

자연 대류형 태양열 온수 급탕 시스템의 열성능 및 실증실험

강 용 혁 · 광 희 열 · 전 흥 석

한국동력자원연구소

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

Y.H.Kang · H.Y.Kwak · H.S.Jeon

Korea Institute of Energy and Resources

요 약

주거용 온수급탕에 소비되는 에너지를 절약하기 위하여 국내기후와 생활환경에 적합한 자연대류형 태양열 온수 급탕 시스템의 개발에 관한 연구이다.

비교분석을 위해 집열기와 열교환 형태에 따른 여러형태의 축열조를 제작하여 실험을 수행하였다.

또한, 열성능 분석결과를 토대로 시스템 최적화를 통한 모범도면을 작성하였고, 지역별, 기후별 실증실험을 위하여 전국7개도시(서울, 부산, 대구, 광주, 대전, 강릉, 제주)에 시범설치하여 열성능 및 실용화 가능성을 검토하였다.

ABSTRACT

This paper studies development of a solar thermosyphon hot water system which is suitable to korean climate and life style, to save energy consumed for domestic water heating.

The system consists of two flat plate collectors(or three flat plate collectors) connected in parallel and a storage tank of 300 liter capacity with heat exchanger and the optimum system was designed through the comparative measurements of five different storage tanks.

The developed system manufactured with domestic materials were installed in residential buildings in seven cities(Seoul, Pusan, Taegu, Kwangju, Taejeon, Kangneung, Cheju) for demonstration and field test and results show possibility for commercialization.

1. 서론

국가적 에너지 절약과 쾌적한 주거환경 및 생활의 편리함을 위해 기존 화석에너지로부터 무공해 고급에너지로 그 사용형태가 바뀌어가는 지금, 그 양과 질적인 면에서 무한정이고 무공해인 대체에너지원으로 태양에너지는 다양한 이용분야가 개발되어 실용화되고 있다. 태양에너지이용분야 중 온수급탕을 위한 연구 및 실용화는 80년 이후 전세계적으로 자연형 시스템이 각광을 받고 있다.

자연형 시스템은 설비형 시스템에 비해 설치 및 유지비가 거의 들지 않으며, 사용 및 작동의 간편, 저가 등으로 보다 경제적이고 국내 생활수준 향상으로 단기간내에 보급이 가능하다.

현재 국내의 태양열 온수급탕 시스템의 이용 및 보급은 단지 몇종류의 수입품과 이미 개발되어 저렴한 가격으로 보급되고 있는 일체형 시스템인 Batch형 태양열 온수급탕 시스템이 있으나 동절기 사용의 불편함이 지적되고 있다. 따라서 우리나라 기후특성을 고려하여 열교환 방식을 갖는 분리형 시스템인 자연대류형 태양열 온수급탕 시스템은 이러한 동절기 사용의 불편함과 동파방지를 해결할수 있고 가격면에서도 수입품보다 훨씬 저렴하여 보급 촉진 및 수입대체 효과를 가져올 수 있다.

본 연구에서는 Batch형 시스템의¹²⁾ 연구개발로 구축된 태양열 온수급탕 시스템의 이론 및 기술을 바탕으로 자연대류형 시스템에 대한 이론해석을 수행하였고 집열면적에 따른 집열기 구성과 여러가지 열교환 형태의 축열탱크를 제작하여 시스템의 열성능을 비교분석하였으며, 비교실험 결과를 토대로 표준화된 모범도면을 작성하였다. 또한 시제품을 제작하여 전국 7개 도시에 설치하여 실증실험을 통한 국내 기후 및 생활환경에 따른 타당성을 검토하였고 실제 시스템 설치 및 사용시의 문제점을 파악하여 실용화 가능성을 검토하였다.¹⁵⁾

이와같은 연구결과는 태양열 온수급탕 시스템의 설계, 제작 및 시공기술을 알리는 지침서 역할뿐만 아니라 타당성 검토결과와 활용은 관련업체들의 보급추진 방향에도 많은 도움을 줄

것으로 사료된다.

또한 범 국가적인 대체에너지원 개발정책에 부응하고 장기적인 에너지 절약에 이바지 할 수 있을 것이다.

2. 자연대류형 온수급탕 시스템

2.1 시스템 개요

자연대류형 태양열 온수급탕 시스템은 집열기 상부에 축열조를 설치하고 상승관과 하강관을 연결하여 태양열에 의해 가열된 집열기내의 열매체가 상승관을 따라 축열조로 유입되어 열교환을 통해 온수를 가열하고 하강관을 따라 열매체가 하강하여 집열기로 다시 유입되는 자연순환을 작동원리로 하는 시스템이다.^{2,3,7,11)}

이 시스템은 열매체의 열교환방식에 따라 구분하며 열매체로서 물을 직접사용하는 열교환기가 없는 경우를 직접식이라 하며, 열매체로서 부동액을 사용하여 축열조내의 열교환기를 통해 축열하는 경우를 간접식이라 한다.^{13,14)}

연구개발된 자연대류형 시스템은 간접식으로 직접식보다 다소 낮은 온수를 얻는 단점을 제외하고는 국내기후 특성인 동절기 문제점을 해결하고 높은 효율을 유지하는 시스템이다.

시스템의 특징은 높은 집열 및 시스템 효율을 위해 Tank-in-Tank 형태의 열교환 방식과 축열조 내부에 열전달 촉진을 위해 내부핀(Internal Fin)을 부착하였고 온수 사용시 냉·온수 혼합의 최소화 및 열성충화 유지를 위해 열성충화 촉진장치(Distributor)를 설치하여 보다 많은 온수량을 얻도록 하였다.

2.2 시스템의 계획

2.2.1 시스템의 규모

시스템의 규모는 사용 온수량에 따른 급탕부하에 의해 결정된다. 즉, 급탕부하에 따라 급탕량, 집열면적, 축열조규모 등이 결정된다. 급탕부하는 5인가족을 기준으로 1인당 일일 급탕량을 50℃ 온수 60ℓ를 사용하는 것으로 보아 축열조 용량은 300ℓ 이 된다.^{13,14)}

적정시스템 규모는 경제성이 가장 좋은 규모로 산정하여야 하며 일반적으로 에너지 절감량과 시스템 설치비를 고려하여야 한다. 그러므

로 에너지 절감량을 결정하는 시스템 효율과 시스템설치를 위한 초기 투자비가 적정 시스템 규모를 결정하는 주인자가 되는데 태양의존율이 클수록 시스템 효율은 저하된다.

급탕부하는 다음 식과 같이 산출되며 하절기(6,7,8월)의 급탕부하는 다른 계절의 70%로 한다.

$$\text{급탕부하(Kcal/m)} = \text{비열(Kcal/}^\circ\text{C, } \ell) \times \text{급탕량(} \ell / \text{day)} \times (\text{온수온도} - \text{시수온도}) (^\circ\text{C}) \times \text{월간 일수(day/m)}$$

2.2.2 집열기

집열기 선택은 자연대류형 시스템에서 요구하는 온수 및 열매체의 온도범위에 따라 결정해야 하며 국내제작과 구입이 용이하여야 한다. 가정용 급탕의 경우 온수온도의 범위가 40~60°C 정도의 중간 온도범위의 온수가 필요하므로 우리나라 외기온 조건하에서는 주로 단층유리로 된 관모음식 평판형 집열기가 효율 및 경제성면에서 적합하다.

그러므로 본 연구에서는 국내에서 제작된 평판형 집열기로 아래와 같은 기준치를 갖는 집열기를 선택하여 비교실험에 사용하였다.

$$Fr(\tau \alpha)_m = 0.77, FrU\ell = 5.4$$

Fr: 집열성능계수, $(\tau \alpha)_m$: 평균투과흡수율, U_ℓ : 열손실 계수

집열 면적은 소요 급탕량에 따라 결정하였다. Fig. 2.1은 급탕용량에 따른 집열면적비 선도를 나타내었다.^{13,14)}

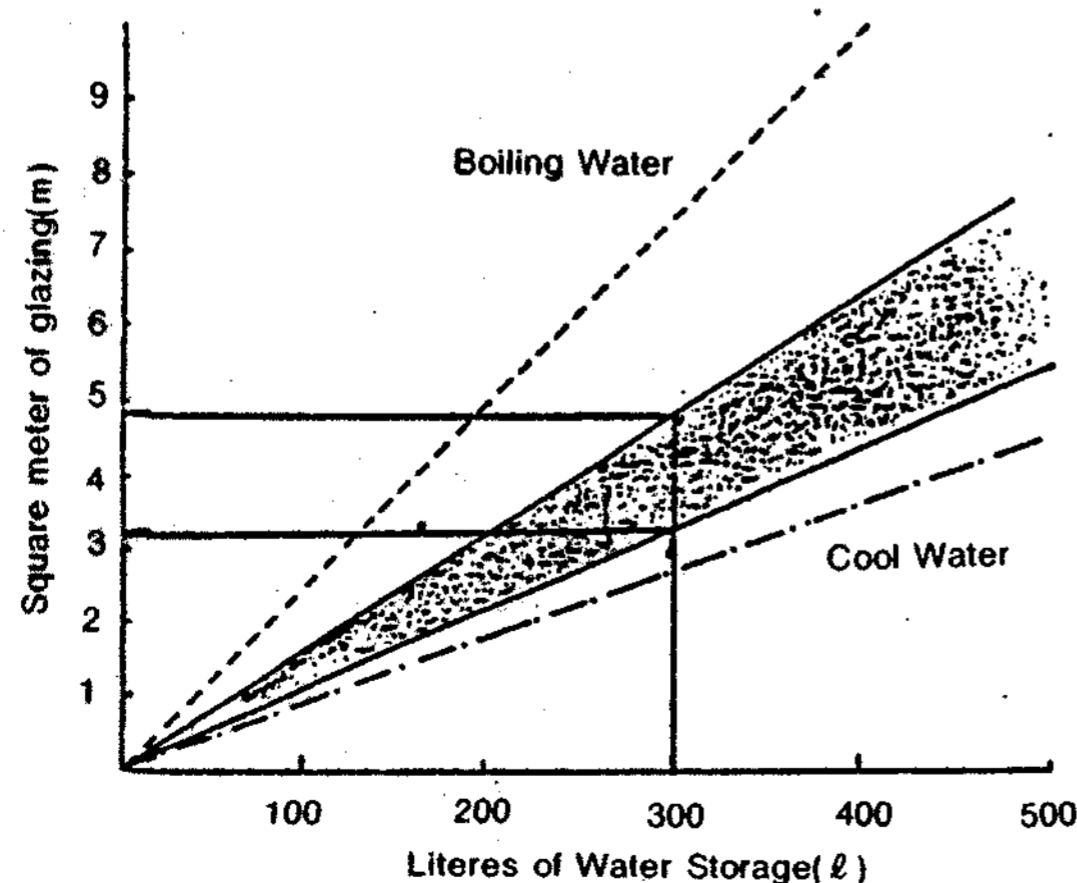


Fig. 2.1 Diagram of Collector Area with Supply Capacity

300 ℓ 용량의 경우 1 ℓ 당 0.011~0.016m² 이므로 집열면적은 3.3~4.8m²의 범위를 갖는다. 그리고 온수의 매일 급수를 위한 최소집열 면적은 0.0135m²/ℓ 이상이므로 300 ℓ의 경우 4.05m² 이상의 집열면적을 가져야 한다.

따라서 간접식 열교환 형태를 갖는 시스템과 국내기후 특성을 고려한다면 앞에서 언급한 최소 집열면적 보다는 커야한다. 그러므로 본 연구에서는 국내에서 제작되어 구입이 가능한 제품(0.91m×1.83m, 1.22m×2.44m)으로 적정 집열면적을 구성하였다.

즉 3'×6'규격 3장 또는 4'×8'규격 2장으로 구성하면 집열면적은 각각 4.86m², 5.76m²이 되며 집열면적에 따른 시스템 열성능을 비교분석하였다.

2.2.3 축열조

자연대류형 시스템에서 집열기 효율 및 적정 집열면적과 축열조 성능은 전체 시스템 효율을 좌우한다.

축열조는 사용 온수의 온도 범위, 사용방법 그리고 열교환 방식에 따라 재질 및 형태가 달라진다. 열교환 형태를 갖춘 축열조는 열매체에 따라 재질이 결정되어야 하는데 본 연구에서는 열매체로 50% ethylene glycol을 사용하였다. 축열조의 재질은 열교환 특성을 만족시키기 위해 스테인레스 스틸로 결정하였고 경제성 비교를 위해 철판으로 제작하여 비교 분석하였다.

본 연구의 주된 실험중의 하나는 중요한 설계인자인 최적 열교환 방식의 결정이다. 여러 열교환 형태 중 축열조의 수평설치, 온수의 성층화, 순환유량 그리고 전열면 확대 등을 고려할 때 두 탱크를 동심원으로 겹쳐 작은탱크의 전 표면을 통한 열전달로 tank-in-tank형이 적절하다. 이 tank-in-tank형 열교환 방식에서도 열매체의 순환방식에 따라 평균 온수의 온도, 성층화가 다를 것이고 시스템의 효율도 변할 것이다.

따라서 본 연구에서는 4가지 형태의 순환방식에 따른 축열조를 제작하였고, 전열면 확대 및 성층화 촉진을 위해 내부 핀(Internal Fin)이 부착된 축열조도 제작하여 비교분석하였다.

2.2.4 축열조내의 성층화(Stratification)

자연대류형 태양열 시스템에서 축열조는 동절기사용을 편하게 하기 위하여 간접식 열교환 형태로 설계되었다.

열교환기에 있어서 열전달은 주로 전도와 대류이므로 열전달 촉진 방법에는 $Q=U \cdot A \cdot T$ 에서 알수 있듯이 두 물질간의 온도차, 전열 면적 그리고 열전달 계수에 밀접한 관계가 있다.

본 연구에서 축열조는 축열을 위한 전열면적 확대와 축열 및 온수 사용시 mixing loss를 최대한 억제하기 위하여 열성층화 촉진장치를 설치하였다.

열성층화 촉진장치인 distributor의 최적 설계는 분출공(hole)의 단위 길이당 hole면적비에 따라 computer program을 사용하여 계산하였다. 즉 distributor를 통한 균일한 흐름이 마찰 손실에 의한 압력손실로 깨어짐을 단위 길이당 분출공 면적의 불균등 분할로 해결할 수 있다.

단위길이당(전길이의 10% 길이당) 면적은 다음식으로 산출할 수 있다.^{12,14)}

$$S=Q/1830[(Ps-Pa)/\rho]^{1/2}$$

S : 분출공(hole)면적(in²) Q : 관내유량(gpm)

Ps : 정압(psia) Pa : 외기압(psia)

p : 밀도

3. 실험 및 측정

3.1 실험장치 및 방법

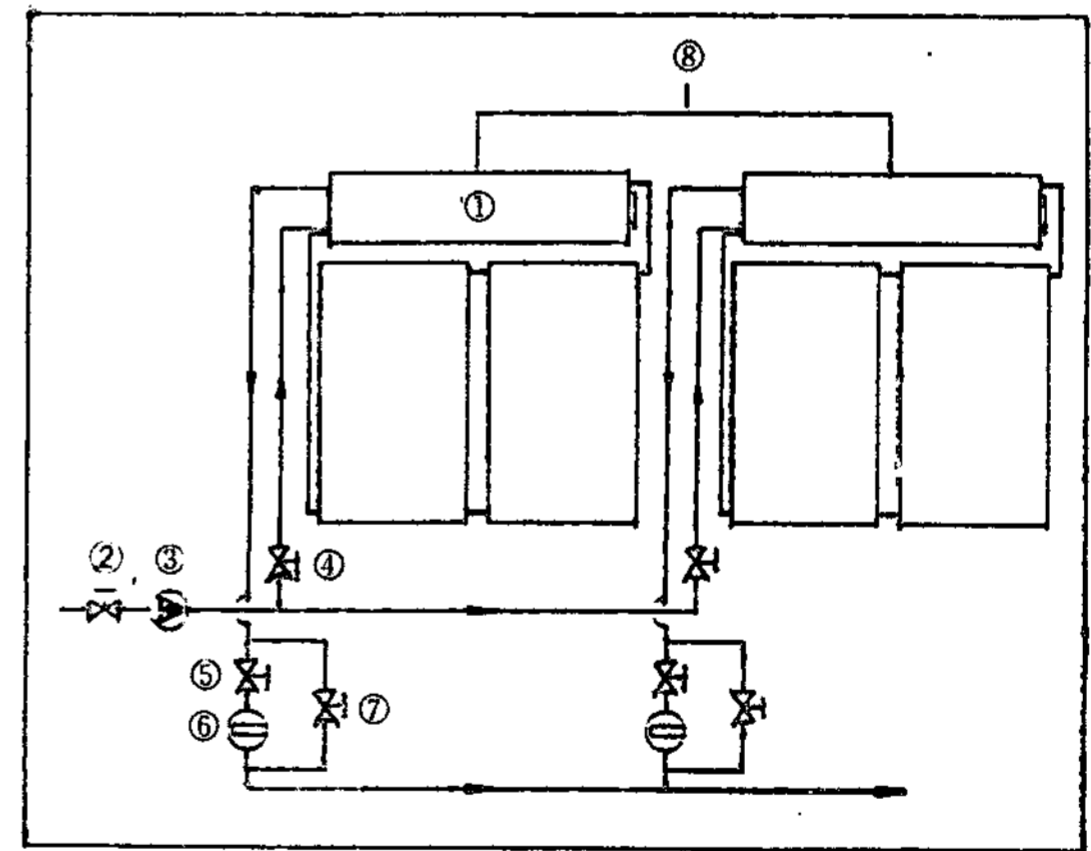
자연 대류형 시스템의 축열조는 열매체의 유동형태 및 재질에 따라 Table 3.1과 같이 분류하여 제작하였다.¹⁴⁾

그리고 축열조의 상세한 사양은 Table 3.2와 같으며, 단열재는 고밀도 발포 우레탄(Polyurethan Foam)을 사용하였으며, 온도성층화를 고려한 고온부 즉, 탱크 상층부의 열손실을 줄이기 위하여 단열두께를 동심원 상에서 편심(Variable thickness)되게 하였다. 또한 실험에서 사용한 집열기의 재질 및 상세한 사양은 Table 3.3과 같다. 또한 집열면적은 4.86m²(A model)과 5.76m²(B, C, D, E model)를 조합하여 구성하였다.

자연대류형 시스템은 열매체가 자연순환 됨으로 열매체의 순환경로내의 공기는 전체 시스템의 열적성능에 중요한 저해변수이므로 공기를 제거하기 위하여 축열조 상부에 공기변과 팽창탱크를 설치하였고, 탱크에 연결된 시수압 및 탱크내의 온도상승에 따른 압력상승으로부터 탱크의 파손을 방지하기 위해 압력변을 설치하였다.

실험은 Fig.3.1에서 보는 바와같이 5가지 유형의 축열조와 2가지 유형의 집열기를 서로 조합하여 시스템을 구성하였다.

실험을 위해 동트기 전 main valve②와 입구 밸브④가 열린 상태에서 출구밸브⑤를 열어 시수를 채운다음 출구밸브⑤를 닫아 실험을 시작하였으며 펌프③은 짧은 시간내에 시수를 채우기 위해서 설치하였다. 그리고 배수실험시 온수 사용량에 따른 온도를 측정할때 by-pass 밸브⑦를 닫고 출구밸브⑤를 열어 측정하였고 이때 각각의 시스템에 적산유량계⑥을 설치하여 시간에 따른 유량을 측정하였다.



- ① Thermosyphon System
- ② Main Supply Water Valve
- ③ Pump
- ④ Inlet Valve
- ⑤ Outlet Valve
- ⑥ Flow Meter
- ⑦ By-pass Valve
- ⑧ Measurement System

Fig. 3.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

3.2 측정장치 및 방법

자연대류형 시스템의 측정을 위한 각 측정점은 Fig.3.2와 같다.

Table 3.1 Classification of Storage Tank

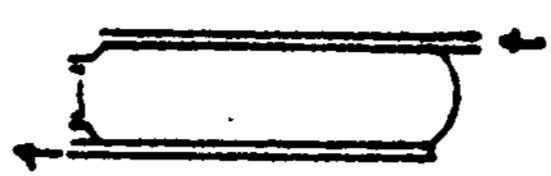

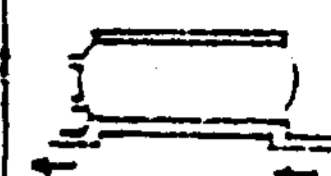
MODEL TYPE	A	B	C	D	E
HEAT TRANSFER FLUID FLOW TYPE					
HEAT TRANSFER FLUID FLOW DEVICE	DISTRIBUTOR AT THE TOP & BOTTOM OF THE JACKET			PIPE CONNECTION AT THE TOP & BOTTOM OF THE JACKET	
CONTAINER & JACKET MATERIAL	STAINLESS STEEL	STEEL		STAINLESS STEEL	STEEL
INNER TANK			FIN		

Table 3.2 Specification of Storage Tank

ITEM	SPECIFICATION	
TOTAL CAPACITY	300 l (310 l)	
SOLAR RATED CAPACITY	298 l (φ 425×12100mm)	
HEAT EXCHANGE TYPE	Tank-in-Tank Type	
INSULATION	Polyurethan Form	
VOLUME IN JACKET ON TANK	17 l	
HEAT TRANSFER MATERIAL	E-Glycol 50%	
OUTER CASE	MATERIAL	F.R.P
	THK.	1.5mm
CONTAINER (TANK)	MATERIAL	Stainless Steel
	SPC. & THK.	φ 425 × 2100(body) 2280(end), 1.5mm
JACKET	MATERIAL	Stainless Steel
	SPC. & THK.	φ 425 × L2100mm 1.5mm
JACKET SPACE	6mm	
EXPANSION TANK	1 l	
WATER DISTRIBUTOR	PVC φ 21.90.D.	
HEAT TRANSFER FLUID DISTRIBUTOR	Stainless Steel φ 17.3 O.D.	
ELECTRIC HEATER	2KW/220V	

Table 3.3 Specification of Collector

ITEM	SPECIFICATION	
TYPE	Flat Plate	
OVERALL DIMENSION	1210×2430×70mm	
ABSORBER PLATE DESIGN	Tube and Sheet Type	
ABSORBER SURFACE TREATMENT	Black-Cr Coating	
ABSORBER PLATE	MATERIAL	Copper
	THK.	0.3mm
	AREA	2.832m ²
HEADER TUBE	MATERIAL	Copper
	SPC.	φ 22.2mm O.D.
RISER TUBE	MATERIAL	Copper
	SPC.	φ 9.52mm
CASE	MATERIAL	F.R.P.
	THK.	1.5mm
GLAZING	MATERIAL	Mistlite Single Tempered Glass
	THK.	4mm
	TRANSMITTANCE	89.7%
GLAZING FLAME	MATERIAL	Aluminium(CAL-)
	SPC. & THK.	15×20mm, 1.2mm
INSULATION	MATERIAL	Glasswool
	THK.	30mm

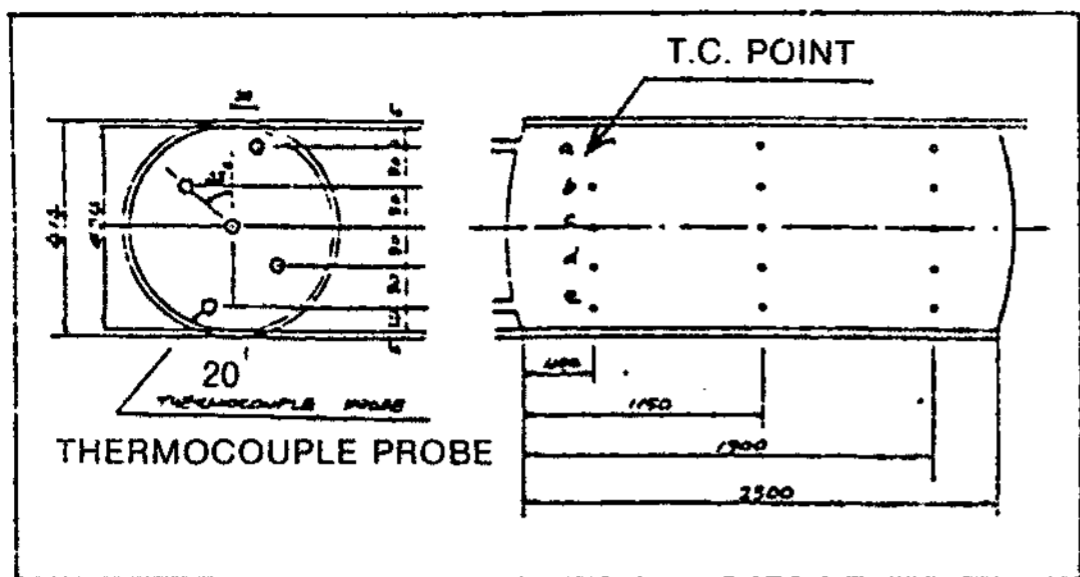


Fig. 3.2 Measurement points of system

i) 시스템

탱크내의 온수온도 : 15점

Riser 및 downcommer 열매체 온도 : 2점

시수 및 온수온도 : 2점

ii) 기후데이터

외기온 : 1점

일사량 : 1점

iii) 유량 및 전력량

유량 : 1점

전력량 : 1점

열매체 온도 및 탱크내의 수온 측정은 열전대($\phi 0.25$, T-type, OMEGA, U.S.A)를 사용한 probe를 제작하여 탱크내에 설치하였고 각 열전대는 보정장치(Calibration Standard, Kaye Inc., U.S.A)를 사용하여 보정하였다. 그리고 측정 및 분석장치는 Fig.3.3에서 보는 바와 같다.

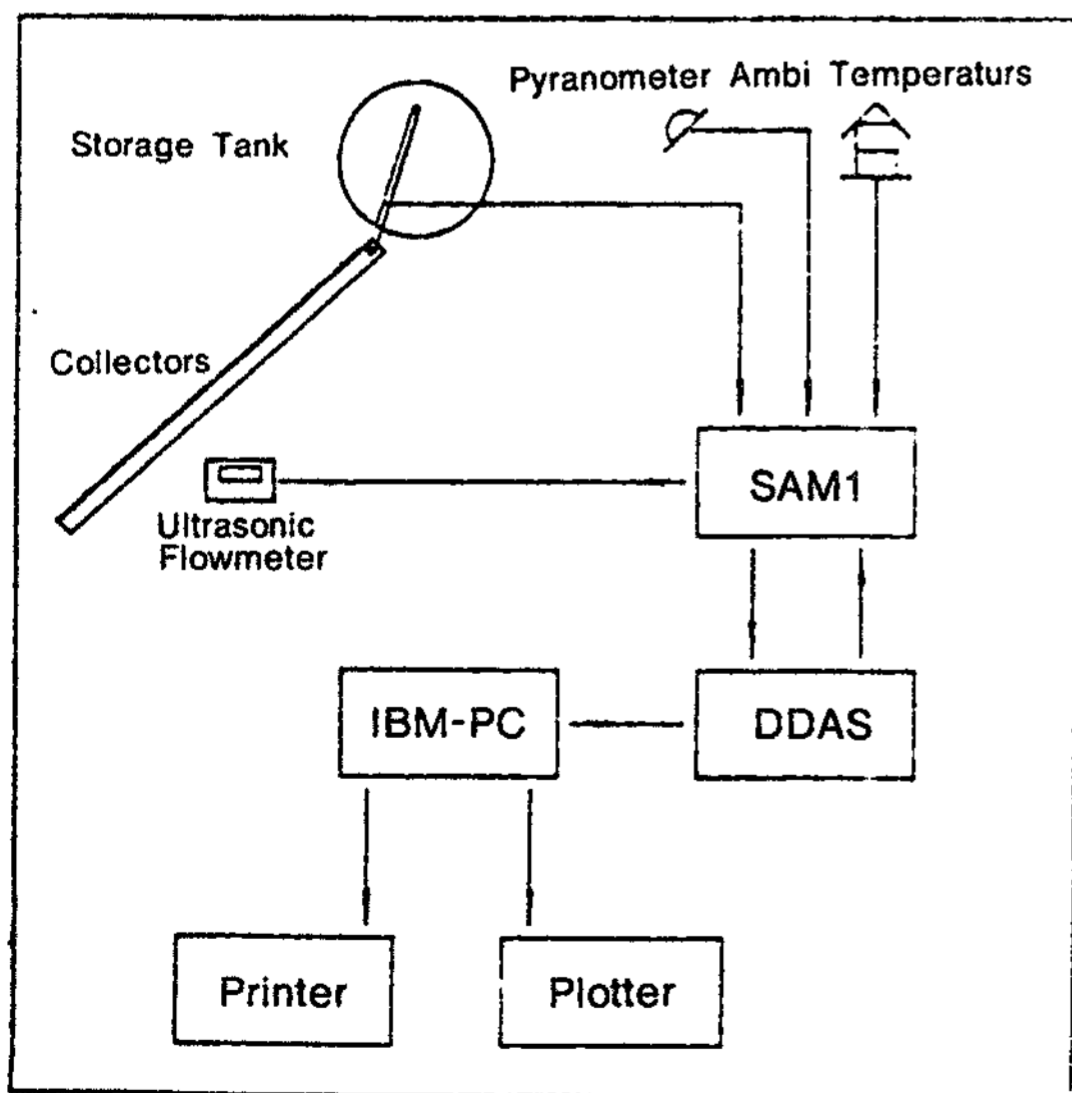


Fig. 3.3 Diagram of Measurement System

4. 측정결과 분석

시스템 열성능 분석을 위하여 일일측정과 3일 연속측정을 수행하였다. 간접시스템의 동절기 열성능 분석을 위하여 실험은 겨울철에 수행하였다. 비교실험을 위한 시스템은 집열기와 축열조의 형태에 따라 A, B, C, D, E형으로 구분하여 구성하였다.

Fig.4.1은 일일측정 결과를 나타내었다. 여기서 A시스템은 당연히 타 시스템보다 집열면적이 적어 성능이 떨어짐을 보여주고 있고, 축열조 내의 전열면 확대를 위해 내부핀(Intornal fin)을 C시스템의 평균 온수온도 상승폭이 제일 크고 열매체 유동에 성층화 촉진장치인 Distributor를 사용한 B시스템이 Distributor가 없는 시스템보다 평균온수온도 상승폭이 큼을 알수 있었다. 각 시스템의 최대평균 온수온도 상승폭(=ΔT)은 A, B, C, D시스템이 각각 24.55c, 29.27c, 34.85c, 26.5c로 나타났다.

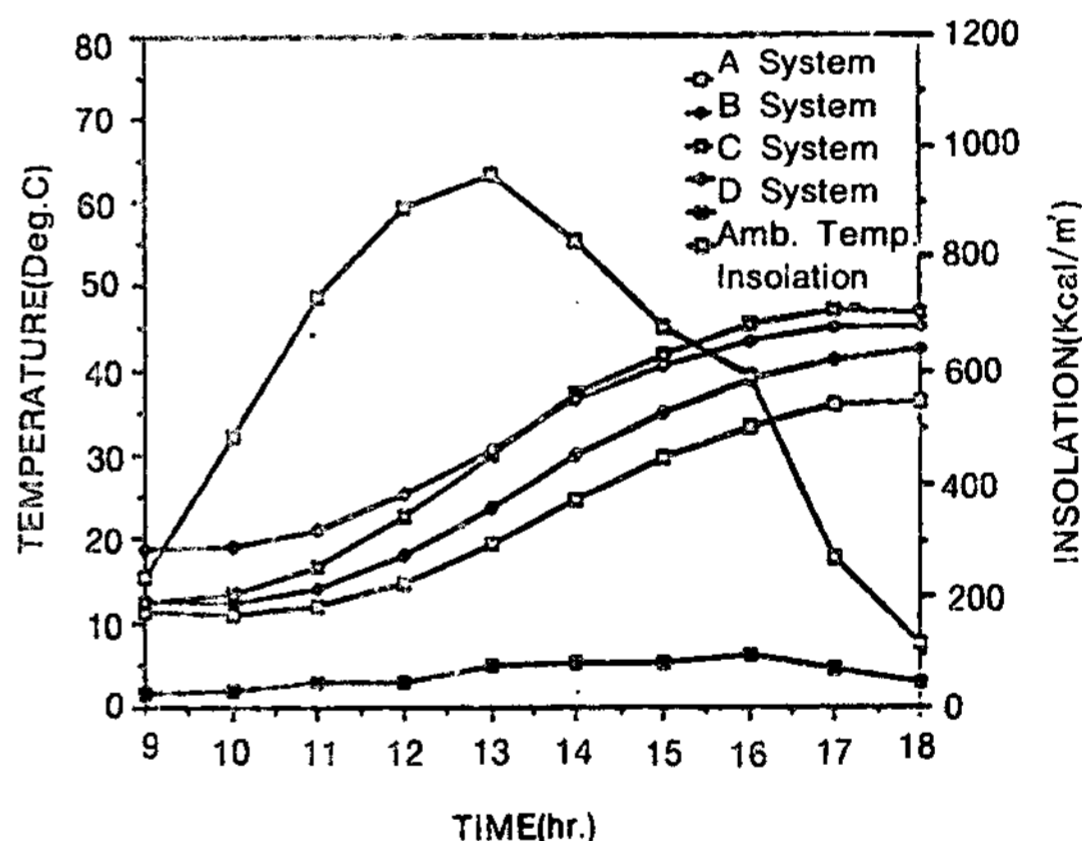


Fig. 4.1 Variation Profiles of Mean Water Temperature on each System

각 시스템의 효율은 Table 4.1에서와 같으며 C시스템의 시스템효율이 31.43%로 제일 높게 나타났다.

Fig.4.2는 집열과 축열성능 분석을 위한 3일 연속측정 결과를 나타낸 것으로 3일 연속 온수를 배수하지 않은 상태에서 연속측정한 각 시스템의 heating과 Cooling되는 주기적 수온변화에서도 C시스템이 주기적 변화폭이 적을 뿐 아니라 축열조내 평균 온수온도도 제일 높게 형성됨을 알 수 있다.

Table 4.1 Performance Data of System

1. THERMAL PERFORMANCE

Capacity of Storage tank : A, B, C, D -300 liter

Collecting Area : A-4.86, B, C, D-5.76m²

Ambient Temperature : Max.-6.19, Min.-0.5°C

System Type	Time	Storage Water Avg. 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 Avg. 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	32526.72	45.15	24.45

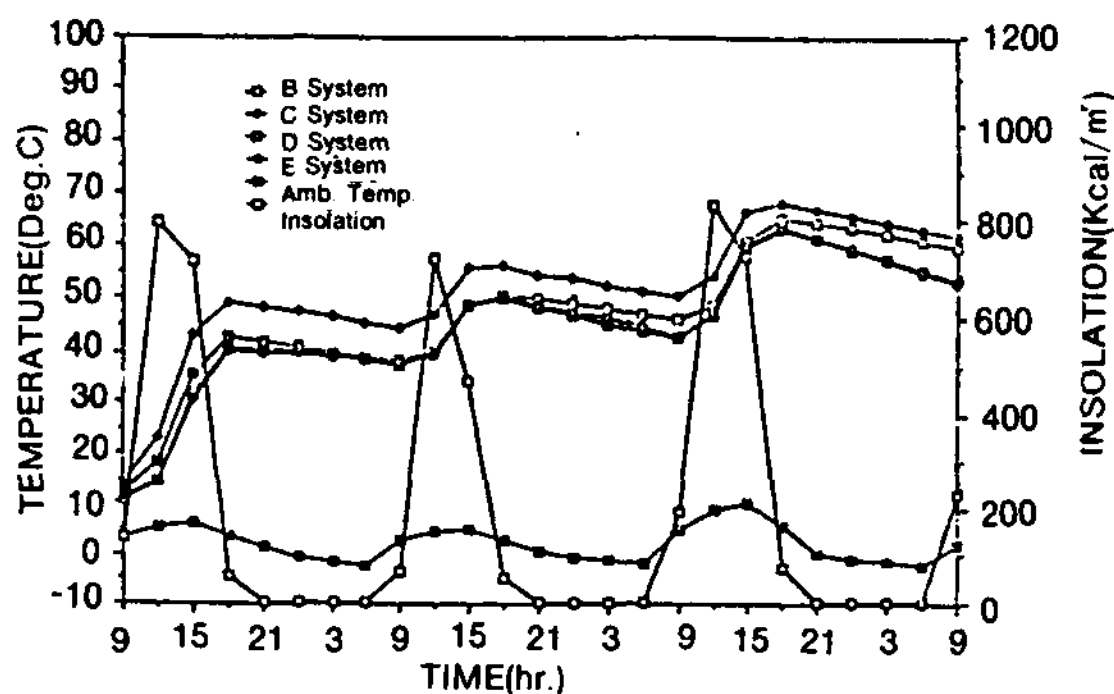


Fig. 4.2 Variation Profiles of Mean Water Temperature for Three Successive Days

Fig. 4. 3은 C시스템의 축열조내의 수온 변화 곡선과 축열조 입·출구에서의 열매체 온도 변화곡선을 나타내고 있으며 이것은 축열조 열교환 성능을 잘 보여주고 있다.

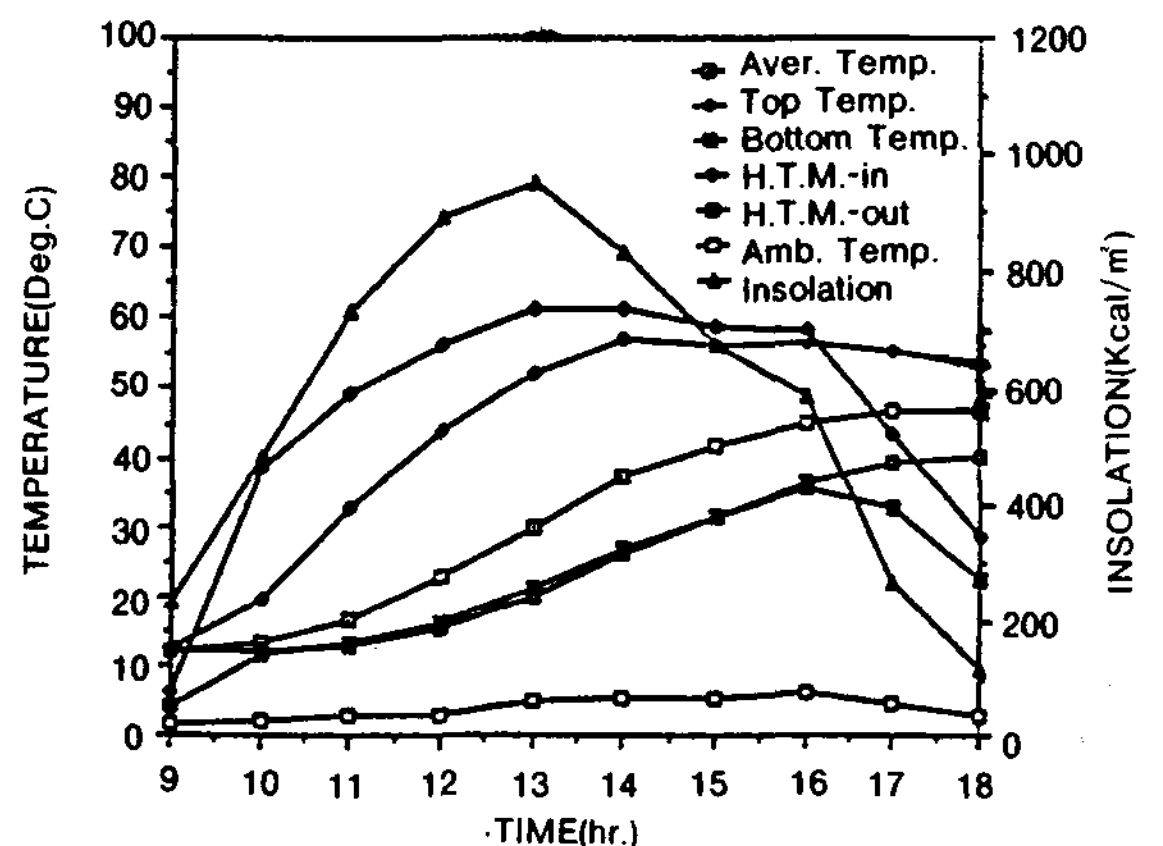


Fig. 4.3 Water Temperature Variation Profiles in Storage Tank(C system)

Fig. 4. 4는 각 시스템에서 열매체가 축열조내로 유입, 유출되는 온도차 변화를 나타낸 것으

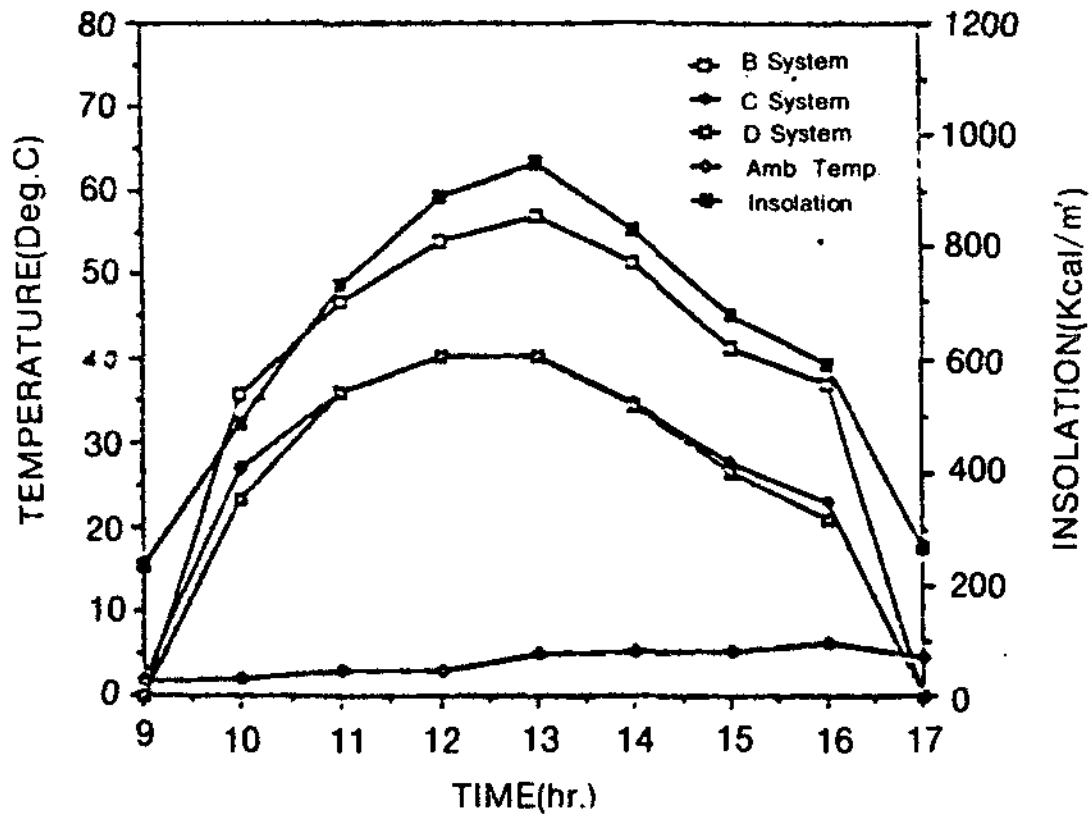


Fig. 4.4 Variation Profile of Working Fluid Temperature Difference in Storage Tank

로 온도차가 큰것이 축열조내에서 열교환 성능이 우수하게 보이나 자연순환이 원활히 이루어지지 못한 것으로 해석되었다. 여기서 알수 있듯이 C시스템과 D시스템의 온도차 변화가 거의 동일해 두시스템간 순환유량의 차가 근소한 것으로 보이나 실제 축열조의 평균온수온도가 D시스템보다 높은 이유는 internal fin에 의한 내부 전열면 확대에 기인한 것으로 사료되었다.

Fig. 4. 5는 C시스템에서 축열조내 수직 평균 온수온도 분포를 시간별로 나타낸 것으로 13시에 온도차가 32.16°C이며 14시에 상부온도가 57.25°C로 최대가 된다. 그리고 14시 이후 열 재분배 현상이 일어나고 있다. 열 성층화는 축열 과정에서 성층화 폭이 적고 평균 온수 온도가 상승하는 것이 시스템 열성능보다 유리하며 온수사용시 시수의 유입이 축열조내의 성층화를 깨지않고 배수되도록 하기 위해 입·출구에 distributor를 설치하였다.

Fig. 4. 6은 A, B, C, D시스템의 배수량에 따른 배수온도의 변화를 나타내었다. 온수의 사용은 시수압으로 온수를 배수시키면서 진행되므로 300ℓ를 모두 배수하였을때 A, B, D시스템의 배수온도 강화폭은 각각 23.2°C, 21.7°C, 22.26°C이며 C시스템은 18.3°C이었다.

이같은 현상은 A, B, D시스템은 똑같은 내부 구조이나 배수 직전의 내부열 성층화 상태가 강화폭을 좌우하며 C시스템의 경우는 내부핀이 전열면 확대뿐만 아니라 열 성층화 파괴

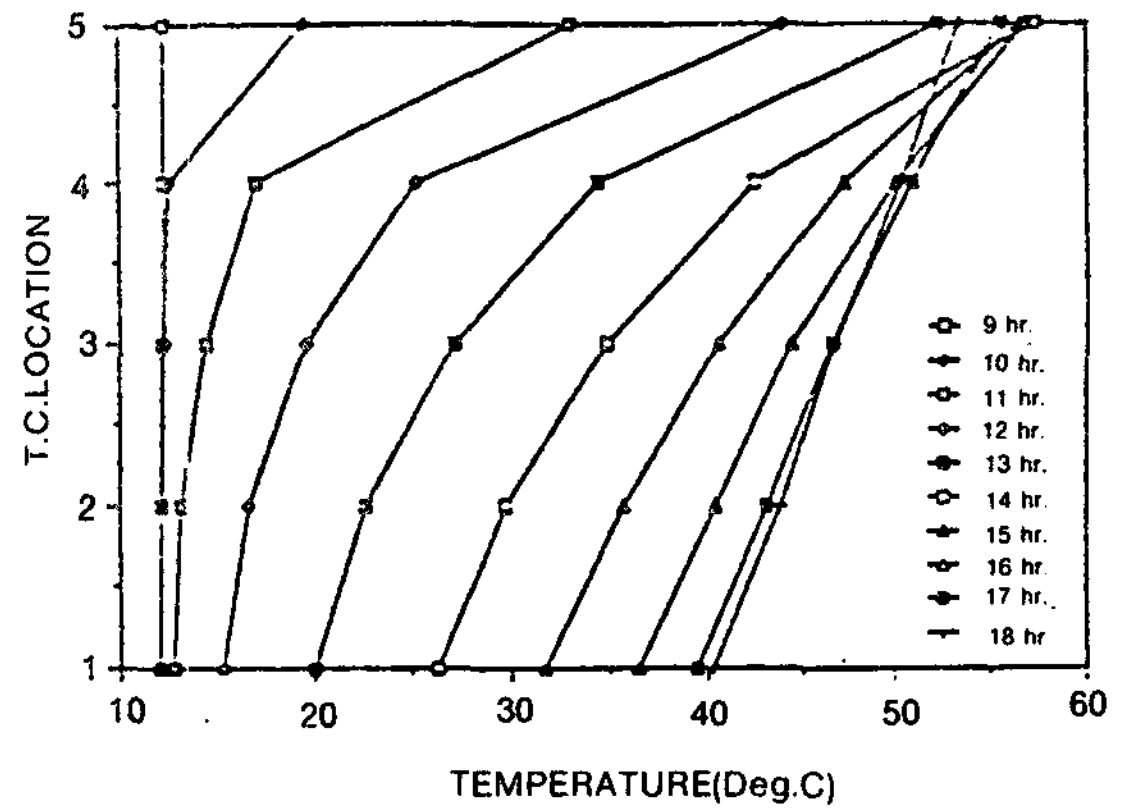


Fig. 4.5 Vertical Mean Water Temperature Variation Profiles in Storage Tank(C system)

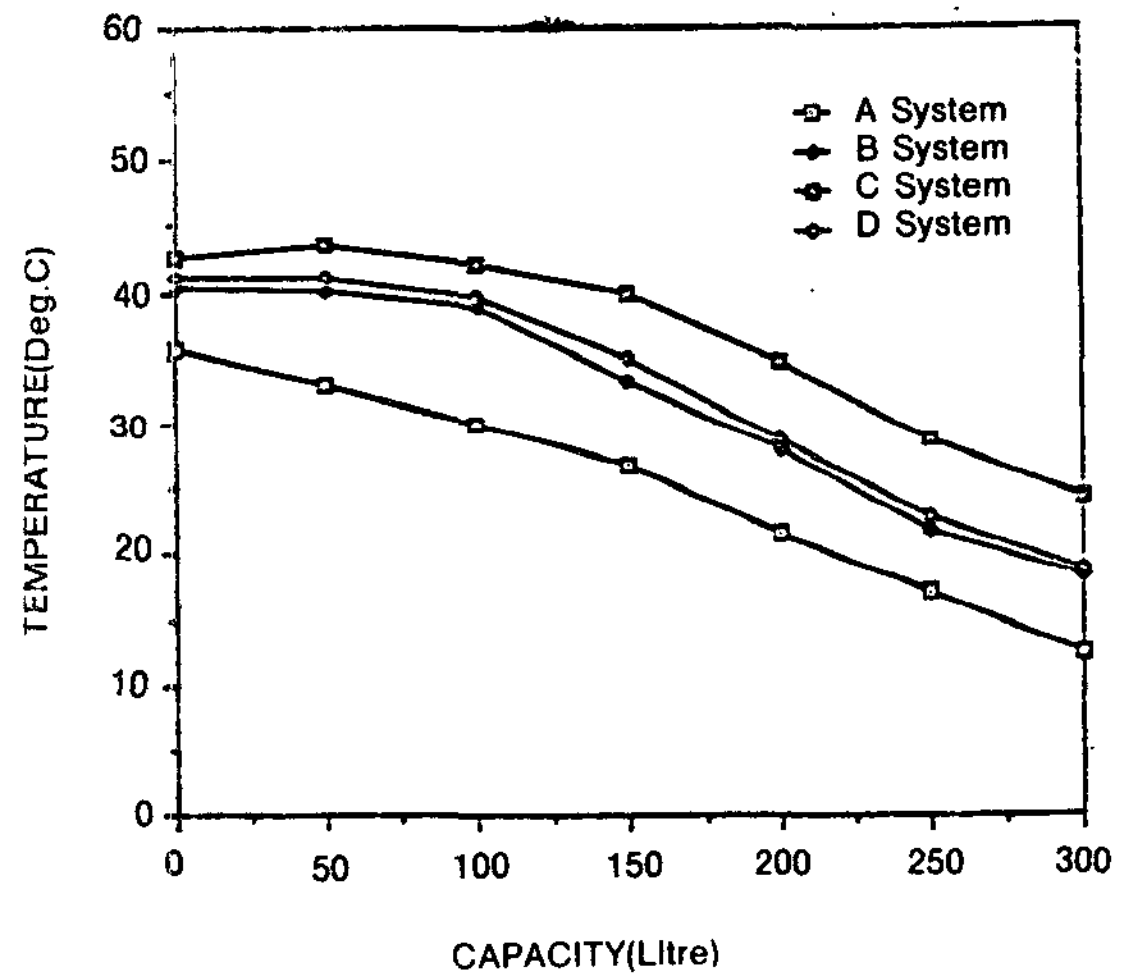


Fig. 4.6 Variation Profiles of Water Temperature Quantity Drawn off

방지효과를 가져오기 때문에 타 시스템보다 강화폭이 적은 것으로 사료되었다.

5. 실증실험 및 결과분석

자연대류형 시스템의 축열조가 집열기에 대한 유형별 열성능 비교실험을 해본결과 열성층화 촉진기구(distributor)와 내부핀을 부착한 C시스템이 가장 성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 전국 7개 도시(서울, 부산, 대구, 광주, 대전, 강릉, 제주)에 실증실험을 위하여 C시스템의 모범도면에 따라 시작품을 제작하여 시범설치 하였다.

5.1 측정방법

전국 7개도시의 실증실험 측정장비로는 열성능 데이터를 수집하기 위한 Portable D.D.A.S. (Disk Data Acquisition System, Fowlkes Eng., U.S.A)와 배수시 온도변화에 따른 유량데이터는 적산유량계를 사용하였다.

측정방법은 오전 9시 이전까지 탱크내의 물의 온도를 시수온도와 같을 때까지 충분히 불갈이를 한 다음 배수하지 않고 주간 데이터를 30분 간격으로 D.D.A.S 장비의 디스켓에 수록하였다.

5.2 측정결과 분석

지역별로 설치한 시스템은 시범설치뿐만 아니라 내구성 문제등을 고려하여 지역별 일사량, 외기온, 열매체 순환온도(상승관, 하강관)와 그리고 배수량에 따라 시스템 성능을 분석하였다.

Fig.5.1은 제주 서귀포에 설치한 시스템의 열성능 곡선으로 열매체 상승관과 하강관의 열매체 온도변화는 전형적인 자연대류형 시스템의 열성능을 나타내고 있다. 상승관 열매체의 최고온도는 14:00시에 68℃였고 집열기에 의한 열매체 온도 상승폭은 11:00시에 37.27℃에 최고치를 기록한 후 서서히 감소되었지만 상승관 열매체의 온도증가에 따른 활발한 열전달이 이루어져 하강관내 열매체 온도는 15:00시에서 배수할때까지 17.22℃에서 44℃로 꾸준히 상승함을 보여주었다.

Fig.5.2,3은 광주 서울에 설치한 시스템의 열성능 곡선을 나타내고 있다. 상승관 열매체의 온도가 일사량변화에 민감하나, 배수실험결과 열교환특성에 의한 온도성층화로 인하여 일사량 변화가 심한 날에도 만족스러운 온수를 사용할 수 있었다.

그리고 Fig.5.4는 대전(KIER)에서 측정한 결과로, 일사량변화에 따른 상승관, 하강관의 열매체 온도 및 축열조내의 평균 온수온도 변화 곡선을 보여주고 있다.

Fig.5.5는 대전(KIER)에 1월에 2일 연속 측정한 주간 열성능 곡선과 야간 열손실 곡선을 나타내었다. 이 경우에는 야간에 축열탱크와 노

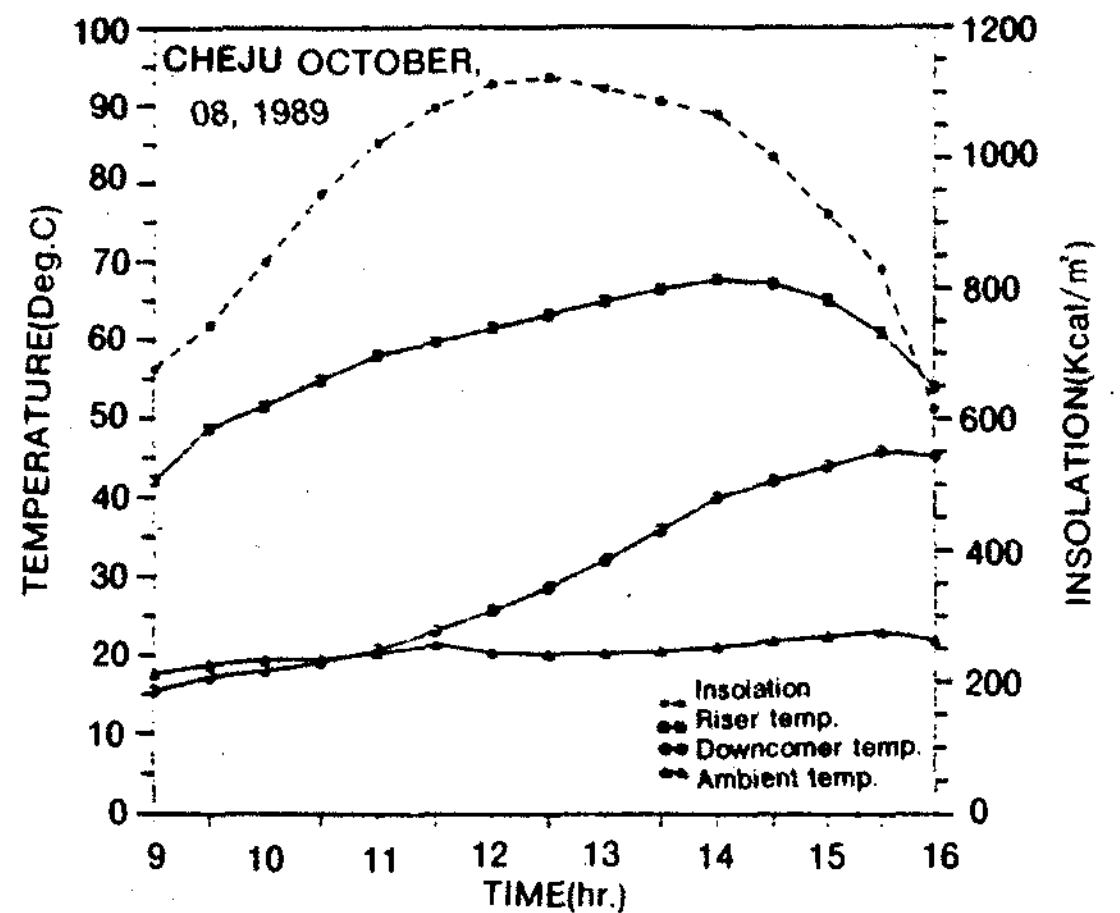


Fig. 5.1 Thermal Performance of the System in CHEJU

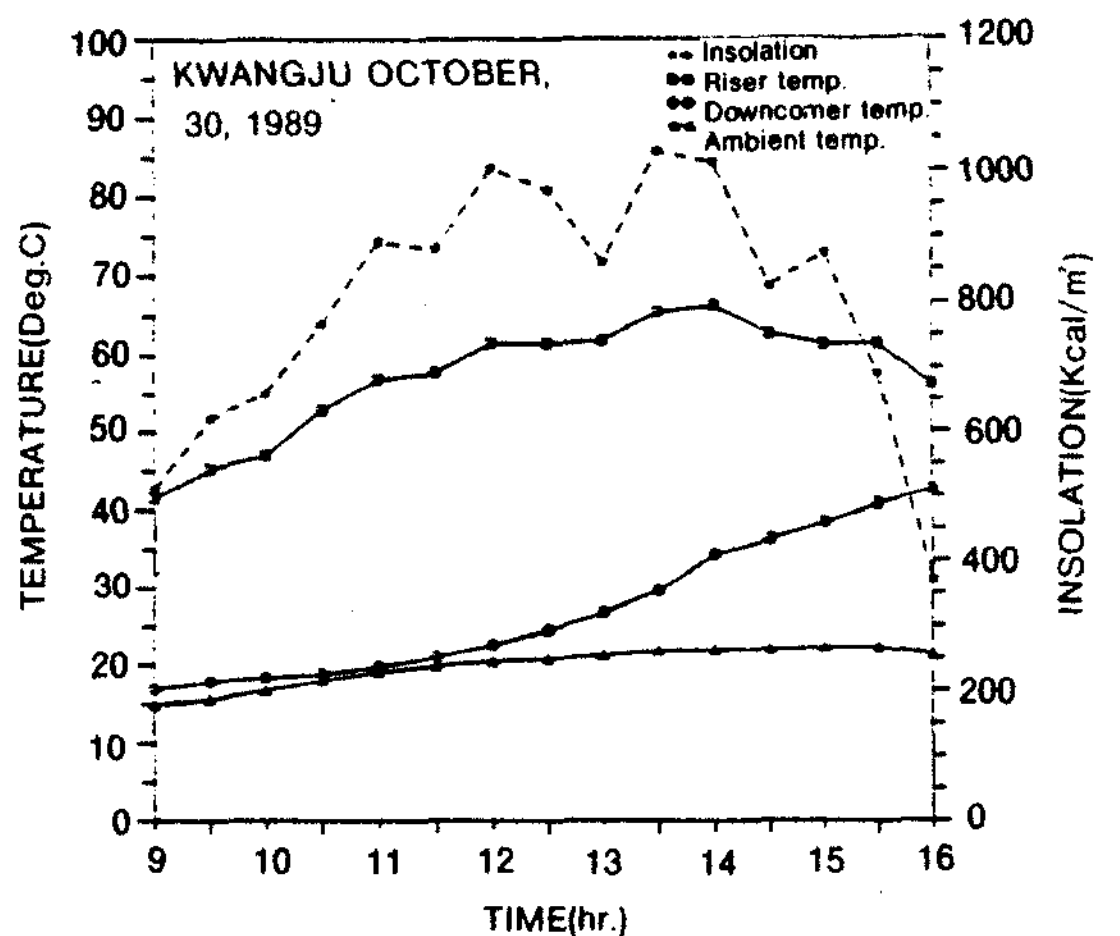


Fig. 5.2 Thermal Performance of the System in KWANGJU

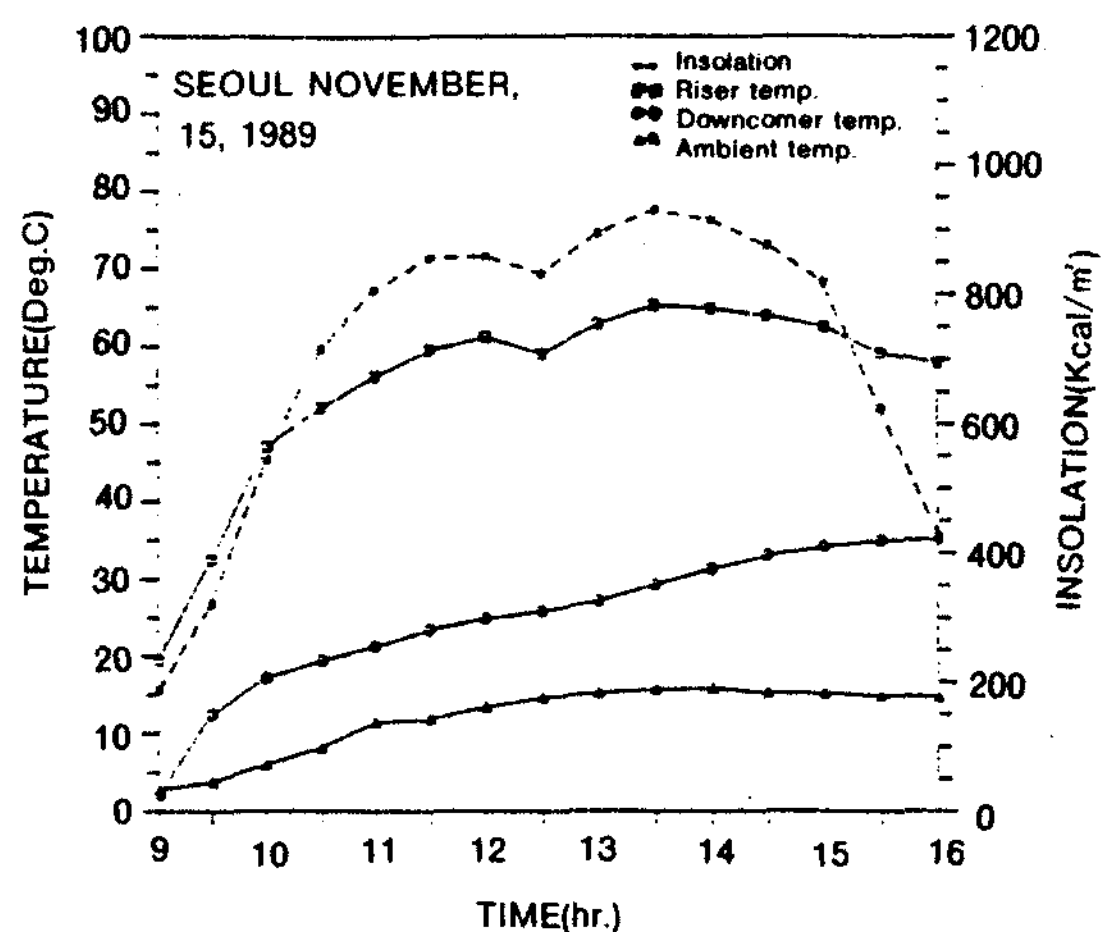


Fig. 5.3 Thermal Performance of the System in SEOUL

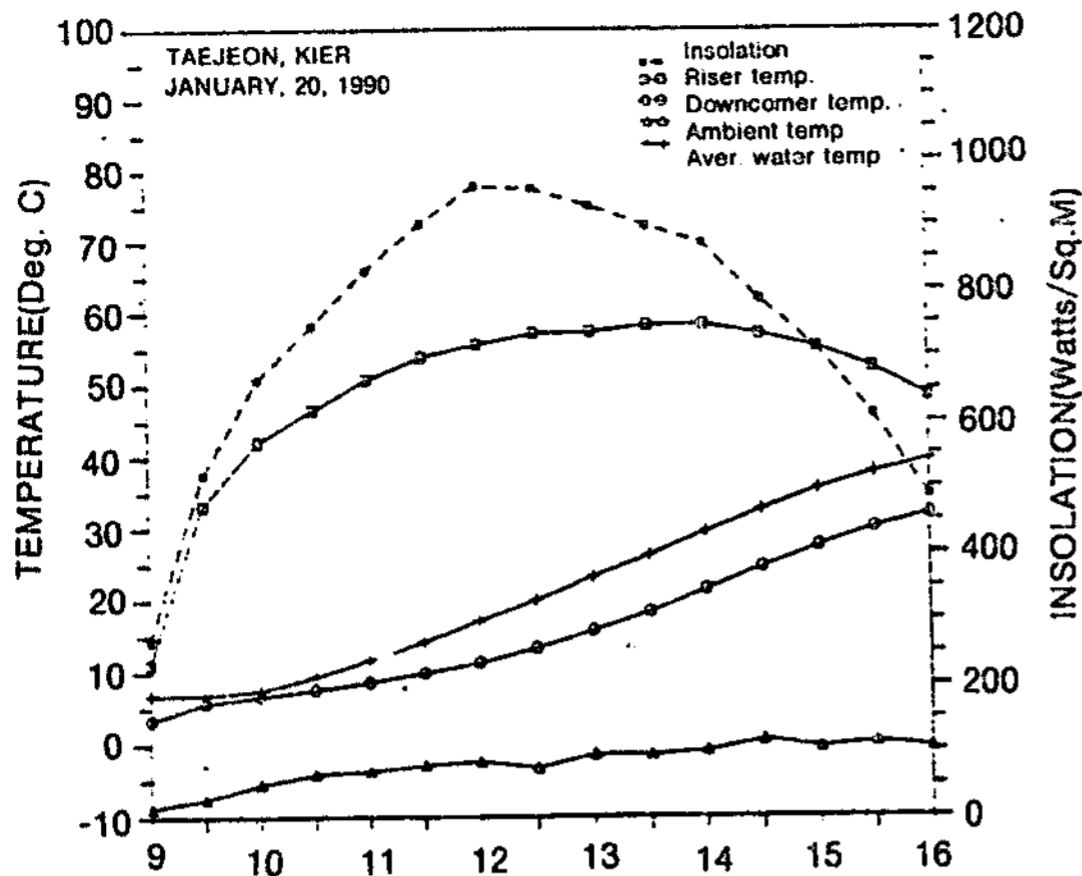


Fig. 5.4 Thermal Performance of the System in TAEJEON(KIER)

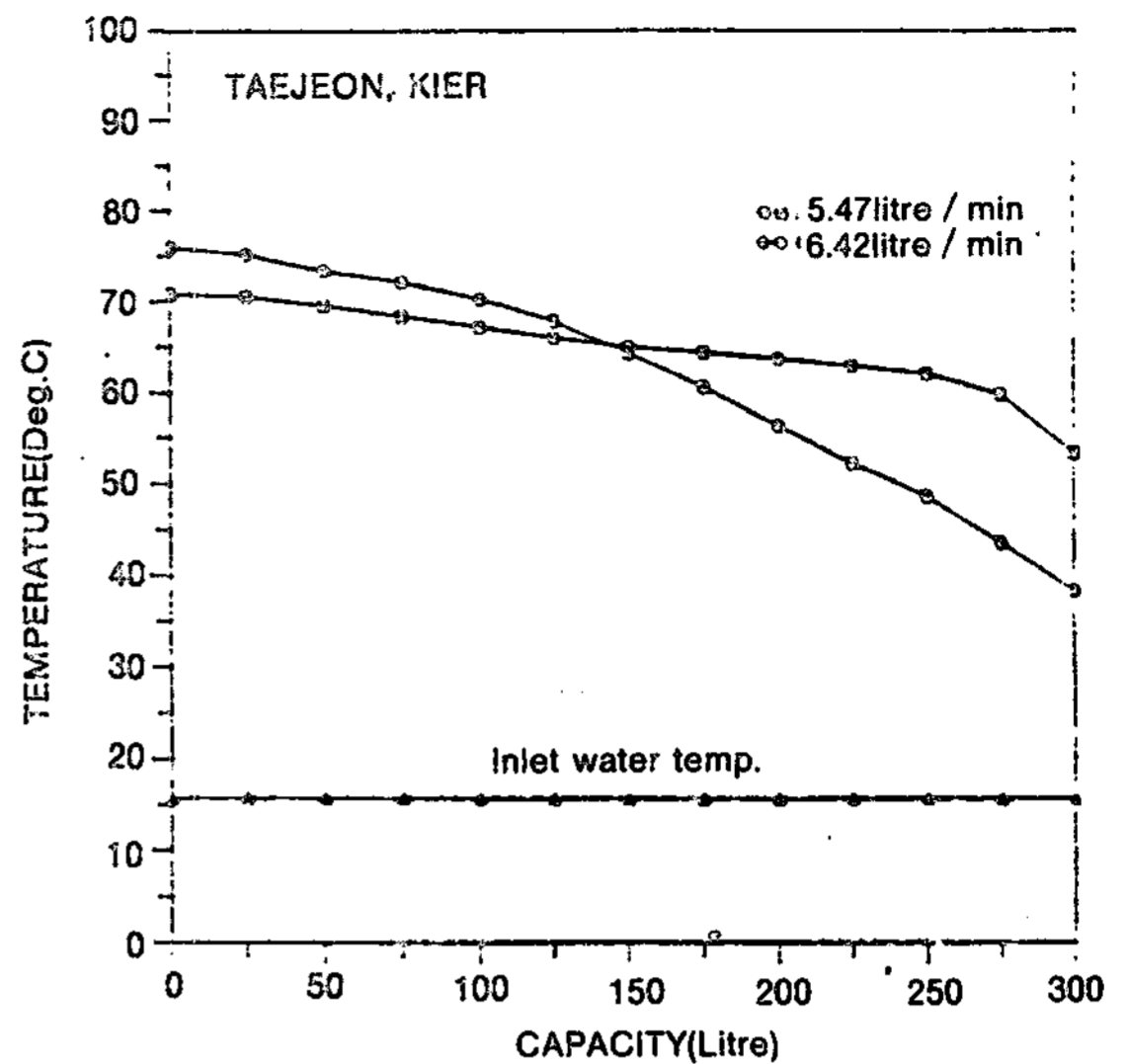


Fig. 5.6 Variation Profiles of Water Temperature Quantity Drawn off

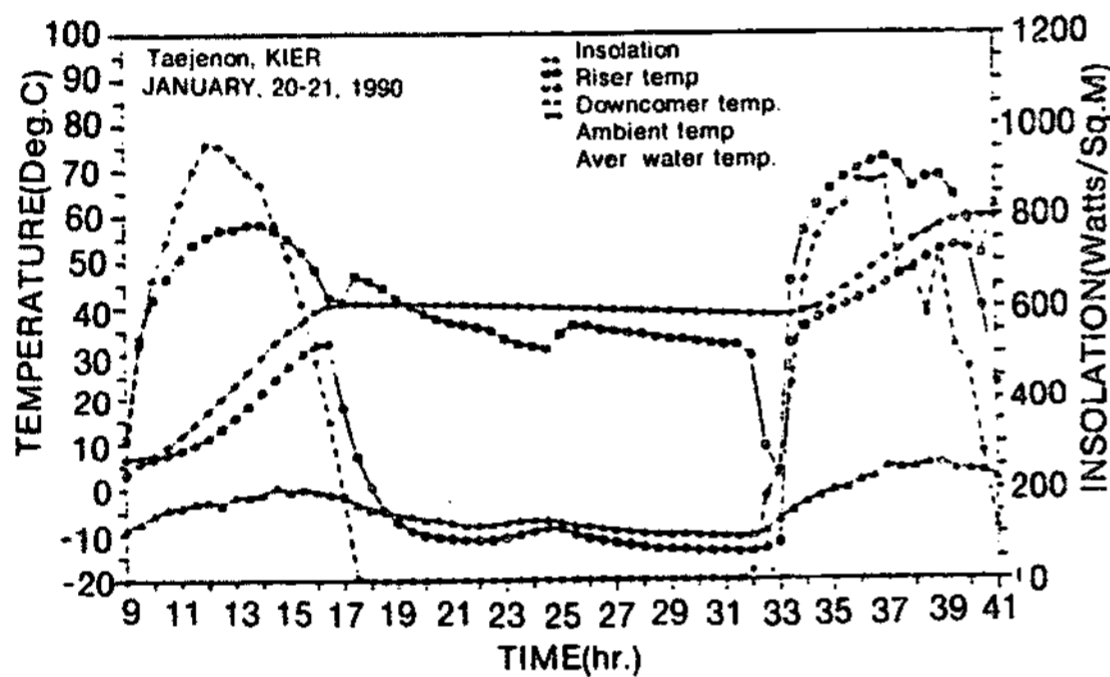


Fig. 5.5 Thermal Performance of System in two Successive Days

Table 5.1 Performance data of system(90.1)

1. THERMAL PERFORMANCE

System Type	KIER
Capacity of Storage Tank	310 l
Collecting Area	5.664m ²

Ambient Temp. : Min. -11.2 Max. 0.3

System Type	Time	Storage Water Avg. Temp.(°C)	Total Heat Collected (Kcal/Day)	Total Insolation (Kcal/Day)	System Efficiency(%)
K.I.E.R	09:00	6.9	10583.4	26718.17	39.61
	17:00	41.04			

2. INSULATION PERFORMANCE

Ambient Temp.: Min. -10.6 Max. -1.6

System Type	Time	Ambient Temp.(°C)	Storage Water Avg. Temp.(°C)	(°C) T/hr	Insulation Efficiency(%)
K.I.E.R	17:00	- 1.6	41.04	2.44/15	94.05
	08:00	-10.4	38.6		

출된 집열기 사이의 외기온에 의해 역류현상이 나타남을 보여주고 있으나, 축열조내의 평균 온수온도에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig.5.6은 대전(KIER)에서 배수 유량변화에 따른 사용 온수온도 변화곡선을 나타낸 것이다. 축열조내의 온도성층화에 차이가 있긴하지만 배수 유량에 따른 사용 온수온도 변화는 성층화폭을 감안하더라도 적은 배수유량으로 온수를 사용한다면 시수 유입에 따른 축열조 하부에서의 혼합을 최대로 줄일수 있어 배수량에 따른 사용 온수온도 강하폭을 크게 줄일수 있었다.

그리고 실증실험을 위해 제작된 시스템의 동절기(90.1) 열성능 및 보온성능은 Table 5.1과 같다.

6. 결 론

자연대류형 태양열 온수급탕 시스템 개발을 위한 실증실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자연대류형 태양열 온수급탕 시스템 개발을 위해 수행된 비교측정 결과, 열성충화 촉진 장치와 내부핀을 설치한 C시스템이 시스템 효율 31.43%, 최대 시스템 효율 32.14%로 가장 열성능이 우수하였다.
2. 연구개발된 시스템은 국산재질 및 순수 국내 제작기술로 제작되어 국산화를 실현하였고 전국 지역별 실증실험 결과 열성능의 우수성이 입증되어 국내 실용화 가능성이 충분함을 보여 주었다.
3. 시스템의 특성인 열교환 방식에 따른 축열조 온도성충화, 내부핀에 의한 평균 온수 온도 상승과 온수 사용시 열성충화 촉진 장치의 사용으로 온수사용량이 증대되었다.
4. 실증실험을 위해 수작업으로 제작된 국산 자연대류형 태양열 온수급탕 시스템의 시스템 효율은 39.6%, 일몰 후 15시간 동안의 보온성능은 94.05%로 실용화에 따른 수입 대체효과를 꾀할 수 있을 것으로 사료된다.

*본 연구는 “동자부 과제” 및 “대체에너지과제”의 일부로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. J.T. Czarnecki, “Performance of Experimental Solar Water Heaters in Australia,” J. of Solar Energy Science & Engineering, Vol.11, 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. “Storage Tanks-A Numerical Experiment”, Solar Energy, Vol.19, pp.45-54, 1977
7. James W. Baughn, Karen 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.22, pp.32-35, 1978
8. 위용호역, 田中俊六저, “태양열 냉난방 시스템”, 형제사, 1978
9. 위용호역, 일본 태양에너지 학회편, “태양에너지 기초와 응용”, 형제사, 1979
10. U.R. Lenel, P.R. Mudo, “A Review of materials for Solar Heating Systems for Domestic Hot Water”, Solar Energy, Vol.32, No.1, pp.109-120, 1984
11. T. Muneer, M.M. Hawas, “Experimental Study of the Thermosyphonic and Built-Storage Type Solar Water Heaters”, Energy Development, pp.497-500, 1984
12. 한국동력자원연구소, “자연형 태양열 시스템개발(Ⅳ)”, KE-86-12, pp.121-259, 1986
13. 한국동력자원연구소, “자연대류형 태양열 온수급탕기 개발(Ⅰ)”, KE-87-33, pp.1-91, 1987
14. 한국동력자원연구소, “자연대류형 태양열 온수급탕기 개발(Ⅱ)”, KE-88-16, 1988
13. 한국동력자원연구소, “자연대류형 태양열 온수급탕 시스템 실용화 연구”, 89-A401-103DP, 1989

A Study on the development of climatic data for the daylighting design**Yang, In-Ho* · Kim, Kwang-Woo**Graduate School Seoul National Univ. Dept. of Architecture*
Seoul National Univ. Dept. of Architecture**ABSTRACT**

In this study global radiation and global illumination are directly measured, and diffuse radiation and diffuse illumination measured utilizing semi-circular shadow ring. By analyzing measured radiation data, clear and overcast sky are classified according to the sky classification method used in Nantes, France.

Measured illumination data are analyzed and

- 1) Clear sky illumination on a horizontal surface as a function of solar altitude.
- 2) Overcast sky illumination on a horizontal surface as a function of solar altitude,
- 3) Monthly variation of illumination.
- 4) Cumulative percentage of illumination,
- 5) Daylight intensity as as a function of hours in a typical day,
- 6) Average number hours per day of illumination above 10 and 20klx are presented as a climatic data for daylighting design for Seoul, Korea.

An Experimental and Field Study on Thermal Performance of Thermosyphon Solar Hot Water System**Y.H.Kang · H.Y.Kwak · H.S.Jeon**

Korea Institute of Energy and Resources

ABSTRACT

This paper studies development of a solar thermosyphon hot water system which is suitable to korean climate and life style, to save energy consumed for domestic water heating.

The system consists of two flat plate collectors(or three flat plate collectors) connected in parallel and a storage tank of 300 liter capacity with heat exchanger and the optimum system was designed through the comparative measurements of five different storage tanks.

The developed system manufactured with domestic materials were installed in residential buildings in seven cities(Seoul, Pusan, Taegu, Kwangju, Taejeon, Kangneung, Cheju) for demonstration and field test and results show possibility for commercialization.

Multi-Objective Evaluation for Hybrid Use of Natural Energy in Power System

Sang Hyun Bae · Jae Youn Lee *

College of natural Sciences, Chosun University
Graduate school, Chosun University*

ABSTRACT

Research and development works on practical application of natural energy utilization systems involving solar, wind and sea wave energies are under promoting for the purpose of improving the energy consumption structure. These natural energies, made available with the use of relatively simple apparatus, are clean economically efficient and highly effective in the conservation of environment. However, these natural energies also have low energy density, randomness and regional variations. To compensate for these characteristics, hybrid utilization of solar and wind energies is currently under study.

The introduction of a plural number of the natural energy hybrid utilization systems into a specific area will affect the economic efficiency, reliability and environmental conservation. Evaluation method of such effects has been examined in this study.

The present method consisted of the steps described below. First, available energy was calculated from insolation distribution and wind velocity distribution in the specified area, and then the effect on the configuration of the power system load was obtained. This was followed by the determination of the optimal power dispatch over the specified period and by evaluations in light of economic efficiency, reliability and environmental indices.

A Study of Semiconductor (P)SiC/(N)Si Heterojunction Solar Cells

Choon-Saing Jhoun · Won-Kyu Park · Ho-Whan Woo

Inha Univ.
Central Vocational Training Institute *
Inha Technical Junior Collage **

ABSTRACT

In this study, the (P)SiC/(N)Si solar cell is fabricated by the vacuum evaporation method with the substrate temperature at about $200 \pm 5 [^{\circ}\text{C}]$ and its characteristics are investigated. The optimal thickness of $1.2 [\mu\text{m}]$ of SiC film is derived from the relation between film thickness and conversion