

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 3, 2000

회전자를 갖는 분리형 히트파이프의 열전달특성에 관한 연구

전철호*, 김오근**

*동아대학교 기계공학과

**한국전력공사

A Study on Heat Transfer Characteristics of Separate Type Heat Pipe with a Rotor

C.H.Jun*, O.G.Kim**

**Dong-a University*

***Korea Electric Power Corporation*

Abstract

The purpose of this research is to study on the heat transfer characteristics of separate type heat pipe with a rotor. The heat transfer characteristics of the rotor condenser are various on input heat of evaporator, rotational speeds of rotor, and working fluid amount. The results obtained from the study are as follows.

1. Magnetic fluid using seal of the rotor operated in stability by a variation of temperature and rotation speeds. The configuration of magnetic fluid seal assembly was adequate.
2. Steam ejector is effective in recovering working fluid condensate in the rotor. When steam ejector is operating, the heat flux of working fluid does not change, with the wall temperature in the rotor.
3. The optimum design conditions on working fluid amount and rotational speeds are effective in evaporator volume 50%, rotational speeds 200rpm, 300rpm, and operating temperature 80°C. With working fluid amount increasing, overall heat transfer coefficient decreases linearly.

1. 서 론

히트파이프는 작동유체의 상변화를 이용하여 낮은 온도차로서 많은 열을 이송할 수 있는 열전도성이 매우 우수한 전열소자이다.¹⁾ 분리형 히트파이프는 증발부와 응축부를 분리하여 열을 먼 거리까지 이송할 수 있는 자연순환 형태로서 고온측에서 증기를 발생시키고, 그 증기를 저온측에서 응축시키는 것으로 증기를 잠열의 형태로 이동시키는 원리이다. 이 증기의 흐름은 고온측과 저온측의 압력차이로 인하여 발생하며 이 압력차는 저온측에서의 증기의 응축에 의하여 생긴다. 분리형 히트파이프의 유동특징은 증기 유동 통로와 응축액의 귀환통로를 분리한 것이므로 증기유동과 액체유동간의 상호영향이 없으므로 비산한계 등의 영향을 받지 않으며 증발부와 응축부를 분리한 상태에서 고온측의 열을 거리가 먼 영역에 있는 저온측에 이동시키는 목적으로 개발되었다.^{2)~5)}

분리형 히트파이프에 회전형 히트파이프의 특징을 이용한 회전자를 갖는 분리형 히트파이프 장치는 고효율 시스템으로 연구의 필요성이 있다. 회전자와 분리형 히트파이프의 결합은 자성유체를 이용하여 밀봉을 하고 장시간 운전에도 정상적인 작동이 이루어질 수 있는가를 파악하는 것이 유지되는가는 연구의 과제이다. 증발부에서 가열된 열량으로 회전자를 일정한 온도로 유지시키기 위하여 회전자 내부의 작동유체는 모세관을 이용하여 응축부로 유동시킨다. 이때 회전자의 균일한 등온 표면을 갖게 하기 위해서는 유동이 원활하여야 하며, 원활하지 않을 경우에는 증기이젝터를 사용하여 효과적인 유동을 시키는 방법을 생각할 수 있다. 회전자를 갖는 분리형 히트파이프는 회전자의 일정한 온도유지, 회전자의 균일한 온도분포 등은 특히 제지의 건조, 회전하는 긴 로울러를 갖는 경우 등의 산업체 전반에 응용할 수 있다.⁶⁾

본 연구에서는 분리형 히트파이프의 증발부 상부에 회전자를 설치하고, 증발부 입구에는 모세관 펌프를 설치하여, 회전자의 균일한 온도분포와 증기이젝터의 성능 및 효과를 검토하였다. 또한 모세관펌프의 역할이 분리형 히트파이프에 미치는 영향을 살펴보았다. 실험방법에 있어서 증발부 온도변화, 회전자의 회전수변화, 증기이젝터 동작유무, 작동유체량등을 변화시켰다. 그리고 회전형과 비회전형의 히트파이프 결합과 분리형 히트파이프의 열전달특성, 회전자의 균일한 냉각, 증기이젝터의 작동유체 수송장치 적합성, 모세관 펌프의 유동력에 대한 적합성과 회전자의 결합에 이용한 자성유체 결합방법에 대한 밀봉의 성능을 평가하고 전체 시스템에 대한 유동특성과 전열특성을 실험적으로 검토하였다.

2. 성능실험장치 및 방법

2.1. 성능실험장치

실험에 사용된 실험장치의 구조는 그림 1과 같다. 회전자를 갖는 분리형 히트파이프의 구성은 증발부와 응축부의 사이에 회전자를 설치하여 증기상승관을 통하여 유입된 증기가 회전자에서 응축되면서 일정한 온도를 유지하고 회전자의 원심력의 작용으로 원통 회전면에 액막두께를 형성한다. 형성된 응축수는 모세관력에 의하여 응축부로 보내어지고 이 모세관력에 의하여 응축수 유동이 원활하게 이루어지지 않을 경우 증발부 상부의 고압의 증기를 회전자 후단으로 직접 분출시키는 증기이젝터에 의하여 회전자의 응축수를 응축부로 보내어진다.^{7)~8)}

증발부는 가열수펌프(HETO LAB EQUIPMENT, TYPE 13DT1)를 사용하여 순환하면서 가열시키고 순환하는 고온수에 의하여 증발부 내부는 증발되면서 증기상승관을 통하여 회전자로 증기가 유동한다. 이송된 증기는 잠열에 의하여 회전자를 일정한 온도를 유지시키면서 동

시에 냉각되면서 회전자를 균일한 온도분포로 유지되게 한다. 회전력에 의하여 회전자내의 모세관에 의하여 응축부로 응축수가 유동을 하거나 그렇지 않는 경우에는 증발부 상부의 고압력의 증기에 의해 회전자 후단의 증기이젝터를 이용하여 회전자의 응축수를 응축부로 유동시킨다.

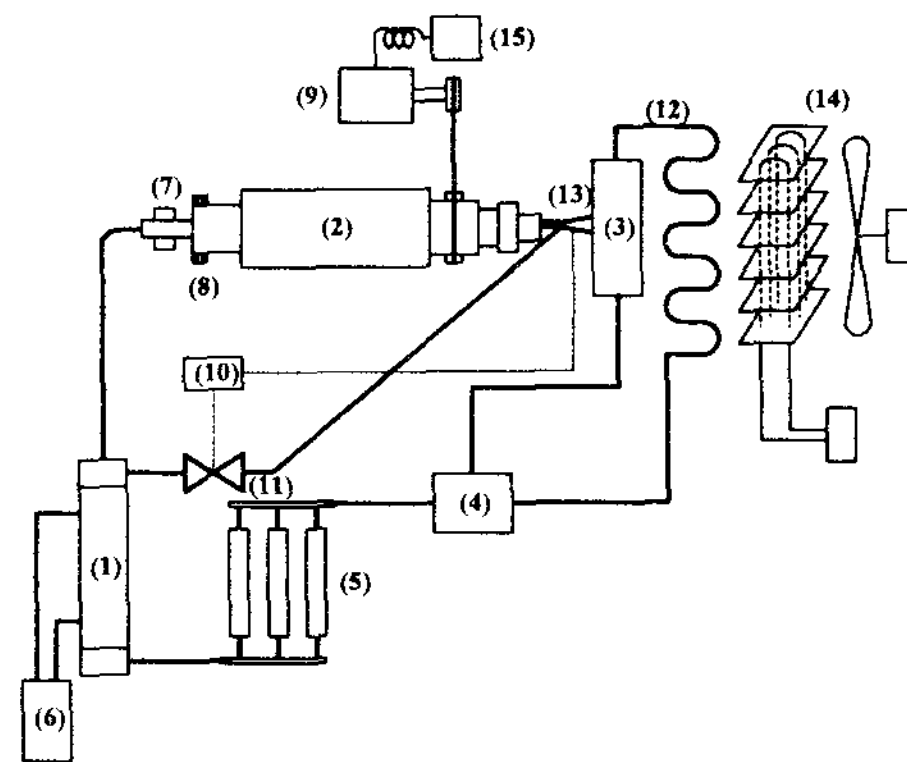
응축부에서는 일정한 온도유지를 위하여 방열기에 15℃의 냉각수가 흐르고 외부의 냉각팬에 의하여 냉각하였다. 응축수는 증력에 의하여 저장탱크로 보내어지고 응축부에서 생긴 불응축성가스나 비응축성가스는 냉각코일을 통하여 흐르면서 냉각되어 저장탱크로 보내어진다. 또한 이것은 증기이젝터에서 응축부로 증기가 유동되는 경우에 불응축성가스나 비응축성가스의 영향으로부터 생기는 증기유동의 흐름을 방해하는 역할이 없으므로 증기이젝터에서 응축부로 유동을 원활하게 하는 역할을 한다.

증발부 상부에서 회전자의 입구까지는 증기의 마찰 저항을 줄이기 위하여 길이 550mm의 배관을 45° 경사지게 곡간으로 설치하였다. 증발부에서 응축부까지의 전체 길이는 1600mm이고 증발부와 응축부의 최대 높이차는 1300mm이다. 응축부와 저장탱크의 높이차는 400mm이며 응축된 응축수는 증력에 의하여 저장탱크로 보내어진다. 저장탱크에 수집된 응축수는 모세관펌프에 의하여 일정한 유량으로 증발부로 보내어진다. 증기이젝터는 회전자의 후단에서 모세관력에 의하여 응축된 액체의 유동이 일어나지 않는 경우에는 후단 배관이 냉각되어진다. 액체의 유동이 원활하게 이루어지지 않으면 온도조절밸브(HANYONG, DX9)를 동작시켜서 증기이젝터로서 회전자의 응축수를 응축부로 유동시킨다. 증발부의 가열을 위하여 순환식 가열수펌프를 사용하여 증발부의 입열량을 제어하였고, 증발부의 하부로 가열수가 유입되고 상부로 유출되는 형식으로 증기상승과 동일한 방향으로 설치하였다.

회전자의 밀봉시스템은 자성유체의 전자력을

이용하여 차폐하는 것으로 실험에 사용된 자성유체의 밀봉장치는 표면자계강도 3500Gauss인 링형상의 Nd-영구자석과 구동축 표면과 영구자석 사이의 거리를 3mm의 간격을 두었으며 두께 2mm인 연철폴피스를 사용하여 영구자석 사이에 두었다. 영구자석은 3개를 사용하였으며 연철폴피스는 4개를 사용하여 다단으로 설치하였다. 연철폴피스의 끝부분은 회전축과 0.5mm 간격을 두고 설치하였다.^{9)~12)}

회전자는 회전수를 조절할 수 있는 가변모타(MYUNG HUN SA, NO 8J4607)를 설치하여 회전자에 벨트를 연결하여 회전수를 조절하였다. 전체 시스템을 단열재로 보온하여 증발부 표면의 온도가 외부로의 열손실이 발생하지 않도록 하였다. 불응축가스의 발생방지, 이물질들의 부착을 방지하기 위하여 증류수로 세척하고 건조시켰다.



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| (1) Evaporator | (2) Rotor |
| (3) Condenser | (4) Storage tank |
| (5) Capillary pump | (6) Heating apparatus |
| (7) Seal assembly | (8) Slip ring |
| (9) Motor | |
| (10) Temperature controller | |
| (11) Solenoid valve | (12) Condenser tubing |
| (13) Steam ejector | (14) Radiator |
| (15) Speed controller | |

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus

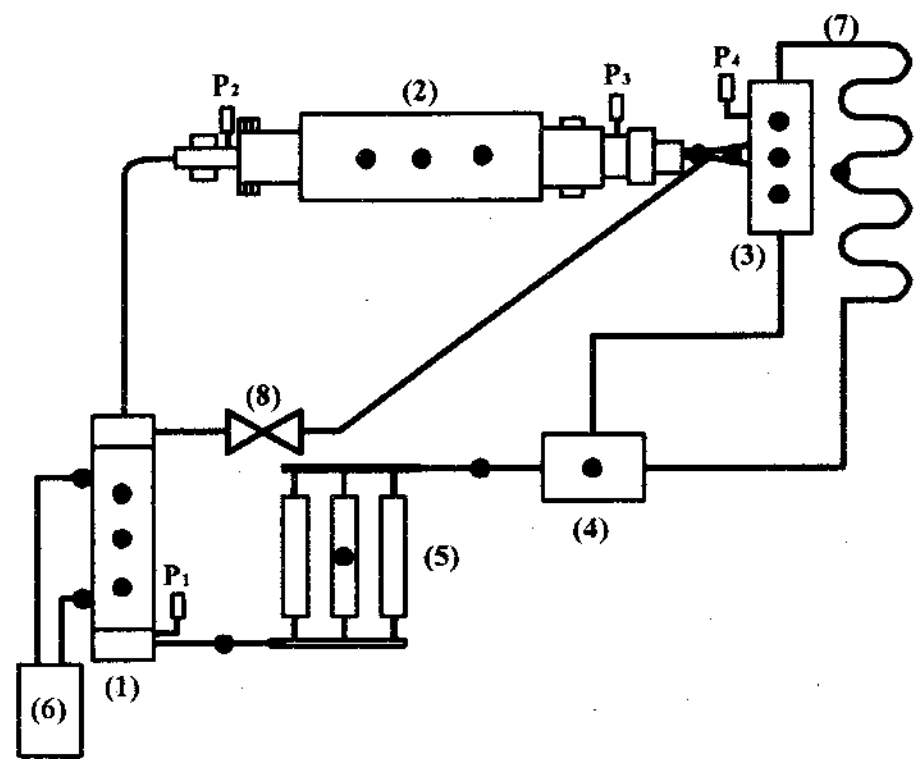
2. 실험방법

실험에서는 증발부에 증류수를 주입하여 가열함으로써 증류수가 순환하여 시스템 내부를 세척하고 이 증류수를 배수함으로써 전체시스템을 세척하였다. 증발부에서는 외부로의 열손실을 줄이기 위하여 석면으로 외부를 단열하였다. 증발부 상부에서 증기이젝터 구간에는 고온의 증기가 유동하므로 외부로의 열손실을 방지하기 위하여 이중의 석면으로 단열하였다. 시스템을 세척하고 단열한 후에 진공을 형성하기 위하여 회전자에 자성유체를 주입하고 진공을 만들었다. 응축부 상부에서 진공펌프를 이용하여 진공을 만들면서 가변모터를 사용하여 회전자를 100rpm으로 회전시키면서 진공을 형성하였다. 이것은 회전하지 않으면서 진공을 시킬 경우에는 회전할 경우와 비교하여 진공이 저하됨을 방지하기 위함이다. 전체시스템을 진공펌프를 이용하여 720mmHg까지 진공을 유지한 후 진공의 변화가 없을 경우, 증발부의 수위지시계를 통하여 작동유체인 증류수를 충전시킨 후 진공을 다시 720mmHg까지 형성된 상태에서 실험을 하였다. 이것은 성능시험중의 불응축성가스나 비응축성가스의 생성에 대비하여 작동초기의 압력을 높게 설정하여 실험을 하였다. 실험은 증발부의 수위를 25%인 1400cc까지 작동유체를 충전한 후, 가열수 펌프를 60℃까지 상승시킨 후, 증발부에 60cc/sec의 유량으로 공급하였다. 이때 회전자를 100rpm에서 증기이젝터를 사용할 경우와, 사용하지 않을 경우의 동작특성을 측정하였다. 같은 방법으로 200rpm, 300rpm으로 상승시키면서 실험을 하였다. 그리고 증발부의 수위를 50%인 1700cc, 75%인 2000cc인 경우에도 같은 방법으로 실험을 하였으며 가열수 펌프의 온도는 70℃, 80℃, 100℃인 경우에도 실험을 하였다.

3 실험 데이터 측정

실험에서 온도와 압력의 측정점은 그림 2와 같다. 분리형 히트파이프의 열전달특성을 고찰하기 위해서는 온도, 압력을 측정하여야 한다. 작동유체와 냉각수의 온도측정은 0.3mm의 열전대(K-type)를 사용하였고, 이것은 멀티온도측정기(PREMA, MC8047)에 데이터를 수신하여 사용하였다. 온도의 측정위치는 증발부 표면에 3점, 회전자 표면에 3점, 응축부 표면에 3점, 냉각코일에 1점, 저장탱크에 1점, 모세관 펌프에 3점, 증기이젝터의 입구측과 출구측, 그리고 가열수펌프의 입출구에 각각 1점의 열전대를 설치하였다. 회전자의 표면에는 열전대를 설치하여 슬립링에 의하여 온도를 측정하였다.

또한, 작동유체의 포화압력을 측정하기 위하여 증발부 입구와 회전자의 입출구, 그리고 응축부의 4곳에 압력계(VALCOM, DV9050)를 설치하여 압력강하를 측정하였다. 측정된 압력은 4채널인 기록계(YOKOGAWA, 100-240V)를 사용하여 기록하였다.



- (1) Evaporator (2) Rotor
- (3) Condenser (4) Storage tank
- (5) Capillary pump
- (6) Heating apparatus
- (7) Condenser tubing
- (8) Solenoid valve

Fig. 2. Measuring points of temperature and pressure

작동유체량 측정은 증발부에 테프론 수위계를 이용하여 측정하였고, 전체 충전량은 초기의 충전유량으로서 기록하며, 회전자의 회전수는 가변모터의 회전수로서 측정하였다. 실험에 사용된 변수는 증발부의 입열량, 회전자의 회전수, 작동유체량의 변화, 그리고 증기이젝터의 동작에 따른 작동유체의 온도와 증발부, 회전자, 응축부, 그리고 증기이젝터의 압력을 측정하고 그 값을 기록하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 증발부와 응축부의 압력변화

그림 3은 작동유체의 충전량이 1700cc인 경우에 증발부와 응축부의 압력차이를 나타낸 것이다. 회전자의 회전수가 100rpm인 경우의 작동초기에는 작동유체의 온도상승에 따라 압력차이가 서서히 증가하는 현상을 보이고 있다. 가열수의 온도가 60°C인 경우에는 증발부와 응축부의 압력차이는 4mmHg 정도로 보여지며, 시간이 경과함에 따라 압력차이는 증가하여 정상상태에서는 10mmHg로 유지됨을 알 수 있다. 그리고 가열수의 온도가 80°C인 경우에는 작동초기에 7mmHg, 1200sec 이후에는 15mmHg로 증가함을 보여주고 있다. 이것은 작동온도에 따른 포화압력의 차이로 보여지며, 증발부와 응축부의 압력차이는 작동유체의 유동상태를 나타내고 있다. 작동유체가 낮은 온도에서는 작동유체의 유동이 높은 온도에서의 유동에 비하여 압력차이가 적으므로 유동이 원활하게 되지 못한다. 그리고 온도가 높을수록 작동유체의 유동이 원활하여 압력차이가 큰 폭에서 동작한다.

또한, 모세관 펌프는 응축부에서 응축된 작동유체를 증발부에 원활하게 공급하여, 증발부와 응축부의 압력차이가 일정하게 유지되었다. 그리고 작동유체의 흐름을 한 방향으로 공급하여 작동유체 유동은 효과적이었다.

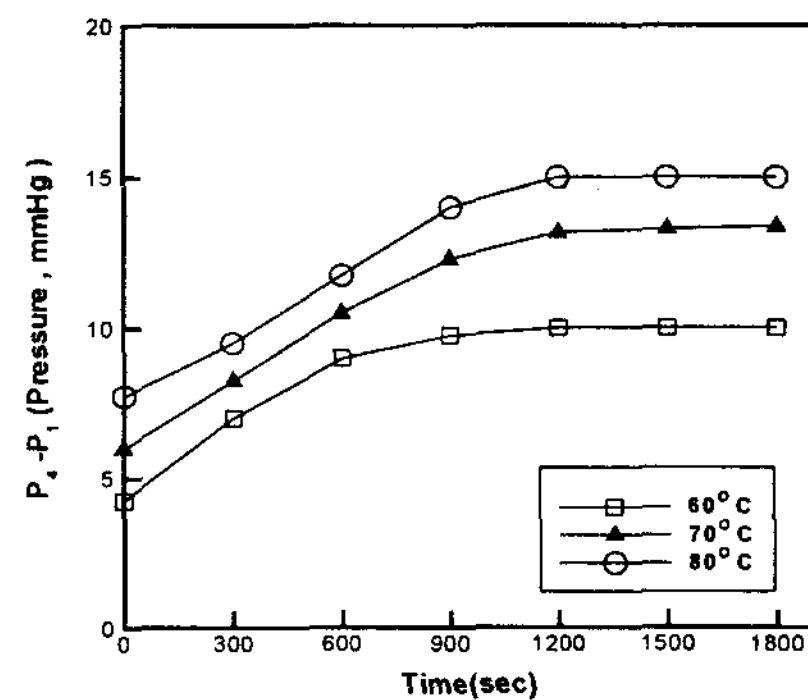


Fig. 3. Transient pressure difference between evaporator and condenser for various operating temperature at $\omega=100$ rpm, $V=1700$ cc

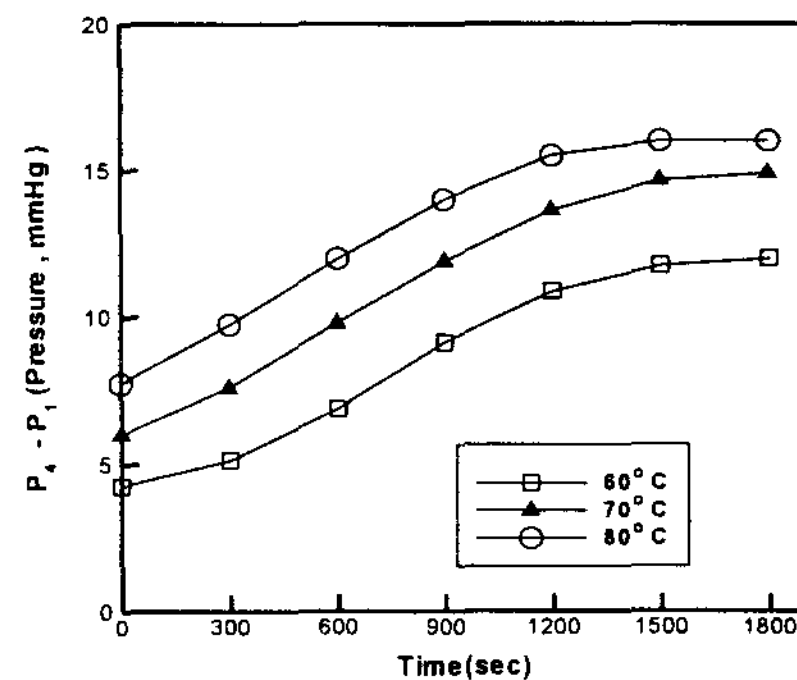


Fig. 4. Transient pressure difference between evaporator and condenser for various operating temperature at $\omega=200$ rpm, $V=1700$ cc

그림 4는 작동유체의 충전량이 1700cc인 경우에, 회전자의 회전수가 200rpm일 때 증발부와 응축부의 압력차이를 나타낸 것이다. 그림 3과 같이 압력의 변화는 동일한 경향을 나타내고 있다. 그러나 압력차이는 100rpm인 경우보다 1~2mmHg 정도 높게 나타나고 있다. 이것은 작동유체의 순환능력이 높다는 것을 알 수 있다. 회전수가 증가함에 따라 회전자의 모세관력에 의하여 회전자에서의 유동이 효과적으로 이루어지고, 이로 인하여 증발부와 응축부의 압력차이는

증가하고 작동 유체의 유동이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다.

3.2. 입열량에 따른 증기이젝터의 동작특성

그림 5는 작동유체 충전량이 1700cc, 회전수가 200rpm인 경우에 증기이젝터의 동작특성을 나타내고 있다. 측정점은 증기이젝터의 입구측 온도를 나타내며, 이것은 회전자내의 응축된 작동유체가 증기이젝터 동작에 의해 유동하고 있는 상태를 보여준다. 증기이젝터를 사용할 경우에는 온도분포는 사용하지 않는 경우보다 높게 나타남을 알 수 있다. 이것은 증기이젝터의 동작에 따라 회전

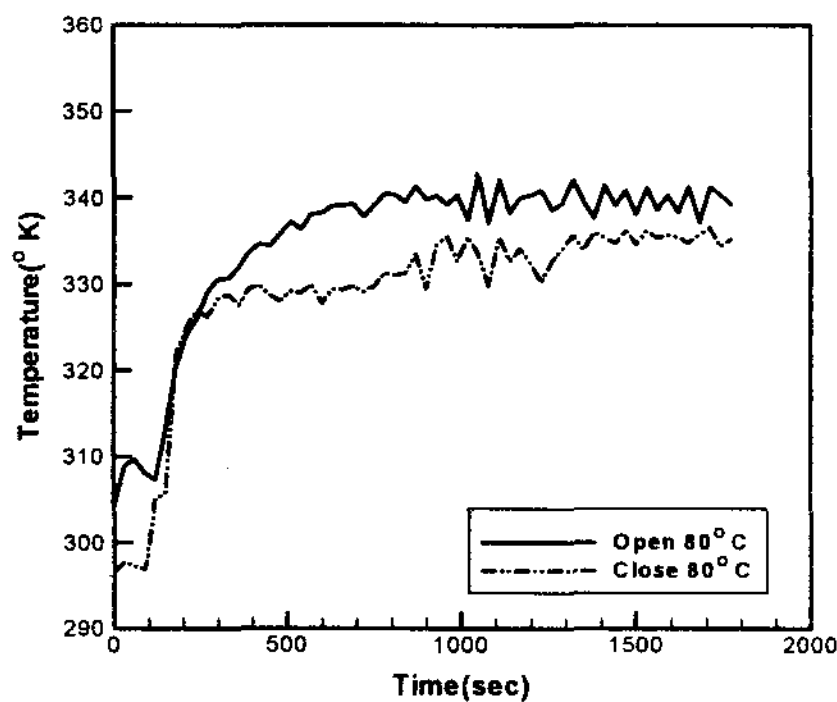


Fig. 5. Transient temperature on operating steam ejector for solenoid valve conditions at $\omega=200$ rpm, $V=1700$ cc

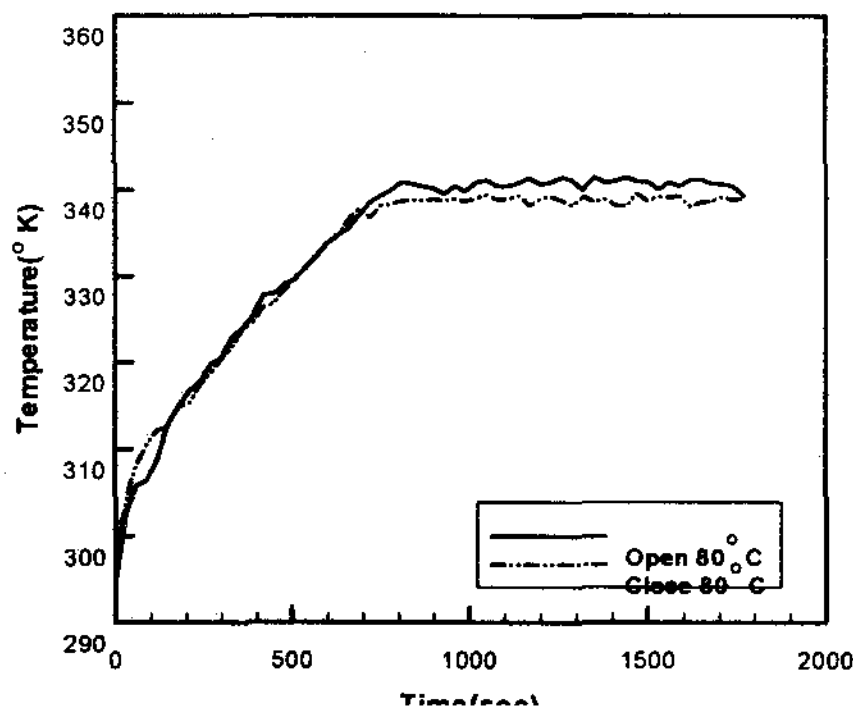


Fig. 6. Transient temperature on operating steam ejector for solenoid valve conditions at $\omega=200$ rpm, $V=2000$ cc

자 내부의 응축된 작동유체가 유출되면서 일어나는 현상이며, 증기이젝터가 동작할 때에는 회전자내의 작동유체의 유동능력이 활성화되고 있음을 보여주고 있다.

그림 6은 작동유체의 충전량을 2000cc로 증가시키고, 회전자의 회전수가 200rpm인 경우이다. 증발부 상부에서 증기이젝터로 향하는 열유속이 작기 때문에 증기이젝터를 사용한 경우가 사용하지 않는 경우보다 조금 높게 나타나며 불규칙적인 유동을 하고 있다. 이것은 증발부의 작동유체가 많아서 증발부의 총괄열전달계수가 작게 나타나며 증발부와 응축부의 압력차이는 작아진다. 따라서 증발부에서 증기이젝터의 작동능력이 적기 때문에 증기이젝터의 연속적인 동작에 많은 영향을 끼치지 못하고 있음을 보여준다.

3.3. 작동유체량에 따른 증발부 총괄 열전달계수

그림 7은 증발부에 작동유체의 수위를 변화시키면서 증발부의 총괄열전달계수를 측정한 결과이다. 분리형 히트파이프에서는 작동유체의 충전량은 작동유체의 유동에 밀접한 관계를 가지고 있다. 그러므로 증발부에서의 입열량에 따라 액체가 비등하면서 기포가 발생하고 기포가 벽면을 따라서 상승한다. 실험에서 사용된 증발부의 열교환기는 평행류를 갖는 수직상향식으로 설치하였다. 증발부의 총괄열전달계수는 입열량이 60°C,

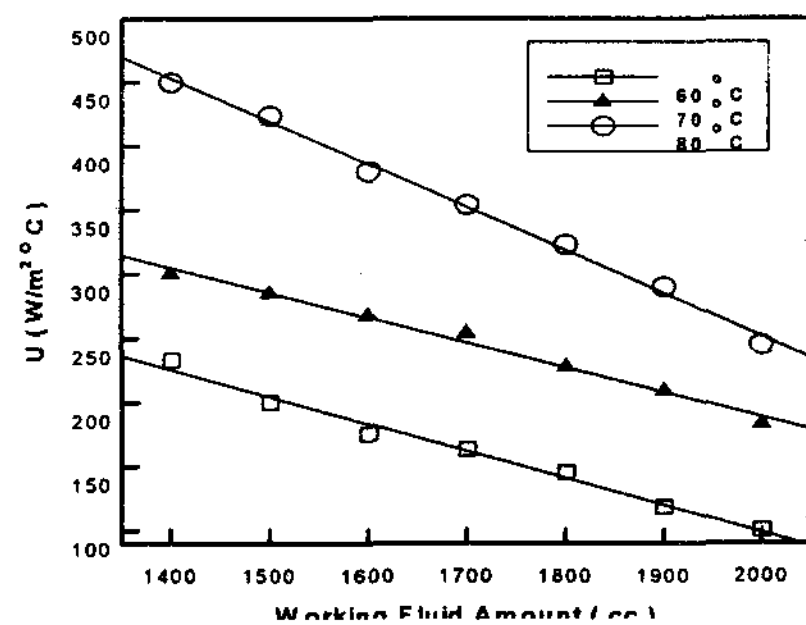


Fig. 7. Overall heat transfer coefficient of evaporator on working fluid amount

70°C, 그리고 80°C인 경우에 대하여 나타내고 있다. 증발부의 총괄열전달계수는 열교환기의 대수 평균온도차를 이용하여 계산하였으며 작동유체의 충전량이 적을수록 총괄열전달계수는 높게 나타난다. 따라서 작동유체의 충전량이 1400cc인 경우에는 총괄열전달계수는 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 작동유체의 순환시간에 비하여 작동유체의 증발능력이 우수하여 모세관펌프에서 유입되는 순간에 증발이 일어난다. 그리고 증기형성이 일어난 후 증기가 증발부 내부를 통하여 상승함과 동시에 모세관 펌프측으로도 증기가 형성되어 증발부에서의 유동 형성이 일어나지 않았다. 또한 이것은 증발부에서의 작동유체의 충전량 부족으로 인하여 발생하는 증기건조(dry out)같은 현상이다. 그러나 작동유체의 충전량이 증발부의 체적의 75%인 2000cc인 경우에는 온도상승에 따른 작동유체인 증기, 액체 혼합물의 체적이 커져서 유동이 원활하게 이루어지지 못하므로, 오히려 총괄열전달계수는 작아짐을 나타내고 있다. 그러므로 작동유체의 충전량의 증가로 작동유체의 열 유속은 작아짐을 나타내고 있다.

증발부 체적의 50%인 1700cc, 증발부 입구의 온도가 60°C인 경우에 총괄열전달계수는 162W/m²°C로 나타나며 80°C인 경우에는 354W/m²°C로 나타나고 있다. 그러므로 본 실험에서는 작동유체의 충전량이 증발부 체적의 50%인 1700cc, 증발부의 입구온도가 80°C인 경우에 증발부의 입열량에 따라 작동유체가 가장 원활하게 유동한다. 그리고 증발부에서의 과열 현상이 일어나지 않으며, 또한 작동유체의 충전량이 과다로 인하여 증기의 유동을 방해하지 않고 원활한 유동을 보여주었다.

3.4. 증기이젝터를 사용할 경우에 회전자의 온도변화

그림 8은 작동유체 충전량이 1700cc, 회전자의 회전수가 100rpm에서 증기이젝터의 동작에 따른 회전자의 평균온도를 나타내고 있다. 측정 후

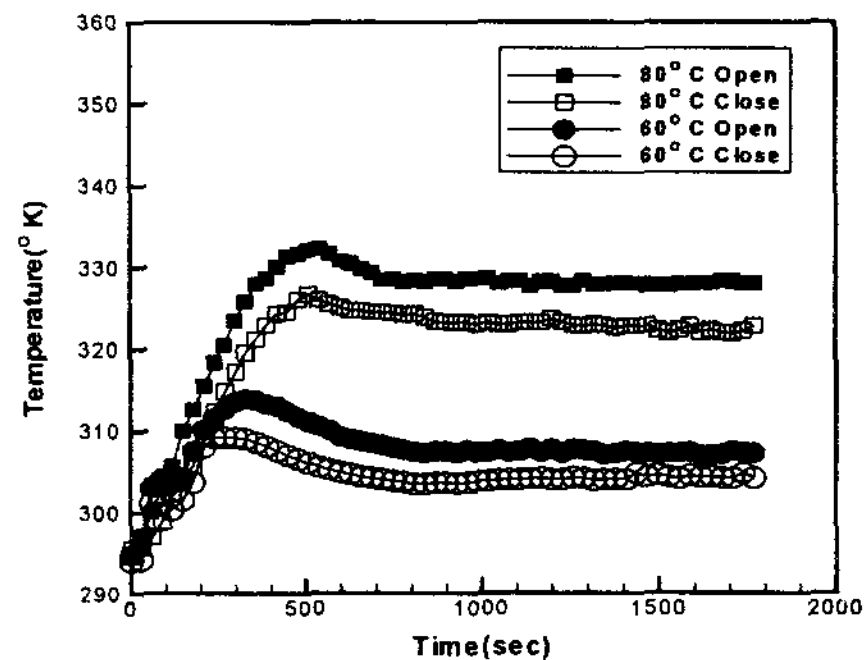


Fig. 8. Transient wall average temperature of rotor on operating steam ejector for solenoid valve conditions at $\omega=100$ rpm, $V=1700$ cc

500sec 동안에는 입열량의 영향으로 회전자의 온도가 급격히 상승하고, 800sec 후에는 회전자의 온도가 안정화 상태를 보여주고 있다. 이것은 작동초기에는 회전자내의 압력상승에 따른 포화온도가 상승하고, 그리고 가열수온도가 60°C일 경우에는 300sec에서 800sec 사이에는 약 5°C의 온도가 감소하는 현상이 나타난다. 이러한 현상은 증기가 팽창하여 증발부, 회전자, 응축부의 압력평형이 이루어지는 800sec 이후에는 정상상태로 되어짐을 알 수 있다. 가열수의 온도가 80°C인 경우에도 이와 같은 압력평형에 따른 영향으로 같은 현상을 보여주고 있다. 그리고 증기이젝터를 사용할 경우에는 작동유체의 유속에 대한 영향으로 회전자의 온도가 사용하지 않는 경우보다 높게 나타난다. 증발부의 가열수 입구온도가 80°C에서 정상상태에 도달한 800sec 이후에는 증기이젝터를 사용한 경우에는 회전자에서의 온도가 사용하지 않은 경우보다 7°C 정도 높게 나타나며, 가열수 입구온도가 60°C인 경우에는 3°C 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 그러므로 증기이젝터는 회전자의 액막두께와 전체시스템에 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

그림 9는 작동유체 충전량이 1700cc, 회전수가 200rpm인 경우이다. 회전수의 영향으로 작동초기에는 가열수 입구온도가 높은 80°C인 경우는 회

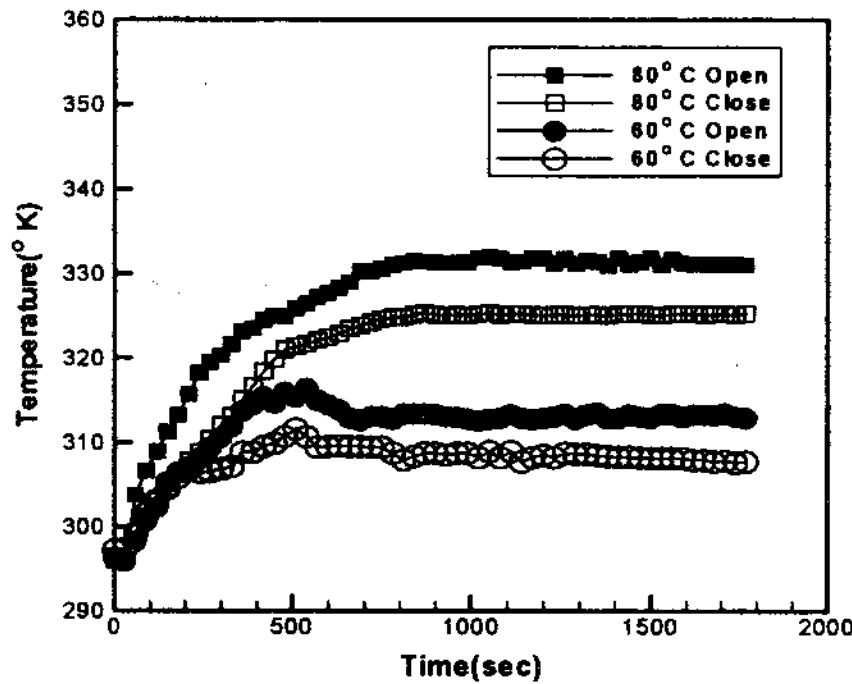
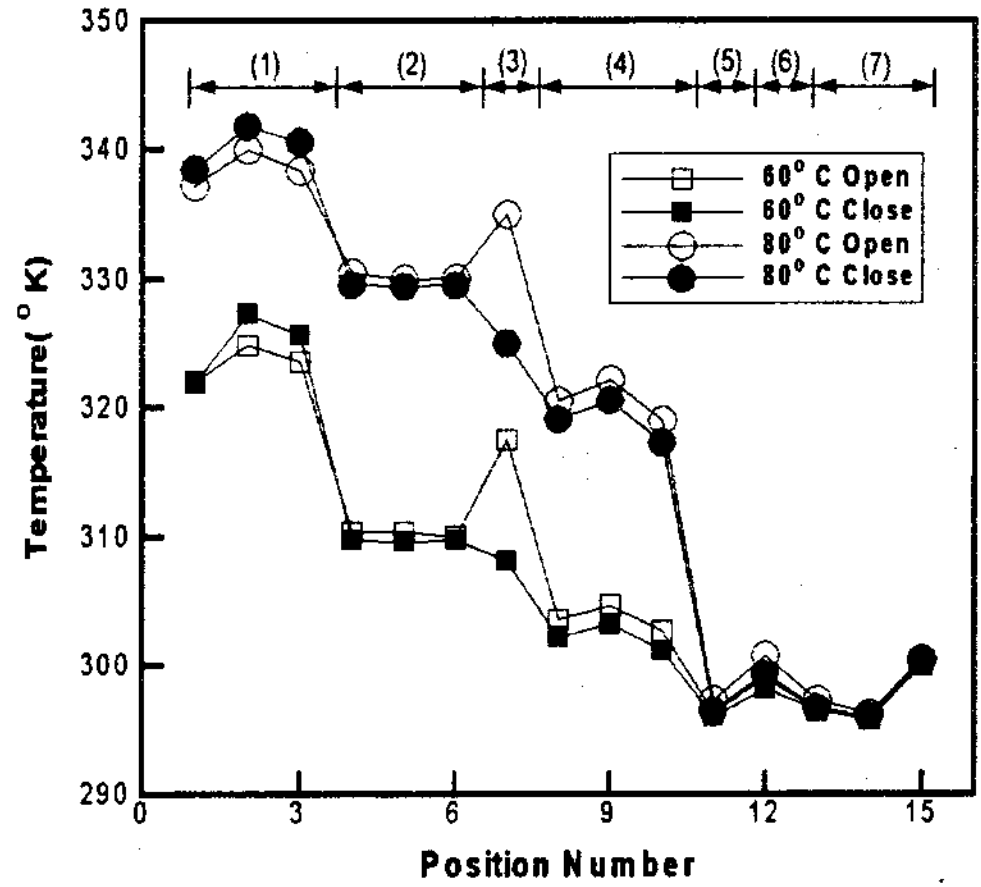


Fig. 9. Transient wall average temperature of rotor on operating steam ejector for solenoid valve conditions at $\omega=200$ rpm, $V=1700$ cc

전자 내부의 유동 정체 현상 없이 유동하는 것을 나타내고 있다. 가열수의 온도가 60°C인 경우에는 압력 평형기간이 다소 지연되게 나타남을 보여준다. 이것은 작동유체의 온도가 낮기 때문에 회전수 증가에 따른 작동유체의 유동이 작동초기에는 효과적으로 동작하지 못하고 있으며, 회전수에 따라 회전자 벽면의 온도 분포는 거의 일정하게 유지하고 있다.

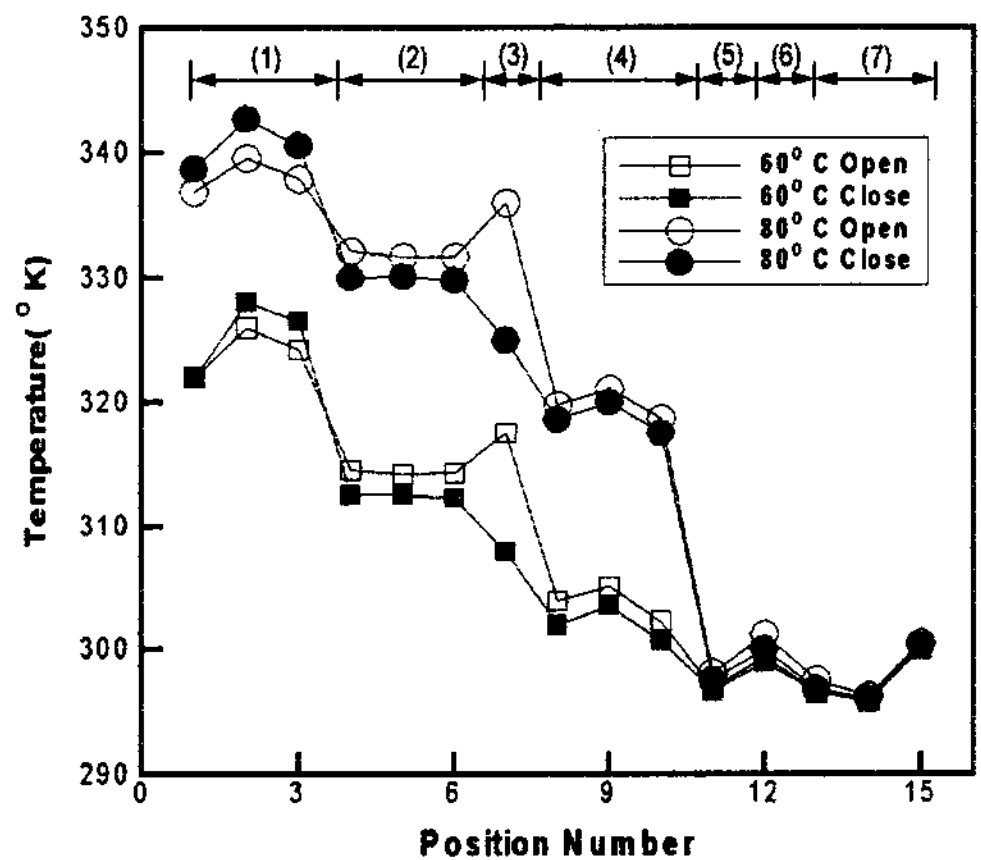
3.5. 전체시스템의 위치별 온도분포

그림 10과 그림 11은 작동유체 충전량이 1700cc, 회전수가 100rpm과 300rpm의 경우에 전체시스템의 벽면의 온도분포를 나타낸 것이다. 여기서 점 1, 2, 3은 증발부의 벽면의 온도를 나타내고, 점 4, 5, 6은 회전자의 온도분포를 나타낸다. 점 7은 증기이젝터의 출구온도로서 증기이젝터를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 따라서 온도분포가 크게 차이가 남을 알 수 있다. 작동온도에 관계없이 증기이젝터를 사용할 경우에는 회전자의 온도는 상승하고 유동은 더욱 효과적임을 보여준다. 점 8, 9, 10은 응축부의 온도분포를 나타내며 응축부의 중간부분으로 열량이 공급되므로 상 하부의 온도는 낮게 나타난다. 점 11은 냉각코일을 통한 냉각으로 벽면의 온도는 대



- (1) Evaporator
- (2) Rotor
- (3) Steam ejector
- (4) Condenser
- (5) Condenser tubing
- (6) Storage tank
- (7) Capillary pump

Fig. 10. Wall temperature along position number for various operating temperature and solenoid valve conditions at $\omega=100$ rpm



- (1) Evaporator
- (2) Rotor
- (3) Steam ejector
- (4) Condenser
- (5) Condenser tubing
- (6) Storage tank
- (7) Capillary pump

Fig. 11. Wall temperature along position number for various operating temperature and solenoid valve conditions at $\omega=300$ rpm

기중의 온도와 같고 가장 낮게 지시한다. 점 12는 저장탱크의 온도이며, 점 13, 14, 15는 모세관 펌프의 온도를 나타내며, 점 15는 증발부의 온도 영향으로 조금 높게 나타난다.

증발부의 열유속에 관계없이 모세관 펌프의 온도는 최저점을 나타내고 있으며, 이것은 작동유체 유동의 방향성이 일정하다는 것을 나타내어주고 있다. 전체적인 벽면의 온도분포에서 유체유동에 따른 벽면의 온도분포는 증기이젝터를 사용한 경우에 더욱 효과적임을 알 수 있다. 그리고 자성유체의 밀봉특성은 온도와 회전수에 관계없이 정상상태에서는 압력이 유지되므로 회전자의 온도를 일정하게 유지한다. 따라서 전체 시스템 구성이 완벽하다고 판단되며 응용 가능성이 높다.

4. 결 론

분리형 히트파이프에 회전자를 설치하여 시스템을 구성한 후, 증발부의 입열량, 회전자의 회전수, 그리고 작동유체 충전량을 변화시키면서 회전자의 열전달특성을 고찰하였다. 또한 작동유체 유동특성에 따른 회전자의 온도변화, 증기이젝터의 작동유체 수송장치 적합성, 모세관 펌프의 유동력에 대한 적합성등과 회전자의 결합에 이용한 자성유체 밀봉의 성능을 평가하였다.

본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 회전자의 밀봉에 사용한 자성유체는 온도변화와 회전수의 변화에 대하여 안정적으로 작동하였으며, 자성유체로서 밀봉하는 방법은 적합하였다.
2. 증기이젝터는 회전자에 응축된 작동유체를 회수하는데 효과적이었으며, 증기이젝터 동작시 작동유체의 유속의 증가로 회전자의 벽면온도가 증가하고, 회전자를 균일한 온도로 유지할

수 있었다.

3. 작동유체 충전량과 회전수에 따른 최적의 설계조건은 작동유체 충전량이 증발부 체적의 50%인 경우가 가장 효과적이며, 작동유체의 작동온도에 대한 조건은 80°C에서, 회전수가 200rpm과 300rpm에서 안정적 동작을 하였다. 작동유체의 충전량이 증가함에 따라 총괄열전달계수는 선형적으로 감소하는 현상을 나타내었다.

REFERENCE

1. P. D. Dunn, D. A. Reay, *Heat pipes*, Elsevier Science Ltd, England, Fourth edition, 1994, pp.1~7.
2. S. W. Chi, *Heat Pipes Theory and Practice*, Mc GRAW-Hill Book Company, 1976, pp.1~30.
3. 大島耕一, 松下正, 小林康德, 根岸完二, 小木曾建, *熱設計 핸드ブック*, 朝倉書店, 1992, pp.157~159, pp.222~287, pp.369~379.
4. 大島耕一, 松下正, 村上正秀, *히트파이프工學*, 朝倉書店, 1981, pp.208~212.
5. 日本히트파이프協會, *實用히트파이프*, 日刊工業新聞社, 1985, pp.99~129.
6. A. Faghri, *Heat pipe Science and technology*, Taylor & Francis, 1995, pp.341~492.
7. 金京錫, 金垣寧, *蒸氣이젝터의 性能特性 및 電算設計에 關한 研究*, 韓國海洋大學校 大學院論文集 第15輯, 1994, pp.289~369.
8. 金京根, 金明煥, 高相喆, *液體用 이젝터의 컴퓨터設計 및 實驗에 關한 研究*, Energy R & D, Vol. 10 No. 1, 1988, pp.24~35.
9. 金營三, *新時代의 磁性材料*, 大光文化社, 1991, pp.317~327.

10. 강신우, 김영삼, *철계 자성유체를 이용한 기
름 밀봉장치 개발에 관한 연구*, 한국자기학회,
Vol. 9, No. 2, 1999, pp.121~126. Journal of Korea Magnetics Society, Vol.
4, No. 1, 1994, pp.56~60
11. 김동훈, 한송엽, 박관수, 이기식, *자성유체 밀
봉시스템의 치 형상에 따른 내압 특성해석*,
12. 武富荒, 近角聰信, *磁性流體 基礎と應用*, 日
刊工業新聞社, 1991, pp.14~28