

## 온수 추출과정 동안 축열조 내의 열성층 특성 및 온수 이용률에 관한 연구

장 영 근<sup>†</sup>, 박 경 원<sup>\*</sup>

국민대학교 자동차공학전문대학원, <sup>\*</sup>유한대학 건축설비과

### A Study on Thermal Stratification Characteristics and Useful Rate of Hot Water in Thermal Storage Tank during Hot Water Extraction Process

Young-Keun Jang<sup>†</sup>, Jung-Won Pak<sup>\*</sup>

*Department of Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

*\*Department of Architectural Equipment, Yuhan College, Seoul 422-749, Korea*

(Received January 30, 2002; revision received May 8, 2002)

**ABSTRACT:** Heat flow characteristics during hot water extraction process was studied experimentally. Data were taken at various outlet port type for the fixed inlet port type, inlet-outlet temperature differences and mass flow rates. In this study, the temperature distribution in a storage tank and an outlet temperature were measured to predict a degree of stratification in the storage tank, and a useful rate of hot water was analysed with respect to the variables dominating a extraction process. Experimental results show that the degree of stratification and useful rate of hot water are all high in a low flow rate in case of using modified distributor I (MDI) as the outlet port type.

**Key words:** Distributor(분배관), Thermal stratification(열성층), Degree of stratification(성층도), Useful rate of hot water(온수 이용률)

#### 기 호 설 명

$A$  : 형상비,  $A_{dd}/A_{md}$

$A_{dd}$  : 분배관의 분배공 총단면적 [ $m^2$ ]

$A_{md}$  : 분배관의 주관 단면적 [ $m^2$ ]

$d_m$  : 분배관 주관 직경 [m]

$D$  : 축열조 직경 [m]

$Fr$  : Froude 수, 식(4)

$g$  : 중력가속도 [ $m/s^2$ ]

$H$  : 축열조 높이 [m]

$h$  : 유출입구 높이차 [m]

$Pe$  : Peclet 수, 식(3)

$R_u$  : 온수 이용률, 식(5)

$t$  : 실제 온수 1회 추출시간 [s]

$t_x$  : 실제 측정시간 [s]

$T_c$  : 유입되는 냉수의 온도 [ $^{\circ}C$ ]

$T_h$  : 저장된 온수의 온도 [ $^{\circ}C$ ]

$T_o$  : 유출구에서 측정된 순간온도 [ $^{\circ}C$ ]

$T_i$  : 축열조 내 임의 측정점의 온도 [ $^{\circ}C$ ]

$u$  : 유입구의 평균 속도 [m/s]

$U$  : 축열조 상부로의 평균 속도 [m/s]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4818; fax: +82-2-910-4718

E-mail address: ykjang@kookmin.ac.kr

## 그리스 문자

- $\alpha$  : 열확산계수 [m<sup>2</sup>/s]  
 $\beta$  : 열팽창계수 [1/K]  
 $\Delta H$  : 유입구와 유출구 높이차 [m]  
 $\Delta H_i$  : 온도구배영역의 열전대 높이차 [m]  
 $\Delta \theta_{ref}$  : 유입수와 저장온수의 무차원온도차 [°C]  
 $\Delta T$  : 기준온도차,  $T_h - T_c$  [°C]  
 $\Delta T_i$  : 온도구배영역의 열전대 사이 온도차 [°C]  
 $\theta$  : 무차원온도,  $(T_i - T_c)/(T_h - T_c)$   
 $\theta_1$  : 하부온도보다 10% 증가한 무차원온도 [°C]  
 $\theta_2$  : 상부온도보다 10% 감소한 무차원온도 [°C]  
 $\tau$  : 무차원시간,  $t_x/t$   
 $\psi$  : 성층도, 식(2)

## 1. 서론

최근 들어 에너지의 효율적인 이용을 위하여 축열시스템의 실용화가 가속화되고 있는 현실로 볼 때 에너지 저장문제와 저장된 에너지를 효과적으로 추출하여 냉·난방 부하에 적절히 사용하는 문제는 중요한 연구대상이 되고 있다.<sup>(1)</sup>

축열조 내에 저장된 온수를 효과적으로 이용하기 위해서는 온수 추출과정 동안 추출되는 온수의 열유동 특성을 고찰하여 유입냉수와 저장온수의 혼합을 최소화시킬 수 있는 방법을 파악해야 한다. 온수 추출과정 동안 시간의 변화에 따른 축열조 내의 온도분포와 온도구배영역의 해석을 통하여 축열조 하부와 상부에서의 혼합정도와 중간 경계면에서의 혼합 정도를 예측할 수 있다.<sup>(3,4)</sup>

온수 추출에 대한 연구는 1977년 Lavan and Thompson<sup>(5)</sup>이 원통형 수직 저장조를 가지고 처음 시도하였다. 연구결과 축열조 직경에 대한 높이의 비( $H/D$ )가 3인 경우에 저장수와 유입수와 온도차가 증가하고, 유입수의 유동률이 감소할수록 열성층이 향상되어 온수 이용률을 증가시켰음을 밝혔다. 또한, 각종 실험변수들을 포함하는 무차원 수인 Re 수와 Gr 수에 대한 추출효율과의 상관관계식을 도출하였다. 1979년 Loehrke et al.<sup>(6)</sup>은 축열조 유입구 형상을 단순원형관이 아닌 분배공 형태로 만들어서 유입되는 유입수의 관성력을 감소시켜 열성층을 향상시킬 수 있음을 실험

을 통하여 밝혔다. 1989년 Pak et al.<sup>(7)</sup>은 축열조 상부로 유입되는 유동의 교란에 의하여 발생하는 혼합을 억제하기 위하여 분배관(perforated distributor)을 제작하여 실험한 결과 단순원형관을 사용한 경우보다 축열효율이 10~30% 향상됨을 밝혔다. 또한, 1995년 Yoo and Pak<sup>(8,9)</sup>은 성층 축열조에 대한 1차원적인 이론해석을 통하여 실험 결과<sup>(7)</sup>와 잘 일치함을 밝혔다.

본 연구에서는 선행 연구결과에 따라 온수 추출 시에 유입냉수와 저장온수와 혼합을 최소화시켜 성층을 안정되게 유지하고 온수 이용률을 높이기 위한 적절한 유출조건을 제시하기 위하여 온수추출과정을 지배하는 동적, 기하학적 인자들에 대한 축열조 내의 온수와 냉수의 성층특성 및 온수 이용률에 대하여 고찰하였다.

이러한 연구목적을 달성하기 위하여 태양열 집열시스템의 수축열조로 사용되고 있는 축열조를 직경에 대한 유출입구 높이차 비( $h/D$ )가 3인 원형 수직탱크로 만들고 저장조의 설치공간을 최소화하기 위하여 집열된 고온수와 부하측에 이용된 저온수를 동일 탱크에 저장할 수 있도록 하였다. 또한, 유입구는 선행 연구결과<sup>(7,10)</sup>에 따라 형상비( $A$ )가 2인 분배관으로 고정시켰다. 유입 유동률은 4, 6, 8 LPM으로 변화시켰고, 저장온수와 유입냉수와 기준온도차는 10, 20, 30°C의 3단계로 변화시켜 실험하였다. 그리고 축열조 상부 유출구는 형상비( $A=2.5$ ) 및 분배공의 개수(25개)를 동일하게 하고, 분배관의 분배공 배열을 달리한 4개의 수정 분배관(modified distributor)과 단순원형관을 사용하여 유출구 형상변화 및 수정분배관의 분배공 배열변화에 대한 축열조 내의 성층도 및 온수 이용률에 대하여 고찰하였다.

## 2. 관련이론

## 2.1 열성층에 관한 이론

열성층(thermal stratification)은 현열 축열조 내의 서로 다른 온도의 물 사이에서 형성되는 온도층을 의미한다. 이러한 열성층의 크기는 온수추출과정의 초기에는 유입되는 냉수의 유동이 가지고 있는 관성력, 점성력 및 중력 등의 상대적 크기에 영향을 받게 되고, 온수 추출과정 후반부에는 유출구 형상에 따라 변화하는 유출구 주위온

수의 열유동 형태에 의해 지배된다. 따라서 축열조 내에서 발생하는 혼합의 크기를 평가하기 위하여 다음과 같은 해석방법을 적용하고 있다.

2.1.1 Sliwinski 등의 이론<sup>(2)</sup>

축열조 내에 일정한 간격으로 열전대를 설치하여 가장 큰 온도차가 나타나는 두 지점의 열전대를 선정하고, 이 두 지점의 온도값에 최대 온도차의 10% 이내에 해당되는 온도값이 허용되는 상, 하부에 위치한 열전대의 높이차를 온도구배영역으로 표시하였다. 이때의 온도차 및 초기저장수와 유입냉수와의 기준온도차를 이용하여 다음과 같은 성층도(degree of stratification)를 제시하였다.

$$\phi = \frac{\left(\frac{\Delta T_i}{\Delta H_i}\right)}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta H}\right)} \quad (1)$$

2.1.2 성층도

Sliwinski et al.<sup>(6)</sup>의 해석방법은 열전대 간격의 거리에 따라서 열성층의 크기가 달라질 수 있고 열전대의 최대 온도차만으로 온도구배영역의 범위를 결정하는 방법은 기준온도차가 변화되는 경우에는 정확한 열성층의 크기를 판단할 수 없다. 축열조 내의 열성층 형성과정을 알아보는 것은 상부 저장온수와 하부 유입냉수의 온도값으로 결정되고, 이러한 온도값의 차이는 1회 은수 추출 전체과정 동안 변하기 때문에 성층도를 해석하는 방법은 상, 하부의 무차원 온도차를 가지고 추출

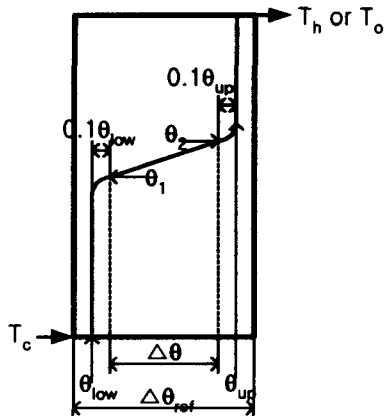


Fig. 1 Definition diagram for degree of stratification.

과정 전체에 대하여 해석하는 것이 바람직하다. 또한, Lavan and Thompson<sup>(5)</sup>의 은수추출 실험 결과에서는 초기저장수의 90% 정도를 추출하여 이용할 수 있고 10% 정도는 유입냉수와 혼합된다는 것을 밝혔다.

따라서 본 연구에서는 1회 은수 추출 전체에 대한 축열조 내의 열성층의 크기를 효과적으로 해석하기 위하여 Fig. 1과 같은 성층도모델을 바탕으로 식(2)와 같은 성층도를 정의하여 은수 추출과정 동안 발생하는 축열조 내의 혼합현상을 해석하였다.

$$\phi = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta\theta_{ref}} \quad (2)$$

2.2 관련 물성치들의 무차원

2.2.1 Peclet 수

은수 추출과정 동안 유입냉수와 저장온수 사이에서 온도구배영역이 형성되면 유입냉수와 온도구배영역 하부의 유체는 서로 열적 평형상태에 접근하게 되고 축열조 상부로 피스톤 유동이 진행됨에 따라 유입냉수와 저장온수의 경계면에서는 유입냉수의 운동량에 의한 혼합과 열전도에 의한 열확산이 일어나게 된다. 이러한 두 가지 인자들은 은수 추출과정 동안 온도구배영역의 두께를 증가시켜 성층도의 감소를 초래하는 중요한 원인이 된다. 따라서 축열조 상부로 피스톤 유동을 하는 은수의 유동형태에 따른 혼합의 크기 및 성층도를 해석하기 위하여 다음 식으로 정의되는 Peclet 수를 사용하였다.

$$Pe = \frac{UH}{\alpha} \quad (3)$$

2.2.2 Froude 수

Froude 수는 비등은 유동장에서 관성력과 중력의 영향을 동시에 받는 경우의 유동특성을 지배하는 무차원수로서 은수 추출 초기 추출 유동률과 기준온도차에 의한 혼합의 크기를 판단할 수 있으며 다음과 같이 정의된다.

$$Fr = \frac{u}{(d_m \Delta T_{ref} g \beta)^{1/2}} \quad (4)$$

### 2.2.3 온수 이용률

부하측에서 이용하고 있는 온수의 이용 정도를 온수 추출시간에 따라 파악하기 위하여 다음과 같은 온수 이용률( $R_u$ )을 정의하였다.

$$R_u = \frac{T_o - T_c}{T_h - T_c} \quad (5)$$

식(5)에 나타난 바와 같이 초기에 저장된 온수가 추출될 때의 온수 이용률의 값은 1이 되며 축열조 하부로 유입되는 냉수가 추출될 때의 온수 이용률의 값은 0이 된다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

실험장치는 축열조(200 L), 온수 공급탱크(Rheem Manufacturing Cop., Model 81V120D), 고온 항온수조(Model C-BGS), 냉수 공급탱크(350 L), 보조탱크, 유량계, 유량조절밸브, PVC 골든 파이프, 순환펌프 등으로 구성되어 있다.

축열조( $\phi 440 \text{ mm} \times H1370 \text{ mm}$ )는 온수 추출과 정동안 내압에 충분히 견딜 수 있도록 두께가 15 mm인 안전 강화 아크릴로 제작하였다. 온수 추출과정 동안 축열조 내의 열유동 특성을 정확히 해석하기 위해서는 축열조 외부로의 열손실을 방지해야 하며, 이를 위해서 두께가 20 mm인 유리 섬유로 축열조 둘레를 감싸고, 그 위에 두께가 10 mm인 토이론과 비닐 테이프를 사용하여 충분히 단열시켰다.

축열조 하부에 암나사를 둔 직경 30 mm의 냉수 유입구를 설치하였으며 축열조 상부에도 역시 암나사를 둔 직경 30 mm의 온수 유출구를 설치하여 유출구 형상을 변화시킬 수 있도록 하였다. 이때 유출구의 높이는 유입구로부터 축열조 직경에 대한 높이의 비가 3인 위치이다.

온수 공급탱크의 용량은 450 L, 전압은 220 V, 전력은 3.75 kW, 최대사용 온수온도는 75°C이며 상·하부에 일정한 온도의 온수를 공급할 수 있도록 자동온도조절기가 부착되어 있다. 축열조의 용량이 200 L이기 때문에 실험조건에 맞는 초기 저장수인 온수를 공급하기에는 충분한 용량이다.

유입구 및 유출구 형상으로서 유입구는 분배관을 사용하였고, 유출구는 유출되는 온수의 관

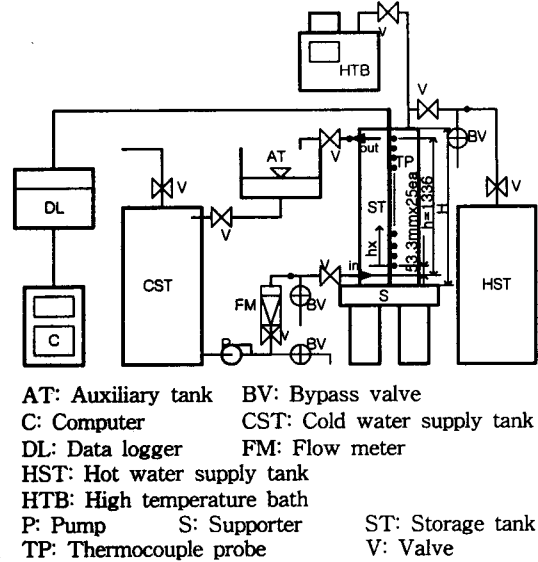


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

성력 크기가 성층도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단순원형관보다 관성력을 효과적으로 감소시킬 수 있는 수정분배관을 고안하여 단순원형관과 4개의 수정분배관 형태를 교체 사용하였다.

이외에 기록 및 측정장치로는 축열조 내의 온도측정을 위하여 Yokogawa사 Model DA 2500E를 사용하였다. 유입구로부터 상방방향으로 매 53.3 mm 간격으로 축열조 중심에 열전대를 등간격으로 25개 설치하여 축열조의 수직 방향에 대한 온도분포를 측정하였다. 열전대는 직경이 0.3 mm인 T형을 스텐인레스 봉에 고정하여 사용하였으며, 사용 온도범위는 -270°C에서 400°C까지이다. Fig. 2는 본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도이고, Fig. 3은 유입구와 유출구 형상이다.

### 3.2 실험방법

(1) 유입냉수를 냉수 공급탱크에 저장하고 초기실험조건 온도에 맞도록 유지시킨다.

(2) 온수 공급탱크의 온도가 실험조건 온도에 도달하면 냉수가 저장된 축열조 내로 유입시키면서 냉수를 유출시킨다.

(3) 유출되는 냉수온도가 실험조건인 축열조 온수온도에 도달할 때까지 온수를 유입시키면서 유출되는 냉수온도와 실험시간을 기록한다.

(4) 바이패스 밸브를 이용하여 배관 내의 유동

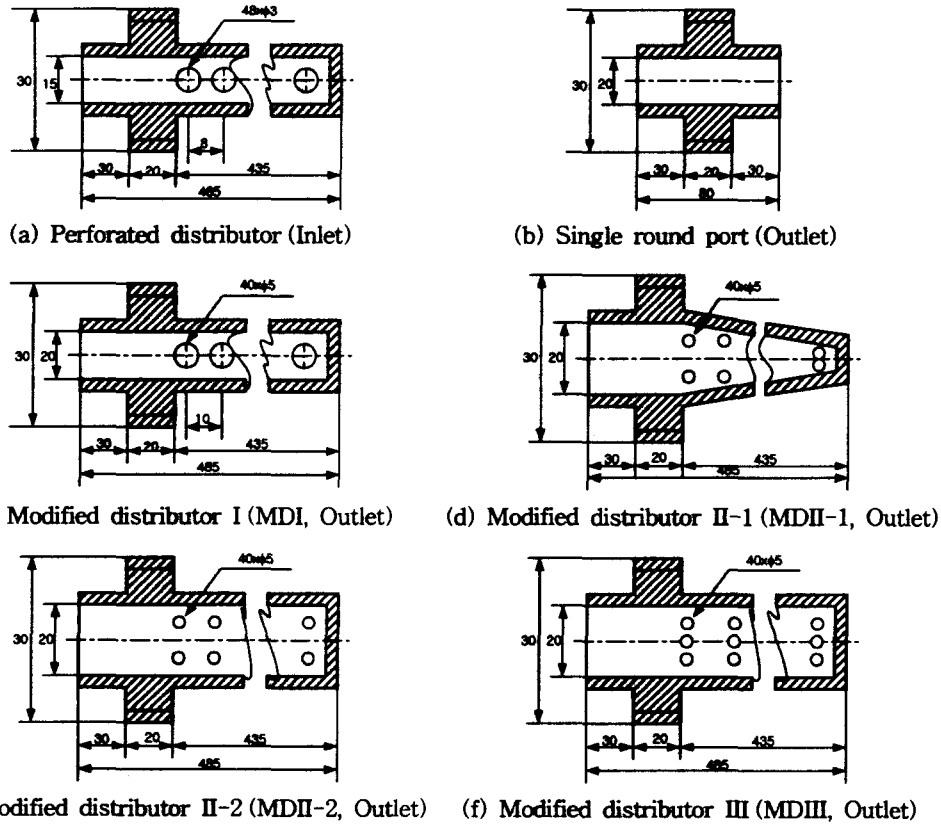


Fig. 3 Inlet/Outlet port types.

을 정상화시키고 냉수 유입 유동률을 조절한다.

(5) 냉수의 유입 유동률이 실험조건에 일치되면 바이패스 밸브를 잠그고 순간적으로 축열조 유입구에 설치된 볼 밸브를 개구시킴과 동시에 유출구에 설치된 볼 밸브를 열어 온수를 유출시킨다.

(6) 냉수가 축열조 하부로 공급되는 순간부터 열전대를 통하여 온도 측정장치인 Yokogawa사 Model DA2500E를 작동시켜 실험 종료시간인 온수의 일회 추출시간 동안에 30초 간격으로 온도를 연속적으로 검출한다.

(7) 각종 실험조건을 변화시키면서 위와 같은 방법으로 온수 추출실험을 반복 수행한다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 축열조 내의 열성층

###### 4.1.1 유출구 형상에 의한 영향

Fig. 4는 온수 추출 유동률이 4 LPM이고 기준

온도차가 30℃인 경우 무차원 온수추출 시간에 대하여 성층도를 각각의 유출구 형상에 대해서 나타내고 있다.

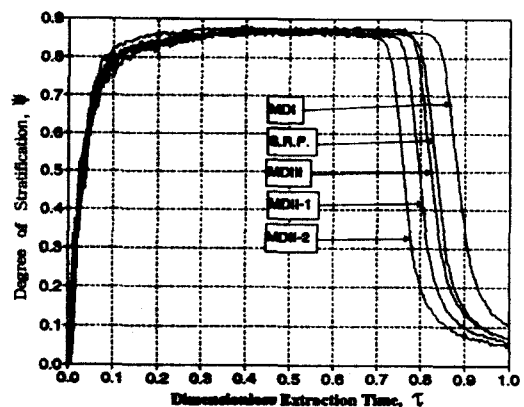


Fig. 4 Effects of outlet geometries on the degree of stratification for  $Q=4$  LPM and  $\Delta T=30^\circ\text{C}$ .

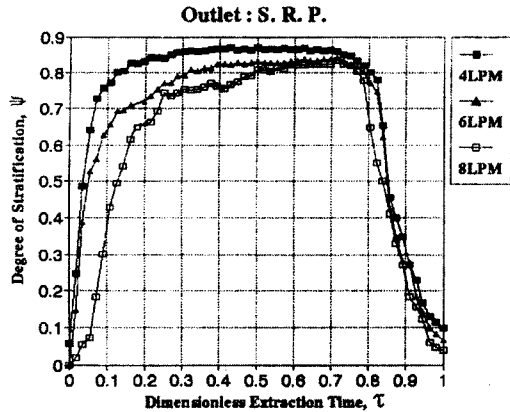


Fig. 5 Effects of flow rate on the degree of stratification for  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ .

그림에서 보는 바와 같이 유출구의 영향을 지배적으로 받는 온수 추출 후반부로 갈수록 성층도에 대한 유출구 형상의 영향이 두드러진 것을 볼 수 있다. 유출구 형상으로 수정분배관 I를 사용했을 때가 온수 추출 종료시까지 가장 높은 성층도를 보이고 있다. 이는 수정분배관 I이 단순원형관보다 추출되는 온수의 관성력을 효과적으로 억제시켰기 때문이다. 또한, 같은 수정분배관인 II-1, II-2, III보다 높은 열성층을 형성한 것은 형상비는 같지만 수정분배관의 배열이 한줄인 수정분배관 I이 실험 초기에 온수를 원활하게 유출시켰기 때문이다.

#### 4.1.2 온수 추출 유동률에 의한 영향

Fig. 5는 유출구로 단순원형관을 사용하고, 유입냉수와 저장온수와의 기준온도차가  $30^{\circ}\text{C}$ 인 경우 온수 추출 유동률을 4, 6, 8 LPM으로 변화시켰을 때 무차원 온수 추출시간에 대한 성층도를 나타내고 있다. 온수 추출 전반부에서 무차원 온수 추출시간  $\tau$ 가 0.7까지는 온수 추출 유동률에 의한 영향이 지배적이다. 또한, 유동률이 저유량일수록 유입수의 관성력이 작기 때문에 안정된 열성층을 형성한다. 그러나 온수추출 후반부에서는 고유량인 8 LPM과 성층도가 비슷하다. 이것은 유동률이 감소할수록 전반부에서는 안정된 열성층을 유지하지만 실험이 진행될수록 1회 온수 추출시간이 긴 저유량일수록 온수와 냉수의 중간 경계면에서의 열전도의 영향을 많이 받아 혼합현상이 후반부로 갈수록 증가하기 때문이다.

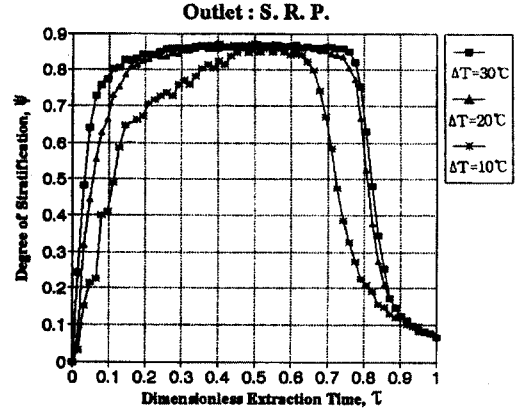


Fig. 6 Effects of temperature difference on the degree of stratification for  $Q=4\text{ LPM}$ .

#### 4.1.3 기준온도차에 의한 영향

온수 추출 유동률이 4 LPM이고 유출구로 단순원형관을 사용했을 때 기준온도차가  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ 에 대한 성층도가 Fig. 6에 나와 있다. 기준온도차가 클수록 유입냉수와 저장온수의 경계면에서의 혼합현상이 줄어들어 성층도가 높다. 이것은 온도차가 증가할수록 저장온수의 부력 증가로 유출되는 온수층은 상부에 정체되고, 유입되는 냉수층은 하부에 가라앉는 현상이 증가하여 유입냉수와 저장온수의 경계면에서의 혼합현상을 감소시키기 때문이다.

## 4.2 온수 이용률

#### 4.2.1 유출구 형상에 의한 영향

Fig. 7은 온수 추출 유동률이 4 LPM, 유입냉수와 저장온수와의 기준온도차가  $30^{\circ}\text{C}$ 일 때 무차원 온수 추출시간에 대한 온수 이용률의 변화를 각각의 유출구 형상에 대해서 나타내고 있다. 수정분배관 I를 사용한 경우 온수와 냉수가 혼합되어 추출되는 혼합수 추출 임계시간이 약간 늦다. 이것은 수정분배관 I를 사용할 경우 온도구배영역의 윗 경계면을 오랫동안 유지시킬 수 있다는 것을 의미한다.

#### 4.2.2 온수 추출 유동률에 의한 영향

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 온수 추출 유동률이 감소할수록 유입냉수의 관성력을 효과적으로 억제시켜 저장온수와 유입냉수 사이의 혼합을 적게

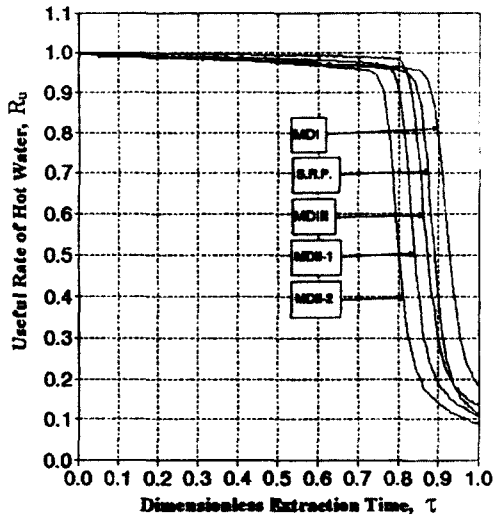


Fig. 7 Effects of outlet geometries on the useful rate of hot water for  $Q=4$  LPM and  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ .

하여 혼합층을 얇게 유지시킴으로써 온도구배영역 상부의 온수를 효과적으로 추출하여 이용할 수 있다.

4.2.3 기준온도차에 의한 영향

Fig. 9는 유출구로 단순원형관을 사용하고 온수 추출 유동률이 8 LPM인 경우 유입냉수와 저장온수의 온도차를 각각 10 $^{\circ}\text{C}$ , 20 $^{\circ}\text{C}$ , 30 $^{\circ}\text{C}$ 로 변화

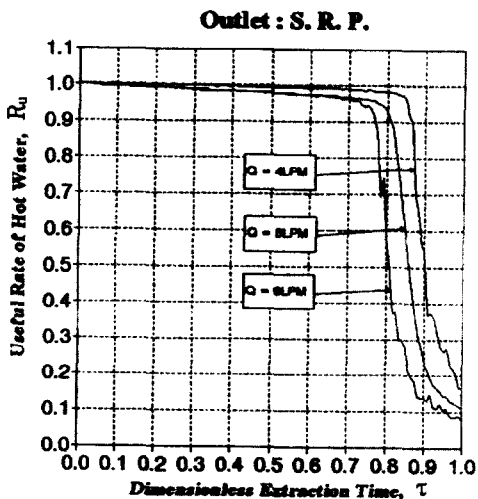


Fig. 8 Effects of flow rate on the useful rate of hot water for  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ .

시켰을 때 무차원 온수 추출시간에 대한 온수 이용률의 변화를 나타내고 있다. 초기 저장상태의 온수를 온수 추출 후반부까지 그대로 이용함으로써 온수 이용률을 높일 수 있다. 이것은 유입냉수와 저장온수의 온도차가 증가할수록 열성층이 안정되게 형성 유지되기 때문이다.

4.3 무차원 수와 성층도의 관계

4.3.1 Peclet 수와 성층도의 관계

유입냉수의 운동량에 의한 혼합과 유입냉수와 저장온수의 경계면에서의 열전도에 의한 혼합의 상대적인 크기의 비인 Peclet 수와 성층도의 관계를 고찰함으로써 유입냉수의 초기 관성력이나 초기 저장수 온도의 크기가 성층도에 미치는 영향을 동시에 확인할 수 있다.

Fig. 10은 유출구 형상으로 단순원형관과 수정분배관 I를 사용한 경우 Peclet 수에 대한 성층도의 변화를 나타내고 있다. 유출구 형상에 관계없이 성층도는 Peclet 수가 증가할수록 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과를 통하여 볼 때 중간경계면에서의 열전도를 통한 확산에 의한 혼합현상보다는 냉수의 유입 초기에 관성력의 크기가 성층도를 결정하고 있음을 알 수 있다. 또한, 유출구 형상으로 수정분배관 I를 사용한 경우가 단순원형관을 사용한 경우보다 성층도가 완만하게 감소하는 경향을 보여준다.

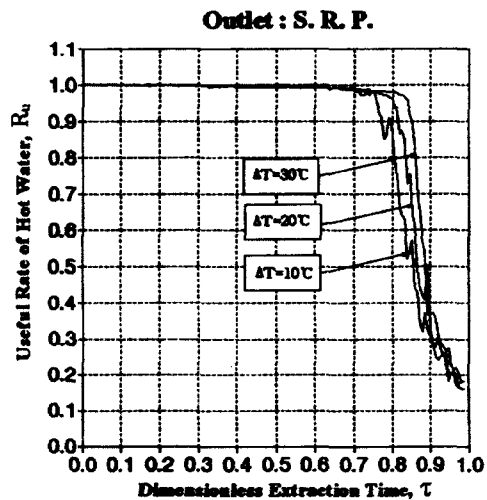


Fig. 9 Effects of temperature difference on the useful rate of hot water for  $Q=8$  LPM.

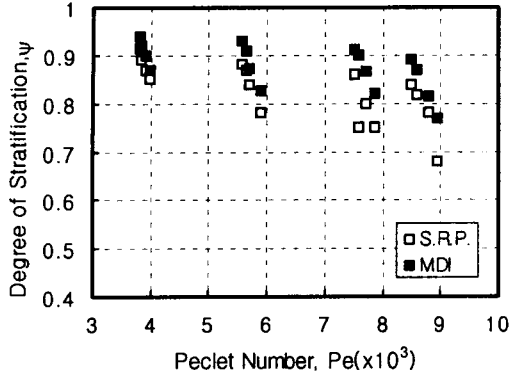


Fig. 10 Relation between degree of stratification and Pelet number.

#### 4.3.2 Froude 수와 성층도의 관계

Fig. 11은 Froude 수에 대한 성층도의 변화를 나타내고 있다. Froude 수가 증가함에 따라 성층도는 선형적으로 감소한다. 유출구 형상이 단순 원형관과 수정분배관 I인 경우 최소자승법을 이용하여 Froude 수와 성층도와의 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\psi = -0.0103 \times Fr + 0.9428 \text{ (S.R.P.)} \quad (6)$$

$$\psi = -0.004 \times Fr + 0.9689 \text{ (MDI)} \quad (7)$$

여기서, Froude 수의 범위는 단순원형관인 경우  $Fr < 30$ 이고, 수정분배관 I인 경우에는  $Fr < 60$ 이다. 성층도는 동일 Froude 수에 대하여 유출구 형상으로 수정분배관 I를 사용한 경우가 큰 값을 나타내고 있고, Froude 수의 증가에 따른 성층도의 감소율 역시 완만하게 변화한다.

이러한 경향으로 볼 때 Froude 수가 증가할수록 수정분배관 I를 유출구 형태로 사용하게 되면 유입되는 냉수의 관성력을 감소시켜 축열조 하부에서 발생하는 냉수와 온수의 혼합을 줄일 수 있다.

## 5. 결 론

축열조 내의 열성층을 향상시키기 위하여 유출구 형상, 유출 유동률 및 기준온도차를 변화시켜 실험한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 같은 동적 조건하에서 온수의 유출구 형상으로 사용한 동일 형상비를 갖는 수정분배관들 중 분배공 배열을 한 줄로 뚫은 수정분배관 I이

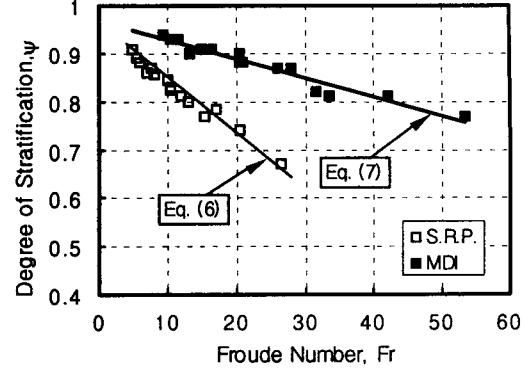


Fig. 11 Relation between degree of stratification and Froude number.

추출되는 온수의 유동을 원활하게 하여 성층도 및 온수 이용률이 높다.

(2) 무차원 온수 추출시간  $\tau$ 가 0.7까지는 온수 추출 유동률에 의한 영향이 지배적이고 유동률이 저유량일수록 유입수의 관성력이 작기 때문에 안정된 열성층을 형성한다

(3) 동일 조건하에서 유입냉수와 저장온수와의 기준온도차가 증가할수록 성층도를 높이고, 온도 구배영역 상부의 온수를 효과적으로 이용함으로써 온수 이용률이 높다.

(4) 유출구로 수정분배관 I를 사용한 경우, 다른 유출구 형태를 사용한 경우보다 성층도가 4.7 ~ 17.3% 높다.

## 참고문헌

1. Garg, H. P., Mullic, S. C. and Bharagava, A. K., 1985, Solar thermal energy storage, Reidel Publishing Company, pp. 82-128.
2. Sliwinski, B. J., Mech, A. R. and Shih, T. S., 1978, Stratification in thermal storage during charging, 6th Int. Heat Transfer Conference, Vol. 4, pp. 149-154.
3. Jaluria, Y. and Gupta, S. K., 1981, Decay of thermal stratification in a water body for solar energy storage, Solar Energy, Vol. 28, No. 2, pp. 137-143.
4. Cole, R. L. and Bellinger, F. O., 1982, Thermally stratified tanks, ASHRAE Trans., Vol. 88, No. 1, pp. 1005-1015.



5. Lavan, Z. and Thompson, J., 1977, Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks, *Solar Energy*, Vol. 19, pp. 519-524.
6. Loehrke, R. I., Holzer, R. I., Gari, J. C. and Sharp, M. K., 1979, Stratification enhancement in liquid thermal storage tanks, *J. of Energy*, Vol. 3, No. 3, pp. 129-130.
7. Pak, E. T., Hwang, S. I. and Choi, Y. I., 1989, Experimental study on the thermal storage efficiency through variable porous manifolds in a test storage tank, *Solar Energy*, Vol. 9, No. 3, pp. 37-43.
8. Yoo, H. and Pak, E. T., 1995, Analytical solutions to a one-dimensional model for stratified thermal storage tanks, *SAREK*, Vol. 7, No. 1, pp. 42-51.
9. Yoo, H. and Pak, E. T., 1995, Theoretical analysis of the charging process with perfectly mixed region in stratified thermal storage tanks, *SAREK*, Vol. 7, No. 2, pp. 184-195.
10. Yoon, Y. H. and Lee, S. H., 1998, Experimental study on flow distribution in manifolds by a tapered header, *SAREK*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-10.