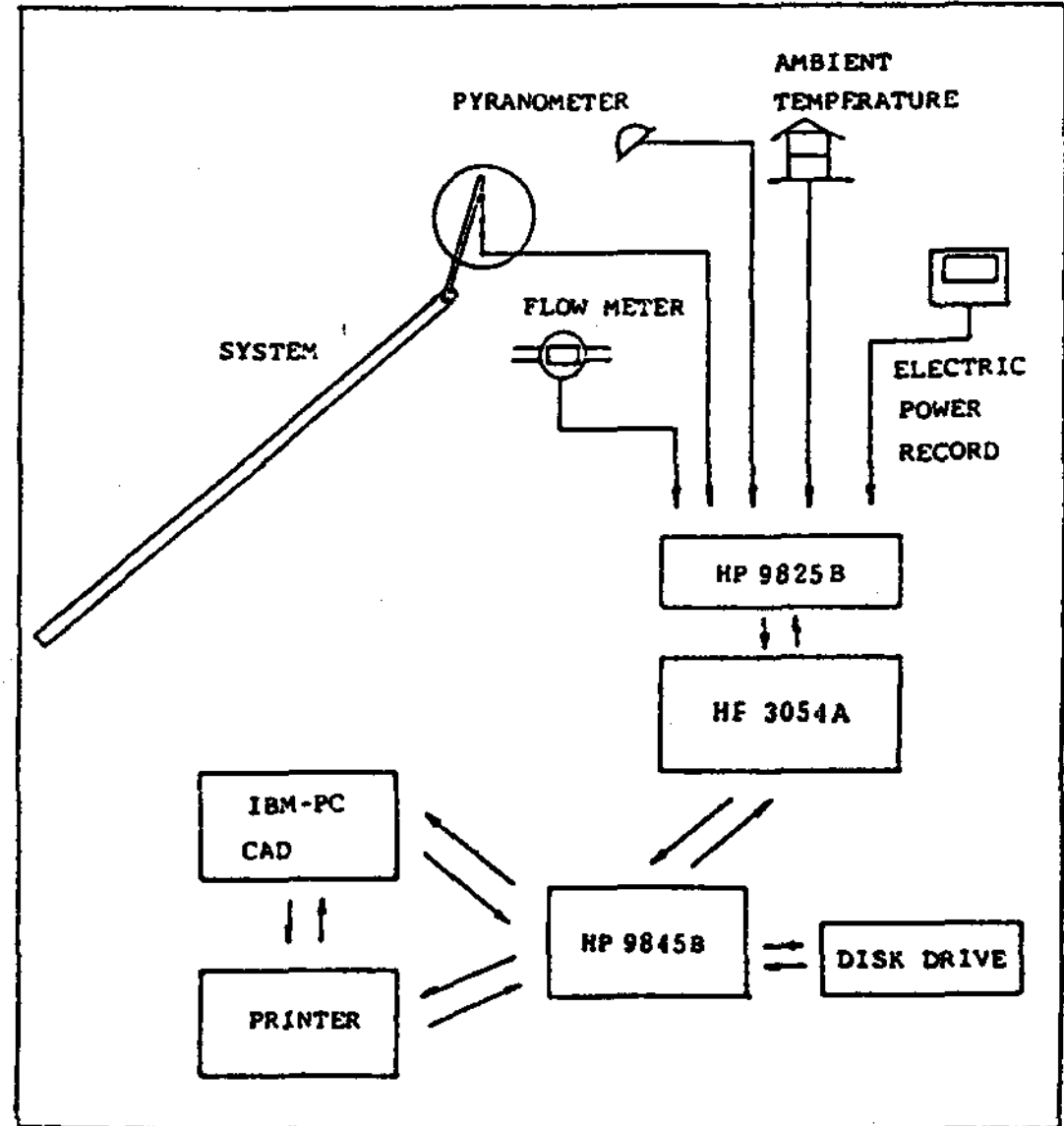


Fig. 2.3 Diagram of measurement system

여기서 A시스템은 당연히 타 시스템보다 집열면적이 적어 시스템구성상의 불리함을 보여주며, 축열조내의 전열면 확대를 위해 내부핀(in-

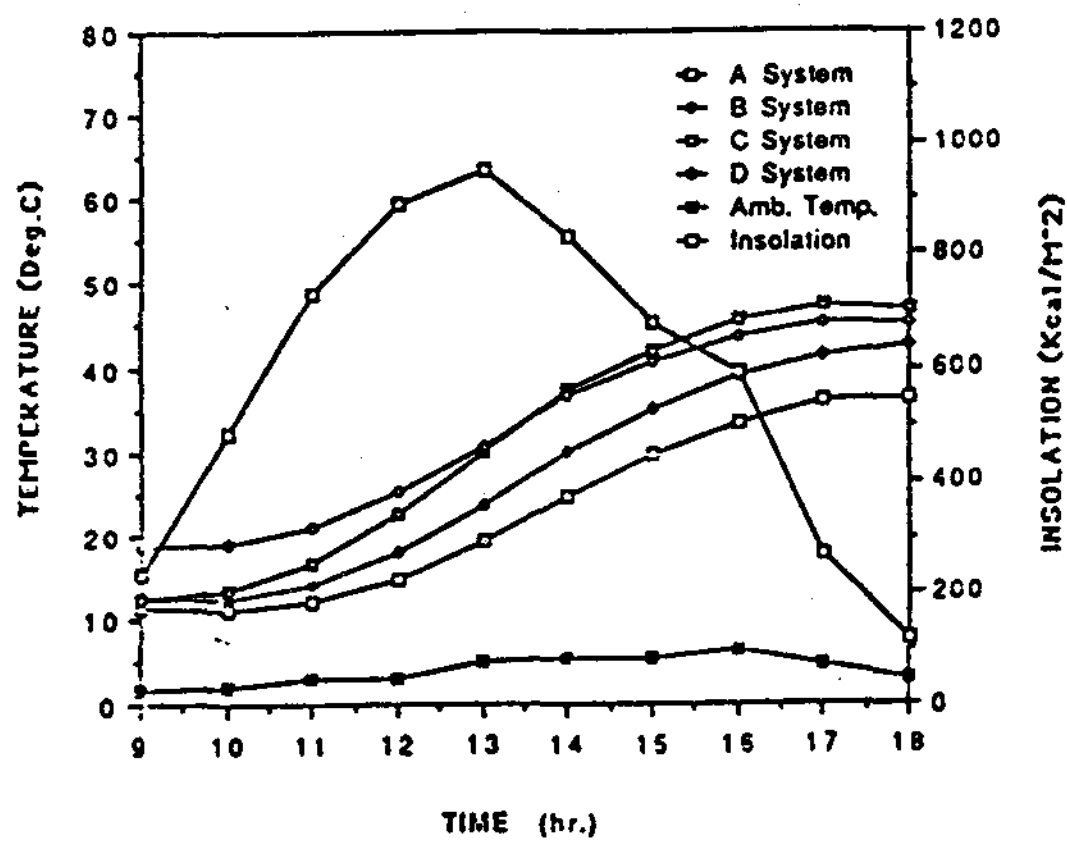


Fig. 3.1 Variation profile of mean water temperature on each systems

ternal fin) 을 설치한 C시스템의 평균 온수 온도 상승폭이 제일 크고 열매체 유동에 성층화 촉진장치인 distributor 를 사용한 B시스템이 distributor 가 없는 시스템 보다

평균 온수 온도 상승폭이 큼을 알 수 있었다. 각 시스템의 최대 평균 온수 온도 상승폭 ($=\Delta T$) 은 A, B, C, D 시스템이 각각 24.66 °C, 29.27 °C, 34.85 °C, 26.5 °C 이었다.

각 시스템의 효율은 Table 3.1 에서와 같으며 C시스템의 시스템 효율이 31.43%로 제일 높으며 이와 같은 결과는 이론해석에서 얻은 연간 평균 시스템 효율 36.8%와 동절기 시스템 효율 31.9~34.6%의 이론치와 잘 일치함을 보여주고 있다.

집열과 축열 성능 분석을 위한 3일 연속 측정 결과는 Fig. 3.2 와 같다. 3일 동안 온수를 배수하지 않은 상태에서 연속 측정한 각 시스템의 heating 과 cooling 되는 주기적 수온 변화에서도 C시스템이 주기적 변화폭이 적을 뿐 아니라 축열조내 평균 온수 온도도 제일 높게 형성됨을 알 수 있었다. 그리고 최대 수온이 되는 시

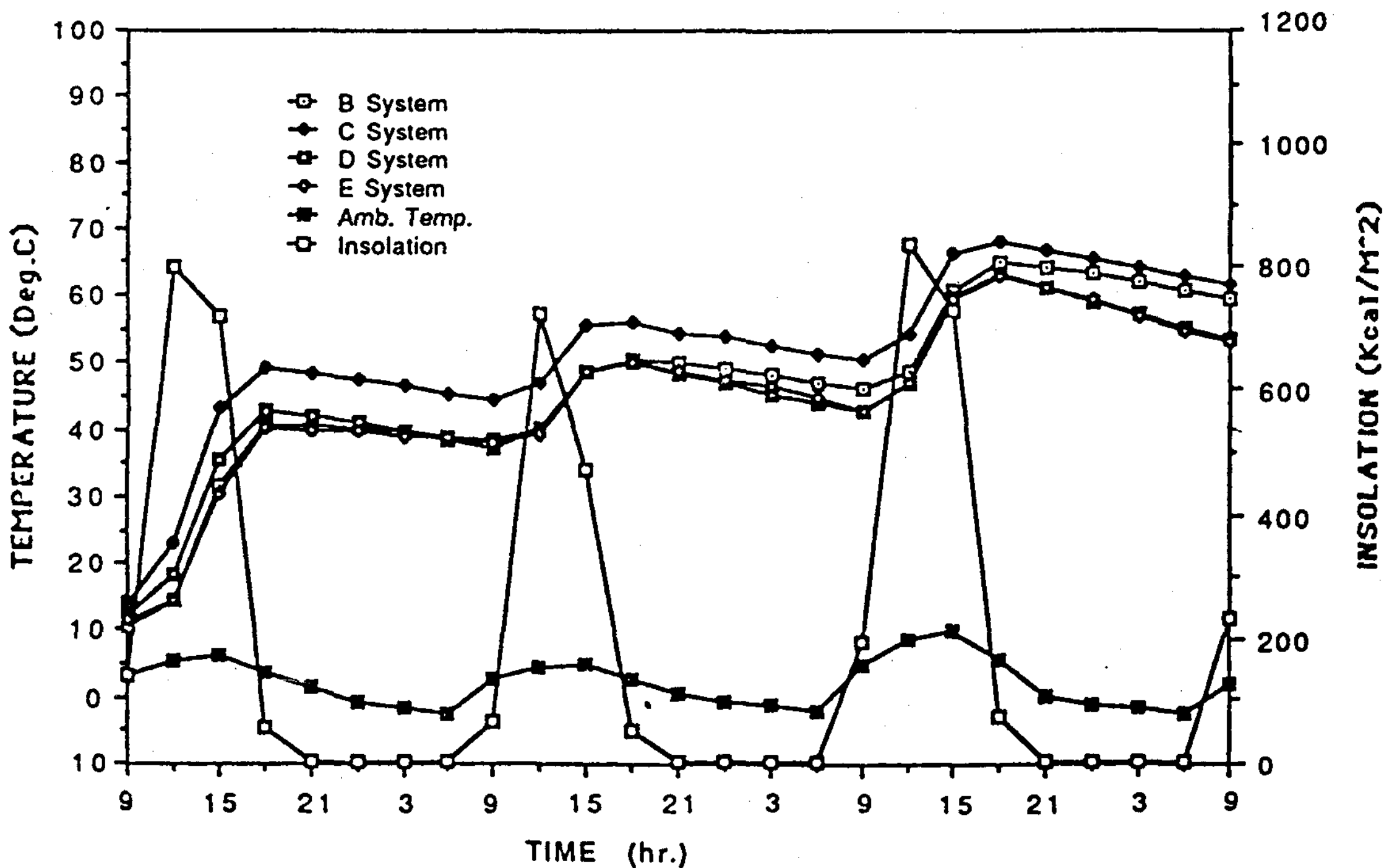


Fig. 3.2 Variation Profiles of mean water temperature for three successive days

각과 최대 일사량이 되는 시각이 상이하여 수온 상승폭은 첫째날이 가장 크며 B시스템이 30.16°C, C시스템이 35.31°C, D시스템이 30.36°C 그리고 E시스템이 28.64°C이었다.

그리고 축열조 형태, 집열면적, 열성층화 및 배수량에 따라 측정 결과를 분석하면 다음과 같다.

i) 시스템 B, C, D 축열조 내의 열매체 온도변화에 따른 온수온도의 변화는 Fig. 3.3, 4, 5에 잘 나타나 있다. B시스템은 열매체 온도가 73.56°C로 최대인 13시에 온수 상부온도와 차가 32.84°C로 최대가 되며 열매체 온도가 57.71°C가 되어 지연시간이 거의 멈추는 시각인 16시에 가서야 온수 상부온도가 56.33°C로 최대가 되며, D시스템도 이와 같은 경향은 B시스템과 비슷하나 열매체와 온수 상부온도와 차가 13시에

과 특히 내부 핀을 부착한 C시스템이 보다 원활한 열전도로 순환 및 수온상승에 유리함을 알 수 있었으며 distributor가 없는 D시스템이 B시스템 보다 순환유량은 많으나 축열조내에 유입되는 열매체 온도가 B시스템 보다 낮아 평균 수온의 상승에 다소 불리함을 보여 주었다.

Table 3.1 Performance data of thermosyphon system

1. Thermal performance					
o Capacity of Storage tank : A, B, C, D - 300 liter					
o Collecting Area : A - 4.8m ² , B, C, D - 5.76m ²					
o Ambient Temperature : Max. - 6.19, Min. - 0.5					
System Type	Time	Storage Water Aver. Temp. (Deg. C)	Total Heat Collected (Kcal/Day)	Total Insolation (Kcal/Day)	System Efficiency (%)
A	09:00	11.44	7398	27998.46	26.42
	18:00	36.10			
B	09:00	12.18	8781	33183.36	26.46
	18:00	41.25			
C	09:00	12.20	10428	33183.36	31.43
	18:00	46.96			
D	09:00	18.61	7950	33183.36	23.96
	18:00	45.11			

2. Maximum System Efficiency				
System Type	Time	Total Insolation (Kcal/Day)	Max. Storage Water Aver. Temp. (Deg. C)	Max. System Efficiency
A	18:00	27998.46	36.10	26.42
B	18:00	33183.36	41.45	26.46
C	17:00	32526.72	47.05	32.14
D	17:00	32626.72	45.15	24.45

15.23°C로 적으며 온수 상부온도는 14시에 55.65°C로 최대가 되었다. 그러나 C시스템은 열매체 온도가 61.52°C로 최대인 14시에 온수 상부온도도 57.25°C로 최대가 되었다. 이상과 같이 열교환에 distributor를 사용한 B, C시스템

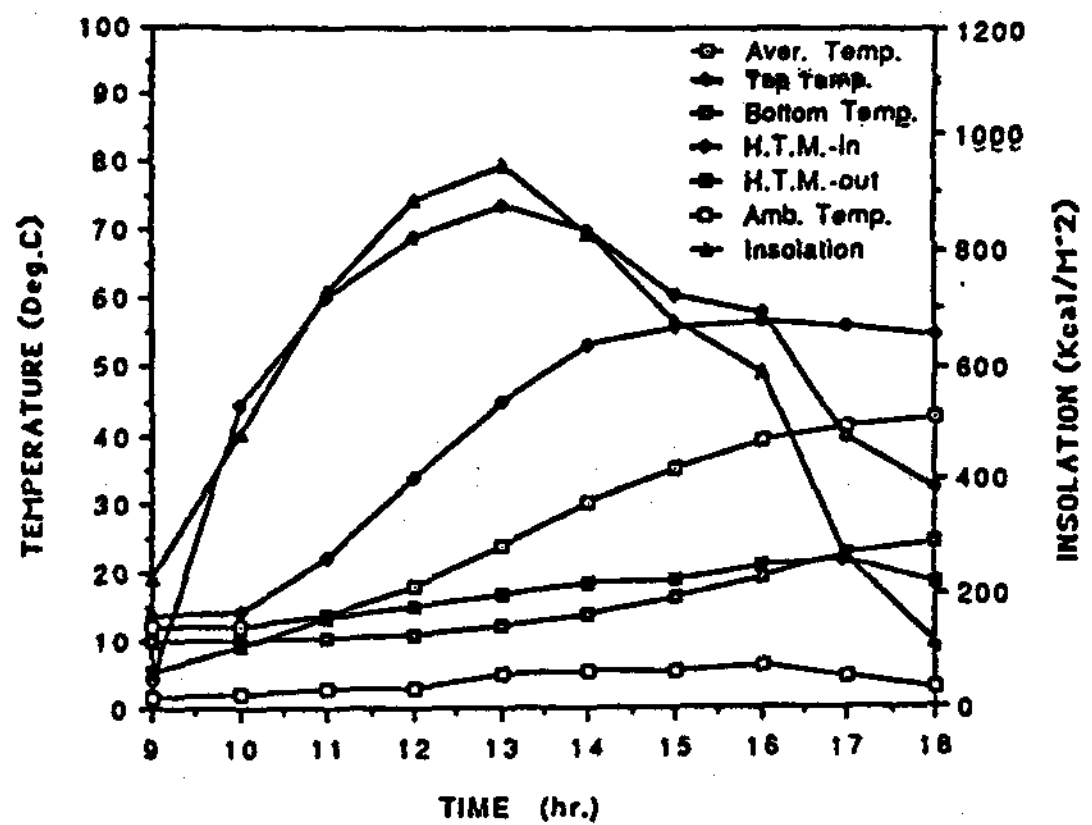


Fig. 3.3 Water temperature variation profiles in storage tank (B system)

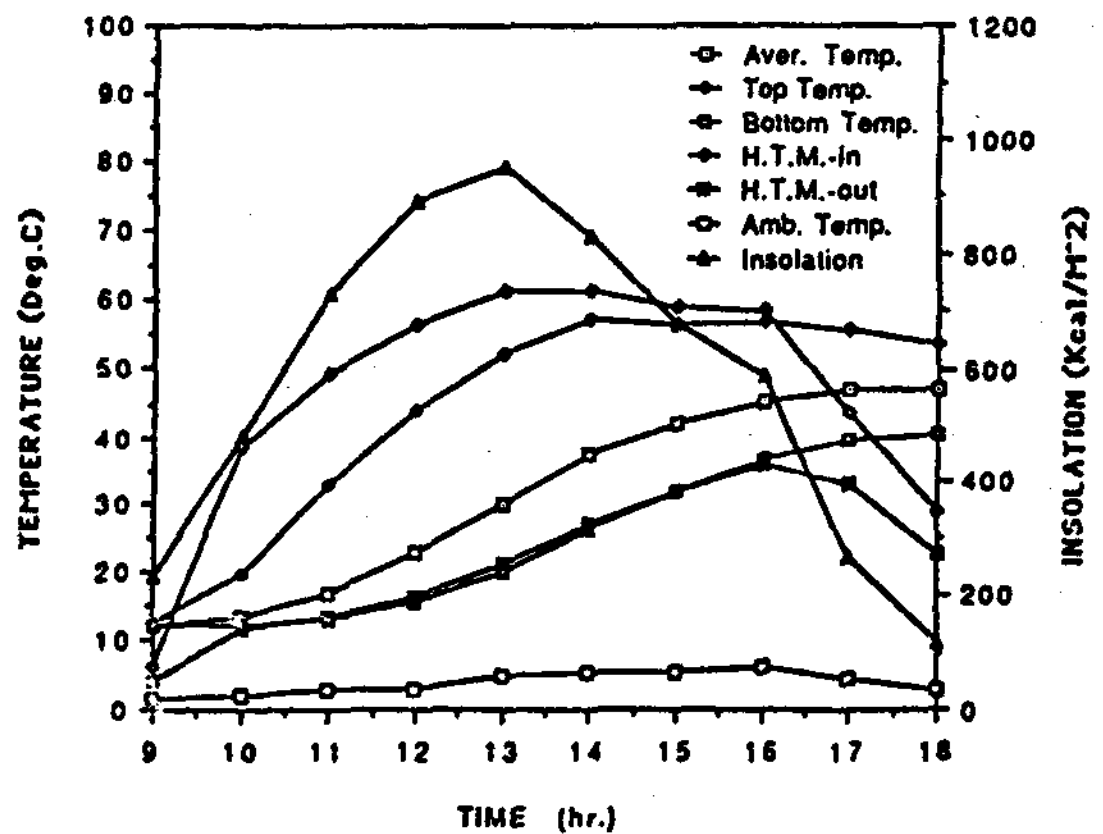


Fig. 3.4 Water temperature variation profiles in storage tank (C system)

ii) 집열기 구성은 3' x 6' 과 4' x 8' 두가지 규격품 (0.91 m x 1.83 m, 1.22m x 2.44m) 으로 제작하여 3' x 6' 집열기 3장은 A시스템, 4' x 8' 집열기 2장은 B시스템을 구성하였다.

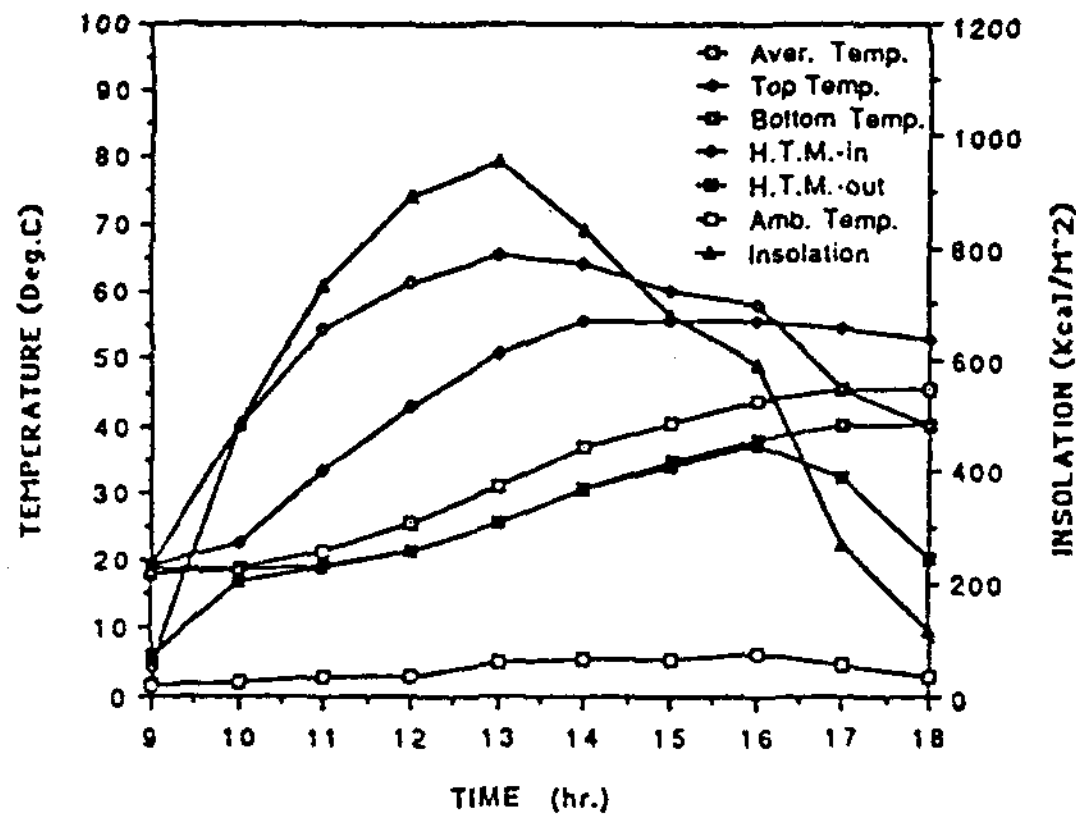


Fig. 3.5 Water temperature variation profiles in storage tank (D system)

Fig. 3.6은 A, B시스템의 평균 수온 변화를 나타낸 것으로 집열면적차에 따른 당연한 결과이다. 따라서 3'x6' 집열기 구성보다는 4'x8' 집열기 구성이 시스템 계획에서 산정된 부하량에 보다 적합함을 알 수 있었다. 그러므로 집열기 구성은 부하량에 적합한 집열면적에 중점을 두었고 그에 따른 경제성에 따라 결정하였다.

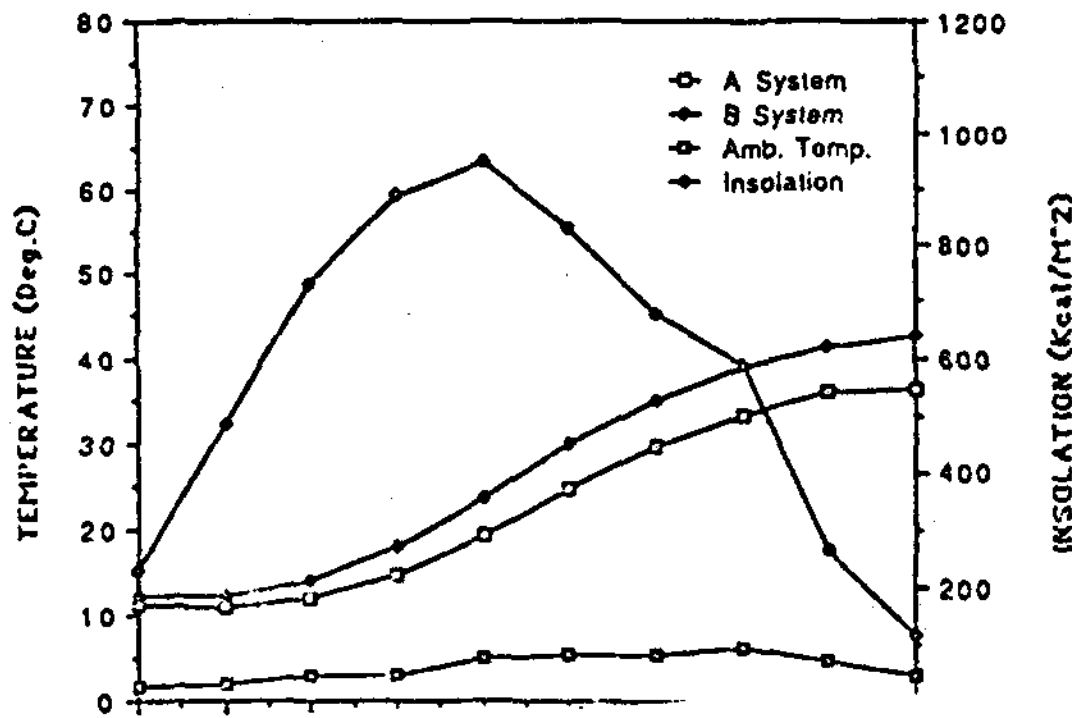


Fig. 3.6 Thermal performance for collector constitution

iii) 열성충화는 이론적 고찰에서 살펴 본 바와 같이 시스템의 효율증대 및 온수사용에 보다 유리함을 알 수 있었다. Fig. 3.7, 8은 B, C시스템의 축열조내 수직평균 온수온도의 각 측정점의 위치별 변화를 시간별로 나타낸 것이다.

B시스템은 그림에서 알 수 있듯이 상부온도는

10시부터 16시까지 급격히 변하여 상부와 하부의 최대 온도차는 14시에 39.35℃이며 16시에 상부온도가 56.78℃로 최대가 되어 자연순환이 멈춘 16시 이후 상부에서 하부로 열재분배가 일어났다. 또한 C시스템도 마찬가지로 13시에 최대 온도차가 32.16℃이며 14시에 상부온도가 57.25℃로 최대가 되어, B시스템보다 내부 핀(internal fin)에 의한 열전달의 효과가 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 3.9, 10은 B, C시스템의 각 위치별 평균 온수온도와 축열조의 비교변화를 보여 주었다.

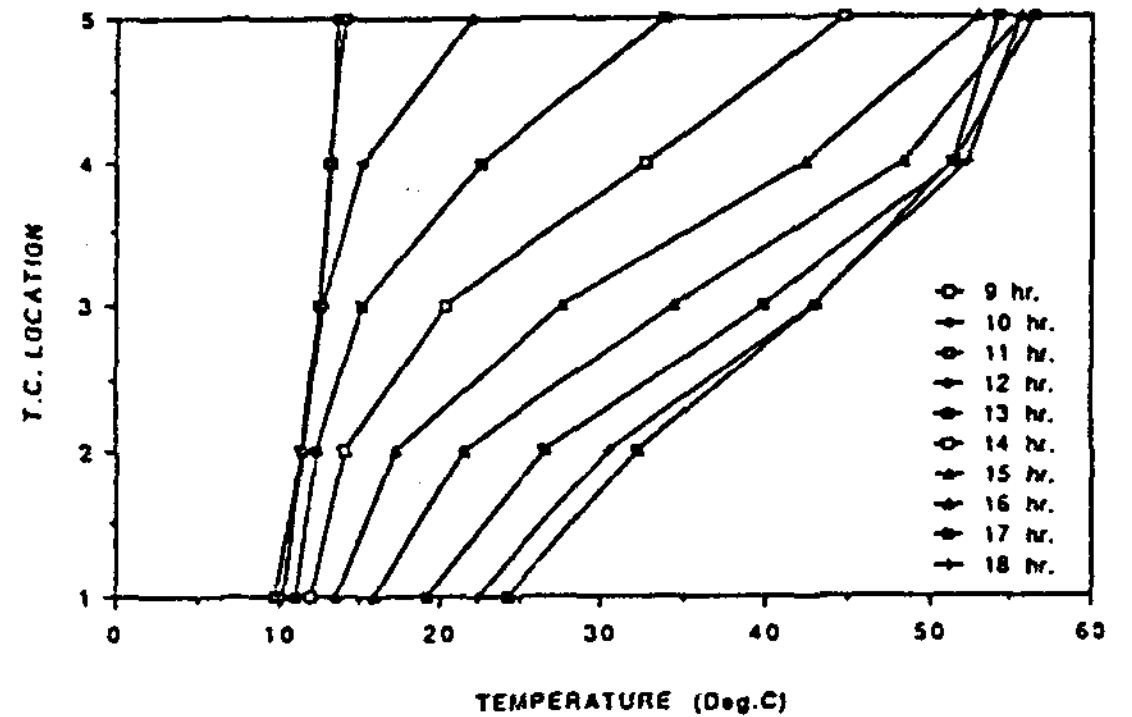


Fig. 3.7 Vertical mean water temperature variation profiles in storage tank (B system)

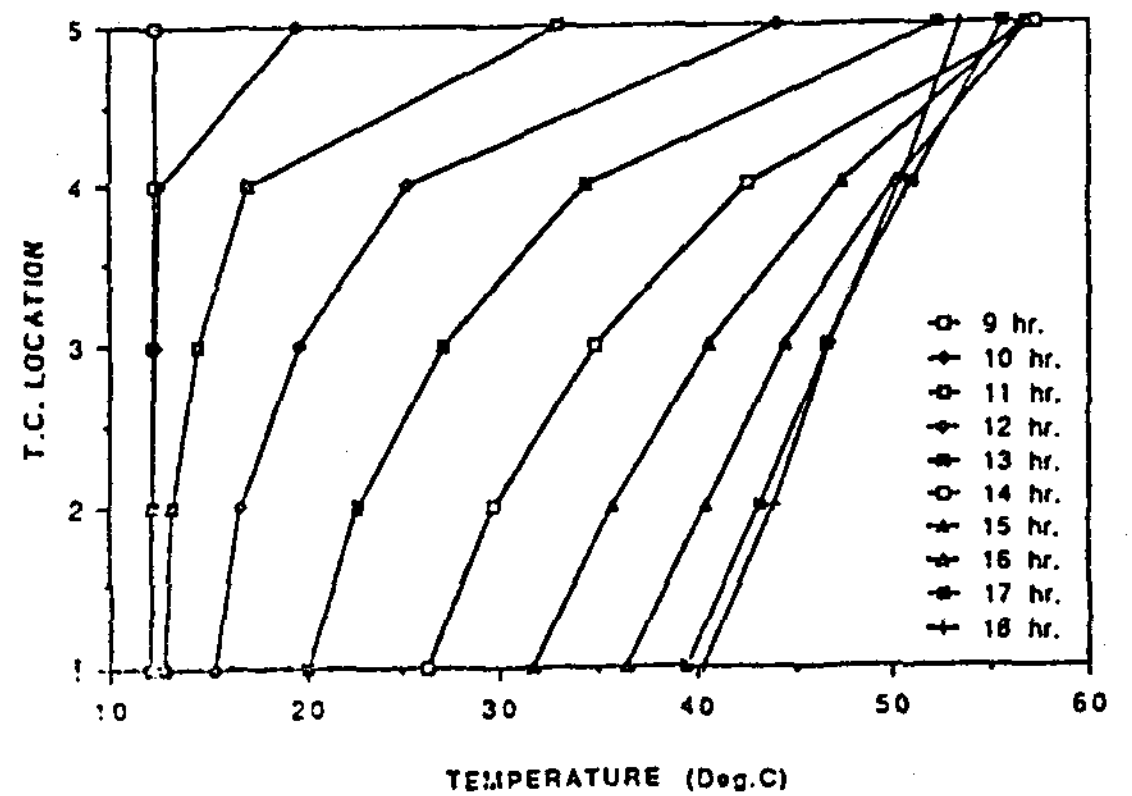


Fig. 3.8 Vertical mean water temperature variation profiles in storage tank (C system)

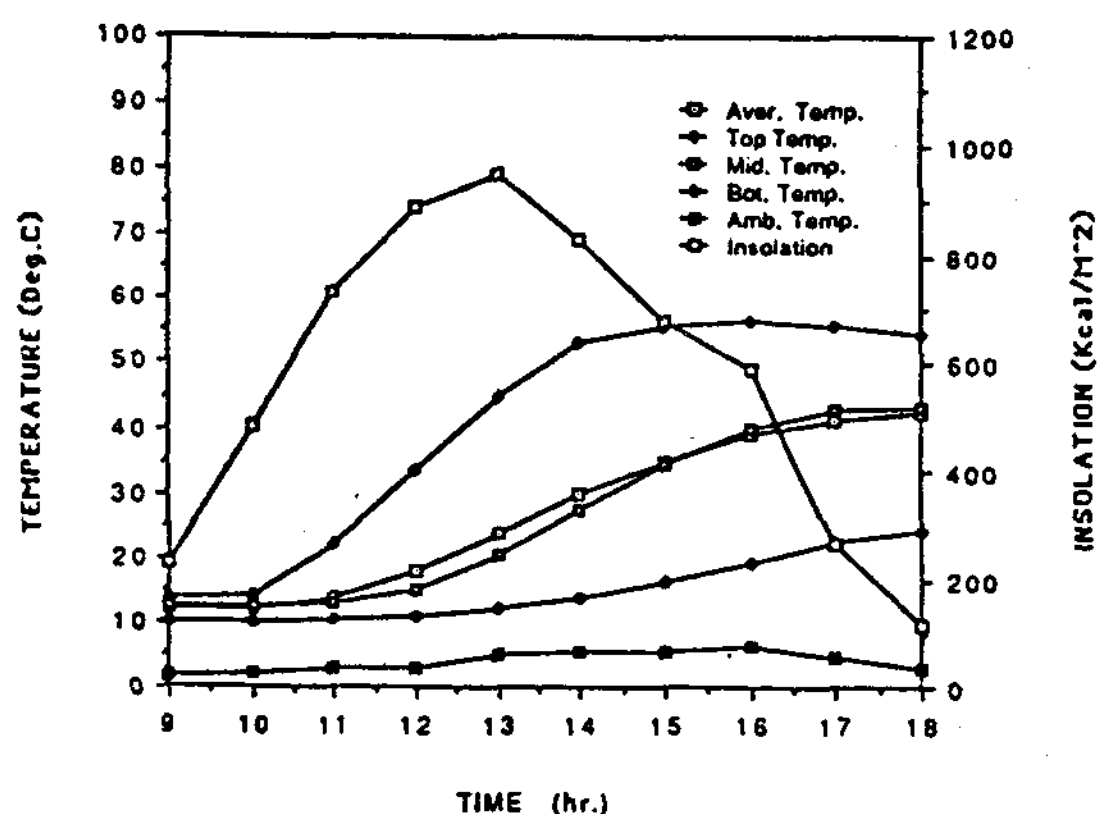


Fig. 3.9 Horizontal mean water temperature variation profiles in storage tank (B system)

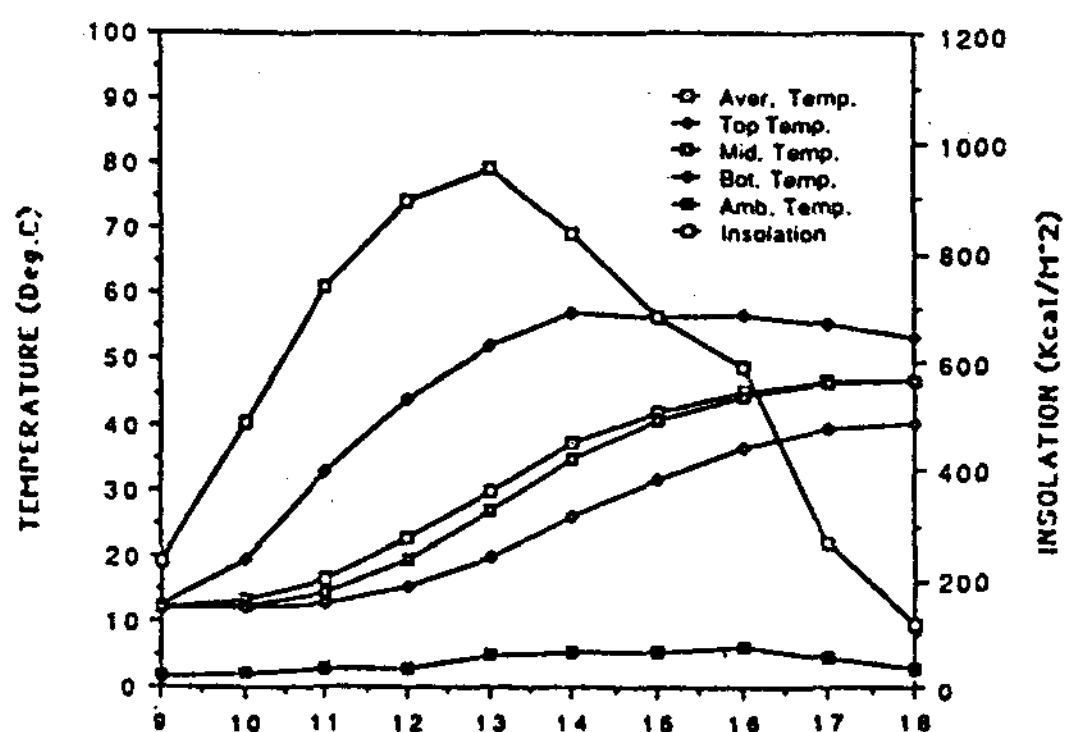


Fig. 3.10 Horizontal mean water temperature variation profiles in storage tank (C system).

iv) 열성층화는 축열과정에서 성층폭이 적고 평균 온수온도가 상승하는 것이 시스템 열성능에 보다 유리하며, 온수사용시 시수의 유입이 축열조내의 성층화를 깨뜨리지않고 배수되도록 하기 위해 입, 출구에 distributor를 설치하였다.

Fig.3.11는 A,B,C,D시스템의 배수량에 따른 배수온도의 변화를 나타내었다. 온수의 사용은 시수압으로 온수를 배수시키면서 진행되므로 300ℓ를 모두 배수하였을 때 A,B,D 시스템의 배수온도 강하폭은 각각 23.2℃, 21.7℃, 22.26℃이었으며 C시스템은 18.3℃이었다. 이와 같은 현상은 A,B,D시스템은 똑같은 내부구조이며,

C시스템의 경우는 내부편이 전열면 확대뿐 아니라 열성층화 파괴방지 효과를 가져오기 때문에 타 시스템 보다 배수온도 강하폭이 적은 것으로 사료되었다.

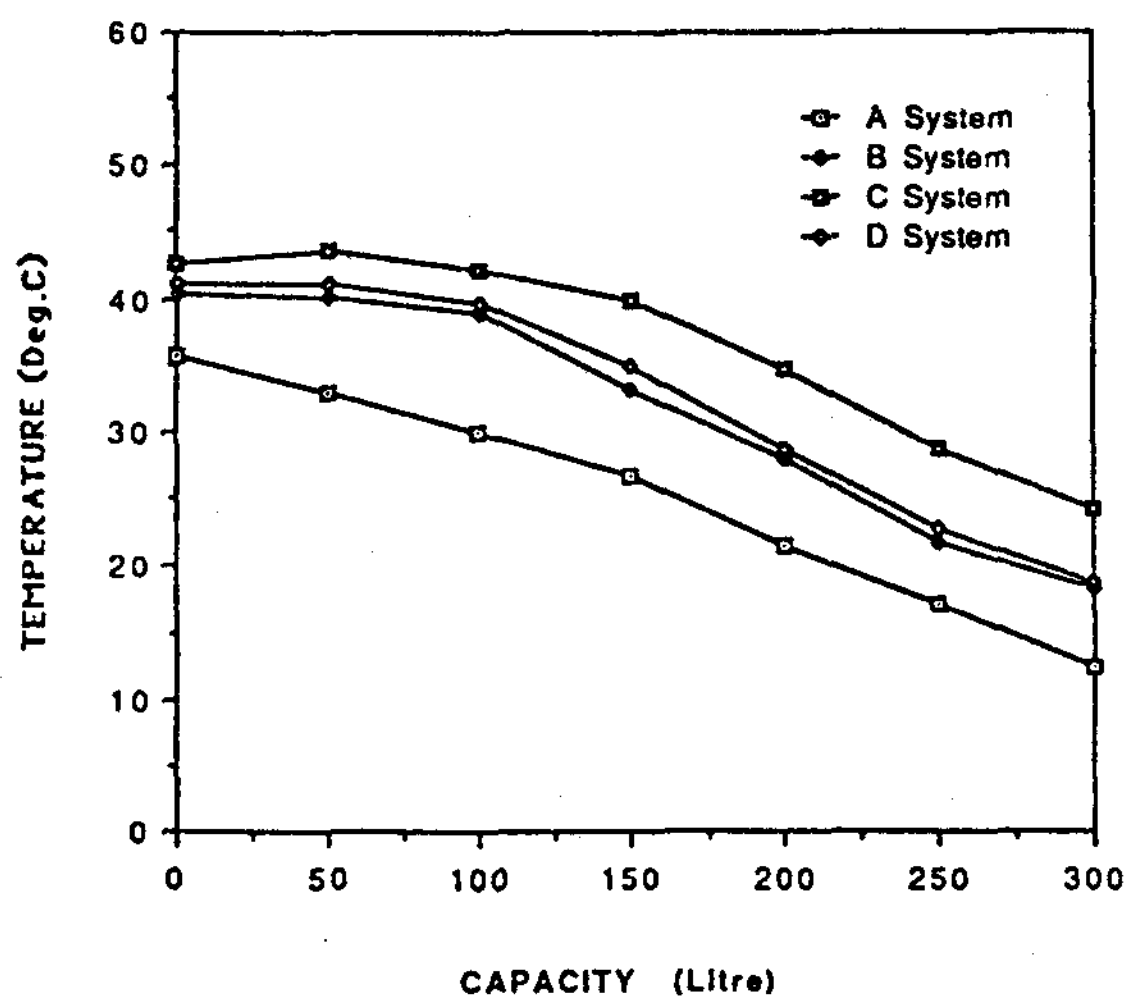


Fig. 3.11 Variation profiles of water temperature quantity drawn off

5. 결론

축열조 열교환 형태 및 집열기 구성으로 구분하여 설치한 유형별 시스템을 국내 기후 및 생활 조건상 급탕 부하가 가장 많은 동절기(12월)에 비교 측정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

i) C시스템이 시스템 효율 31.43%, 최대 시스템 효율 32.14%로 열적성능이 우수하게 나타났다.

ii) 열교환 형태에서도 성층화 촉진장치인 distributor와 전열 효과를 높이기 위해 내부편을 사용하여 시스템 효율을 상승시키는데 기여하였다.

iii) 또한 내부편은 배수실험에서 시수와 thermal mixing을 최대한 억제하는 효과를 나타내서 보다 많은 온수를 사용할 수 있음을 보여 주었다.

iv) 온수급탕 시스템을 구성하는데 있어서 집

열기는 3' × 6' 규격의 3장과 4' × 8' 규격 2장을 비교 한 결과 집열면적도 4.86 m², 5.76 m²로 4' × 8' 규격이 유리하였으며, 축열조 평균수온도 뚜렷하게 구별되었다.

본 연구결과는 실증실험을 통해 실용화에 따른 문제점들을 보완하여 국내기후 및 생활환경에 적합한 모범도면을 작성하여 보급할 계획임.

* 본 연구는 한국동력자원부 국책과제의 일부로 수행된 것임.

REFERENCE

1. J.T. Czarniecki, "Performance of Experimental Solar Water Heaters in Australia", *J. of Solar Energy Science & Engineering*, Vol. II, No. 3-4, pp. 2-6, 1958.
2. D.J. Close, "The Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation", *Solar Energy*, Vol. 6, pp. 33-40, 1962.
3. C.L. Gupta, H.P. Garg, "System Design in Solar Water Heaters with Natural Circulation", *Solar Energy*, Vol. 12, pp. 163-182, 1968.
4. K.S. Ong, "A Finite-Difference Method to Evaluate the Thermal Performance of a Solar Water Heater", *Solar Energy*, Vol. 16, pp. 137-147, 1974.
5. K.S. Ong, "An Improved Computer Program for the Thermal Performance of a Solar Water Heater", *Solar Energy*, Vol. 18, pp. 183-191, 1976.
6. R.W. Bliss, "The derivation of a several 'plate efficiency factors' useful in the design of flat-plate solar heat collectors", *Solar Energy* 3, p. 55, 1959.
7. J.I. Yellott and R. Sobotka, "An investigation of solar water heating performance", *ASHRAE Transactions* 70, pp. 425-433, 1964.
8. J.W. Baughn, K. Crowther, "An Experimental Study of Storage Elevation in a Thermosyphon Hot Water System", *Proceedings of the 1978 Annual Meeting of the A.S.I.S.E.S.*, Vol. 2.2, pp. 32-35, 1978.
9. A. Shitzer, D. Kalmanoviz, Y. Zvirin and G. Grossman, "Experiments with a Flat Plate Solar Water Heating System in Thermosyphonic Flow", *Solar Energy*, Vol. 22, pp. 27-35, 1979.
10. 위용호역, 田中俊六저, "태양열 냉난방 시스템," 형제사, 1978.
11. J.T. Czarneske, W.R.W. Read, "Advances in Solar Water Heating for Domestic Use in Australia", *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 75-80, 1978.
12. W. Place, M. Daneshyar, R. Kammerud, "Mean Monthly Performance of Passive Solar Water Heaters", *The 4th National Passive Solar Conference*, Kansas City, pp. 1-5, 1979.
13. A. Shitzer, D. Kamanoviz, Y. Zvirin and G. Grossman, "Experiments with a Flat Plate Solar Water Heating System in Thermosyphonic Flow", *Solar Energy*, Vol. 22, pp. 27-25, 1979.
14. G.J. Parker, "The Performance of a Solar Water Heating System in a Dwelling in Christchurch, New Zealand", *Solar Energy*, Vol. 26, pp. 189-197, 1981.
15. G.L. Morrison, C.M. Sapsford, "Long Term Performance of Thermosyphon Solar Water Heaters", *Solar Energy*, Vol. 30, No. 4, pp. 341-350, 1983.

16. A. Mertol, W. Place, T. Webster, R. Greif, "Detailed Loop Model (DLP) Analysis of Liquid Solar Thermosyphons with Heat Exchangers", Solar Energy, Vol. 27, No. 5, pp. 367-386, 1981.
17. A.H. Fanney and S.T. Liu, "Experimental system performance and comparison with computer predictions for six solar domestic hot water systems", In Proc. ISES Silver Jubilee Cong., Atlanta, Georgia, Vol. 2, pp. 972-976, May 1979.
18. 한국동력자원연구소, "자연형 태양열 시스템 개발 (VI)", KE-86-12, pp. 121 ~ 259, 1986.