

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 17, No. 1, 1997

전자 밸브에 의해서 제어되는 히트파이프의 전열 특성

전철호* · 장영석** · 김오근***

Characteristics of Heat Transfer in a Heat pipe Controlled by Solenoid Valve

Jun C. H., Jang Y. S., Kim O. G.

요 약

본 연구에서는 히트파이프의 제어를 전자밸브에 의하여 단속 되어질 때 증발부의 상태변화가 응축부에 미치는 전열제어 특성을 연구한 것이다. 증발부와 응축부사이의 단열부에 전자밸브를 설치하여 증발부의 열저장에 따른 밸브제어의 영향, 밸브주기 개폐에 따른 응축부의 응답특성, 경사도, 입열량, 냉각수량변화가 전열에 미치는 연구를 실행하고 증발부와 응축부의 유동특성을 고찰하여 전자제어밸브에따라 증기의 동특성영향을 연구한다. 그 결과는 응축부와 증발부사이의 온도차가 크면 온도의 진동수는 증가하고, 온도의 진폭은 감소한다. 제어밸브의 개폐시간이 지연되면 증발부의 펄스비등은 강하게되고 밸브개폐후 응축부의 온도 진동은 지연 감쇄한다.

Abstract

The purpose of this research is the study of characteristics of heat transfer in a heat pipe controlled by solenoid valve. A solenoid valve located to the adiabatic section between evaporator and condenser of heat pipe was used to control the valve action for effective energy transfer of the industrial exchanger machine. By the results presented in this study temperature difference between evaporator and condenser increases with increasing the temperature frequency and with decreasing the temperature amplitude. When inclination angle and flow rate of cooling water increases, the temperature amplitude is reached to the steady state rapidly with increasing the temperature frequency.

1. 서 론

히트파이프는 진공으로 밀폐된 용기내에 적합한 양의 작동유체를 주입시켜 한쪽에서 고온의 열원으로 가열하면 작동유체가 증발하여 밀도차에 의해 다른쪽으로 증기가 이동하여 액화시키므로써 작동유체의 증발 잠열을 저온의 열원으로 전달하는 장치이다. 그러므로 히트파이프는 액체의 증발 및 응축의 상변화에 따르는 잠열을 이용하여 작은 표면적을 통하여 많은 양의 열을 전달할 수 있는 장치로서 1944년 Gaugler¹⁾에 의해 처음으로 도입된후 1963년 Grover²⁾에 의해 발표된 논문에서 히트파이프의 이론해석 및 실험을 통하여 열전달 원리를 정립 하였다. 그 후 Cotter³⁾에 의해 히트파이프에 대한 이론을 처음으로 규정하였으며 1967년 우주선 Altas Agenda에 의해 히트파이프의 성능실험을 성공함으로써 세계 각국에서 많은 관심을 가지게 되었다⁴⁾.

웁(wick)이 없는 히트파이프 경우에는 모세관력을 대신해서 응축액이 중력에 의해서 귀환되는 역할을 함으로써 폭넓게 응용될 수 있다. 이와 같은 연구로서는 Kanji⁵⁾등이 실험적 방법에 의한 작동유체의 유동특성과 경사각에 따른 영향등의 연구가 있다.

현재 광범위하게 연구되고 있는 분야는 회전형 히트파이프에 대한 유동특성과 응용분야, 그리고 비회전형일 경우 작동한계에 대한 연구와 폐열회수용 열교환기, 전기장치 전기소자의 냉각, 공작기기 주축냉각, 엔진 및 브레이크 냉각, 태양열의 집열효과, 지열을 이용한 집열효과등 전산업 분야에서 연구되고 있으며 에너지의 효율적인 이용 측면에서 많은 논문이 발표되고 있다.

특히 태양열의 집열을 제어하기 위한 수단

으로 증발부와 응축부에 탄성격막을 설치하여 격막이 주기진동하는 경우와 자동차 브레이크, 스테링엔진(stirling engine)등 처럼 주기적, 비주기적으로 빠른 동적인 열응답을 요구하는 경우의 전열응답 특성을 연구하는것 필수적 과제이다.

일반적으로 히트파이프의 전열제어 방법으로는 불응축가스의 팽창에 따라 작동유체의 순환을 억제 하는 경우, 유로를 감소시키므로써 증기유동을 차단하는 경우^{6),7)}가 등이 있으나 태양열 집열기 격판 진동, 엔진의 브레이크, 그리고 스테링엔진(stirling engine)처럼 주기적 비주기적인 제어를 요구하는 히트파이프의 주기진동에 대한 열응답특성의 연구는 아직 발견할 수 없다.

본 연구에서는 히트파이프의 제어를 외력에 의하여 단속 되어질때 증발부의 상태변화가 응축부에 미치는 전열제어 특성을 알기 위해서 증발부와 응축부사이의 단열부에 전자밸브를 설치하여 증발부의 열저장에 따른 밸브제어의 영향, 밸브주기 개폐에 따른 응축부의 응답특성, 경사도, 입열량, 그리고 냉각수량변화가 전열에 미치는 연구를 실행하고 증발부와 응축부의 유동특성을 고찰하여 전자제어 밸브에 따라 증기의 동특성영향을 연구한다.

2. 실험

2-1. 히트파이프의 구조

본 연구에 사용된 히트파이프는 Table 1에 단면의 형상과 증발부, 응축부, 단열부를 표시한다.

2-2. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 보여준다. 증발부의 입열의 변화는 전압조절기

Table 1 Dimension of Heat Pipes

	Evaporator	Condenser	Adiabatic
Inside diameter(mm)	15	15	15
Length(mm)	280	520	127
Material	Cu B #0-1 /2H, ASTM B #453 1 /2A		SCS 13. 14 /CF8,CF8M
Adiabatic valve type	TX350-1DA-25F		

를 사용하여 증발부의 열량을 조절하였으며, 입열량의 계량은 전압조절기의 왓트메타를 사용하였다. 응축부는 내경 25mm의 투명 아크릴 관을 사용하여 내부의 유동을 확인할 수 있게 하였으며 응축부의 유량은 냉각수 수두변화 방지를 위해 순환수펌프를 설치하였으며 순환 유량은 증기부의 빠른 응축을 돕기 위하여 단 열부쪽에서 응축부 끝단으로 유로를 형성하였으며 유량계측은 유량계와 눈금유리관(500cc)을 사용하여 응축부의 유량을 조절하였다. 온도 측정은 K-type 열전대(직경 0.3mm)를 사용하여 증발부의 내부에 90mm 간격으로 3본, 외부에 70mm 간격으로 4본, 응축부의 내부에 140mm간격으로 3본, 외부에 100mm간격으로 5본, 냉각수의 입구측 1본, 출구측 1본을 설치하여 온도기록계를 멀티온도측정기 MC8037로서 사용하여 측정하였다.

2-3. 실험방법

열부하는 낮은 열량인 3401W/m²에서 3401W/m²간격으로 13605W/m²까지 증가시켰으며 실험에서 최대 열부하는13605W/m²로 했다.

웍이 없는 히트파이프는 중력에 의해 응축액이 증발부로 귀환하므로 설치각도에 따라

열저항의 영향을 받게된다. 따라서 경사각을 30°, 45°, 60° 로 두어 히트파이프의 성능 실험을 하였다.

실험장치에서 진공도는 5×10⁻⁵ torr로 진공을 1시간 유지하여 진공을 형성하고 기밀을 완성한후 시간에 따라 전자밸브를 수동으로 열림, 닫힘을 함으로서 응축부의 온도변화와 열응답특성을 연구하였다.

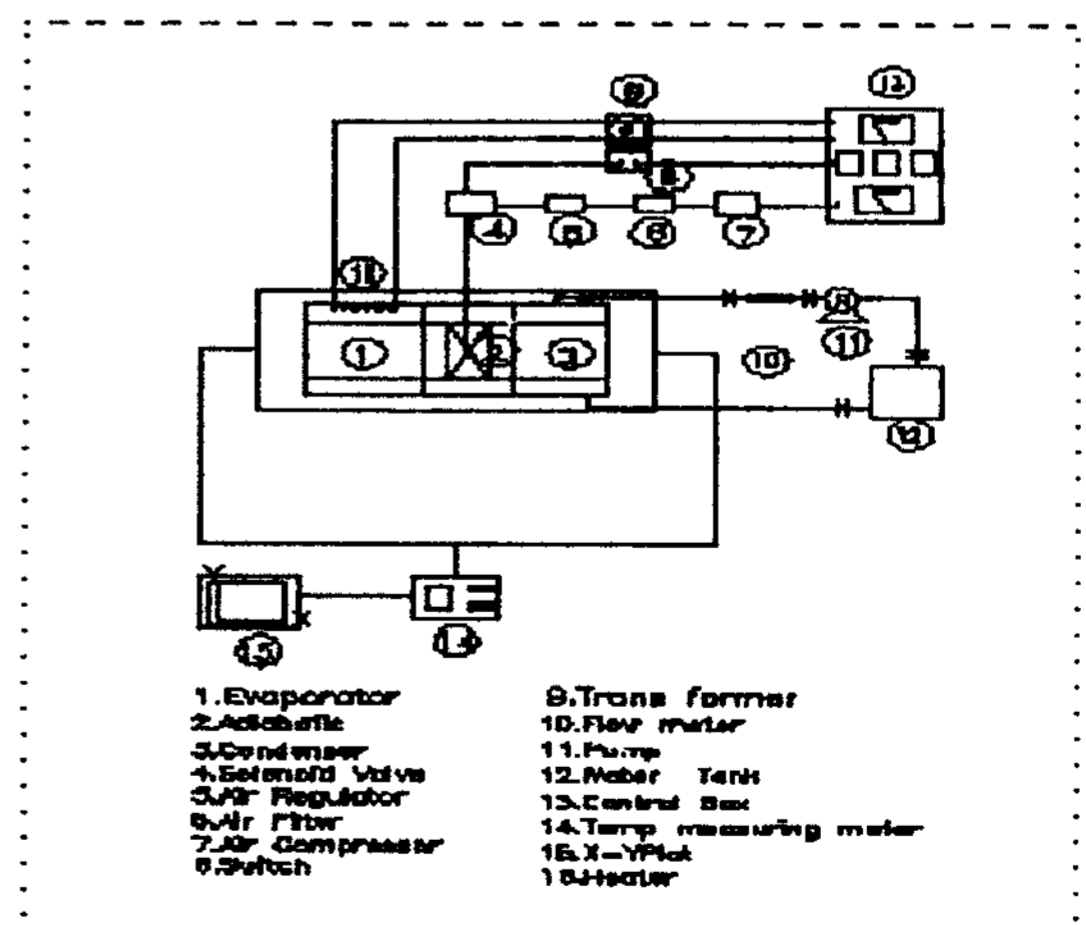


Fig. 1 Schematic diagram of Experimental apparatus

3. 실험결과 및 고찰

3-1 입열량 변화에 따른 온도진동특성

Fig. 2는 제어밸브가 열린상태에서 경사각 30°, 냉각수 250cc로 할때 입열량의 변화에 따라 증기온도의 요동성분을 나타낸것이다. 열유속이 3401W/m²일때 증발부의 증기요동 성분은 불규칙적인 주기를 갖고 있음을 보여 준다. 응축부에서도 증발부의 요동성분에 따라 일정한 온도 진폭을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 열유속을 증가하면 진폭은 적어지면서 증발부와 응축부는 주기성을 갖는 형태로 변화하고 있음을 보여준다. 이것은 증발부의 펄스비등에 따른 작동유체의 증기 압력 상승이 주기활동을 상승하게하고 응축부와와의 압력차이가 크지면서 응축부의 응축열전달 상태가 원활하게 일어남으로서 증기부의 핵비등과 응축부의 응축 열전달의 열평형이 되기 때문이라고 생각한다.

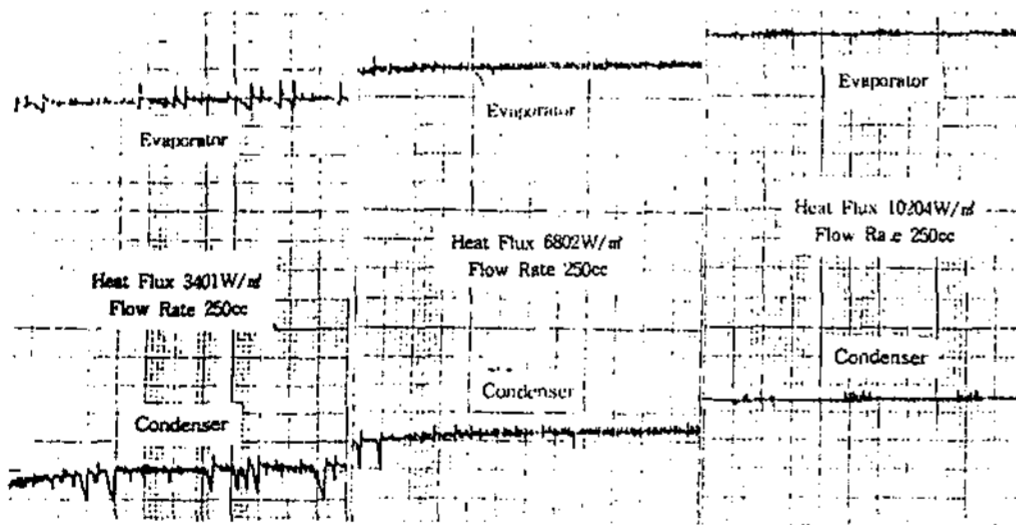


Fig. 2 Temperature fluctuation with various heat flux in vapor region at flow rate 250cc, inclination angle 30°

Fig. 3는 히트파이프의 경사각을 45°, 냉각수 250cc로 증가할때 열유속의 변화에 따라 증발부의 작동유체와 응축부의 작동유체의 요동하는 온도의 변화를 나타낸다. 경사도가 증가할때 온도의 요동성분특성을 더욱 격렬하게

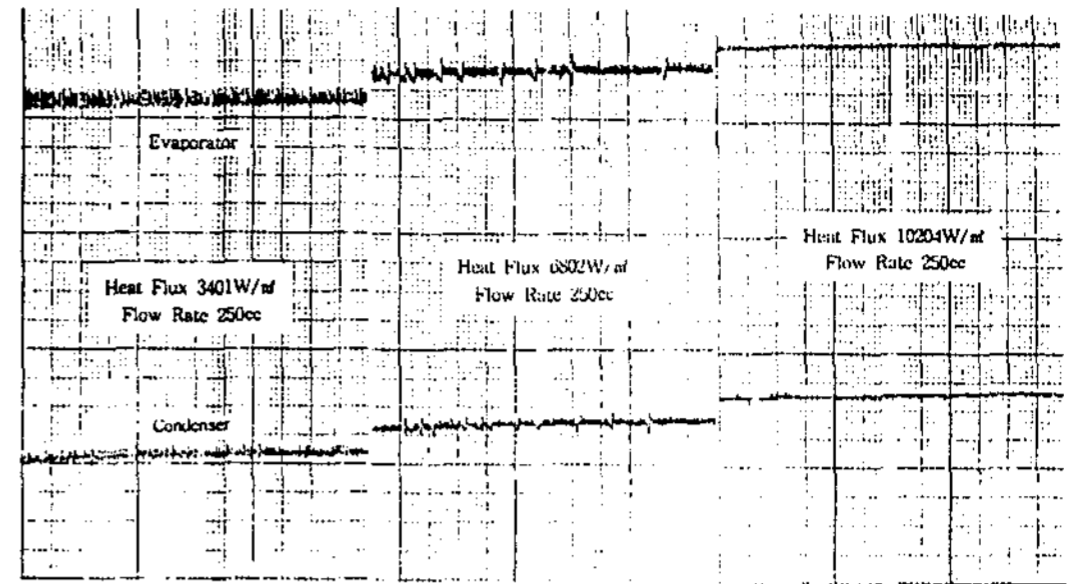


Fig. 3 Temperature fluctuation with various heat flux in vapor region at flow rate 250cc, inclination angle 45°

나타나고 있으나 온도 응답은 안정된 범위에서 주기적인 응답을 보여준다. 요동성분 진폭의 크기는 열유속 증가에따라 감소하며 안정적인 값으로 나타난다. 이것은 Fig. 2에 나타난 것처럼 응축과정에서 증기의 압력이 점진적 강하에 기인된 것으로 응축부공간과 증발부에서 증발과정에서 나타나는 압력의 평형상태에 이르기까지 과도적인 변화의 진행 때문인것으로 생각된다.

Fig. 2와 Fig. 3는 동일조건에서 각도의 변화만을 주었으며 각도가 증가할수록 중력의 영향으로 응축부에서 증발부로 귀환하는 속도가 빠르므로 응축부와 증발부는 보다 더 규칙적이고 주기적인 진폭을 갖는다. 여기서 수직축은 온도축으로 1눈금을 1.5°C으로 표현된다.

Fig. 4는 Fig. 3와 동일한 조건으로 냉각수량을 150cc로 한경우 입열량을 3401W/m², 6802W/m² 그리고 10204W/m²으로 한경우를 나타낸 것이다. 응축부의 벽에서 냉각이 원활하지 못하고 응축부의 작동유체의 온도가 증가할때 요동성분의 주기는 증가하지만 10204W/m²인 경우는 급격히 감소하여 적은 진폭

을 유지하고 있음을 보여준다.

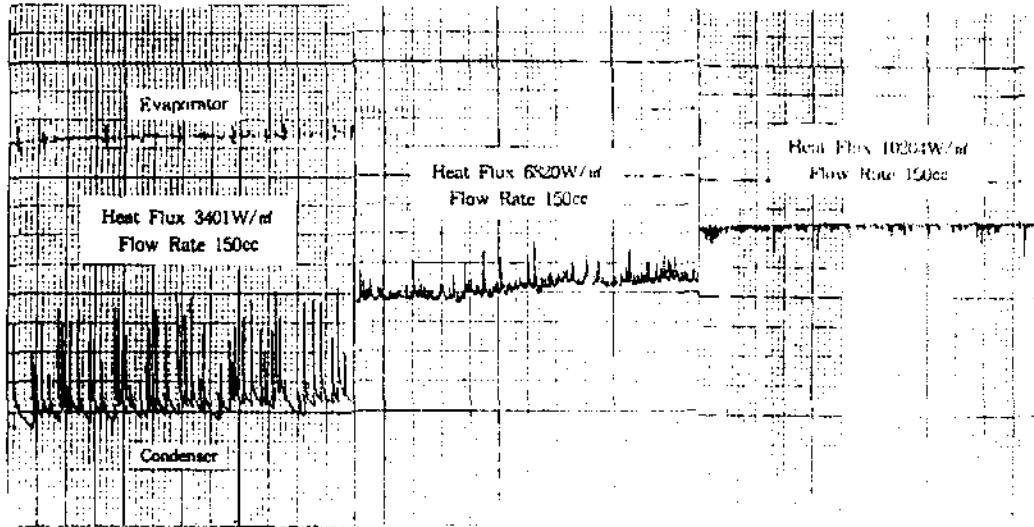


Fig. 4 Temperature fluctuation with various heat flux in vapor region at flow rate 150cc, inclination angle 45°

3-2 밸브 개폐주기에 따른 온도응답 특성

Fig. 5는 밸브개폐를 1초로 한 경우 증발부와 응축부의 온도의 증폭은 밸브개폐 주기에 따라 유사한 응답을 보여준다. 밸브개폐 주기는 5초 및 10초의 경우에도 일정한 주기성을 가진 응답곡선을 보여준다. 증발부와 응축부는 닫은 상태에서 급속하게 열면 증발부의 작동유체의 온도는 반지름으로 한 원호를 그리면서 감소하는데, 이에 반하여 응축부의 온도응답은 급격히 회복하면서 얼마간 진동감쇄하면서 안정상태로 되어짐을 볼 수 있다.

이것은 밸브의 개폐시간이 증가하면 더욱 큰폭으로 진동하고 그 시간도 지연됨을 알 수 있다. 밸브 개폐시간이 지연되면 증발부의 작동유체는 증발하여 증발내부의 온도는 그만큼 증가하여 결국 증발력이 커지게되고 증발부의 압력이 증가되어지므로 응축부의 압력과 큰차이를 보이게 되는데 이때 밸브를 열면 증기의 진행속도가 크지면서 이것에 상응하는 압축압력의 변동을 받게된다. 이때 증발부의 압력은 순간적으로 강하하면서 압력의 변동은 감소하

고 차츰 그 진폭도 감소 되어진다고 생각된다.

Fig. 6은 증발력의 변화에 따른 온도진폭을 나타낸것으로서 증발부는 시간과 입열량이 많을수록 변화량은 증가하며 마찬가지로 응축부에 있어서도 시간과 입열량이 많을수록 변화량은 증발부의 상응한량에 따른다. 시간과 입열량에 증가할수록 거의 직선적으로 변화하며 큰 폭으로 진동한다.

Fig. 7은 경사각 45°, 냉각수 250cc의 경우의 동일한 주기 개폐에서 입열량의 증가에 따른 변화를 나타낸 것이다. 입열량이 크면 변화의 폭은 증가하게 나타나며 그 경향은 동일하게 보여주며 응축부의 작동유체의 안정상태는 입열량이 증가하면 펄스비등은 강하게되고 응축부의 온도진동은 지연감쇄하고 안정상태에 도달하는 시간이 길어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 경사각도 30, 냉각수 250cc일때 입열량 변화에 따라 증발부와 응축부에 일어나는 온도의 진동폭을 밸브개폐시간에 따라 나타낸 것이다. 증발부는 시간과 입열량이 많을수록 변화량은 거의 직선적으로 증가하며 1초일 경우에는 증발부와 응축부의 유동이 원활하지 못하여 증발부에 잠재되어 있으므로 밸브 개폐시에는 순간적으로 큰폭으로 변화하며, 5초일 경우에는 냉각의 영향으로 유동이 원활하여 완만한 곡선을 나타 내며, 10초일 경우에는 증발부의 온도가 거의 직선적으로 변화한다. 또한 응축부에 있어서는 시간과 입열량이 많을수록 냉각효과는 우수하여 5초일 경우에는 응축부와 증발부의 온도변화량은 거의 동일하게된다.

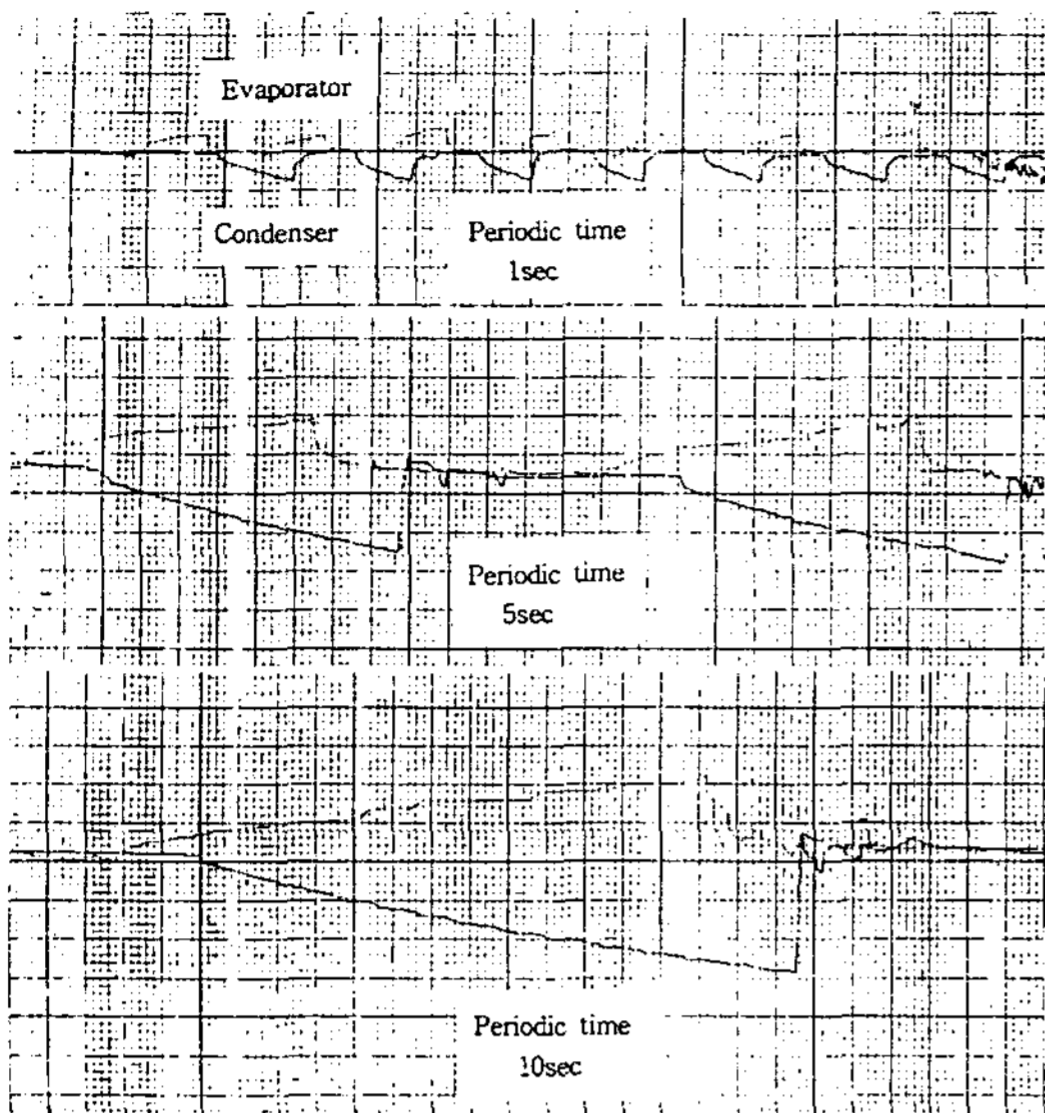


Fig. 5 Temperature response on vapor region by periodic value operating at flow rate 250cc, inclined angle 45°, heat flux 3401W/m²

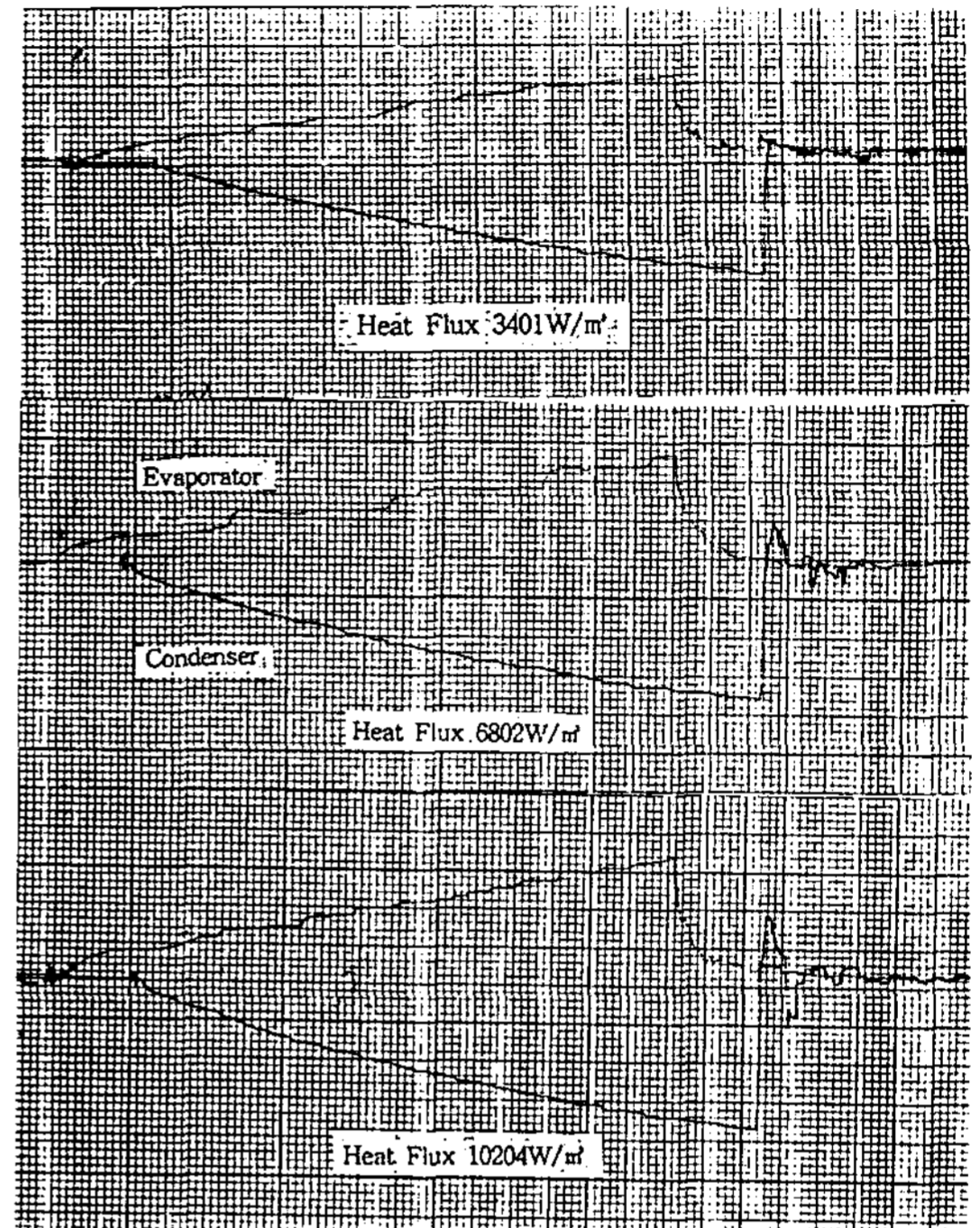


Fig. 7 Temperature response on vapor region by periodic value operating at flow rate 250cc, inclined angle 45°

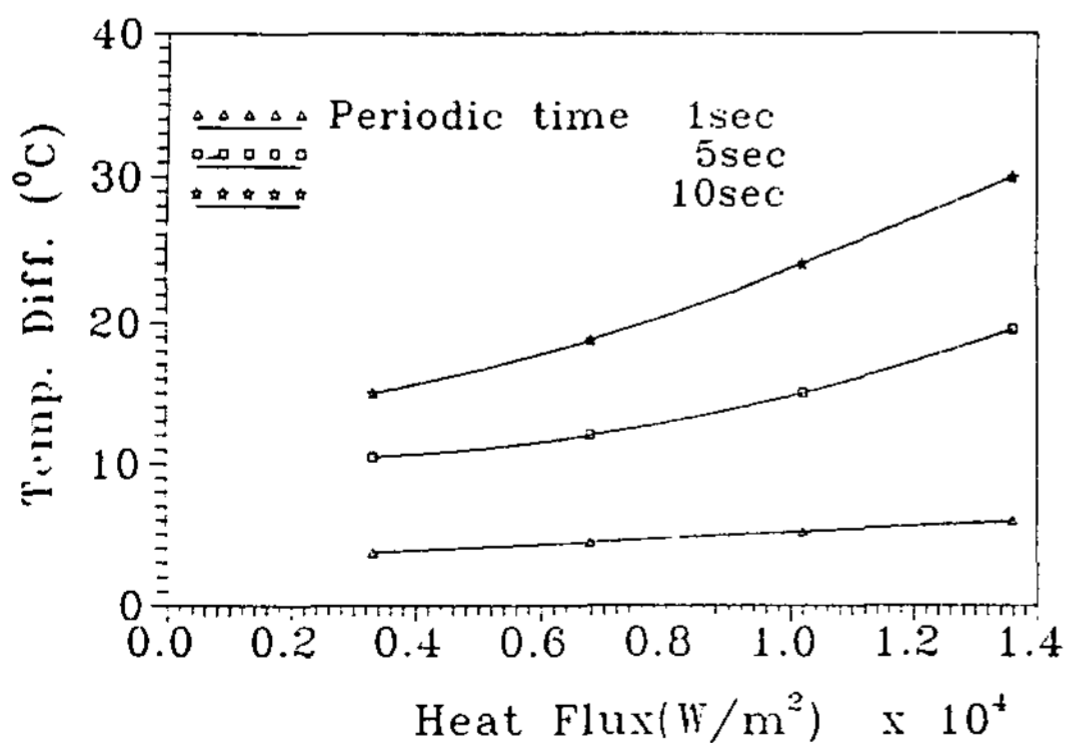


Fig. 6 The changed amount of Temperature in Evaporator region at flow rate 250cc, inclined angle 45°

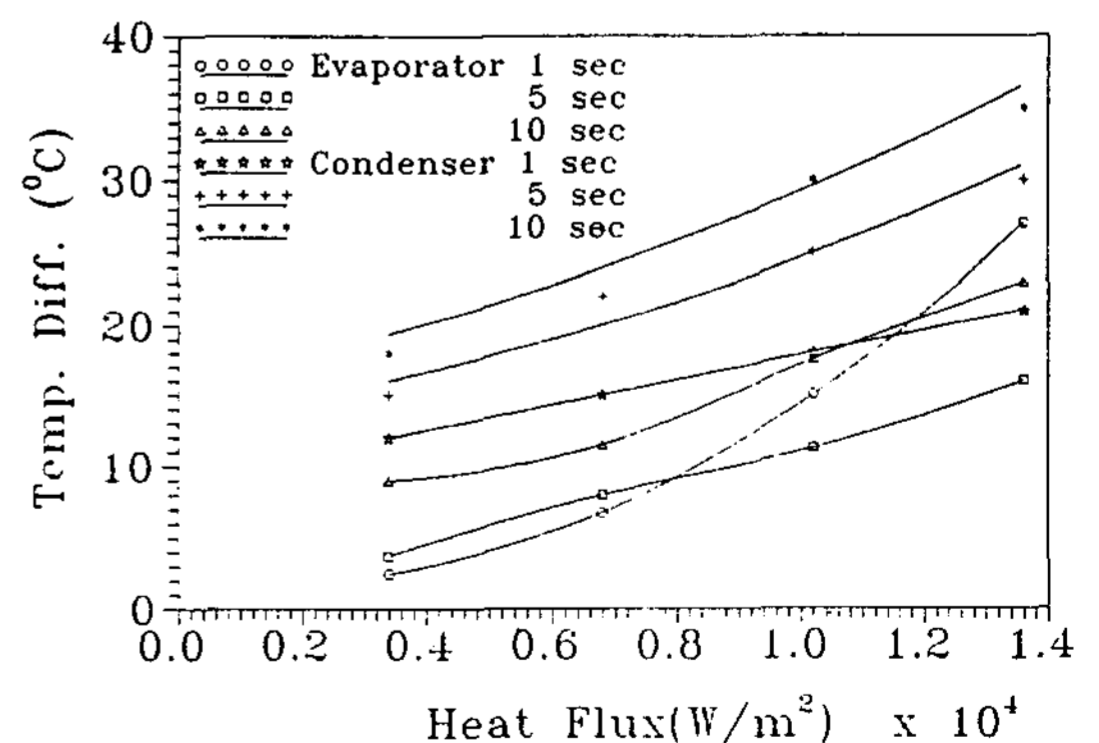


Fig. 8 Temperature response on vapor region by periodic value operating at flow rate 250cc, inclined angle 30°

Fig. 9 경사각도 30, 냉각수 150cc일 때 입열량 변화에 따라 증발부와 응축부에 일어나는 온도의 진동폭을 밸브개폐시간에 따라 나타낸 것이다. 증발부는 시간과 입열량이 많을수록 변화량은 증가하며, 1초일 경우에는 증발부와 응축부의 유동이 원활하지 못하여 증발부의 온도가 보다 적게 상승하며, 5초일 경우에는 냉각의 영향으로 유동이 원활하며, 10초일 경우에는 증발부의 온도가 거의 직선적으로 변화한다. 또한 응축부에 있어서는 시간과 입열량이 많을수록 냉각효과에 따른 온도 변화량은 거의 동일하게 변화한다.

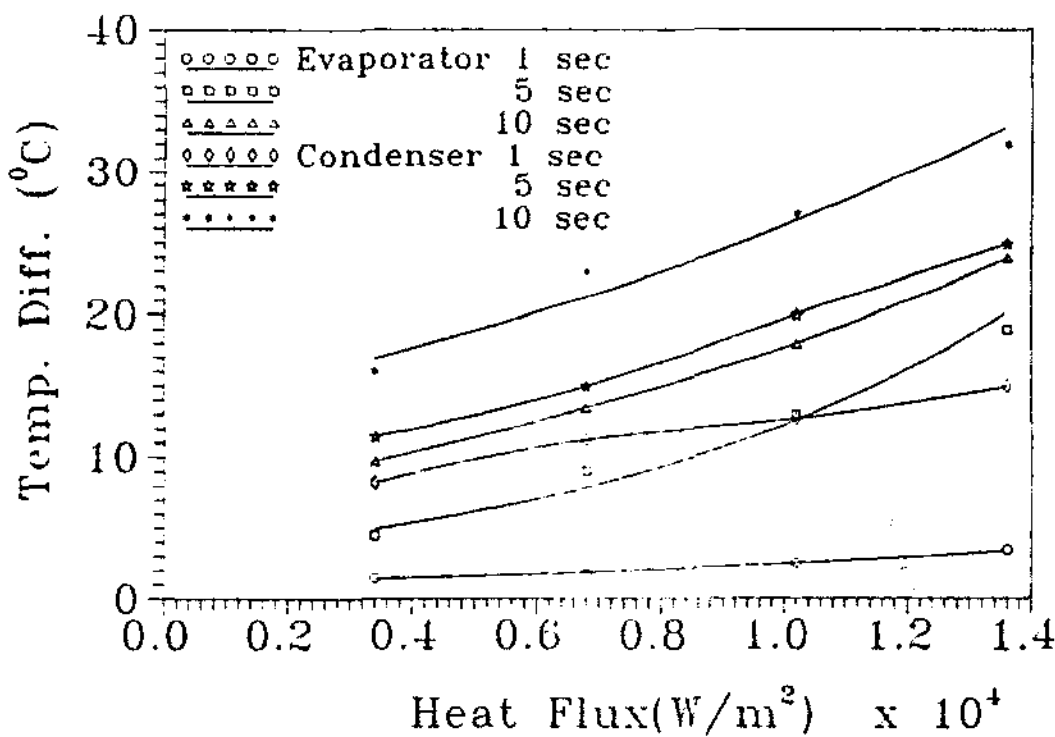


Fig. 9 Temperature response on vapor region by periodic value operating at flow rate 150cc, inclined angle 30°

Fig. 10은 밸브개폐 주기를 5초로 한 경우 증발부와 응축부의 작동유체의 요동온도 변화를 나타낸 것이다. 열플럭스가 증가하면 증발부, 응축부 평균온도는 증가하며, 온도의 요동 성분은 밸브의 개폐에 따라 비슷한 것으로 요동하는 것을 알 수 있다. 열플럭스가 감소하는 경우 응축부의 작동유체의 온도의 진폭은 급격히 변화를 보이고 있으나 진동수는 적은 것으로 나타낸다. 반대로 열플럭스가 증가하면

진동수는 증가하며 요동진폭은 감소하게 나타난다. 이 현상은 증발부온도의 상승으로 인하여 포화압력의 상승을 일으키고, 응축부의 냉각에 따른 압력감소에서 밸브를 개폐하는 과정에서 빠른속도로 진행되는 증기의 압력과의 영향으로 풀이된다. 입열량이 적은 경우 그 주기성은 적지만 큰 진폭을 갖게하고, 입열량이 증가할수록 압력의 발생량이 크기때문에 진동량이 증가하는 것으로 나타낸다.

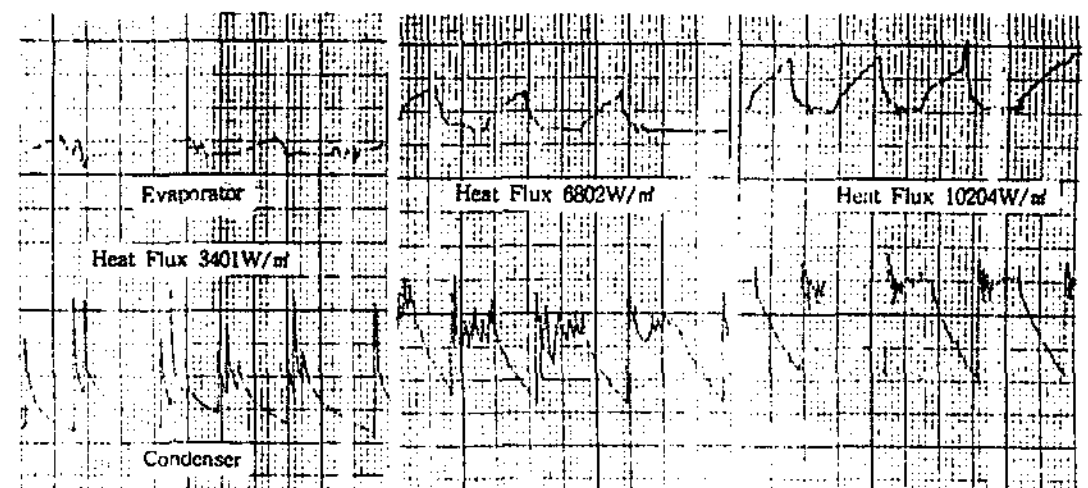


Fig. 10 Temperature fluctuations with periodic time 5sec on various heat flux at flow rate 150cc, inclined angle 30°

Fig. 11는 밸브개폐의 지연에 따라 증발부와 응축부의 작동유체의 온도구배를 나타낸 것이다. 밸브개폐 시간이 지연 되는 것은 증발부의 입열증가를 의미하며 증발부에서는 일정한 증기공간에서 밸브개폐전까지의 내부에너지로 저장된다. 동일 입열량에서 응축부는 증발부보다 온도구배가 크며 6802W/m²에서 응축부의 온도 구배는 10204W/m²의 증기부의 온도 구배보다 크게 나타남을 보여준다. 이러한 온도 진폭은 냉각수 250cc, 경사도 45° 일때는 대체적으로 온도 구배와 안정되는 시간은 서로 유사한 관계를 보여 주지만, 응축부에 냉각수량을 적게하여 증발부의 온도가 높은 경우에는 안정되는 시간이 지연되었다.

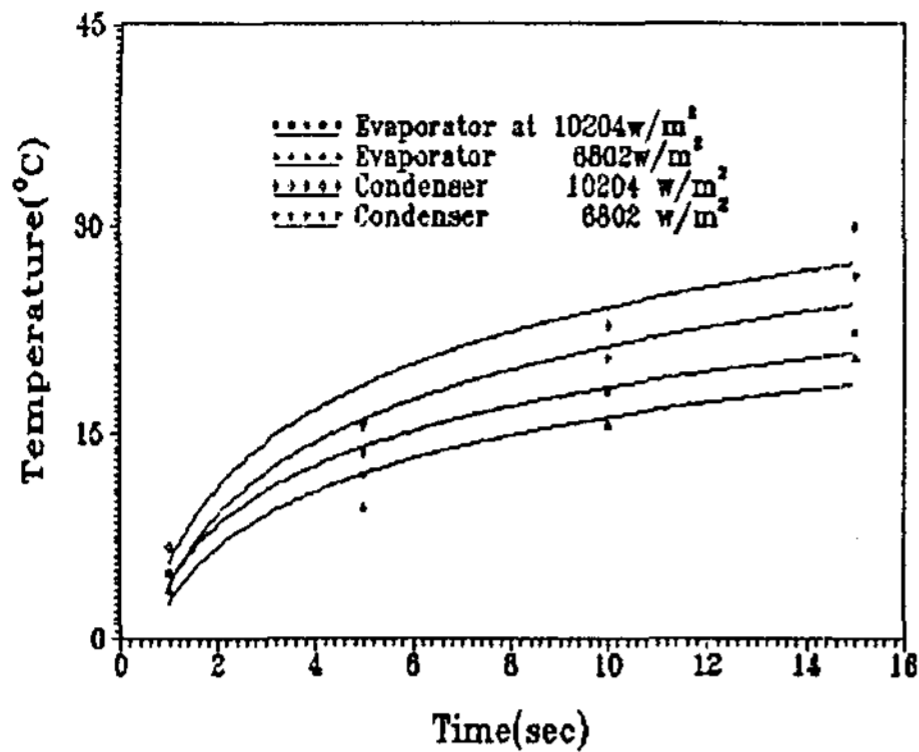


Fig. 11 Response of temperature on vapor region by delayed time

3-3 밸브개폐에 따른 냉각수의 영향

Fig. 12은 입열량 $6802\text{W}/\text{m}^2$, $10204\text{W}/\text{m}^2$, 냉각수량 250cc , 경사각 30° 인 경우, 냉각수의 입출구의 온도변화를 나타낸 것이다. 밸브 개폐 시간을 지연시킬때 작동유체의 온도의 큰폭으로 진동하고 있음을 보여준다.

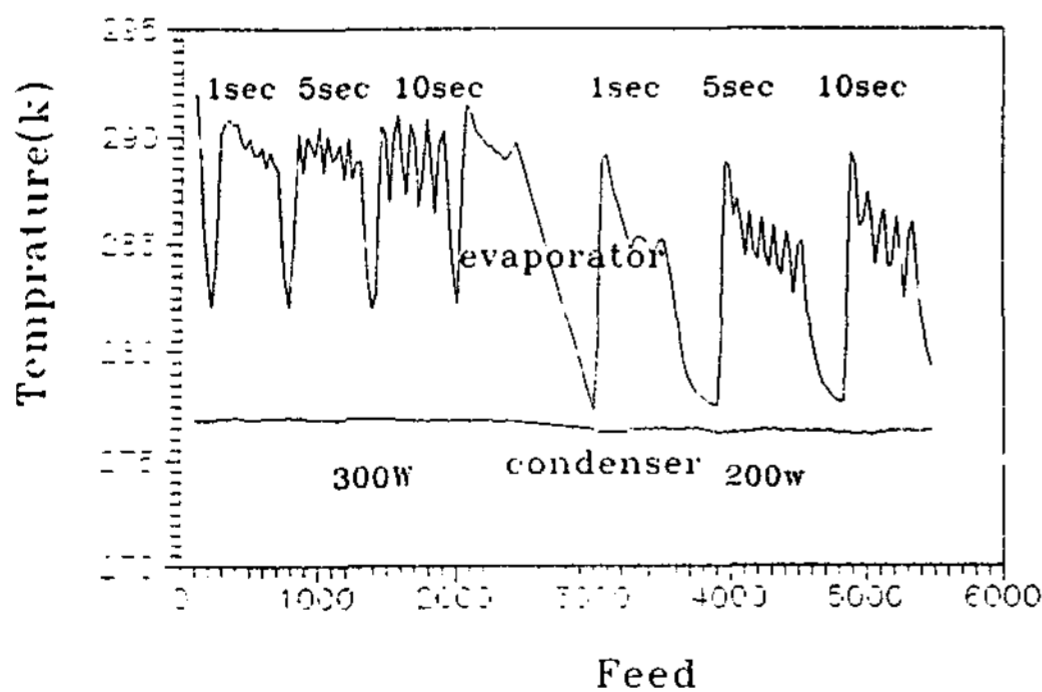


Fig. 12 Response of coolant temperature with various periodic time repeatedly at coolant 250cc , inclined angle 30° , heat flux $6802\text{W}/\text{m}^2$, $10204\text{W}/\text{m}^2$

밸브개폐가 지연되는 동안 냉각수의 온도는 강하하여 밸브가 열리는 경우 온도의 회복이 일어나고 있음을 보여주며 응축부의 증기에 대한 영향은 밸브개폐시간 빠른 응답을 보여 준다.

4. 결 론

본 연구는 태양열의 집열을 제어하기 위한 수단으로 증발부와 응축부에 탄성격막을 설치하여 격막이 진동하는 경우 열응답 특성을 알기 위하여 히트파이프의 증발부, 응축부 사이에 제어 밸브를 설치하고 주기적 변화를 주면서 히트파이프의 전영역에서 온도응답을 측정하였다. 그 결과는 다음처럼 요약된다.

- 1) 응축부와 증발부사이의 온도차가 크면 온도의 진동수는 증가하고, 온도의 진폭은 감소한다.
- 2) 제어밸브의 개폐시간이 지연되면 증발부의 펄스비등은 강하게되고 밸브개폐후 응축부의 온도 진동은 지연 감쇄한다.
- 3) 입열량과 경사도크고 냉각유량이 증가할수록 요동하는 온도 진폭은 감소하고 빠른 안정상태에 도달 한다.
- 4) 응축부의 작동유체의 온도 변화에 대한 냉각수의 온도응답은 밸브개폐에 따라 일정한 주기를 가지며 약 50초의 지연응답을 보였다.

참 고 문 헌

- (1) R. S. Gaugler, "Heat Transfer Device"1944, 6 2,350,348.
- (2) G. M. Grover, "Evaporation-condensation heat pipe

- transfer device", 1966, us patent 3329759, January.
- (3) T. P. Cotter, "Theory of Heat Pipes" USAE Report LA-3246-MS, 1968, Contract W7405 eng-36, Los Alamos Scientific laboratory university of California.
- (4) P. Dunn, D. A. Reay, "Heat Pipes" 1978 Pergamon Press Ltd., London.
- (5) Kanji Negishi, "Thermo-Fluidynamics of Two-phase Thermosyphons" 1984, Fifth international heat pipe conference, Tsukuba, Japan, May.
- (6) Kenneth J Mc Naughton and the staff of chemical engineering, "The chemical engineering guide to heat transfer 1986, Volume " McGraw-Hill publications co. New York.
- (7) S. W. Chi, "Heat Pipe Theory and practice" 1976 McGraw-Hill.

Characteristics of Heat Transfer in a Heat pipe Controlled by Solenoid Valve

Jun C. H., Jang Y. S., Kim O. G.

Abstract

The purpose of this research is the study of characteristics of heat transfer in a heat pipe controlled by solenoid valve. A solenoid valve located to the adiabatic section between evaporator and condenser of heat pipe was used to control the valve action for effective energy transfer of the industrial exchanger machine. By the results presented in this study temperature difference between evaporator and condenser increases with increasing the temperature frequency and with decreasing the temperature amplitude. When inclination angle and flow rate of cooling water increases, the temperature amplitude is reached to the steady state rapidly with increasing the temperature frequency.