온수 추출에 따른 유동 및 혼합 특성에 관한 연구

A Study on Flow and Mixing Caracteristics according to Hot Water Extraction

장영근*(성균관대대학원), 박이동, 김철주, 황영규(성균관대)

Abstract

In a hot water extraction process, the flow pattern of upper region in a storage tank is a major reason of mixing between hot water and cold water.

In this study, the temperature distribution in a storage tank was measured to predict the flow pattern of upper region, and the degree of stratification was analysed to the variables dominating a extraction process.

And also, it was found that the degree of stratification improved expecially in a low flow rate in case of using modified distributor I(MDI) as a outlet port type.

1. 서론

에너지 저장방식으로서 현재 일반적으로 사용하고 있는 것은 열에너지의 저장 방식이다. 열에너지의 저장 방식으로는 저장매체가 어떠한 상변화도 일으키지 않고 온도차 형태로 저장하는 현열 저장방식과 상변화 물질을 이용한 잠열 저장방식 그리고 화학 반응열이나 용해 회석열등을 이용한 화학 저장방식등이 있다[1, 2]. 이들 중 상용되고 있는 열 에너지 저장시스템은 현열 저장 방법을 이용한 온수 저장 장치이다. 현열 저장 장치의 장점은 축열작용과 방열작용이 완전히 가역적이라는 점이다. 이러한 저장 장치에 사용될 저장 매체로는 물을 선정했다[3].

저장된 에너지를 효과적으로 이용하는 축열 장치는 전기요금이 싼 심야 시간대나 태양열을 이용하는 낮 시간대에 작동되는 축열사이클과 저장된 에너지를 부하요구 시간대에 이용하는 추출 사이클로 구분된다[4]. 축열장치에서 열에너지를 효과적으로 이용하기 위해서는 추출과정도 중요하기 때문에 본 연구에서는 온수추출시에 유동특성과 혼합현상에 대하여 해석하고자 한다.

2. 성층도에 관한 이론적 고찰

2.1 성층도

유입냉수와 저장온수의 혼합으로 인한 에너지 손실은 온수의 이용에 가장 큰 영향을 미치는 손실이기 때문에 유입수와 초기 저장수 사이의 혼합의 크기를 정확하게 파악할 수 있는 방법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 축열조 내의 열성층 정도에 관하여 연구한 선행 연구들이 많이 있으나 약간의 문제점이 있다.

Sliwinski등[5]의 해석방법은 열전대 간격의 거리에 따라서 열성층의 크기가 달라질 수 있고 열전대의 최대 온도차만으로 thermocline영역의 범위를 결정하는 방법은 기준온도차가 변화되는 경우에는 정확한 열성층의 크기를 판단하기가 곤란하다.

또한 Pak등[6]이 정의하여 사용한 thermocline의 크기를 이용하여 열성층 정도를 해석하는 방법은 축열조 내의 열유동 형태를 파악하기에는 효과적이지만 축열조 상부와 하부의 온수와 냉수의 온도값의 크기가 혼합정도에 따라 그 값이 달라지므로 온수추출 과정동안 혼합의 크기를 나타내는 방법으로서 사용하기에는 문제점이 있다.

그리고 축열조 내에서의 성층을 형성하는 것은 저장온수와 유입냉수의 온도차로 인하여 발생하고 이러한 온도값의 차이는 1회 온수추출 전체적으로 변화하고 있다.. 그러므로 1회 온수추출 전체에 대하여 축열조 내의 열성층의 크기를 효과적으로 해석하고 또한 각각의 실험조건에 대하여 성층도의 최대값을 알아서 최대 성층도에 어느정도 접근하는가를 알아보고 중간경계면에서 혼합현상을 알아보기 위하여 Fig. 1을 이용하여 다음과 같은 성층도를 정의하고 열성층을 해석하였다.

$$\text{Degree of stratification}(\Psi) = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta\theta_{ref}}$$

$\Delta\theta_{ref}$: 유입수와 초기 저장수와의 무차원 온도차

θ_2 : 축열조 상부온도보다 10%감소한 무차원온도

θ_1 : 축열조 하부온도보다 10%증가한 무차원온도

윗 식의 성층도는 실험 전반부에는 축열조 하부의 무차원온도($\theta_{th,l}$), 후반부에는 상부의 무차원온도($\theta_{th,u}$)의 영향을 받는다. 그리고 최대 성층도는 온수와 냉수의 중간 경계면에서의 혼합현상을 고려하여 0.9로 하였다.

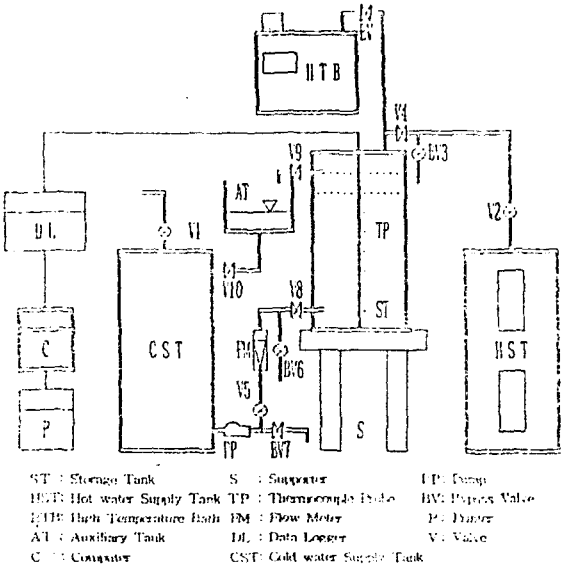

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

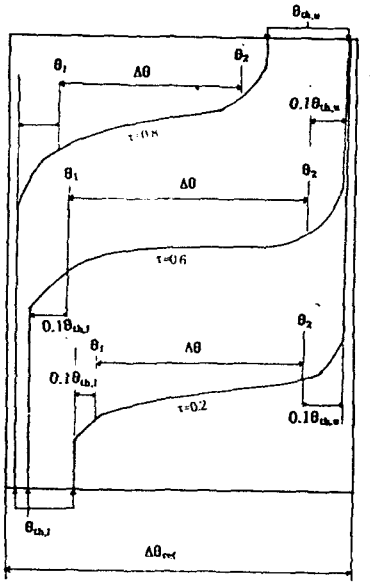

Fig. 1 Definition diagram for degree of stratification.

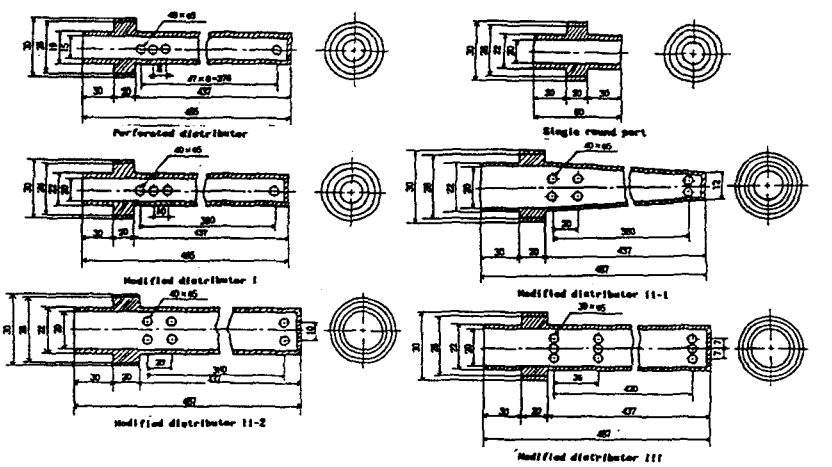

Fig. 3 Inlet and outlet port type.

3. 실험

3.1 실험장치

실험장치는 축열조(200 ℓ), 온수 공급 탱크(Rheem Manufacturing cop., Model 81V120D), 고온 항온수조(Model C-BGS), 냉수 공급탱크(350 ℓ), 보조탱크, 유량계, 유량조절 밸브, PVC 골든 파이프, 순환펌프등으로 구성되어 있다. 유입구는 형상비(α=Distributor 분배공의 총 단면적/유입구의 단면적) 2인 perforated distributor 만을 사용하였고 유출구는 단순 원형관과 형상비(α)가 2.5

로 동일한 4개의 수정 distributor를 사용하였다. 그 밖에 기록 및 측정장치로는 축열조내의 온도측정을 위하여 Yokogawa사 Model DA2500E를 사용하였다.

Fig. 2는 본 실험에서 사용한 실험 장치의 개략도이며 Fig. 3은 유입구 및 유출구 형태를 나타내 주고 있다.

3.2 실험방법

(1) 실험 조건 온도에 맞도록 온수 공급 탱크의 온도 조절기를 세팅한다.
(2) 냉수를 냉수 공급 탱크에 저장하고 실험 조건 온도에 맞도록 유지시킨다.
(3) 온수 공급 탱크의 온도가 실험 조건 온도에 도달하면 축열조 내로 유입시키고 순환을 시켜 축열조 상, 하부의 온도차를 일정하게 조절한다.
(4) 축열조와 냉수 공급 탱크 내에 있는 온수와 냉수가 열적, 동적으로 안정되면 냉수를 유입시킴과 동시에 유출구로 온수를 유출시킨다.
(5) 냉수가 공급되는 순간부터 온도 측정 장치인 Yokogawa사 Model DA2500E를 작동시켜 30초 간격으로 온도를 연속적으로 검출한다.
(6) 실험조건을 변화시키면서 위와같은 방법으로 실험을 반복 수행한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 축열조 내의 온도분포

Fig. 4 ~ Fig. 7은 동일조건하에서 유출구로 사용한 단순원형관과 수정 distributor와의 온도분포를 온수 추출 후반부에 대해서 비교한 그래프이다.

유출구 형상에 관계없이 온수 추출시간에 따른 축열조 내의 온도분포는 비슷한 경향을 보이고 있지만 동일 무차원 온수추출시간에 있어서의 thermocline의 위치라든지 thermocline 하부의 온도분포등이 약간의 차이가 있다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 수정 distributor I이 단순원형관보다 thermocline이 축열조 하부에 더 낮게 유지함을 볼 수 있다. 이는 수정 distributor I이 추출되는 온수의 유동을 원활하게 하여 유입 냉수와의 혼합을 최소화 시켰기 때문이다. 그리고 Fig. 5 ~ Fig. 7에서 나타난 것과 같이 분배공을 2줄, 3줄로 뚫은 수정 distributor가 단순원형관과 비슷한 온도분포를 보이고 있으며 특히 Fig. 6에서 수정 distributor II-2는 단순원형관보다 thermocline이 축열조 상부로 더 높게 형성함을 볼 수 있다.

4.2 축열조 내의 열성층

Fig. 8에서 보는 바와 같이 유출구의 영향을 지배적으로 받는 온수 추출 후

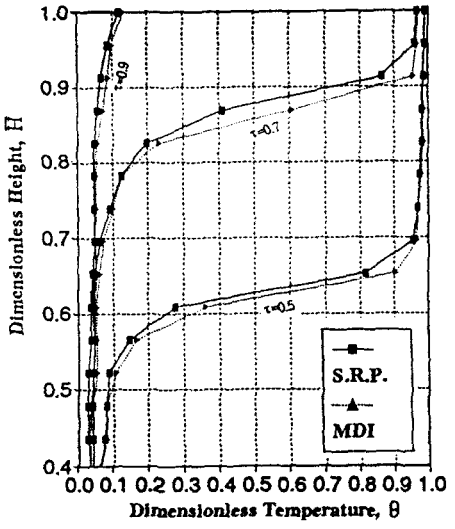

Fig. 4 Dimensionless temperature profiles in a storage tank for Q=6LPM and ΔT=20℃.

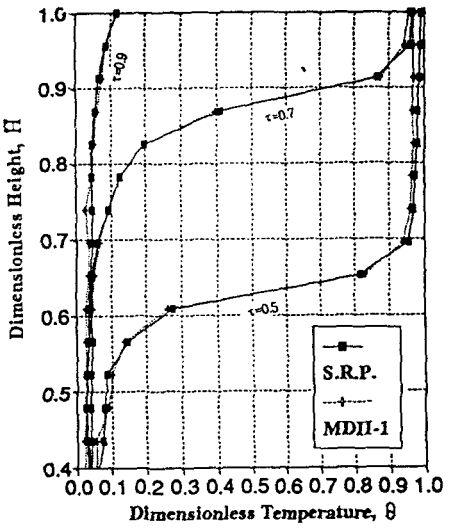

Fig. 5 Dimensionless temperature profiles in a storage tank for Q=6LPM and ΔT=20℃.

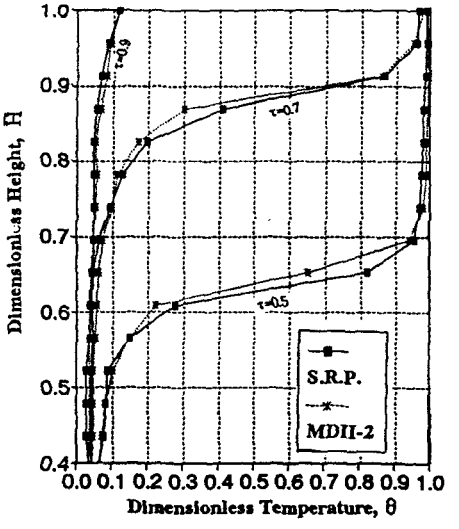

Fig. 6 Dimensionless temperature profiles in a storage tank for Q=6LPM and ΔT=20℃.

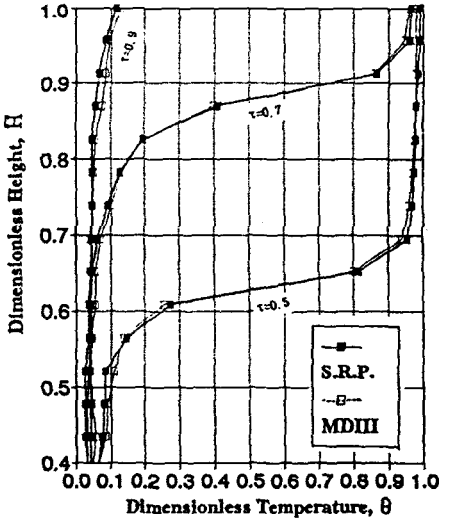

Fig. 7 Dimensionless temperature profiles in a storage tank for Q=6LPM and ΔT=20℃.

반부로 갈수록 성층도에 대한 유출구 형상의 영향이 두드러진 것을 볼 수 있다. 유출구 형상으로 수정distributor I를 사용했을 때가 온수 추출 종료시까지 가장 높은 성층도를 보이고 있다. 이는 수정 distributor I이 단순원형관보다 추출되는 온수의 관성력을 효과적으로 억제시켰기 때문이다.

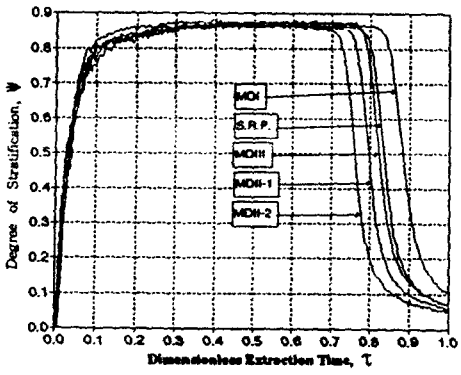

Fig. 8 Effects of outlet geometries on the degree of stratification for Q=4LPM and ΔT=30℃.

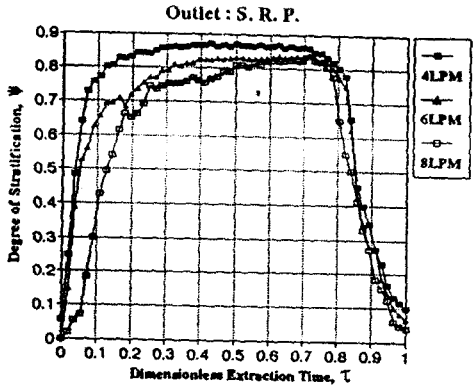

Fig. 9 Effects of flow rate on the degree of stratification for ΔT=30℃.

또한 같은 수정 distributor인 II-1, II-2, III 보다 높은 열성층을 형성한 것은 같은 형상비 이지만 수정 distributor의 배열이 한줄인 수정 distributor I 이 실험초기에 온수를 원활하게 유출시켰기 때문이다.

Fig. 9에서와 같이 온수추출 전반부에서 무차원 온수 추출시간 τ 가 0.7 까지는 온수 추출 유동율에 의한 영향이 지배적임을 알 수 있다. 온수추출 유동율이 저유량일수록 유입수의 관성력이 작으므로 실험 전체적으로 안정된 열성층을 형성 유지함을 볼 수 있다.

그러나 온수추출 후반에 가서는 고유량인 8LPM과 성층도가 비슷함을 볼 수 있다. 이는 온수 추출 유동율이 감소할수록 전반부에서는 안정된 열성층을 유지하지만 실험이 진행될수록 온수와 냉수의 중간 경계면에서의 열전도의 영향을 받아 1회 온수 추출시간이 긴 저유량 일수록 열전도 시간의 증가로 인하여 중간 경계면에서 혼합현상이 후반부로 갈수록 많은 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

Fig. 10에서는 기준온도차가 클수록 유입냉수와 저장온수의 경계면에서의 혼합이 줄어 들어 높은 성층도를 나타냄을 볼 수가 있다.

이는 온도차가 증가될수록 부력이 증가하여 유입냉수와 저장온수의 경계면에서의 혼합현상을 방지하기 때문이다.

5. 결론

같은 동적 조건하에서 온수의 유출구 형상으로 사용한 동일 형상비를 갖는

수정 distributor들 중 분배공 배열을 한줄로 뚫은 수정 distributor I이 추출되는 온수의 유동을 원활하게 하여 thermocline의 위치가 축열조 하부에 더 낮게 위치함을 알 수 있었다.

그리고 온수추출시 유입냉수와 저장온수와의 기준온도차가 클수록, 온수 추출 유동율이 작을수록 또한 수정 distributor I을 사용할 경우 온도 구배 영역의 혼합이 감소하여 열성층을 향상시키기 때문에 성층도를 증가시킬 수 있었다.

참고문헌

1. H. P. Garg, S. C. Mullic and A. K. Bharagava, " Solar Thermal Energy Storage ", D. Reidel Publishing Company, pp. 82-128, 1985.
2. T. D. Brumleve, " Sensible Heat Storage in Liquids ", Sandia Lab. Energy Report, SLL-73-0263, 1974.
3. S. Kakac, E. Paykoc, Y. Yener, " Energy Storage System ", Kluwer Academy Publishers, pp. 129-161, 1989.
4. 박이동, " 태양열의 성층축열과 주택이용에 관한 연구 ", 동력 자원부 연구 보고서, 901A301-345AG, 1992.
5. B. J. Sliwinski, A. R. Mech and T. S. Shih, " Stratification in Thermal Storage during Charging ", Proceedings of the 6th International Heat Transfer Conference, Toronto, Vol. 4, pp. 149-154, 1978.
6. 박이동, 황성일 ,최영일, "실험 저장조 내의 유입구 형상 변화에 따른 열저장효율에 관한 실험적 연구", 태양에너지, Vol.9,No.3,37-43, 1989.

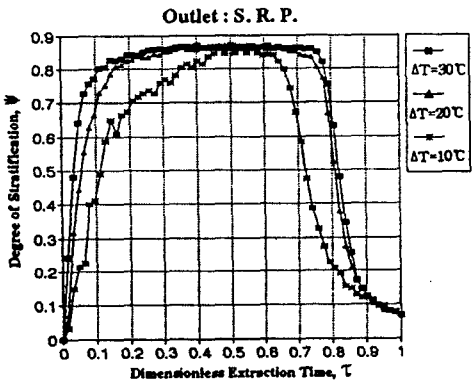

Fig. 10 Effects of temperature difference on the degree of stratification for Q 4LPM.