

수축열조의 성능에 대한 설계인자의 영향

정재동†, 박주혁, 조성환*

세종대학교 기계공학과, *한국에너지기술연구원

Effect of Design Factors on the Performance of Water-Chilled Heat Storage

Jae Dong Chung†, Joohyuk Park, Sung-Hwan Cho*

Department of Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

*Korea Institute of Energy Research, Taejon, 305-343, Korea

요 약

열저장 목적으로 사용되는 많은 방법들 중에서 특히 수축열 방법은 낮은 초기 설치비와 유지비, 높은 효율, 환경친화적인 장점 등으로 널리 사용되고 있다. 예를 들어 1998년 미국 전체 열저장 시스템의 34%가 수축열 방법을 사용하며 그 중 60%는 축열물질의 온도에 따른 밀도변화를 이용하는 성층축열(Stratified Thermal Storage)방식을 택하고 있다. 이 경우 열성층은 축열시스템의 성능에 직접적인 영향을 미치며, 시스템의 성능향상을 위해서는 운전과정동안 열성층을 최대한 잘 유지시키는 것이 중요하다. 기존의 연구에서 열성층의 파괴 인자는 입구부근에서의 유체혼합, 불완전한 단열에 의한 열손실, 용기벽면을 통한 열전도, 유체내의 열확산 등으로 알려져 있다. 그 중에서 입구에서의 유체혼합은 가장 주요한 성층파괴 인자로 알려져 있어 전체 성능 향상을 위해서는 디퓨저의 설계가 중요한 과제이다. 선행연구를 통해 새롭게 제안된 디퓨저의 정성적인 우수함은 확인되었으며 본 논문에서는 이의 정량적인 영향과 더불어 축열조 성능에 영향을 미치는 것으로 알려진 다른 3가지 설계인자(Re, Fr, d)의 영향을 체계적으로 살펴보고자 한다. 이를 위하여 각종 설계변수들의 영향도 분석에 매우 적절한 도구로 알려진 다구찌법(Taguchi method)을 도입한다. 단지 구상 안(案)에 대한 성능의 비교 우위를 판정하거나 부분적인 설계의 변동을 이용한 성능의 평가를 판정하는 것은 지양하고 설계변수들의 영향도를 파악하여 설계에 응용할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

성층축열방식에서 가장 중요한 열성층 파괴 인자는 입구 부근에서의 유체혼합으로 알려져 있으며, 이에 영향을 미치는 디퓨저의 형상, 크기, Re수, Fr수의 영향을 수치실험 하였다. 실험을 대체하는 수치실험은 비록 실험으로 얻을 수 없는 간편함과 적은 비용, 시간을 제공하지만 많은 수의 인자의 영향을 모두 살펴보기에는 역시 제한적일 수밖에 없다. 예를 들면 3수준의 3인자와 2수준의 1인자를 고려하기 위해서는 총 $2 \times 3^3 = 54$ 의 수치실험이 필요하게 된다. 3차원 비정상 해석이라는 특성상 매 수치실험당 2.4GHz Pentium 4 PC에서 약 48시간이 소요되므로 모든 경우를 고려하기에는 어려움이 따른다. 더구나 고려하는 설계인자가 늘어날 경우 비록 수치적 접근일지라도 보다 합리적인 실험계획법에 근거한 체계적인 접근이 필요할 것이다. 전체적인 축열조의 형상은 고정하고 4가지 설계인자에 대해 2수준의 디퓨저형상과 그 외 인자에 대해서는 3수준으로 하여 $L_8(2 \times 3^7)$ 의 직교배열표에 근거하여 해석하였다. 분산분석결과 축열조 성능에 최적의 조건을 제공하는 인자의 조합은 디퓨저 크기 $d=200\text{mm}$, $Re=1200$, $Fr=0.5$ 임을 알 수 있다. 교호작용에 의한 $Fr \times d$ 와 $Re \times Fr$ 의 영향은 무시할 수 있으며 각 인자의 축열조 성능에 대한 기여도는 $Re \sim Re \times d > d > Fr$ 로 나타났다. 흥미로운 사실은 주효과로서의 디퓨저의 크기(d) 자체보다도 Re와 디퓨저의 크기(d)의 교호작용에 의한 영향이 더 크다는 사실이다. 또한 축열조에 온수가 공급되는 초기와 중기, 후기에서 각 인자 또는 그 교호작용에 의한 영향의 중요성이 변하는 결과를 얻었다.