

주거용 태양열 성층축열시스템의 시뮬레이션

박이동 · 유호선*

성균관대학 기계공학과
경상대학 기계공학과*

A Simulation for the Stratified Thermal Storage System in Residential Solar Energy Application

Pak, Ee-Tong · Yoo, Hoseon*

Sung Kyan Kwan Univ
Kyung Sang Univ.*

요 약

본 연구의 목적은 주거용 태양열 온수이용에 있어서 성층저장의 잠점을 평가하고 최적의 설계변수를 제시하되 실험이 아닌 시뮬레이션을 통한다는 것이다. 그 결과는 다음과 같으며 실험의 결과들과 잘 일치함을 보였다.

1. 탱크의 성층분활이 증가함에 따라서 태양부하율이 증가함을 보여 주었고 본 연구에서는 평균 10% 정도 증가함을 나타내었다.
2. 저장탱크의 높이 대 지름의 비가 3정도일 때가 태양부하율이 최대가 되었으며 그 이상이면 감소하는 경향을 나타내었다.
3. 집열기로 부터 저장탱크로 유입되는 온수의 유동율이 증가할 수록 완전혼합저장에서는 태양부하율이 증가하지만 성층저장에서는 유입율이 감소하는것이 태양부하율을 증가시키는 결과가 되었다.
4. 이와같은 결과로 성층축열시스템 전체적으로는 약 17%의 성능 향상을 기대할 수 있다.

ABSTRACT

The benefits of thermal stratification in sensible heat storage systems has been considered and studying by several investigators. In this paper, the basic data which is hard to obtain normally through the experiment were obtainable through the computer simulation. The major objectives of the study were to assess the benefits of stratified storage in residential solar water heating application and to suggest the optimum design

parameters. From the computer simulation, following results were obtained.

1. The solar load fraction increases with increasing the number of tank segments. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 10%.
2. The solar load fraction increases when the ratio of diameter to height of the tank(H/D) increases to 3, but H/D exceed 3 then, the solar load fraction decreases. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 3%.
3. Increasing the collector flow rate slightly improved the performance of the mixed storage system(Node=1). But, for the stratified storage system(Node=N), the solar load fraction increases with decreasing flow rate until the point is reached at which the collector outlet temperature reaches the boiloff limit of 100°C over some portion of the simulation period.

1. 서 론

일반적으로 이용되는 열에너지의 저장 방법으로는 저장 매개체의 열 용량을 이용하여 열 에너지를 저장하는 현열 저장(Sensible Heat Storage)과 저장 매개체의 상변화시 발생하는 잠열을 이용하여 열에너지를 저장하는 잠열 저장(Latent Heat Storage) 방법이 있다.¹⁾ 그러나, 가정용 급탕 시스템에서의 부하는 온수이므로 열에너지의 저장은 물을 이용한 현열 저장 방법이 사용되어진다.

태양열 에너지 저장 시스템에서의 열 성층의 문제는 많은 연구자들에 의해 실험적^{2~6)} 수치 해석적^{7,8)}으로 연구되어져 왔다. 그러나, 전체 부하에 대한 저장 탱크내에서 총당된 열의 비로 정의되는 Solar Load Fraction(F)을 향상시키기 위한 여러 지배 인자들에 대한 수치 해석적인 접근이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 태양열 에너지의 저장 뿐만 아니라, 부가적으로 저렴한 심야 전력을 이용한 열에너지의 저장에도 적용할 수 있는 시스템의 Load Fraction을 향상시키는데 필요한 기하학적 및 동적 파라메타들이 시스템에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교하고, 또한 이를 실험 결과와 비교하며, 주택의 태양열 성층 축열시스템의 설계시 기초 자료를 제시함을 목적으로 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 점차로 탱크내의 온도 분할 영역의 수인 Node수 즉, 성층이 이루어진 층의 수를 증가시키면서 아래와 같은

설계 변수들을 여러 단계로 변화시켜 각각에 대한 Solar Load Fraction(F)을 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 구하고, 서로 비교한다.

- 1) 원통형 저장탱크의 지름에 대한 높이의 비(H/D)
- 2) Collector유량(저장 탱크내로 유입되는 온수의 유량, Q)

즉, 1988년도 서울 지방의 매시간당 일사량과 대기 온도를 이용하여 위의 두가지 변수들을 여러단계(H/D를 1, 2, 3, 4, 5로 5단계, Q를 8, 10, 12, 14, 16, 20LPM으로 6단계)로 변화시켜 각각의 경우에 대한 Solar Load Fraction(F)을 구하였다.

그리고 본 연구의 타당성을 검토하기 위하여, 1989년 8월에 수행된 연구 DATA⁹⁾를 이용하였다.

2. 관련 이론

태양열 저장시스템에서의 에너지 관계식¹⁰⁾은 태양으로 부터 Collector의 출구까지의 열교환, 저장 탱크에서의 열교환, 부하로의 열의 추출 등으로 나누어 생각할 수 있다.

2.1 태양열의 집열

Collector에서 얻은 열에너지 Q_u 는 다음과 같다.

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L(T_{c,i} - T_a)] \dots \dots \dots (1)$$

여기에서, A_c 는 Collector의 표면적, F_R 은 Collector Heat Removal Factor, $T_{c,i}$ 는 Collector

로 유입되는 냉수의 온도 T_a 는 대기 온도를 나타낸다.

2.2 열저장 효율(η_s)

성층 저장일 경우

$$(\eta_s)_s = \frac{(m C_p)_s \Delta T_s \{1 - e^{-(m_i/m_s)t}\}}{(m C_p)_s \Delta T_s} = 1 - e^{-t^*} \quad (2)$$

혼합 저장일 경우

$$(\eta_s)_M = \frac{m_i C_p \Delta T_s t}{(m C_p)_s \Delta T_s} = t^* \quad (3)$$

위의 (2)식과 (3)식에서 $t^*(t^* = m_s t/m_i)$ 는 실험적으로 초기에 설정한 저장 탱크로의 유입온도와 저장 탱크로부터의 유출온도의 차인 ΔT_s 값의 변화가 0.9에 도달하는 시간으로 정의된다. 따라서 위의 (2)식과 (3)식은 각각 성층 열저장과 혼합 열저장에 대한 이론 저장 효율이 된다. 이상적인 성층이란 Node수가 무한인 경우로서 각각의 층이 완전히 혼합된 것을 의미하므로, 다음 식과같은 완전 혼합 저장(즉, Fully Mixed Store) 탱크에서의 에너지 평형식을 사용할 수 있다.

$$(m C_p)_s \frac{dT_s}{d\tau} = Q_u - Q_{Load} - (UA)_s (T_s - T_a) \quad (4)$$

여기서에서, Q_u 와 Q_{Load} 는 각각 Collector로부터 부가된 에너지 율, 부하로 빼앗긴 에너지 율을 나타낸다. 식(4)을 온도의 항으로 나타내면 아래와 같다.

$$T_s^+ = T_s + \frac{\Delta \tau}{(m C_p)_s} [Q_u - Q_{Load} - (UA)_s (T_s - T_a)] \quad (5)$$

또한, 온수 저장 탱크에서 주위로의 열손실도 계산에 포함되어야 하는데 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q_{Env} = \sum [(UA)_s (T_{s,i} - T_a) / \text{Node 수}] \quad (6)$$

여기서, U 는 단위면적당 건물 손실계수 ($W/m^2 \cdot C$)이며, A 는 저장 탱크의 표면적, $T_{s,i}$ 는 Node 수에 따른 각각의 층에서의 온도이다. 그리고 T_a 는 주위의 온도를 나타낸다.

2.3 열 추출 및 추출 효율(η_E)

부하(Load)에 의한 온수 저장 탱크로부터의 열의 추출은 다음식과 같다.

$$Q_{Load} = -(m_L C_p)(T_{L,r} - T_{s,1}) \quad (7)$$

또한, 온수 저장 탱크에서 부하로 추출되는 물의 온도가 요구하는 온도보다 낮을 때에는 보조 가열기를 사용하게 되는데, 이때의 관계식은 다음과 같다.

$$Q_{Aux} = (m_L C_p)(T_{L,r} - T_{s,1}) \quad (7-a)$$

그러나, 저장 탱크 상부의 온도가 부하로 필요한 온도보다 높거나 혹은 부하가 필요하지 않을 때(즉, $m_L = 0$ 일 때)에는,

$$Q_{Aux} = 0 \quad (7-b)$$

그러므로 전체 부하 Q_{Total} 은 다음과 같다.

$$Q_{Total} = Q_{Load} + Q_{Aux} \quad (8)$$

일반적으로 저장 탱크에서의 추출의 성능은 추출 효율(η_E)로 표현되는데 이때의 관계식은 다음과 같다.

$$\eta_E = \frac{Q t^*}{V} \quad (9)$$

여기서, Q 는 부하로 추출되는 온수의 체적 유량이며, V 는 저장 탱크의 체적, 그리고 t^* 는 저장 탱크에서 부하로 추출되는 온수의 온도와 저장 탱크로 유입되는 냉수의 온도와의 차가 최소로 되는 시간(즉, $(T_1 - T_{L,r}) / (T_s - T_{L,r}) = 0.9$ 인 시간으로 정의)을 의미한다.

2.4 Solar Load Fraction(F)

앞의 식들을 종합하면, 온수 저장 탱크내의 에너지의 변화는 아래와 같다.

$$\Delta E = Q_u - Q_{Env} - Q_{Load} \quad (10)$$

여기에서, 우리가 얻고자하는 것은 Solar Load Fraction(F)(즉, 전체 부하에 대한 저장 탱크내에서 충당된 열의 비)이므로, 이것을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$F = \frac{Q_{Load}}{Q_{Total}} \quad (11)$$

그러므로 본 연구에서는 Tank의 Node 수, 원통형 저장 탱크의 지름에 대한 높이의 비(H/D), Collector에서 저장 탱크로 유입되는 유량(Q)등을 서로 변화시켜 각각에 대한 해(식(11)의 해)를 구할 수 있으며, 또한 이들을 비교함으로써 각각의 경우에 대한 최적 설계변수들을 구할 수 있다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에 사용된 Computer Program은 FORTRAN Language를 이용하였으며, Hardware는 IBM PC/AT를 사용하였다. 또한, 본 연구에 사용되어진 Software는 FORTRAN 4.1 Compiler, Linker와 Output Data의 정리에는 Lotus 1-2-3과 Quattro를 이용하였다.

3.1 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서는 Tank의 Node 수, 원통형 저장 탱크의 지름에 대한 높이의 비(H/D), Col-

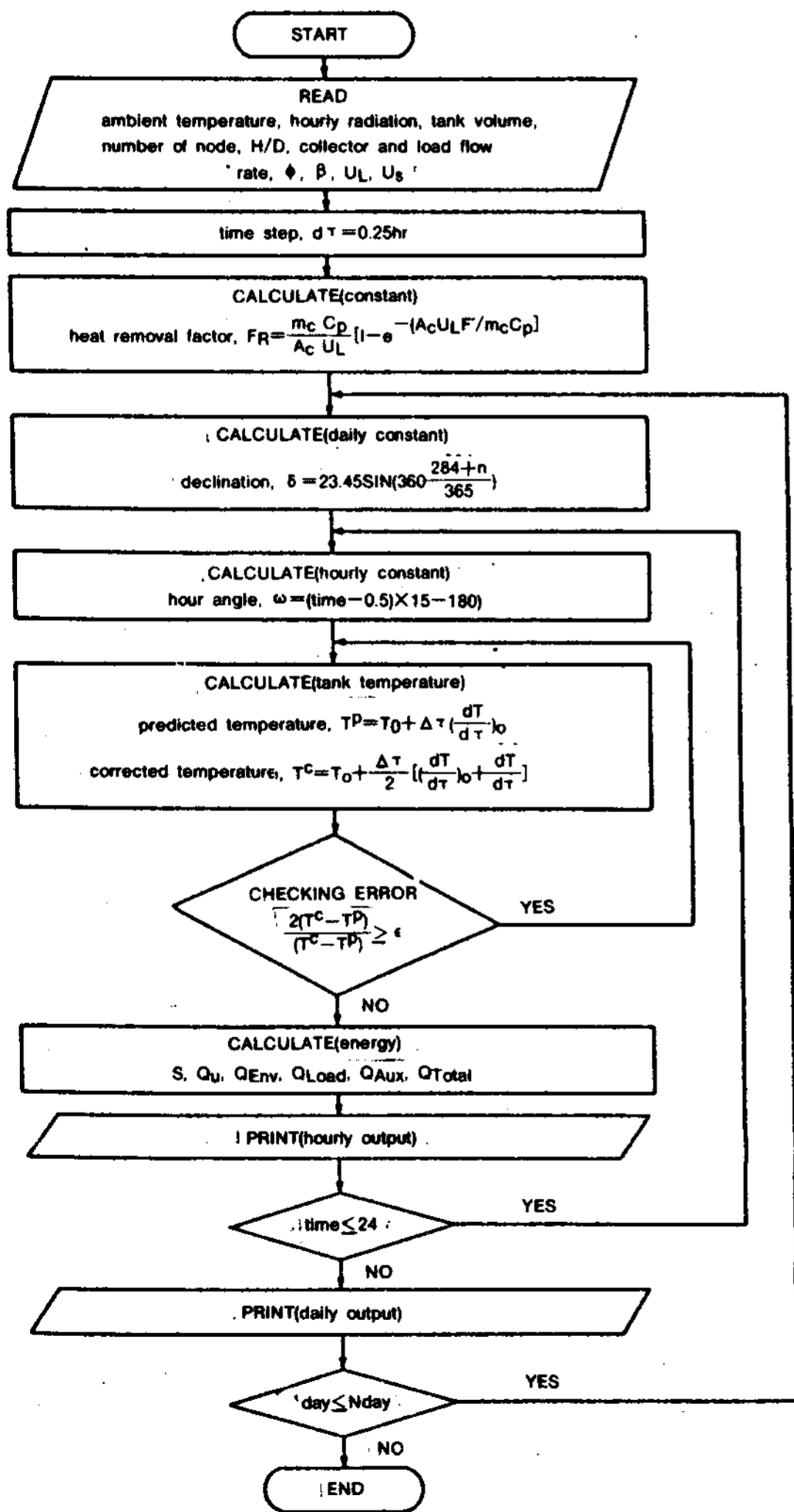


Fig. 1 Flow Chart of the Simulation Program for the Energy Variations

lector에서 저장 탱크로 유입되는 유량(Q)등을 여러 단계로 반복하여 계산해야 하므로 이에 적합한 컴퓨터 프로그램의 개발이 필요하다. 그러나, 새로운 프로그램의 개발은 막대한 비용과 시간이 소요되므로, 본 연구에서는 여러 참고 문헌들을 기초로 보완하여 사용하였다.¹¹⁾

본 연구에 사용된 시뮬레이션 프로그램의 개략적인 순서도를 Fig.1에 나타내었다.

3.2 시뮬레이션 방법

앞의 서론에서 밝힌 바와같이 본 연구에서는 여러가지 설계변수중 한가지씩을 Base System으로 입력하고, 그 중에서 연구의 대상이 되는 설계변수를 여러 단계로 변화시켜 그때의 Solar Load Fraction(F)을 비교한다. 본 연구에서 사용된 변수들의 개략적인 구성을 Fig.2에 나타내었다.

본 연구의 초점은 저장 탱크이므로, 이것을 구체적으로 나타내면 Fig.3와 같다. 그리고 본 연구에서 사용한 가정조건은 다음과 같다.

- 1) 1988년 서울지방(위도 : 37.57°(N), 경도 : 126.97°(E))에서 4인 가족이 하루에 07시부터 21시까지 60°C의 온수를 250Liter씩 사용한다.
- 2) 이 주택의 급탕은 태양열 집열기를 이용하며, 이 집열기의 면적은 4m²이며, 남쪽을 향하여 지상에 대하여 40°의 각도로 설치되어 있다.

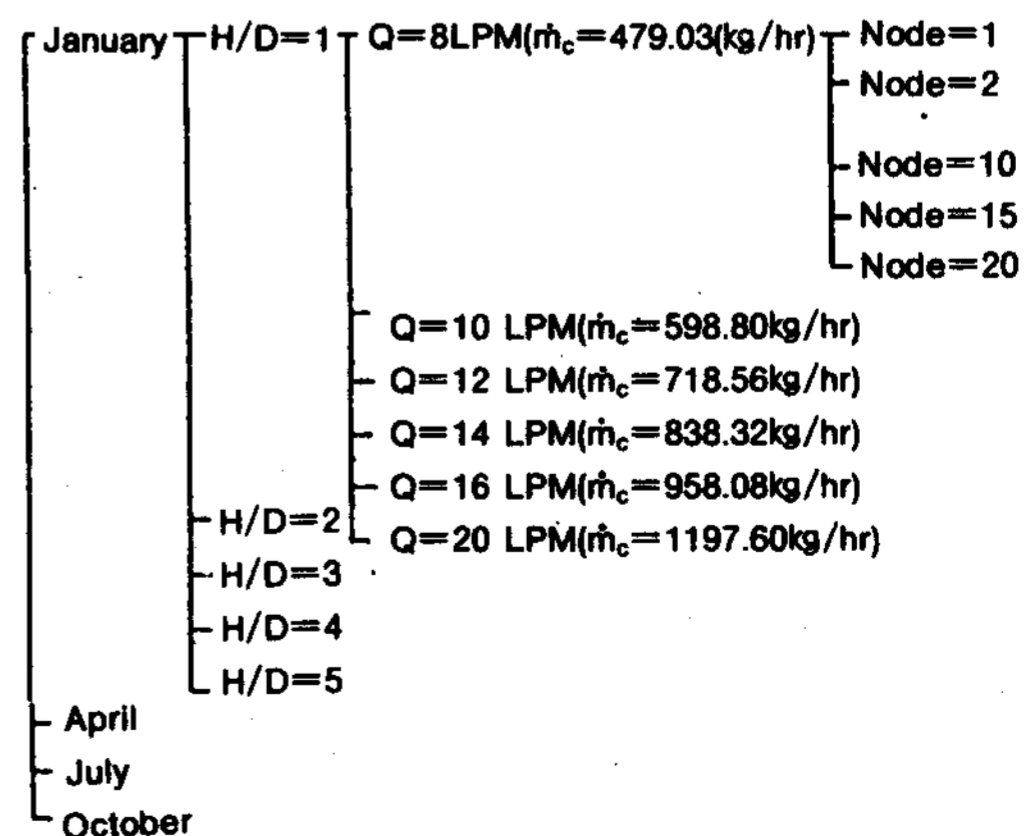


Fig. 2 Dynamic or Geometric Parameters for the Simulation

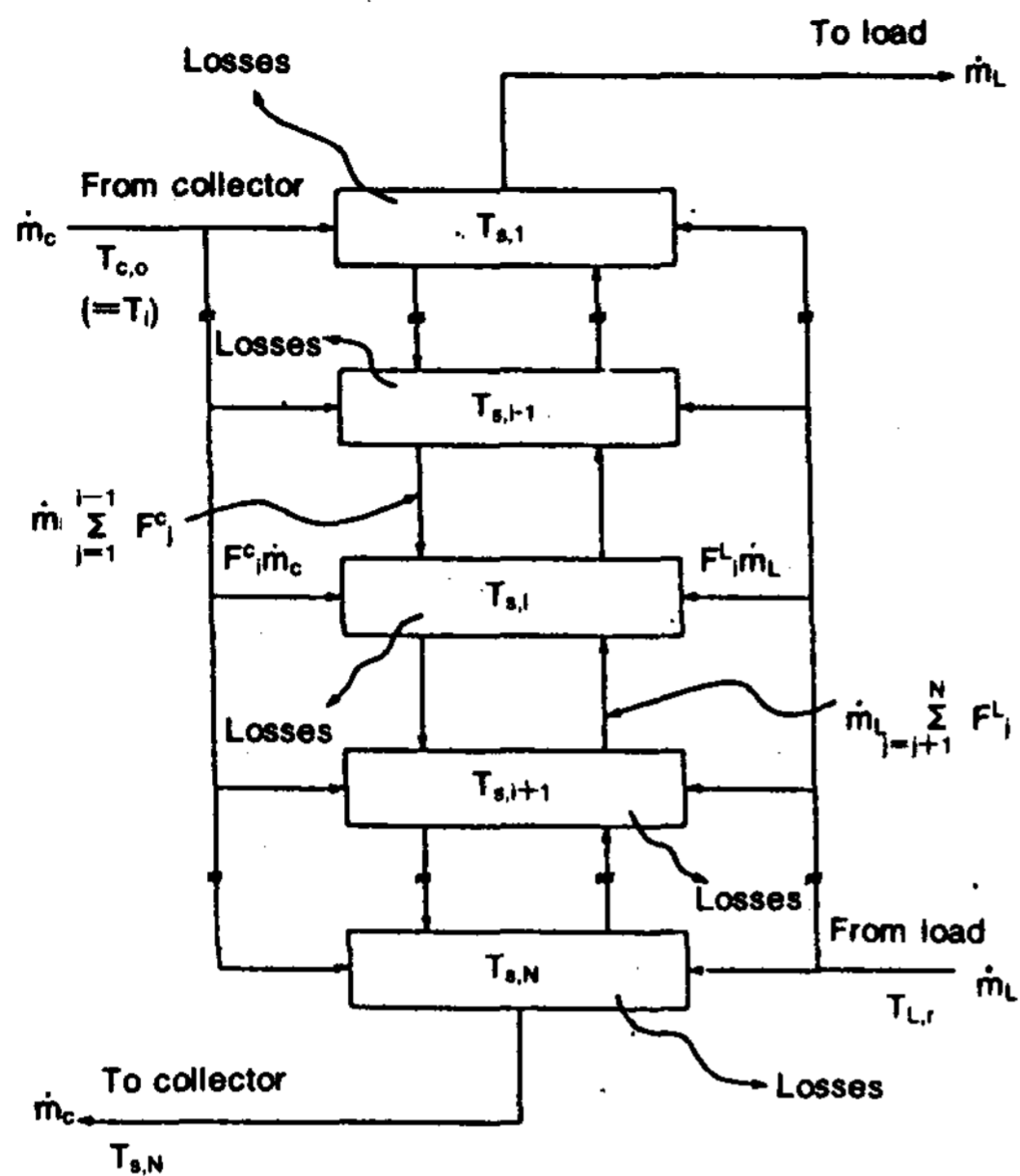


Fig. 3 N-Node Stratified Liquid Storage Tank.

3) 이 주택은 별도로 보조 가열기를 가지고 있으며, 만약 태양열을 얻을 수 없거나 또는, 온수가 60°C가 안되면 60°C가 될때까지 온수를 가열한다.

4) 온수 저장 탱크로 유입되는 물(보충수)의 온도는 18°C이다.

5) 온수 저장 탱크가 있는 실내의 온도는 21°C이다.

3.3 시뮬레이션의 타당성 검토

본 연구에 사용된 시뮬레이션 프로그램은 여러 참고 문헌들을 토대로 충분한 검토를 거친 후에 사용하였으나, 여기에서 얻은 결과를 실제의 태양열 급탕 시스템에 적용하려면 이에 대한 시뮬레이션의 오차를 밝혀야 하므로 다음과 같이 1989년도에 성균관대학교 유체역학 실험실에서 수행된 연구⁹⁾에서 얻어진 결과와 비교하였다. 그러나, 이 연구는 본 연구와는 달리 저장 탱크내에서의 열성층 축진으로 인한 열저장 효율에 관한 연구이므로, 각각의 시간 간격에서의 저장 탱크의 높이에 대한 온도를 비교하였다.

그 결과의 한 예를 Fig.4에 나타내었다. 여기

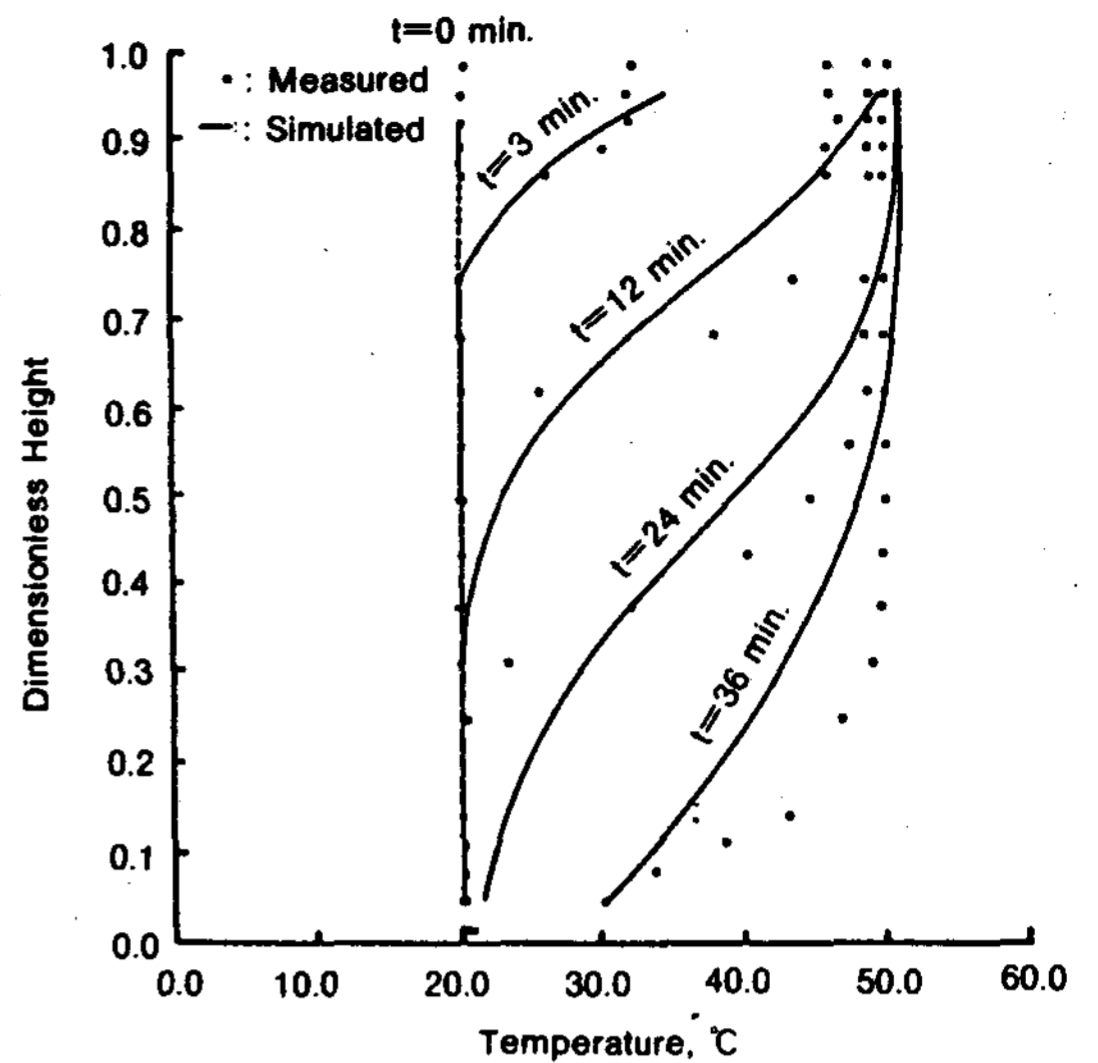


Fig. 4 Temperature Profile in Each Time Step ($\Delta T=30^\circ\text{C}$, $H/D=3$, $Q=8$ LPM, Using Inlet Port).

에서 알 수 있듯이 Node 수가 15인 경우와 실험치를 비교하였을때 그래프상의 변곡점의 경향이 같음을 알 수 있다. 그러나 각각의 시간 간격에서의 탱크의 무차원 높이에 대한 온도는 약간의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다.

이 차이는 저장탱크의 Node 수를 증가시킴에 따라 감소시킬 수 있으나, 대략적인 경향은 같으므로 이 차이는 무시할 수 있다. 또한, 참고로 각각의 시간 간격에서의 탱크내의 온수의 평균 온도를 비교한 결과 약 5%내의 오차를 나타냄을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구의 결과를 실제로 저장 탱크를 설계할때 기초자료로 사용하여도 무방함을 알 수 있다.

4. 결과 및 고찰

본 연구는 주거용 태양열 성층 축열 시스템에서의 Tank의 Node 수, 원통형 저장 탱크의 지름에 대한 높이의 비(H/D), Collector에서 저장 탱크로 유입되는 유량(Q) 등이 Solar Load Fraction(F)에 미치는 영향을 비교하고 이를 설계시의 기초 자료로 이용하고자 하는 것이 목적이었으므로 본 연구에서는 실험을 통해서 불가능한 1440회의 시뮬레이션을 수행하여 방대한 수의 Output Data를 얻을 수 있었다.

실제로 본 연구에서 얻을 수 있는 Output data는 1시간 간격, 1일 간격, 1개월 간격의 에너지의 변화량들이다. 그러나, 이 결과들을 모두 1시간 또는 1일 간격으로 나타내는 것은 쉬운일이 아니므로 Table 1에 1988년 1월 한달 동안 시스템을 가동하였다고 가정하였을때의 각각의 경우에 대한 Solar Load Fraction(F)을 종합적으로 나타내었다.

4.1 H/D의 변화

Table 1에서 나타낸 바와같이 Node수가 전체 시스템에서 상당한 영향을 미침을 알 수 있다. 즉, Node수가 증가함에 따라 Solar Load Fraction(F)은 계속 증가한다는 것을 볼 수 있다.

Table 1 Solar Load Fraction for the January, 1988, Seoul

Number of Node	Q [L P M]					
	8	10	12	14	16	20
1	65.22	65.33	65.40	65.45	65.49	65.55
2	68.51	68.66	68.68	68.72	68.73	68.72
3	69.86	69.89	70.03	70.09	70.08	70.03
4	70.79	70.94	70.88	70.85	70.82	70.83
5	71.41	71.49	71.41	71.40	71.42	71.44
6	71.93	71.96	71.83	71.77	71.84	71.82
7	72.25	72.19	72.21	72.15	72.06	72.17
8	72.46	72.49	72.49	72.49	72.45	72.47
9	72.68	72.64	72.68	72.66	72.71	72.78
10	72.94	72.88	73.00	72.98	72.95	73.19
15	73.82	73.89	74.05	74.11	74.28	74.26
20	74.47	74.48	74.74	74.89	75.15	75.46

가장 높은 F값을 갖는 H/D는 탱크의 상부로부터 유입되는 온수의 유량과 성층이 이루어진 층의 수인 Node 수와 관계가 있으며 대체로 H/D가 3일때이다.

온수 저장 탱크의 H/D의 변화에 대한 Solar Load Fraction(F)을 각각의 Node수에 따른 변화를 Fig.5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 Node 수가 3보다 작을때에는 H/D가 3일때 가장 높은 F값을 얻을 수 있었고, Node수가 6일때에는 H/D가 2와 3에서 거의 같은 F값을 얻을 수 있었다.

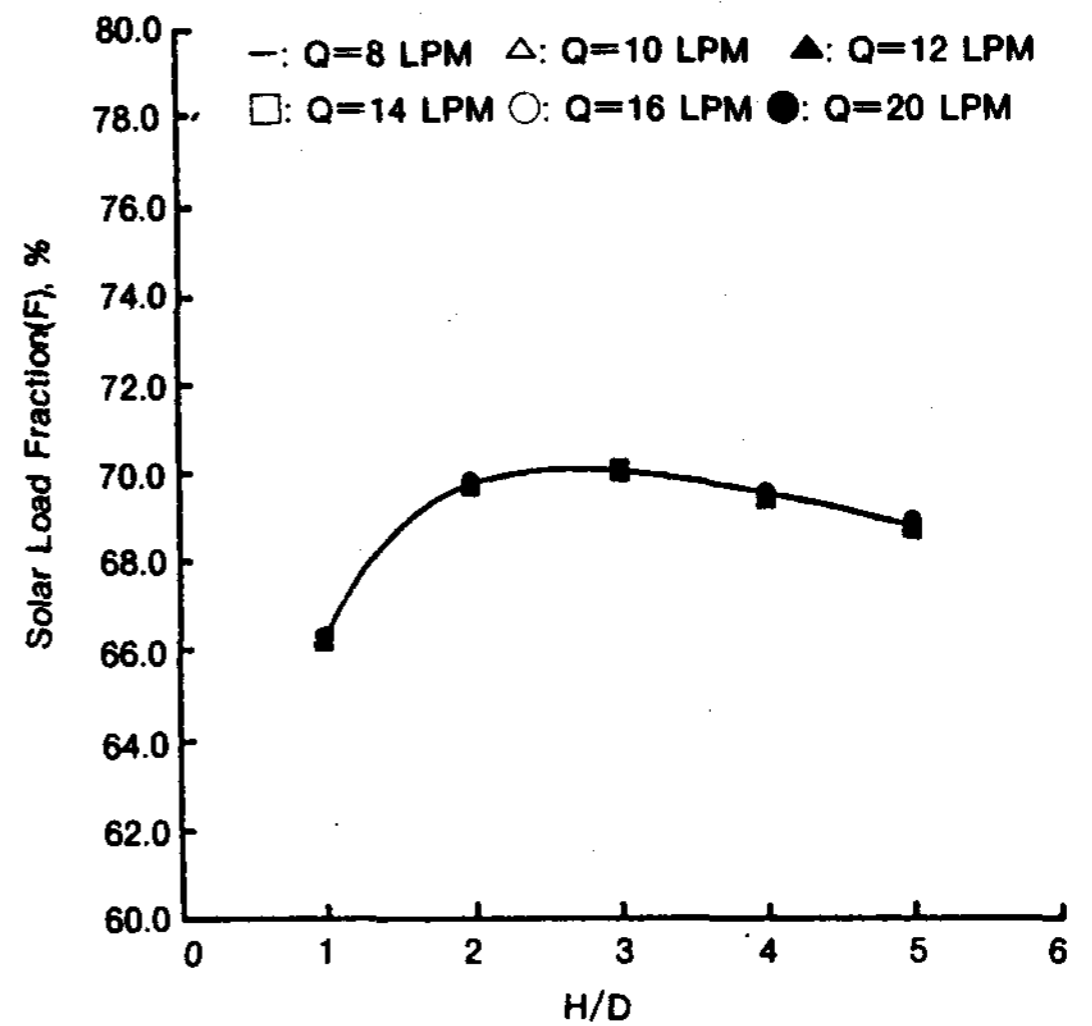


Fig. 5 Solar Load Fraction vs. the Ratio of Diameter to Height of the Tank(Three-Section Storage Tank: Node3)

그리고 Node 수가 8이상으로 증가하면서는 오히려 H/D가 2일때 최대의 F값을 얻을 수 있었는데, 이것은 Node 수가 8보다 큰 경우에는 H/D 증가함에 따라 저장탱크의 표면적이 증가하게 되어 탱크의 표면으로부터 주위로의 열손실이 증가하기 때문이다.

4.2 탱크 Node 수의 변화

본 연구에서는 각각의 Node 수에 따라 완전한 성층이 형성되었다고 가정하였으므로 Node 수가 증가할 수록 우리가 얻고자하는 Solar Load Fraction(F)은 증가하게 된다. 이것을 그래프로 나타내면 Fig.6과 같다. 그러나 여기서 주의할 점은 실제의 탱크에서는 본 연구에서처럼 Node 수를 임의로 조정할 수 없으므로 Node 수를 무한대로 증가시키는 것은 아무런 의미가 없다.

또한 Node 수를 증가시킴에 따라 컴퓨터의 사용시간이 기하급수적으로 증가하게 되므로 적당한 Node 수(즉, 그래프에서 경사가 완만해지는 Node 수)를 설정하여 설계의 기준으로 삼아야 한다. 본 연구에서는 Node 수를 1부터 20까지 증가시켰으나, H/D에 따라 Node 수가 15이상의 결과들은 무의미함을 알 수 있었다.

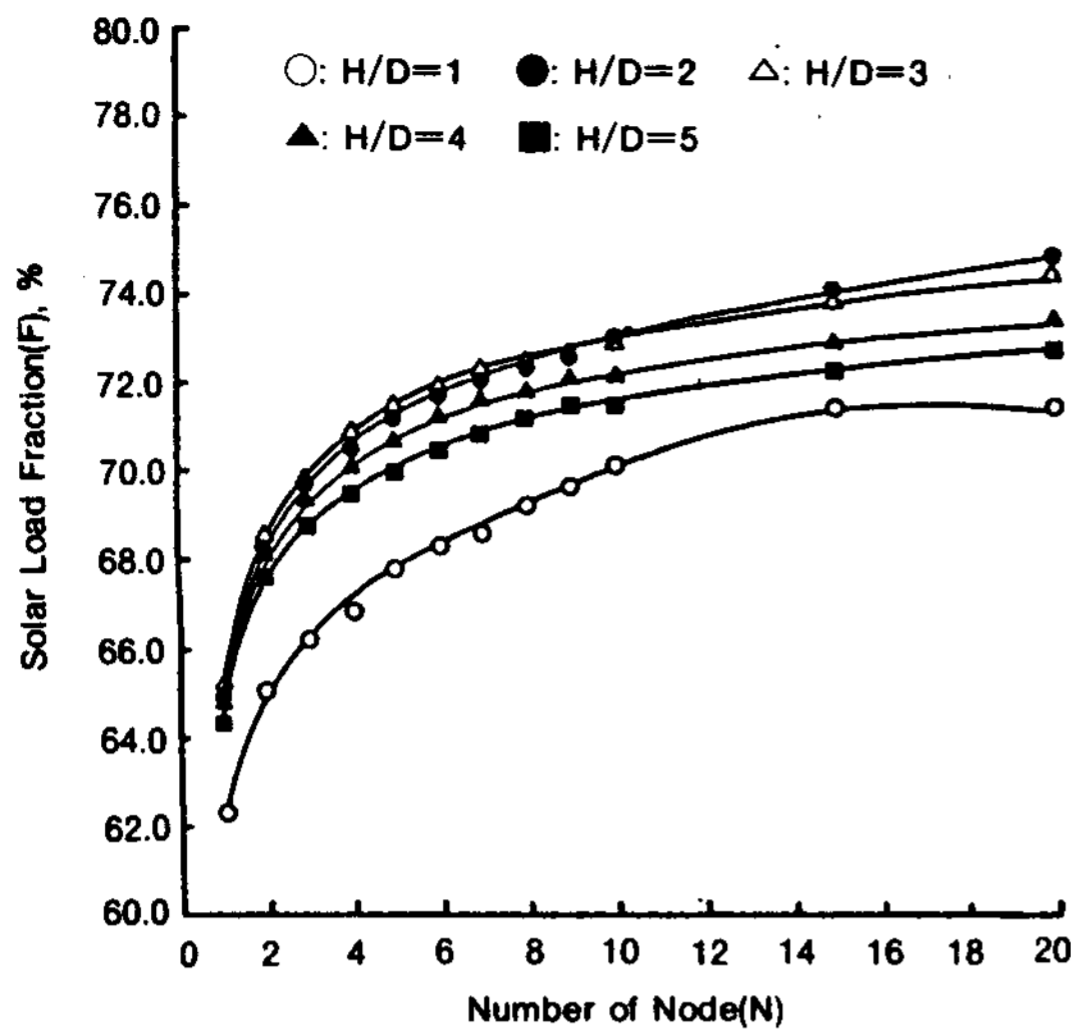


Fig. 6 Solar Load Fraction vs. Number of Stratified Tank Segments (Collector Flow Rate, $Q_c = 8$ LPM)

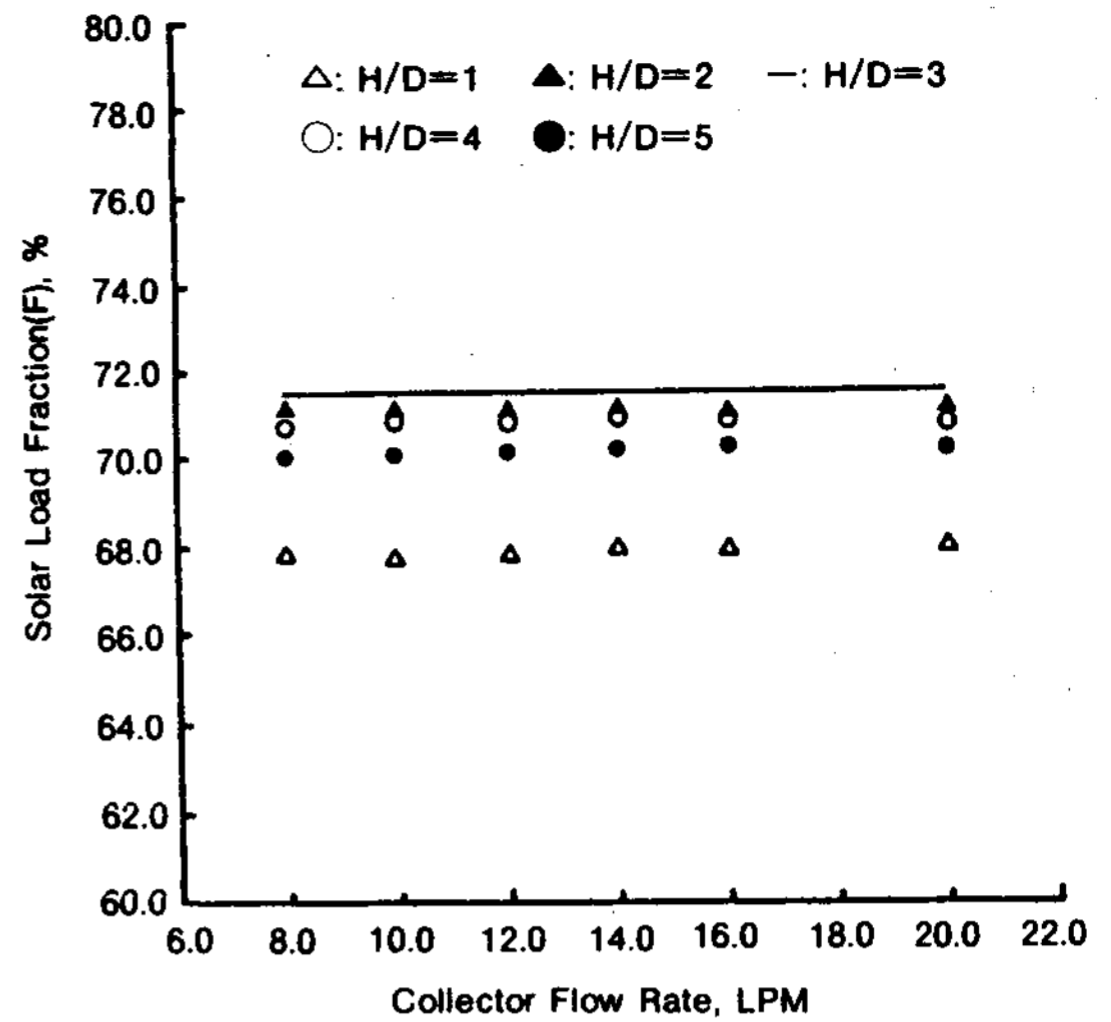


Fig. 7 Solar Load Fraction vs. Collector Flow Rate (Five-Section Storage Tank: Node=5)

4.3 탱크로 유입되는 유량의 변화

Collector 유량 즉, 온수 저장 탱크로 유입되는 온수의 유량이 증가함에 따라 전반적으로 Solar Load Fraction(F)은 약간 증가한다. 그러나, Fig.7에 나타낸 것처럼 전체 시스템에는 아주 작은 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 저장 탱크에 일정한 온도의 온수를 유입시키는 경우와는 상반된 결과이다.

그러나 본 연구는 태양열을 저장하는 경우이므로 Collector 유량이 너무 작으면 Collector내의 물의 온도가 순간적으로 고온이되어 높은 증기압이 발생하게 되므로 시스템이 불안정하게 되고, 또한 부하로 필요한 온도보다 훨씬 높은 온도의 온수가 부하로서 저장 탱크의 상부로부터 유출되므로 부하에 의한 열에너지의 손실이 증가하게 된다.

따라서 결과적으로 시스템의 F값은 낮아지게 된다. 반면, Collector 유량의 증가는 온수 저장 탱크내의 성층을 방해하므로 H/D에 따라 약간의 차이는 있지만 본 연구에서처럼 부하 유량보다 충분히 큰 값의 한도내에서는 될 수 있는 한 작게 하는 것이 유리하다. 즉, Collector 유량은 부하 유량을 고려하여 선택하여야 하고, 이때의 두 유량사이의 관계는 좀더 연

구되어야 할 것이다.

5. 결 론

1) 원통형 저장 탱크의 지름에 대한 높이의 비(H/D)가 3일때 대체로 가장 높은 Solar Load Fraction(F)을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 Collector 유량이 8LPM일때에는 저장 탱크의 Node 수가 9까지, 10LPM일때에는 8까지, 12LPM일때에는 7까지, 12LPM 이상일때에는 6까지 증가함에 따라 H/D가 3일때 가장 높은 Solar Load Fraction(F)을 얻을 수 있었으며, H/D를 3으로 함에 따른 F값의 증가는 3%정도이었다.

2) 저장 탱크의 Node 수가 증가함에 따라 Solar Load Fraction(F)은 약 10%정도 증가한다. 그러나, Node 수를 증가시킴에 따라 컴퓨터의 사용 시간이 기하 급수적으로 증가하므로 적당한 Node 수를 선택하여야 한다. 본 연구에서는 Node 수를 20까지 증가시켰으나, Node 수가 15이상일때에는 그다지 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 따라서 저장 탱크의 Node 수는 15일때가 가장 적당하다고 볼 수 있다.

3) Collector 유량이 증가함에 따라 Solar Load Fraction(F)은 약 1%정도 증가한다. 이것

은 일반적인 온수 저장 혹은, 추출의 경우와는 달리 태양열을 집열하는 과정에서는 Collector 유량이 증가함에 따라 저장 탱크내로 효과적인 열저장이 이루어지기 때문이다. 그러나, 너무 큰 유량은 저장 탱크내의 성층을 방해하므로 부하로 필요한 유량을 고려하여 선택해야하며, 두 유량사이의 상관 관계는 좀더 연구되어야 한다.

4) 저장 탱크로부터의 추출 효율과 Solar Load Fraction(F)은 설계 변수들의 조합에 따라 약 17%정도 시스템의 성능을 향상시킨다.

참고 문헌

1. F. Baylin, "Low Temperature Thermal Energy Storage: A State of the Art Survey", Solar Energy Research Institute Report No. SERI/RR-54-164, Golden, Colorado, USA., 1979.
2. T.D. Brumleva, "Sensible Heat Storage in Liquids", Sandia Laboratories Energy Report SLL-73-263, 1974.
3. E.S. Davis and R. Bartera, "Stratification in Solar Water Heater Storage Tanks", Proc. Workshop on Solar Energy Storage Subsystem for the Heating and Cooling of Building, Charlottesville, Virginia, pp.38-42, April 1975.
4. Z. Lavan and J. Thomson, "Experimental Study of Thermal Stratified Hot Water Storage Tanks", Solar Energy 19, pp.519-424, 1977.
5. M.K. Sharp and R.I. Loehrke, "Stratified versus Well Mixed Sensible Heat Storage in a Solar Space Heating Application", Paper No. 78-HT-49, Presented at the AIAA-ASME Thermodynamics and Heat Transfer Conference, Palo alto., California, 1978.
6. M.K. Sharp and R.I. Loehrke, "Stratified Thermal Storage in Residential Solar Energy Applications", J. of Energy, Vol.3-2,

pp.106-113, 1979.

7. S.A. Klein et al., "TRANSYS, A Transient Simulation Programme", University of Wisconsin, EES Report No.38, ASHRAE Trans., 1976.
8. S.K. Gupta and Y. Jaluria, "An Experimental and Analytical Study of Thermal Stratification in an Enclosed Water Region due to Thermal Energy Discharge", Energy Conversion Management, 1982.
9. Ee-Tong Pak, "Thermally Stratified Hot Water Storage", Solar Energy, Vol.10, No.3, pp.3-12, 1990.
10. J.A. Duffie and W.A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley and Sons, New York, 1980.
11. S.A. Klein et al., "TRNSYS, A Transient System Simulation Program", Engineering Experiment Station Report 38-12, Solar Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 1988.

NOMENCLATURE

- A_c : collector area(m^2)
 A_s : surface area of the tank(m^2)
 C_p : specific heat($kJ/kg^\circ C$)
 D : diameter of the tank(m)
 E : energy(J)
 F : solar load fraction
 F_R : collector heat removal factor
 I : hourly irradiation(J/m^2)
 H : height of the tank(m)
 m : mass of water(kg)
 \dot{m} : flow rate(kg/hr)
 n : day of the year
 N : number of nodes
 Q : flow rate(LPM)
 Q_{Aux} : auxiliary energy(J/hr)
 Q_{Env} : energy loss to environment(J/hr)
 Q_{Load} : rate of removal of energy to the load(J/hr)
 Q_s : total heat capacity(J)

Q_{Total} : total load(J/hr)
 Q_u : rate of addition of energy from the collector(J/hr)
 R : ratio of beam radiation on tilted surface to that on horizontal surface
 S : absorbed solar energy per unit area(J/m²)
 T : temperature(°C)
 t : time(min.)
 U : building loss coefficient(E/m²°C)
 V : volume of the storage tank(liter)

GREEK

α : absorptance(%)
 β : tilt(°)
 δ : declination(°)
 ϵ : error tolerance
 η : efficiency
 τ : transmittance, time

ω : hour angle(°)

SUBSCRIPTS

a : ambient
 C : collector
 E : extraction
 e : effective
 i : inlet, ordinal number of the nodes
 L : load
 M : mixed
 O : outlet
 r : return
 S : storage, stratified

SUPERSCRIPTS

c : collector, corrected
 L : load
 P : predicted

Korea Institute of Energy Research
Seoul National Polytechnic University*

ABSTRACT

Following the oil crisis in 1979, there have been surge of movements by the government in Korea to conserve petroleum-based energy in every sector of society.

One of these movements was the application of passive solar technologies into the construction of school buildings. Various passive designs are developed paying special regard to architectural and climatic factors.

This paper is related to the application of the passive solar technology(direct gain system) to high school buildings.

A Simulation for the Stratified Thermal Storage System in Residential Solar Energy Application

Pak, Ee-Tong · Yoo, Hoseon*

Sung Kyan Kwan Univ
Kyung Sang Univ.*

The benefits of thermal stratification in sensible heat storage systems has been considered and studying by several investigators. In this paper, the basic data which is hard to obtain normally through the experiment were obtainable through the computer simulation. The major objectives of the study were to assess the benefits of stratified storage in residential solar water heating application and to suggest the optimum design parameters. From the computer simulation, following results were obtained.

1. The solar load fraction increases with increasing the number of tank segments. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 10%.
2. The solar load fraction increases when the ratio of diameter to height of the tank(H/D) increases to 3, but H/D exceed 3 then, the solar load fraction decreases. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 3%.
3. Increasing the collector flow rate slightly improved the performance of the mixed storage system-(Node=1). But, for the stratified storage system(Node=N), the solar load fraction increases with decreasing flow rate until the point is reached at which the collector outlet temperature reaches the boiloff limit of 100°C over some portion of the simulation period.

Study on the Latent Heat Characteristics of the Organic Compound, $C_{28}H_{58}$ and the Inorganic Compound, $CH_3COONa \cdot 3H_2O$

Song, Hyun Kap · Ryou, Young Sun*