

히트파이프 최적 작동유체 주입량 분석

Analysis for Optimum Quantity of Working Fluid in Heat Pipe

이귀현* 최진수*
G. H. Lee J. S. Choi

1. 서 론

히트파이프는 열전달장치로 Wick이 있는 히트파이프와 Wick이 없는 히트파이프가 있으며, Wick이 없는 것을 써모사이폰이라고 한다. 히트파이프는 일정 용기내부를 진공상태(0.5×10^{-4} TORR)로 하고 작동유체를 주입 밀봉한 것으로 일반적으로 증발부, 단열부, 응축부로 구분할 수 있다. 히트파이프는 작동유체가 밀폐된 용기 내에서 증발과 응축의 상변화를 반복하면서 자력으로 증발부와 응축부 사이를 순환하며 작은 온도차에서 많은 열을 수송하는 대단히 효과적인 열전달기구이다. 이러한 히트파이프의 열전달은 구리의 열전도도보다 1,300배 이상 빠르다. 히트파이프의 용기는 용기 스스로가 갖는 내부(위치)에너지의 양이 매우 적으며 외부에서 유입된 에너지의 97.5%이상을 용기외부로 전달하는 일 에너지로 구성되어 에너지의 이용 및 재 회수 효율이 매우 우수하다. 히트파이프를 단위시간별로 이제까지의 열 전달방법과 비교할 때 상대적으로 적은 에너지로 많은 일(열전달)을 할 수 있는 고 효율의 열전달 장치이며 에너지전용에 있어서 가장 효율적이라 할 수 있다. 히트파이프는 자체 응답성이 좋고, 구조가 간단하며, 전열성이 뛰어난 장점으로 인해 많은 연구가 이루어지고 있으며 히트파이프의 응용분야는 인공위성으로부터 폐열회수용 열교환기(이 등, 1998), 전기장치 전자소자의 냉각(이와 변, 2001), 음향기기의 냉각, 태양열과 지열의 유효이용, 플라스틱 금형의 냉각, 공작기계의 주축냉각, 포장기계, 주방기기(이 등, 2001), 전력케이블의 냉각, 엔진 및 브레이크의 냉각 등 응용분야가 광범위하여 급격하게 발전하고 있다. 이러한 히트파이프의 열전달 성능을 극대화시키기 위해서는 파이프 내에 적절한 양의 작동유체가 주입되어야 한다. 그러므로 본 논문에서는 전열성능을 최적화하기 위해 증발부에 내장된 세라믹히터의 공급전력량에 따른 히트파이프의 적정 작동유체 주입량 결정을 연구 목표로 하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 히트파이프는 길이 500 mm, 외부직경 15.18 mm, 내부직경 14.48 mm, 두께는 0.7 mm이다. 히트파이프 한쪽 끝에는 길이 85 mm, 직경 8 mm인 세라믹 히터를 삽

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부

입하여 전력을 공급하였다. Fig. 1은 히트파이프 내의 적정 작동유체 주입량 분석을 위해 본 실험에 사용한 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 히트파이프 외부에는 유체순환 자켓을 설치하였으며, 자켓 내부로 일정한 온도의 물을 순환시켜 히터에 공급된 전력량에 따른 히트파이프 내의 작동유체(증류수) 주입량에 따른 열전달 효과를 분석하였다. 히트파이프에는 순환 유체 입구와 출구에 각각 한 개씩, 히트파이프 표면에 등 간격으로 4개, 총 6개의 thermocouple을 설치하였다. 히트파이프에 삽입된 세라믹히터에 3종류의 서로 다른 전력을 공급하여 증발부를 가열하였다. 히터에 공급된 전압은 각각 175V, 125V, 50V에 대해 전류는 0.55A, 0.93A, 1.30A이었으며, 각 공급된 전력은 24.75 W, 60.45 W, 221.00 W였다.

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 순환유체인 물은 펌프에 의해 water tank 1에서 water tank 2로 유동하고, 다시 유량계를 통과하여 히트파이프 외부의 물자켓을 순환하며, 히트파이프에 의해 가열된 물은 water tank 1로 배출된다. Water tank 2내부에 열교환기를 설치하여, 열교환기 내부로 냉수를 순환시킴으로써 히트파이프로부터 가열된 물을 일정한 온도로 냉각시켰다. 유량계는 분당 1L로 설정하였고, 히트파이프 내부로 주입되는 작동유체는 증류수를 사용하였으며, 증류수는 진공펌프를 이용하여 히트파이프 내를 진공으로 만든 후 주사기를 이용하여 히트파이프 체적에 대해 1/12(5.70cc), 1/9(7.59cc), 1/6(11.39cc), 1/3(22.78cc)를 주입하였다. 공급전력에 대한 작동유체 주입량은 히트파이프의 성능에 큰 영향을 미치므로 본 연구에서는 작동유체 주입량과 공급된 전력에 따른 히트파이프에 열전달 효과를 분석하였다. 각 공급전력과 작동유체 주입량에 따른 히트파이프의 열전달효과를 분석하기 위해 물자켓 내로 히트파이프 외표면을 순환하면서 가열된 물의 열전달량을 계산하였다.

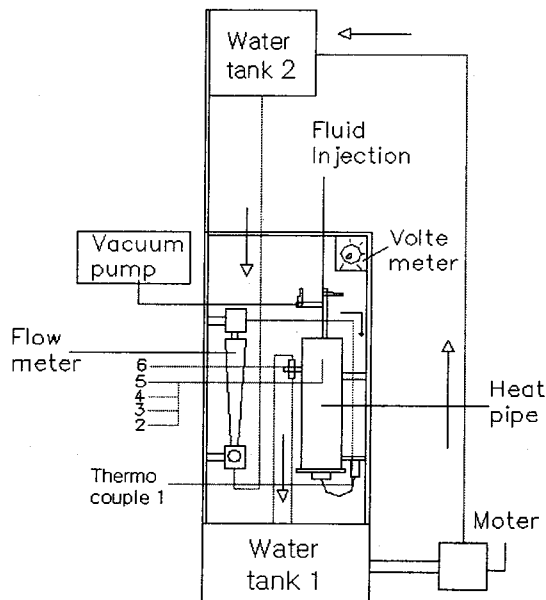


Fig. 1 Schematic diagram for performance test of heat pipe.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 본 실험에 사용된 히트파이프내의 작동유체 주입량과, 공급전력에 따른 히트파이프 외부 순환유체의 입출구 온도와 히트파이프의 열전달량을 나타낸 것이다. 공급전력이 각각 24.7 W, 60.4 W, 221.0 W였을 때, 최대의 히트파이프 열전달량은 작동유체 주입량 1/3, 1/6, 1/9에서 나타났다. 그러므로 본 연구결과 공급전력이 증가할수록 작동유체 주입량이 적어야 열전달 효과가 크다는 것을 알 수 있었다. 그러나 작동유체 주입량이 너무 적으면 dry-out 현상이 나타나 열전달 효과를 저해 할 수 있으므로 주의해야 할 것이다. 본 연구에서 작동유체 주입량이 1/12일 때, 각 공급전력에 대해 열전달 효과가 대체적으로 낮게 나타났으며 이는 dry-out 현상이 발생했기 때문인 것으로 사료된다.

Table 1 Heat transfer analysis of heat pipe according to quantity of working fluid and power supply

작동유체 주입량	공급전력(W)	입구온도(°C)	출구온도(°C)	열전달량(kJ/s)
8.3% (1/12)	24.7	23.9	24.3	7.2
	60.4	24.9	26.6	27.9
	221.0	26.6	29.8	53.3
11.1% (1/9)	24.7	20.8	21.2	7.3
	60.4	22.2	23.9	28.2
	221.0	24.4	27.8	55.4
16.7% (1/6)	24.7	23.8	24.3	8.4
	60.4	24.8	26.6	30.0
	221.0	25.8	29.1	54.9
33.3% (1/3)	24.7	24.5	25.1	10.0
	60.4	25.5	27.2	28.4
	221.0	26.6	29.7	51.4

Fig. 2는 작동유체 주입량에 따른 공급전력에 대한 히트파이프 외부 순환유체의 입출구 온도 및 히트파이프 표면에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 대체로 모든 실험 조건에서 히터가 접촉하고 있는 증발부인 10.4 cm 지점에서의 온도가 가장 높게 나타났고, 공급전력이 221.0 W 일 때는 31.2 cm 지점부터 온도가 낮아지나, 공급전력이 24.8 W와 60.4 W일 때는 21.1 cm 지점으로부터 온도가 낮아졌다. 작동유체 주입량 8.3% 및 11.1%에 대해 공급전력 221.0 W에서는 10.4 cm 지점으로부터 31.2 cm 지점까지 온도가 직선적으로 감소하였으나, 작동유체 주입량이 16.7% 및 33.3%로 증가하면서 온도의 감소율은 점차 낮아지는 것으로 나타났다.

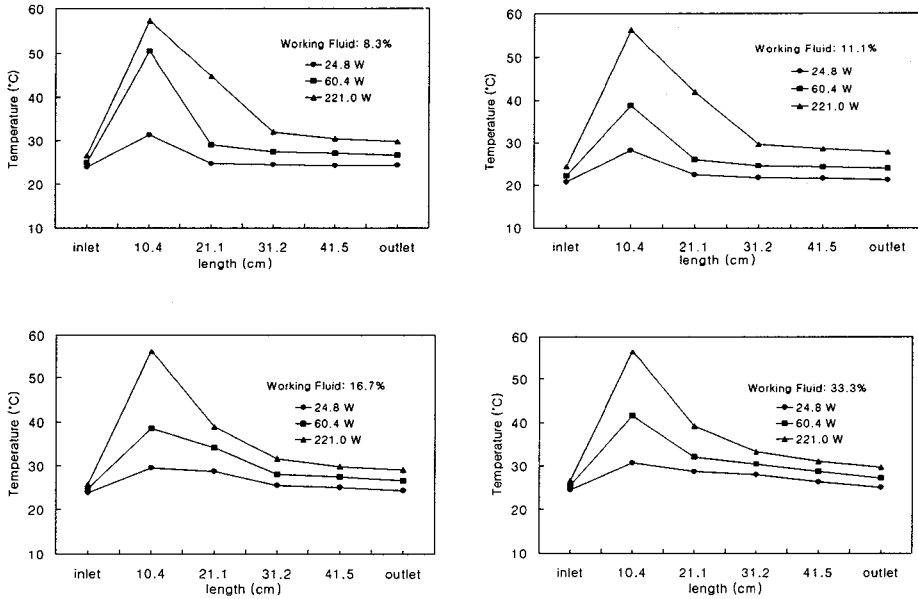


Fig 2. Temperature distribution of heat pipe according to quantity of working fluid and power supply.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 히트파이프의 공급전력량에 따른 최적 작동유체 주입량을 분석하기 위해 3종류의 공급전력량과 4종류의 작동유체 주입량을 조합한 12종류의 실험조건하에서 히트파이프의 열수송능력을 분석하였다. 공급전력량이 24.7 W일 경우는 작동유체 주입량이 33.3%일 때, 히트파이프의 열전달 효과가 가장 좋았으며, 공급전력량이 60.4 W일 때, 작동유체 주입량 16.67%에서 가장 좋은 열수송능력을 나타냈다. 또한 공급전력량이 221.0 W일 때, 작동유체 주입량 11.1%가 가장 큰 열전달 효과를 나타냈다. 따라서 본 연구를 통해 각 공급전력량에 따른 가장 열전달 효과가 큰 작동유체 주입량을 결정할 수 있었고, 이러한 결과는 히트파이프의 제작을 위한 기초 자료로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

1. 이기우, 장기창, 이계중, 라호상. 1998. 열교환기용 회전형 히트파이프의 열전달특성에 관한 연구. 공기조화 냉동공학회 '98 하계학술발표회 논문집:318-324.
2. 이기우, 정목원, 박기호, 권연상. 2001. 히트파이프용 휴대용 온수용기 성능실험연구. 대한설비공학회 2001년 하계학술발표회 논문집:1482-1489.
3. 이동근, 변기홍. 2001. 소형컴퓨터용 써모사이펀 냉각기의 성능평가. 대한설비공학회 2001년 동계학술발표회 논문집:332-338.