

중온 태양열 축열조용 히트파이프의 열이송 성능

*박 민규, 이 정륜, **부 준홍

The Heat Transfer Performance of a Heat Pipe for Medium-temperature Solar Thermal Storage System

*Min Kyu Park, Jung Ryun Lee, **Joon Hong Boo

태양열 발전 플랜트에 사용되는 중온은 범위의 축열조에 고체-액체간 상변화를 수행하는 용융염을 축열물질로 사용하면 액체상 또는 고체상만으로 된 열저장 매체에 비해 축열조의 규모를 축소함과 동시에 축열온도의 균일성 향상에 기여할 수 있다. 중온인 250 ~ 400°C 범위에서 이용 가능한 용융염으로는 질산칼륨(KNO_3), 질산리튬($LiNO_3$) 등이 있다. 그러나 이러한 용융염의 가장 큰 단점은 열전도율이 매우 낮다는 것이며, 이로 인해 요구되는 열전달률을 성취하기 위해서는 많은 열접촉면적이 필요하다는 것이다. 이러한 단점을 극복하는 방법을 도입하지 않고서는 축열시스템의 소규모화를 성취하는데 큰 효과를 가져올 수 없다. 한편 열수송 성능이 탁월한 히트파이프를 사용하면 열원 및 열침과 축열물질 사이의 열전달 효율을 증가시켜 시스템의 성능 향상과 동시에 소규모화에 기여할 수 있다. 중온 범위 히트파이프의 작동유체로서 다우섬-A(Dowtherm-A)는 150°C 이상 400°C까지의 범위에서 소수에 불과한 선택적 대안 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 용융염을 사용하는 중온 태양열축열조에 적용 가능한 다우섬-A 히트파이프의 성능을 파악하여 기술적 자료를 제시하고자 하였다. 열원으로는 고온 고압의 과열증기, 그리고 열침으로는 중온의 포화증기를 고려하였다. 용융염 축열조를 수직으로 관통하는 히트파이프는 하단부에서 열원 증기와 열교환 가능하며, 중앙부에서 축열물질과 열교환하고, 상단부에서는 중온 증기와 접촉할 수 있도록 배치하였다. 축열모드에서는 히트파이프의 하단부가 증발부로 작동하고, 중앙부가 응축부로 작동하여 용융염으로 열을 방출하면 용융염의 온도가 상승하고 용융점에 도달하면 액상으로서의 상변화가 진행되면서 축열이 활성화된다. 축열모드에서 히트파이프의 상단부는 단열부로 작동한다. 방열과정에서는 히트파이프의 하단부가 단열된 상태이고, 중앙부는 용융염으로부터 열을 받아 증발부로 작동하며, 상단부는 중온 증기로 열을 방출하므로 응축부로 작동한다. 즉, 축열시스템의 작동모드에 따라 하나의 히트파이프에서 증발부, 응축부, 단열부의 위치가 변하게 된다. 특히, 히트파이프의 중앙 부분이 응축부에서 증발부로 전환될 때에도 작동이 보장되려면 내부 작동유체의 연속적인 재순환이 가능해야 하므로, 일반 히트파이프에서와는 달리 초기 작동액체의 충전량을 증발부 전체의 체적보다 더 많이 과충전해야 한다. 이러한 히트파이프의 성능 파악을 위한 실험에서 고려한 변수들은 열부하, 작동액체의 충전률, 작동온도 등이며, 열수송 성능의 지표로서는 유효열전도율과 열저항을 이용하였다. 중온범위에서 적절한 작동온도를 성취하기 위해 실험에서는 전압 조절기로 열부하를 조절하는 동시에 항온조로 응축부의 냉각수 입구 온도를 제어하였다. 하나의 히트파이프에 대해서 최대 1 kW까지의 열부하에서 냉각수 입구 온도를 40°C에서 80°C 범위로 변화시키면 히트파이프 작동온도를 약 250°C 내외로 조절 가능하였다. 히트파이프 작동액체 충전률은 워구조물의 공극 체적을 기준으로 372%에서 420%까지 변화 시켰다. 실험 결과를 토대로 열저항과 유효 열전도율을 각각 입력 열유속, 작동온도, 작동액체 충전률 등의 함수로 제시했다. 동일한 냉각수 온도에서는 충전률이 높을수록 히트파이프의 작동온도가 감소하였다. 열저항 값의 범위는 최소 0.12 °C/W에서 최대 0.15 °C/W까지로 나타났으며 유효 열전도율의 값은 최소 7,703 W/m·K에서 최대 8,890 W/m·K까지 변화했다. 최소 열저항은 충전률 420%인 경우에 나타났는데 이때의 작동온도는 약 262°C이었다. 히트파이프의 작동한계로서 드라이아웃(dry-out)은 충전률 372%의 경우에 열부하 950 W에서 발생하였으나, 그 이상의 충전률에서는 열부하 1060 W까지 작동한계 발생이 관찰되지 않았다. 실험 결과 본 연구에서의 히트파이프는 중온 태양열 축열조에 적용되어 개당 약 1 kW의 열부하를 이송하면서 축열물질 및 축방열 대상 유동매체와 열교환을 하는데 사용하는데 충분할 것이라 판단된다. 본 연구는 한국에너지기술평가원의 연구비지원으로 수행되었다.(과제번호: 2005-N- SO17-P-01)

Key words : Thermal storage system(축열 장치), Medium temperature(중온), Heat pipe(히트파이프), Working fluid charge amount(작동액체 충전량)

E-mail : *deathvolt@kau.ac.kr, **jhboo@kau.ac.kr