

염화 마그네슘 수화염을 이용한 잠열 저장 시스템에서의 축열과정의 열전달 특성

Heat Transfer Characteristics in a Latent Heat Storage System Using $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ During Melting Process

최 종찬⁰(정), 김 상돈(중)

한국과학기술원 화학공학과

1. 서 론

대체에너지원인 태양 에너지, 산업 폐열 및 심야 잉여전력등의 회수 및 이용에는 효율적인 에너지 저장 기술이 필요하다. 상변화 물질 (phase change material)의 잠열을 이용한 에너지 저장 (latent heat thermal energy storage) 시스템의 사용은 효율적인 열 저장 기술 중의 하나이다. 그러나 높은 축열밀도와 거의 동온에서의 열회수의 장점을 갖고 있으나, 대부분의 수화염은 과냉각 및 상분리현상을 갖고 있어서 에너지 회수의 어려움 및 반복적인 축·방열과정에 따라 저장 능력이 감소하게되며 이것을 방지하기 위하여 첨가한 조핵제와 증점제로 인하여 열전도도가 더욱 낮아지기 때문에 열성능이 감소하는 단점이 있다. 본 연구에서는 흡수식 냉동기 및 Rankine cycle 의 고온축 열저장에 적용가능한 magnesium chloride hexahydrate ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$, melting temperature = 116.7°C) 를 사용하였으며 열성능을 향상시키기 위하여 전열관에 2종류의 환형 핀을 부착하였다. 열전달 유체 (공기) 의 주입온도와 유량 및 전열관 형상 (평관, 핀관) 이 축열과정의 열전달 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험

축열시스템의 개략도 및 전열관의 상세도를 Fig. 1, 2 에 나타 내었다. 축열조 (TES vessel) 는 55 mm i. d. x 140 mm high x 2.5 mm thick 의 원통형 Pyrex glass 이다. 전열관은 stainless steel 의 이중관으로 구성 (외관: 9.4 mm o. d. x 100 mm long x 0.45 mm thick, 내관: 6.35 mm o. d. x 100 mm long x 0.45 mm thick) 되었으며 환형 핀은 외경 30 mm 와 두께 0.7 mm 이다. 잠열 축열제 온도 분포를 측정하기 위하여 12개의 열전대를 삽입 (반경방향: 5 mm 간격으로 5개, 축방향: 20 mm 간격으로 5개, 최외각: 상·하 2개) 하였으며, 공기의 유입 및 유출온도 측정을 위하여 2개의 열전대를 사용하였다. 모든 열전대는 0.25 mm 직경의 copper-constantan (T-type) 선을 석면으로 절연하여 스테인레스 보호관에 삽입되었으며 각 열전대의 측정온도 상대오차가 0.1° C 이하임을 확인하였다. 실험중 온도 변화과정은 30 초 간격으로 기록되며 data acquisition system 을 거쳐 personal computer 에 저장되었다. 액·고체상의 밀도차 에 의한 상변화시 축열재의 부피변화를 측정하기 위하여 liquid paraffin을 채운 scale cylinder 를 이용하였다. 잠열 축열재의 과냉각을 방지하기 위하여 calcium oxalate ($CaC_2O_4 \cdot H_2O$) 를 0.5 wt % 첨가 하였으며, 총 축열용량은 약 100 kJ 이다. 열전달 유체의 유입온도 및 유량범위는 140 - 180° C 및 20 - 50 l/min 이다.

3. 결 과

1) 축·방열 과정에서 1° C 이하의 아주 작은 과냉각을 나타내었으며, 상분리현상은 전혀 나타나지 않았다. 2) 평관에서는 전열관 근처에서만 온도구배가 큰 반면, 핀관의 경우는 반경방향 전체에 걸쳐서 온도구배가 고르게 발달하여 열전달을 촉진시키는 것으로 나타났다. 3) 회수열량을 무차원수 Fourier, Stefan 및 Reynolds number 의 함수로 표현하였으며, unfinned·5-finned·10-finned tube 모두의 경우 열성능에 미치는 영향은 공기유량보다 유입온도가 더 크게 나타났다.

· unfinned tube

$$Q/Q_{\max} = 7.42 \times 10^{-4} Fo^{0.964} Ste^{1.07} Re^{0.477}$$

reg. coef. = 0.998, rel. st. dev. = 0.042

· 5-finned tube

$$Q/Q_{\max} = 10.1 \times 10^{-4} Fo^{0.915} Ste^{0.944} Re^{0.453}$$

reg. coef. = 0.990, rel. st. dev. = 0.083

· 10-finned tube

$$Q/Q_{\max} = 24.9 \times 10^{-4} Fo^{0.848} Ste^{1.07} Re^{0.403}$$

reg. coef. = 0.988, rel. st. dev. = 0.093

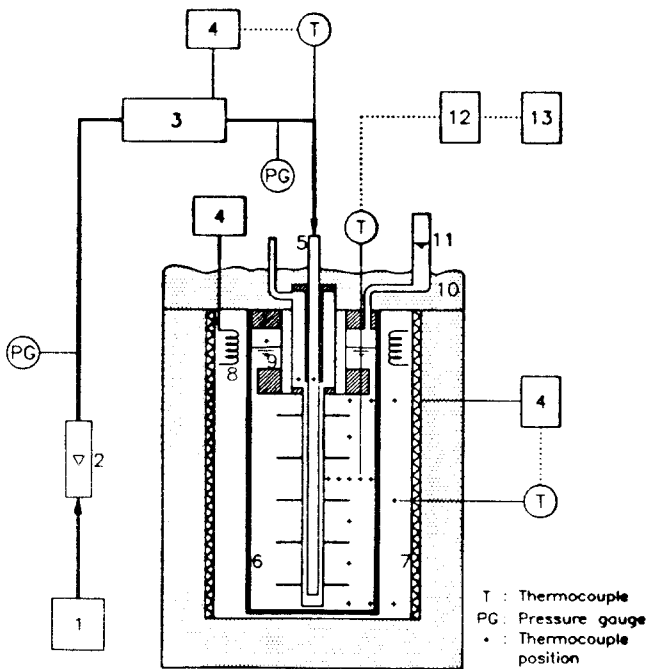


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus

- 1, compressed air source; 2, flow meter;
- 3, air heater; 4, PID controller;
- 5, heat transfer tube; 6, TES vessel;
- 7, electric heater; 8, auxiliary heater;
- 9, PCM reservoir; 10, insulating material;
- 11, scale cylinder; 12, temperature recorder;
- 13, personal computer

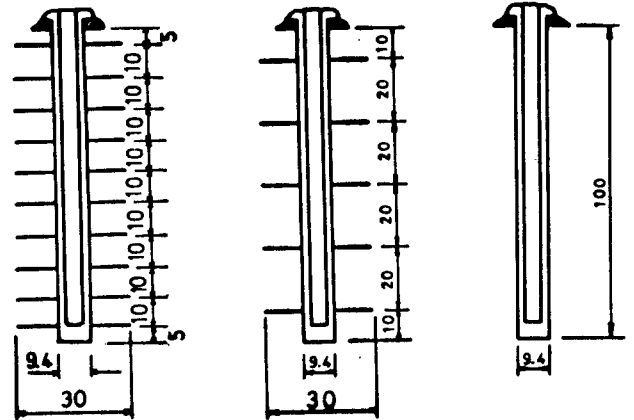


Fig. 2 Details of heat transfer tubes