

자연형 급탕 시스템의 개발 및 성능 평가

Development of Batch Type Passive Solar Hot Water System

오정무*
P. Chungmoo Auh

1. 서 론

국내 부존자원의 부족으로 소요에너지를 수입유류에 의존하고 있는 우리나라의 현실정으로 볼 때 대체에너지원 개발의 중요성이 보다 강조되어야 한다.

태양에너지는 대체에너지원중에서 그 양, 질 면에서 무한량 및 무공해이고 많은 분야에 쉽게 이용 가능한 에너지이다.

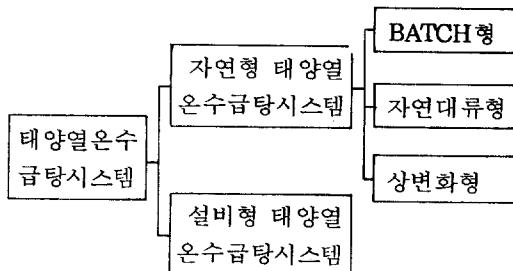
현재 가장 각광을 받고 있는 태양열 이용 분야는 온수 급탕을 위한 태양열 이용 분야이다.

가정용 급탕을 위한 태양열 이용시스템은 자연형과 설비형으로 크게 나눌 수 있으며 설비형 시스템보다 자연형 시스템이 제작이 용이하고 사용 및 작동의 간편성, 저자, 고효율등으로 보다 경제적이다.

한국 동력 자원 연구소에서는 1984년부터 자연형 태양열 급탕 시스템의 연구, 개발을 시작하였고 현재까지 연구 개발된 결과를 중심으로 논하고자 한다.

2. 태양열 온수 급탕 시스템의 종류

태양열을 이용하여 온수 급탕하는 방법에는 시스템 작동을 위한 동력의 유무에 따라 크게



설비형과 자연형으로 구분한다.

그 중 자연형 태양열 온수 급탕 시스템은 작동에 동력이 필요없는 시스템으로 구조 및 작동원리에 따라 Batch형, 자연대류형, 상변화형으로 세분된다.

Batch형 시스템은 집열과 축열이 한 탱크에서 이루어져 탱크내의 물이 직접 태양열로 가열하여 온수를 얻는 시스템이다.

자연대류형(Thermosyphon) 시스템은 축열탱크와 집열판을 상하로 연결하여 물의 밀도차에 의해 집열판에서 가열된 물이 축열탱크로 올라가 계속적인 자연순환에 의해 온수를 얻는 시스템이다.

상변화형(Phase change material type) 시스템은 상변화물질을 열전달매체로 열교환기를 사용하여 자연순환에 의한 열교환 형태로

* 정희원, 한국동력자원연구소 선임연구부장

온수를 가열하여 얻는 시스템이다.

3. Batch형 자연형 태양열 온수 급탕 시스템

1) 개요

자연형 태양열 시스템 중 설계 및 제작이 가장 용이하고 저가인 Batch형 시스템은 1984년부터 1986년까지 3년간에 걸쳐 연구 개발되었으며 1987년 5월부터 1988년 3월까지 에너지 관리 공단 수탁 과제로 실용화 연구를 완료하였다.

연구 수행 과정 중 첫번째로 저가 고효율의 Batch형 최적 시스템 개발을 위해 이론적으로 수치 해석한 최적 모델을 설계하였다. 그리고 유형별로 설계 제작한 3 가지 type의 Batch형 시스템을 다양한 작동 조건 하에서 열적 성능을 비교 측정하였고 표준화 작업을 수행하여 모범 도면을 완성하였다.

표준화 작업은 제작 실험을 거친 시스템 중 열적 성능이 가장 뛰어난 최적 시스템을 선정하여 그 모델에 대해 각 유형별 요소별 비교실험의 최적치를 적용하여 기술적 자문 및 한국

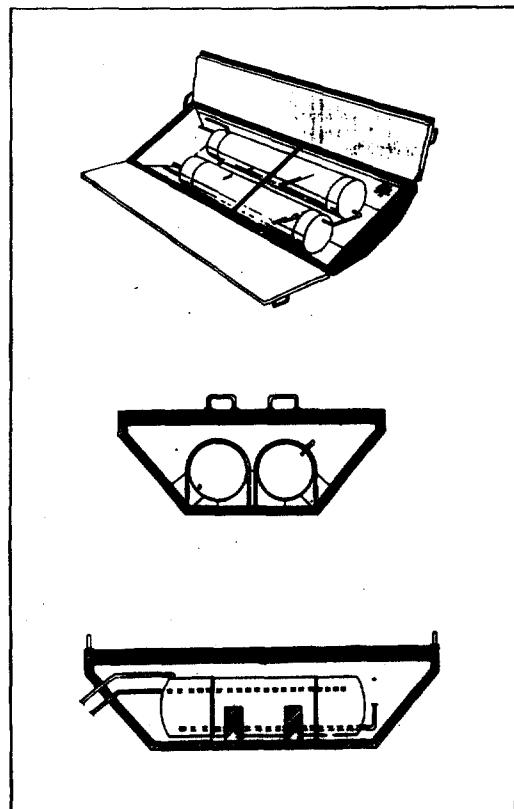


Fig. 1 Batch형 자연형 태양열 온수급탕 시스템 개략도⁽⁴⁾

Table 1. Batch형 시스템 사양⁽⁴⁾

| 품명 | 사양 (Spec) |
|---|---|
| 박스 | W 2100 × D1500 × H550 (mm) • 부식방지용재질 (CAL-Color AL) • 100 mm 단열 효과 (50 mm 폴리우레탄폼 + 열반사단열재) |
| 탱크 | 200 ℥ (100 ℥ × 2대) : φ 340 × L1120 • Stainless Steel • 계단식 배열, 직렬연결 • 흑색 무광Paint 처리 (선택 흡수막 처리 가능) |
| 집열창 | 창호면적 : 2.8 (m ²) 집열면적 : 2.7 (m ²) • Pairglass (3 + 6 A + 3) • 설치수평경사각 : 50 °C |
| 열성총화촉진장치 (Distributor) | φ 15 × L 1000 (20 mm 간격 φ3 × 50 hole) • Stainless Steel • Inlet, Outlet에 설치 |
| 주간반사 및 야간단열 겸용장치 (Insulation / Reflection Cover) | W 2100 × D 750 × T 30 (mm) 2 짝 • 부식방지용 재질 (CAL-Color AL) • 내면에 반사판 부착 • 30 mm 폴리우레탄폼 단열 • Door 조정기 부착 |

공업 규격의 적용등을 포함하여 수행하였다.

실용화연구를 위해 전국 5개 도시(서울, 대전, 대구, 부산, 광주)에 본 연구소에서 개발된 Batch형 시스템을 설치하여 국내 조건(기후, 생활습관)에 타당한 시스템 효과분석, 실제 사용시 문제점 개선 및 동절기 사용시 문제점 개선 및 동절기 사용 검토를 위한 실증실험을 통해 국내 보급 가능성을 분석하였다.

2) 구조 및 작동 원리

시스템 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 단열된 박스에 2개의 집열탱크를 계단식 직렬 연결로 고정하여 전면이 이중유리로 집열 및 보온하도록 하여 집열 탱크내의 물을 태양열로 직접 가열하여 온수를 얻는 구조이다.

집열과 축열을 동시에 만족하는 텡크는 흑색
무광 페인트로 표면 처리 되었으며 텡크내의 Di-
stributor 설치는 온수 사용시 열성충화를 최
대로 유지시켜 집열효율을 향상 시킬 뿐 아니
라 냉온수의 혼합을 최소화하여 보다 많은 온
수 사용을 가능하게 하였다.

Batch형 시스템의 단점인 야간열손실 방지를 위해 단열카바를 설치하였다.

〈Table 1〉은 Batch형 시스템의 사양을 나타낸다.

그리고, 기계적, 전기적 작동 장치가 전혀 없이 온수의 사용이 시수압에 의해 작동되기 때문에 고장율이 거의 없다.

3) 시스템 특징

- 탱크내 최대 열성충화(thermal stratification)을 위해 입, 출구에 열성충화 측진기구(distributor) 설치
 - 집열 탱크의 계단식 직렬 연결로 다량의 온수 사용.
 - 주간 반사 및 야간 단열 겸용 장치 부착
 - 설치 및 시공이 간편하다.
 - 구조의 단순화로 고장이 없고 보수가 용이하여 관리 유지비가 거의 필요없다.
 - 사용 및 작동이 간단하다.
 - 가정용 및 소규모 건물의 난방에 적당

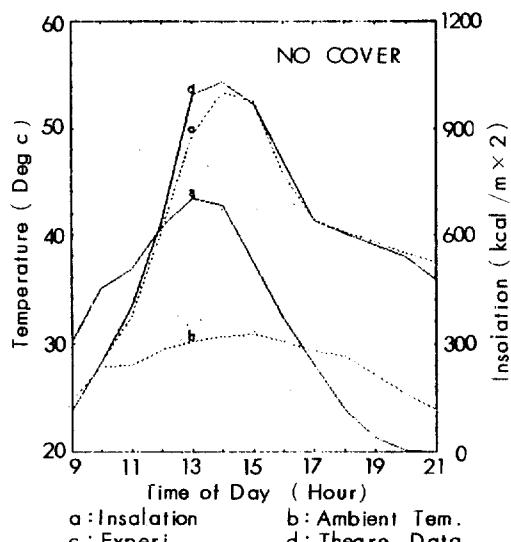


Fig. 2. Tank내의 수온 변화 곡선⁽³⁾

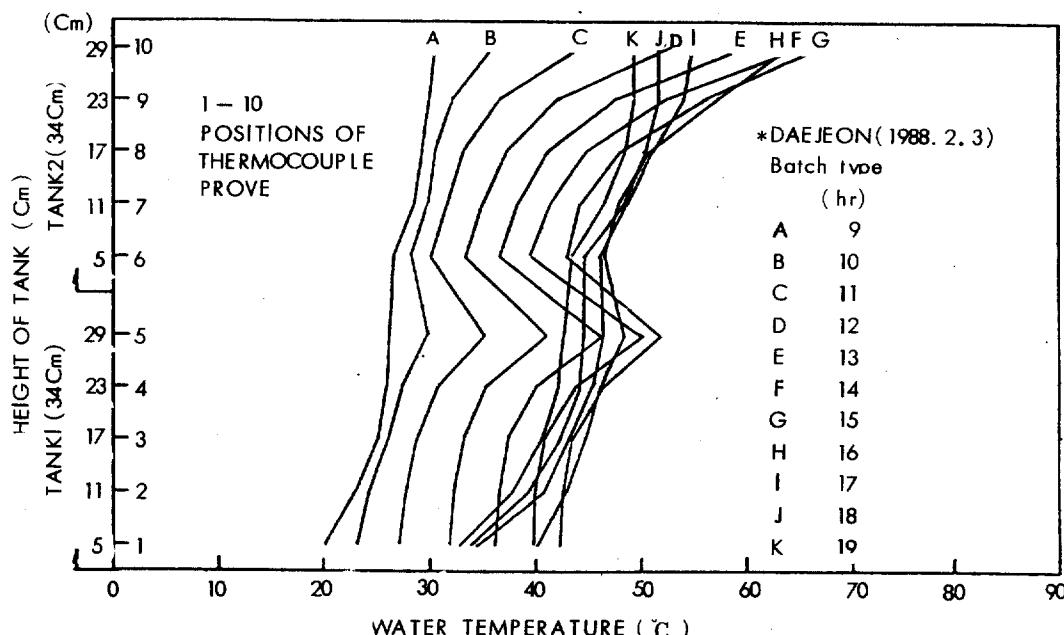
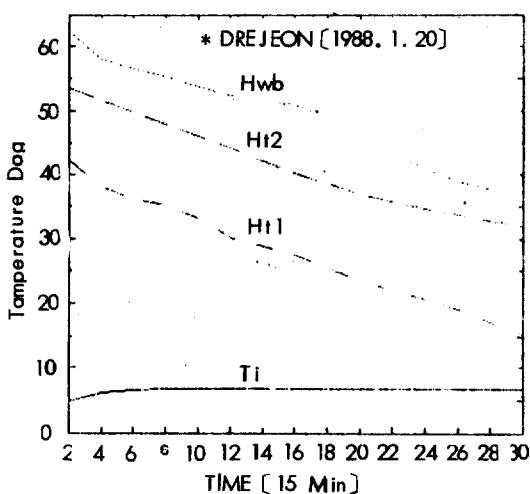
Fig. 2는 탱크내의 평균 수온 변화 곡선으로 이론 해석에 실험치의 일사량과 외기온을 적용하여 실험치와 비교한 것이다.

이 결과는 여름(7월)의 대체로 청명한 날의 결과를 탱크내의 물이 태양열로 직접 가열되는 까닭에 일사량 변화 곡선과 평균 수온 변화경향이 비슷함을 보여 주며 이론치와 실험치의 오차 범위가 10 %이내임을 보여준다.

Fig. 3는 겨울철(2월)의 탱크내의 시간별 수직 평균 수온 분포를 나타내고 있다. 그림에서 하부 탱크(1차탱크)와 상부 탱크(2차탱크)에서의 뚜렷한 열 성층화 현상을 볼 수 있으며 9시에 1, 2차 탱크내의 온도 분포가 균일하였으나 15시에 2차 탱크의 최상부 측정점(10번)의 온도가 66.8°C 로 최고가 되어 1차 탱크 최하단 측정점(1번)과의 온도차가 24.5°C 가 되어 최대 온도차가 된다.

여름철의 경우 이렇게 최대 온도차가 되는 시간은 겨울철보다 늦어지며, 온도차는 약 50 °C정도까지 되기도 한다.

탱크내의 열전달 현상은 집열량과 집열위치가 시간의 함수여서 자연대류가 발생될 것으로 예상되나 집열위치가 탱크의 상부인 관계로 심한 열성총화를 형성하여 자연대류는 미미하고 거의 열전도에 의해 열 재분배가 일어난다.

Fig. 3. 탱크내 열성충화의 시간별 변화⁽⁴⁾Fig. 4. 배수에 따른 각 탱크내 평균수온변화곡선⁽⁴⁾

Batch형 시스템의 특징인 탱크의 계단식 직렬연결, 열성충화 측진기구의 사용 효과를 분석하기 위한 겨울철 배수 실험 결과는 Fig. 4와 같다.

분당 6ℓ로 온수를 사용할 때 출구 온수 온도(Hwb), 상부탱크의 평균 온수 온도(Ht₂) 및 하부 탱크의 평균 온수 온도(Ht₁)의 변화를 비

교하였다. (1988. 1. 20. 15:00)

최초 출구 온수 온도 62.4°C에서 180ℓ가 배수된 뒤 32.2°C로 온도 강하폭이 상부 탱크는 53.52°C에서 32.04°C로 온도 강하폭이 26.86°C이고 상부 탱크는 53.52°C에서 32.04°C로 온도 강하폭이 21.48°C밖에 안 떨어짐을 볼 수 있다.

이와 같이 시수 온도(T_i)가 6.7°C정도인데 Batch형 총 집열량인 200ℓ를 거의 배수한 상태에서도 약 32°C를 유지할 수 있음은 앞에서 언급한 Batch형 특징의 효과에 기인한다.

5) 실용화 연구

기 개발된 Batch형 시스템의 실사용자 측면에서의 이용편이성 및 사용상의 문제점 파악 및 대책 연구를 위해 전국 5개 도시에 시범시찰하여 실증실험을 통해 보급 가능성을 분석하였다.

연구 목적상 분석 내용과 측정, 간이 측정 및 사용자 간이 측정으로 구분하여 실험 및 측정을 실시하였고 외국산 Batch형(Sunrunner, U.S.A.)와의 비교 측정도 실시하였다.

측정기간(87. 9 - 88. 2) 동안의 비교 실험한 각 시스템의 태양의존율은 <Table 2>와 같다.

Table 2. 각 시스템별 태양 의존율 (%)

| 구분 대상 | Batch형 태양의존율 | Sun Runner 태양의존율 | Solahart 태양의존율 | 비교 |
|---------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|----|
| 50°C 온수 200ℓ를 사용할경우 | 61.4% | 57.5% | 63.3% | |
| 40°C 온수 200ℓ를 사용할경우 | | 82.5% | 77.3% | |

* Batch형과 Sunrunner는 측정치평균이고 Sola-hart는 월별평균 기후치로 계산된 값임.

그리고 실용화 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 시스템의 계절별, 지역별 열적특성은 이론치와 잘 부합되었으며 외국산 온수기의 상용하는 높은 효율을 보였다. (Sunrunner, sola-hart)

2. 시범 설치된 시스템의 지역별 열적특성 분석결과 남부 지방의 보급이 기후 등의 여건상 보다 효과적임을 알 수 있다.

3. 동절기 및 야간 열손실의 보완을 위한 실험결과 단열cover 보다 보조히터의 사용이 편리함을 알 수 있었으나 Batch형 시스템의 경제성을 고려할 때 보조히터는 동절기 동파방지용으로만 사용되어야 할 것으로 사료된다.

4. 낮은 보급가를 위해 시스템 구조체 및 단열재질의 선정시 시스템 제작공정과 수명을 고려하여야 하며 보다 효과적인 열적성능 향상을 위해 선택흡수막(selective coating)의 개발이 권장된다.

5. 경제성 분석 결과 현 저유류가에서도 시스템수명내에 초기투자비가 회수되는 것으로 분석되었으며 현재 시판되고 있는 외국수입품에 비해서는 초기투자비의 저렴성등으로 경제성이 월등히 높아 보급가능성이 있다.

6. 시범설치된 시스템의 실사용자들은 시스템의 성능과 간편성에 대체적으로 만족을 나타내었다.

이상과 같은 결론에서 시스템특성을 유지하면서 동파방지를 위한 최소한의 보조 열원장치

를 설치하고 낮은 보급가를 위한 시스템 재질을 선정하여 시스템 특성을 효과적으로 활용할 수 있고, 특히 남부지역에 보급된다면 Batch형 자연형 태양열 온수급탕시스템의 실용화는 충분히 가능할 것이다.

4. 자연대류형(Thermosyphon) 태양열 온수 급탕 시스템

1) 개요

우리나라기후 여건상 동절기의 집열기 및 시스템의 동파가 가장 취약점으로 대두되고 있어 그 해결책이 시급한 설정이다. 동파방비책으로 여러가지가 있으나 현재 국내수준으로는 부동액을 사용한 자연대류형 태양열 온수급탕시스템이 보다 유력하다. 이미 개발된 Batch형 시스템은 보다 저렴한 가격 및 간편성, 편리성으로 각광을 받는 시스템이지만 실증실험에서 살펴 본 바와 같이 사용지역의 한정 및 야간열손실의 보다 경제적인 해결책이 미흡하다.

부동액을 사용한 자연대류형 태양열 온수급탕시스템(indirect system)이 직접물로 자연순환시키는 시스템(direct system)보다 열교환기사용으로 인해 효율은 다소 떨어지나 동파방지를 해결하고 설치가격이 이미 국내 시판중인 외국산 구입품의 약 절반수준 정도로 수입대체효과는 물론 경제적인 면에서도 훨씬 유리한 것으로 예상된다.

그러므로, 부동액을 사용한 자연대류 시스템(indirect system)의 개발에 본 연구소는 1987년부터 시작하여 현재에 이르고 있다.

1 차년도에는 기준 자료 조사 및 이론 분석을 실시하여 Computer Simulation 과 실험치(외국산시스템)와의 비교를 통한 비교실험용 시스템의 제작도면을 완성하였고 2 차년도인 올해에는 실험용 시스템을 실제 제작하여 비교측정중에 있으며 이론치와 비교분석하여 표준화작업을 수해 최적시스템의 모범도면을 완성할 계획이다.

3 차년도에는 모범도면에 의해 제작된 시스템의 국내 기후 구분에 맞는 시범 설치를 통한

실증실험을 수행하여 그 결과를 모범도면에 보완하여 최종 보급도면을 작성할 예정이다.

그리고 상변화형 시스템은 보다 이론적인 해석이 필요하다고 사용재질의 세심한 고려가 요구되며 자연대류형 시스템의 개발이 끝난 후 본격적 연구개발에 착수할 예정이다.

2) 구조 및 작동원리

자연대류형 시스템은 Fig. 5.에서 보는 바와 같이 집열기위에 축열조를 설치하고 상승관(riser)과 하강관(downcomer)을 연결하여 집열기내의 열매체가 가열됨으로써 축열조와 집열기의 열매체가 자연순환되며서 축열조내의 물이 가열되어 가는 구조이다. 순환은 일사가 시작되면서 시작되고 일사가 감소되어 전혀 없게 되면 정지하게되어 외부에서의 순환동력, 자동제어장치가 없더라도 자연대류에 의하여 작동되는 것이 이 시스템의 특징이다.

열매체의 비중차로 자연순환되는 자연대류형 시스템은 편의상 열매체로써 물을 직접 사용하는 Direct system과 부동액을 사용하여 열교환기에 의해 물을 가열하는 Indirect system으로 구분된다.

즉, 열교환기 유무로 자연대류형을 세분할 수 있다.

이와 같은 구분은 앞에서 언급한 바와 같이 시스템 사용지역 기후대의 구분과 대략 일치함을 보여 준다.

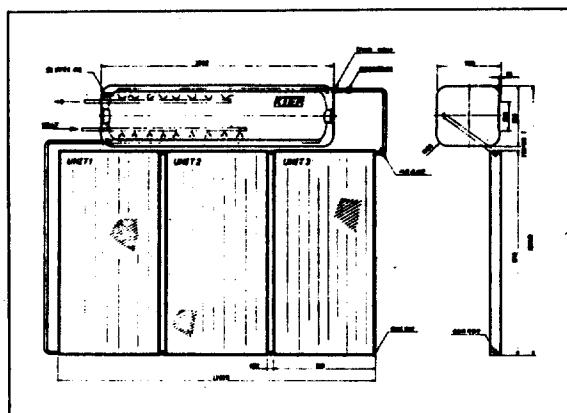


Fig. 5. 자연대류형 태양열 온수 급탕 시스템⁽⁶⁾

직접 물로 순환시키는 시스템은 Batch형 시스템과 같이 보다 온화한 지역에 사용함이 적합하며 열매체로 부동액을 사용하는 경우 효율은 다소 떨어지나 동절기 동파방지효과가 뛰어나므로 보다 추운지방 사용도 가능한 특성을 갖는다.

3) 시스템 열성능 비교분석

본 연구소에서 수행한 자연대류형시스템에 대한 1차년도(1987년)의 결과치를 중심으로 살펴보자 한다.

자연대류형시스템은 집열기에서의 태양열 흡수로 인한 부력(buoyancy force)의 생성으로 열매체의 순환이 유도되므로 대표온도 등의 가정하에서 일차원 모델을 정립하여 Computer

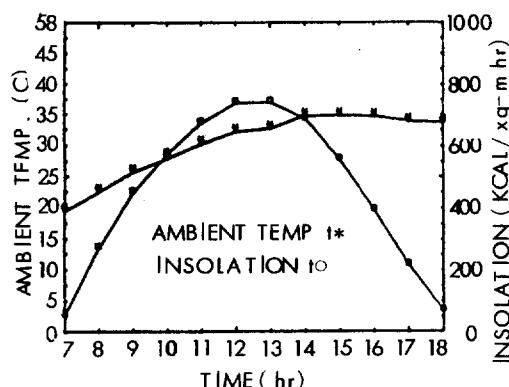


Fig. 6. 시간에 따른 외기온 및 일사량 변화곡선⁽⁵⁾

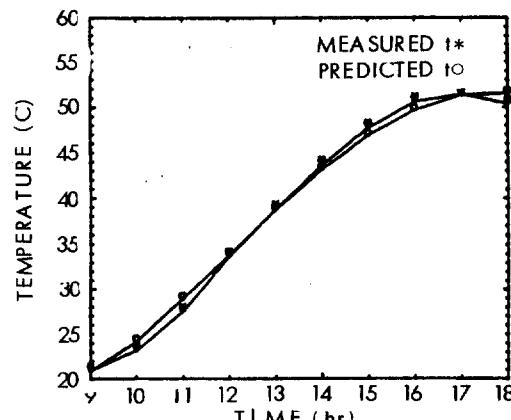


Fig. 7. 축열조내시각에 따른 평균 수온 변화곡선⁽⁵⁾

Simulation을 수행하였고 긴 과정의 비교를 위해 외국산 자연대류형 시스템(Solar Edward, U. S. A.)의 실험치와 비교하였다.

Fig. 6은 외국산 자연대류형 시스템의 실측 실험이 수행된 날의 일사량과 외기온의 시간에 따른 변화를 보여준다.

Fig. 7은 실측치와 이론치의 수평축열조(direct system)의 온도 변화를 보여 주며, 평균 수온은 시간에 따른 단조로운 변화를 나타내며 최대수온이 51°C로 21°C의 시수를 30°C 상승 시켜 급탕에 알맞은 온도에 달하고 있다.

열교환기가 있는 경우와 없는 경우의 수평축열조의 computer simulation에 의한 평균수온 변화를 Fig. 8에서 보여주고 있다.

예상한 것과 같이 열교환기가 있는 경우가 시간이 지남에 따라 온도 상승폭이 커짐을 알 수 있다.

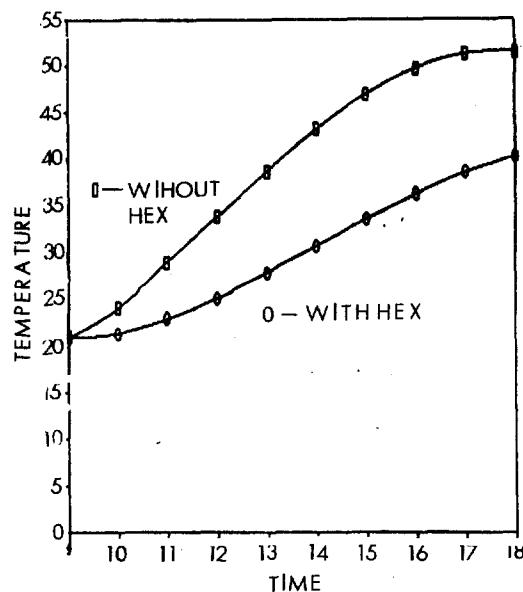


Fig. 8. 열교환기 유무별 축열조내 시간별 평균 수온 변화곡선⁽⁵⁾

이와 같이 다양한 비교분석결과를 이용하여 적정규모의 시스템을 결정하였고 시스템 효율 분석결과 태양광시스템 효율이 36.8%, 태양의존율 51.6%로 나타났다.

5. 보급현황 및 보급전망

현재까지의 태양열 급탕의 국내현황은 〈Table 3〉과 같으며 주요 선진국에 비하면 극히 부진한 보급실적이다. 태양열 시스템의 연구 개발이 가장 빨리 진행된 미국의 경우는 1985까지 24만기가 보급되었으며, 프랑스의 경우는 1980년까지 2만기가 보급되었고 1990년까지는 60만기가 보급될 것으로 전망되고 있다.

Table 3. 국내 태양열 이용시설 현황⁽⁸⁾

86. 9월 현재

| 구분 | 설비형 | | | | 자연형 | 종계 |
|----|----------|----------|-----------------------|-------|-------|-------|
| | 주택 급탕 | 주택 난방 | 기타(목 욕탕, 물 프장등) | 소재 | | |
| 개소 | 2,150 | 723 | 124 | 2,997 | 1,426 | 4,423 |

대체에너지 기술 및 실용화 전망에 의하면,⁽⁶⁾ 태양열 시스템을 적극 보급하고 총주택의 10%에 급탕시설을 설치하여 실용화를 추진할 경우 2001년에는 우리나라 총에너지의 3%수준을 신·재생에너지로 공급할 수 있을 것으로 예측된다.

현재 개발된 Batch형 시스템이나 개발중인 자연대류형 시스템의 경우 시판중인 외국 수입품에 비해 성능은 우수하고 경제성이 뛰어나 보급전망이 밝으며 수입대체 효과도 클 것으로 기대된다.

실용화연구결과에서도 밝힌 바와 같이 우리나라 남부지역에는 Batch형을 보급하고 중부지역 이북지방을 중심으로 개발중인 자연대류형을 보급하는 것이 시스템의 특성과 우리나라 기후여건상 타당한 것으로 사료된다.

6. 결 론

앞에서 논의한 바와 같이 급탕에너지의 절감을 위한 자연형 태양열 온수급탕 시스템의 연구개발은 Batch형, 자연대류형 및 상변화형으로 구분하여 3단계로 추진되어 왔으며, Batch형의 경우 이미 실용화 보급단계에 있으며 국내여건에 맞는 자연대류형의 모델개발도 추진 중에 있다.

Table 4. 2001년의 신, 재생에너지의 개발 목표⁽⁶⁾

| | 1986 | 1991 | 2001 | 천Bbl / 년 |
|----------------|----------|--------------|-----------------|----------|
| 태양에너지이용 | | | | |
| · 설비형 난방 | 1,500 호 | 10,000 호 | 500 개호 | 5,300 |
| · 급탕시설 | 3,000 개소 | 30,000 개소 | 1,000 천개소 | 3,100 |
| · 자연형 난방 | 2,000 호 | 50,000 호 | 1,000 천호 | 8,500 |
| · 태양광발전 | 100 Kw | 1,000 Kw | 200 천Kw | 460 |
| 메탄가스발생이용 | | | | |
| · 축산업가 | 1,000 기 | 5,000 기 | 30 천기 | 120 |
| · 산업(배정동) | 5 개소 | 10 개소 | 50 개소 | 470 |
| 풍력 발전이용 | - | 500 Kw | 7 천Kw | 35 |
| 소수력이용 | 8.1 천Kw | 24.2 천Kw | 209 천Kw | 2,000 |
| Coal Slurry 이용 | - | 1,000 T/H | 2,000 T/H | 2,400 |
| 도시폐기물이용 | - | 2,000 T/D | 9,000 T/D | 1,500 |
| 총년간석유환산량 | | 2,300 천Bbl/년 | 23,500 천Bbl / 년 | |

외국에서 수입된 급탕시스템이 많이 보급되고 있는 국내 실정을 감안할 때, 국내 기술에 의한 국산 태양열 급탕시스템의 실용화 보급이 절실히며, 시스템 유형에 따라 시스템 특성과 사용지역의 기후여건을 고려하여 보급되어야 할 것이다.

성능과 경제성이 우수한 국산 자연형 태양열 온수 급탕시스템의 개발과 병행하여 대량생산 및 대중화를 위한 과감한 지원방안을 수립하여 관련 산업의 활성화를 기한다면 국내 급탕에너지 절감은 물론 주거생활환경의 개선도 가져올 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 오정무외, “자연형 태양열 시스템 개발(IV)”, 한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-84-15, 1984.
2. 오정무외, “자연형 태양열 시스템 개발(V)”,

한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-85-7, 1985.

3. 오정무외, “자연형 태양열 시스템 개발(VD)”, 한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-86-12, 1986.
4. 오정무외, “Batch형 자연형 태양열 온수 급탕 시스템 실용화 연구”, 연구보고서, 87 연-2, 에너지관리공단, 1988.
5. 전홍석외, “자연대류형 태양열온수급탕기 개발(I) 및 자연형 태양열 학교 모범화 연구(II)”, 한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-87-33, 1987.
6. 동력자원부, “2000년대를 향한 장기에너지 전망과 전략”, 1985.
7. 한국동력자원연구소, “국내태양열 급탕시스템 이용실태조사”, 연구보고서, 1984.
8. 에너지관리공단, “태양열 시스템 이용안내”, 1987.