

# 히트파이프를 부착한 구동모터의 냉각성능에 관한 연구 Investigation of Cooling Performance of the Driving Motor Utilizing Heat Pipe

이 동 렬  
Dong-Ryul Lee

**Key Words** : Motor Cooling (모터냉각), Heat Pipe (히트파이프), Surface Cooling (표면냉각), Cooling Performance (냉각성능)

**Abstract** : This research is to verify the cooling effect of the acting surface on the rotary motor using heat pipe and conventional cooling fan. In order to show the cooling performance of the rotary motor and heat pipe with the fin-typed heat sink, the surface temperature of the motor and condenser was measured in real time. The experiments were also conducted as for not only cooling device installed with heat pipe only, but with heat pipe and conventional cooling fan simultaneously. The present experiment reveals that the cooling combination of the heat pipe and cooling fan is far superior to the conventional cooling device for the driving motor such as the fin-typed heat sink. When the driving voltage of 20V and 14V were supplied to the driving motor, the cooling performance of the rotary motor with heat pipe was 170% and 500%, respectively better than that without heat pipe on steady state condition.

## 1. 서 론

최근 다양한 산업용 기계와 전자장비등 여러 분야에 여러 종류의 구동모터들이 사용되고 있으며 그 성능도 빠른 속도로 발전되고 있다. 모터의 성능이 증가함에 따라 모터의 발열량도 증가 되고 있다. 이로 인해 여타 부품의 온도에 비해 모터의 온도가 상당히 높아져서 문제가 발생되고 있다. 모터의 표면을 낮은 온도로 유지하기 위해서 열을 효율적으로 방열하는 방안에 대한 연구가 필요하게 되었다.<sup>1,2,3)</sup>

현재 사용되고 있는 구동모터의 간단한 냉각 방법은 외부의 낮은 온도의 공기를 이용한 대류열전달 방법이며, 고온 열원의 보다 효율적인 냉각을 위해 전열면적을 확장한 핀 형상의 방열기를 사용하고 있다. 핀 형상 구동모터의 방열기는 Fig. 1(a)에 나타나 있으며 핀은 사각 직선형으로 길이 방향으로 나열되어 있다. Fig. 1(b)은 회전형 히트파이프의 구동모터냉각기술이다. 이 기술은 회전형 히트파이프를 사용하여 모터를 냉각하는 방법으로 회전자의 속에 직접 히트파이프를 끼워 넣은 방법이다. 회전형 히트파이프의 열수송 효율은 매우 크기 때문에 히트파이프와 열원의 접촉, 히트파이프에서 외기에의 방열로 큰 냉각효과가 있다. Fig. 1(c)은 캔타입의 모터냉각장치이다. 모터가 가동 중 발생하는 열을 냉각시키는 냉각수가 흐르는 냉각파이프를 스테이터의 슬롯내에 구성한 것을 특징으로 하는 캔타입 모터 냉각장치이다.<sup>4,5,6,7,8)</sup>

이와 같이 다양한 종류의 구동모터의 냉각 장치가 개발되고 있으나 본 연구는 핀 형상의 방열기구동모터를 히트파이프를 이용하여 효과적으로 냉각하기 위해서다. 핀 형상은 확장된 표면에 의한 대류열전달 성능의 향상을 위해서 단위부피당 높은 표면적비와 유동의 효율적인 조합이 중요한 요소임이 알려져 있다. 그러나 구동모터의 표면의 냉각과 같은 제한된 공간에서 상용되는 방열기의 전열면적을 증가시키기 위해서는 핀의 두께와 핀의 간격을 줄여야하며 이것은 제작비의 급격한 상승과 기계적인 강도의 저하를 초래하게 된다.<sup>9)</sup>

따라서 본 연구에서는 기존의 연구결과를 바탕으로 히트파이프와 팬을 모터의 냉각에 적용, 다양한 유동조건에서 팬과 히트파이프를 조합하여 냉각 성

접수일 : 2006년 6월 30일, 채택확정 : 2006년 8월 23일  
대구가톨릭대학교 기계자동차공학부  
E-mail : dlee@cu.ac.kr Tel. 053-850-2717

능을 실험을 통해 측정하였다. 기존의 연구의 핀의 효율에 대한 자료를 확보하고자 두께(t), 폭(W), 길이(L)가 방열성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

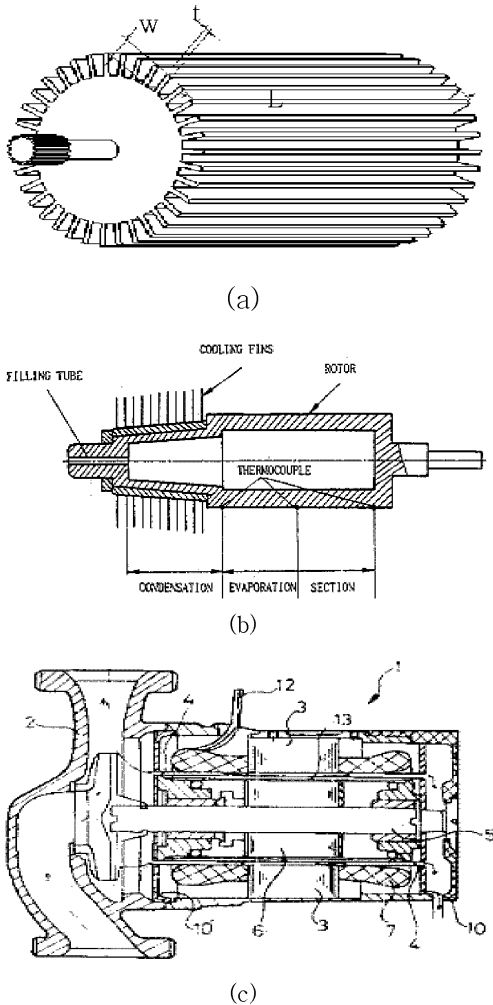


Fig. 1 Detailed schematic of the cooling device of the motor

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 모터 냉각장치의 실험 장치의 개략도이다.

실험에 사용한 모터는 지름 60mm, 높이 80mm의 크기를 가진 형상에 가로(L) 10mm, 세로(W) 80mm, 두께(t) 1mm의 형상의 핀을 40개 부착하였다. 히트파이프는 지름 6mm, 높이 150mm의 형상이며 작동유체는 작동온도  $-50 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내에서 사용하였으며 5개의 히트파이프를 사용하였다. 히트파이프는 증발부, 단열부, 응축부로 구분되고 구성요소로는 Container, Wick, Working Fluid가 있다. 증발부로 열이 가해지면 Working Fluid가 동작하며 기화하여

단열부를 지나 응축부로 열을 전달하고 Working Fluid는 액화되어 Wick을 통하여 다시 증발부로 되돌아오게 된다. 이러한 일련의 과정을 반복하면서 열원의 열을 이동시켜 냉각효과를 가지게 한다. 히트파이프의 응축부에서의 냉각은 히트 싱크와 팬을 이용하여 강제공냉이 이루어지도록 하였다. 모터의 표면의 냉각 상태와 히트파이프의 냉각 성능시험을 위해 응축부에 J-type 열전대를 설치하여 다양한 조건에서 열원의 온도를 측정하였다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 5개의 히트파이프를 이용하여 모터의 발생한 열을 히트 싱크와 팬으로 구성된 응축부로 이송시켜 냉각시키는 구조를 가지고 있다.

모터에 설치된 히트파이프 냉각성능시험을 위해 전압(V)의 차이와 모터 표면의 위치에 따른 냉각효과를 측정하기 위해 열전대를 부착하였고 Fig. 2에 모터 냉각의 개략도 및 열전대의 위치를 도시하였다.

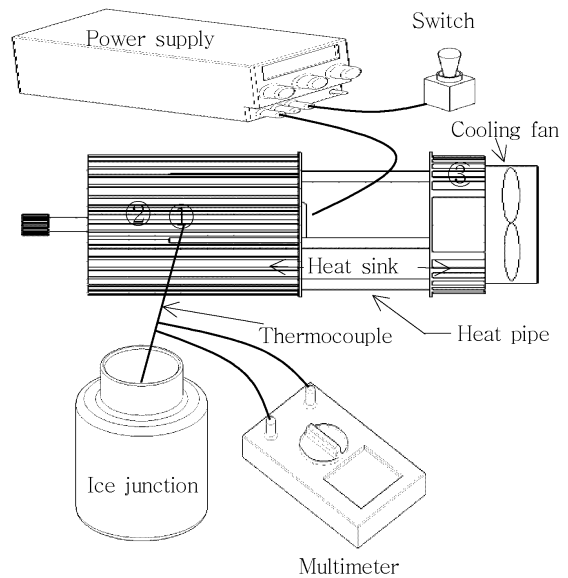


Fig. 2 Schematic diagram of the overall experimental apparatus

No	온도 측정 위치
1	히트파이프 주위
2	히트파이프 증발부 주위
3	히트파이프 응축부 주위

## 3. 실험결과 및 고찰

열원 표면에서의 대류열전달 계수는 다음과 같이 표현한다.

$$\ddot{q} = hA(T_w - T_\infty) \quad (10)$$

여기서  $\ddot{q}$ 는 열원에서 열유속,  $h$ 는 평균 대류열 전달 계수,  $T_w$ 와  $T_\infty$ 는 각각 열원 표면의 평균온도와 외부 공기의 온도이다. 외부 공기는 2중 덮개 사이에 단열재를 넣어서 차단하였다. J-type의 열전대를 사용하여 히트파이프 응축부와 모터표면의 온도를 측정하였다.

모터냉각의 목적은 모터의 장시간 사용으로 발생되는 모터의 과열 등 여러 가지 문제점을 해결함으로써 모터의 효율적인 작동을 보장하는 것이다. 열원표면의 온도는 방열기 설계의 주요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 방열기의 냉각성능을 표면온도의 관점에서 평가하였으며 실험여건에 따라 온도변화를 측정하였다.

본 연구에 사용한 모터의 형상은 Fig. 1과 동일하다. Fig. 2에 보여진 바와 같이 제작하여 다양한 유동 조건에서의 냉각성능을 측정비교 하였다. Fig. 1과 같이 추가 냉각 장치가 없을 경우, 히트파이프의 열전달 성능을 알기 위한 응축부의 온도를 측정하였고 히트파이프만 설치했을 경우, 히트파이프와 냉각 팬을 모두 있을 경우에 구동 모터 표면 온도 측정을 통한 열전달 특성을 파악하였다.

Fig. 3은 히트파이프의 응축부(Fig. 2 ③)에 J-type의 열전대를 사용하여 온도를 측정하였다. 냉각팬이 작동하지 않았을 때 응축부의 온도를 측정 하였을 때 히트파이프가 빠른 열전달 속도를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 냉각팬이 작동했을 때 냉각팬의 영향을 받은 응축부의 온도가 일정하게 유지되며 응축부가 빠르게 냉각된다는 것을 알 수 있다.

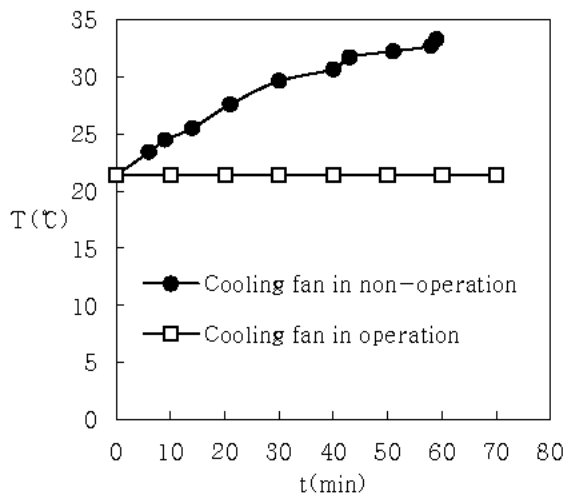


Fig. 3 Temperature variation at the condenser of the heat pipe

Fig. 4는 전압차이에 의한 구동모터의 온도변화를 보여주며, 자연대류(즉, 냉각 팬과 히트파이프가 모두 장착되지 않은 경우) 열전달 면에서는 표면온도(Fig. 2 ②)가 높은 전압일수록 표면온도가 빠르게 증가하며 높은 온도를 나타내고 있다. 모터의 공급되는 전압은 각각 14V와 20V이다. 20V에서 14V보다 약 10.5% 높은 온도를 나타내고 있다. 모터표면의 방열편은 열을 전도에 의해 표면의 열을 균일하게 분산시켜 주변으로 방열하는 역할을 한다.

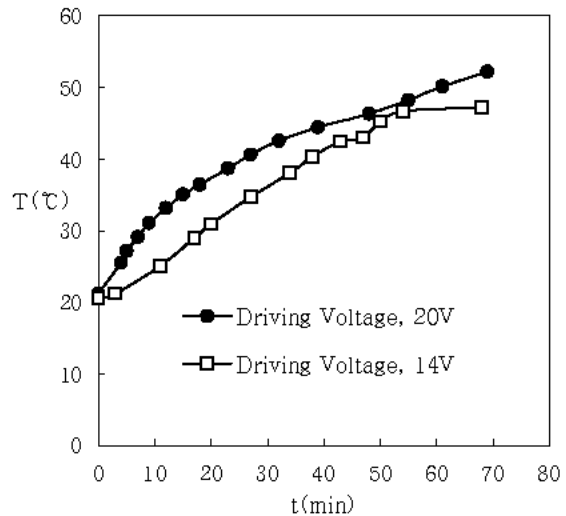


Fig. 4 Temperature variation of the motor with respect to the voltage difference(Fig. 2 ②)

Fig. 5는 모터표면에 5개의 히트파이프를 설치하고 구동모터에 약 14V의 전압을 공급하였을 때 모터표면(Fig. 2 ①)의 온도를 J-type의 열전대로 온도를 측정하였다. (냉각팬은 작동하지 않는 경우) Fig. 5에서 모터표면의 온도가 계속 상승하다가 일정하게 유지 되는 것을 알 수 있다. Fig. 4(14V의 구동 전압)와 비교했을 때 히트파이프를 설치한 모터의 표면 온도는 그 보다 약 27.7% 정도로 냉각효과가 증가 하였다. 이것은 모터의 표면에서 발생한 열을 히트파이프의 증발부에서 이 열을 흡수하여 단열부를 지나 응축부로 이동한다. 이동한 열은 응축부에서 방열하기 때문에 모터의 표면이 냉각되는 것이다. 히트파이프만으로도 모터의 표면냉각이 가능하다는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 모터의 표면에 5개의 히트파이프를 설치하고 냉각팬이 작동할 때 모터표면의 위에 따른 온도를 2개의 J-type의 열전대로 측정된 결과이다. 열전대의 측정위치는 모터표면에 설치된 히트파이프의 증발부의 주변(Fig. 2 ①)과 히트파이프 사이의 공간(Fig. 2 ②)에서 온도를 측정하였다. Fig. 6에서 보여진 바와 같이 히트파이

프의 사이의 공간에도 증발부의 주변온도와 비슷한 결과로 알 수 있듯이 히트파이프의 영향을 받아 모터의 표면이 냉각된다는 것을 알 수 있다. Fig.4(20V의 구동전압)와 비교했을 때 모터표면의 온도는 그보다 각각 약 65.3%, 67.4% 정도로 냉각효과가 증가 하였으며 Fig. 5에서의 실험 보다 냉각효과가 그보다 각각 약 17.2%, 18.7%가 증가하였다. 냉각팬은 히트파이프의 응축부에서 방열되는 열뿐만 아니라 모터 표면에도 영향을 주어 냉각효과를 더욱 증가시켜 주는 것으로 예상된다. 모터의 표면은 히트파이프와 냉각팬의 영향을 받아 표면냉각이 이루어진다. 냉각팬과 히트파이프가 동시에 작동하였을 때 모터의 표면이 더욱 효과적으로 냉각이 이루어지 것으로 보인다. Fig. 7은 5개의 히트파이프와 냉각팬이 동시에 작동할 때 모터에 각각 14V, 20V의 서로 다른 전압을 공급하였을 때 모터의 표면온도(Fig. 2 ①)를 J-type의 열전대로 측정한 것이다. (Fig. 2 ①과 ②에서 측정된 온도가 큰 차이가 없으므로 ①에서 측정) 20V의 전압에서 14V의 전압보다 표면의 온도가 약 5.2%증가 하였으나 큰 차이 없이 냉각되었다. 따라서 전압의 차이로 인한 표면온도의 상승은 미미하여 온도변화에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다. Fig. 4에서 14V의 전압으로 공급되었을 때를 비교 하면 그보다 약 59.45%의 냉각효과가 증가 하였으며 20V의 전압으로 공급하였을 때는 약 67.4%의 냉각효과를 나타냈다. 히트파이프와 냉각팬이 모터의 표면을 효과적으로 냉각할 수 있는 것을 알 수 있다. 높은 전압일수록 모터의 표면온도가 급상승하였으나 히트파이프와 냉각팬의 조합으로 모터의 표면을 냉각시켜주는 것으로 예상된다.

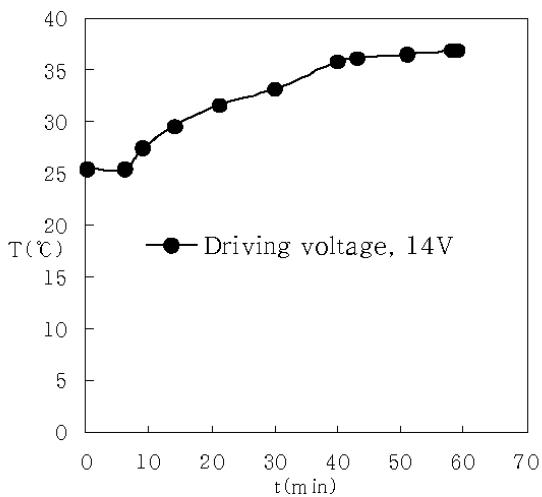


Fig. 5 Temperature variation of the motor using heat pipe (Fig. 2 ②)

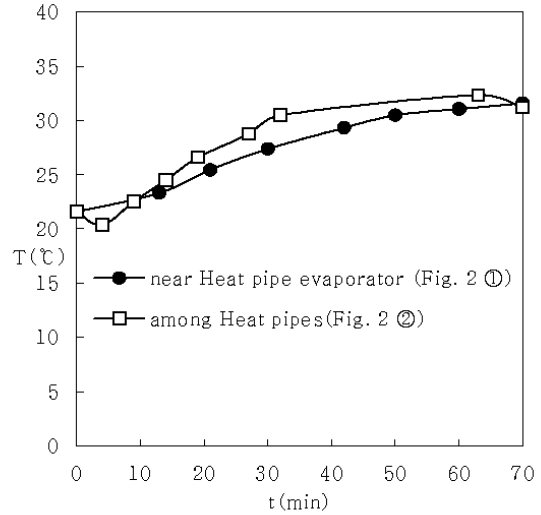


Fig. 6 Temperature variation with respect to the local position of the motor

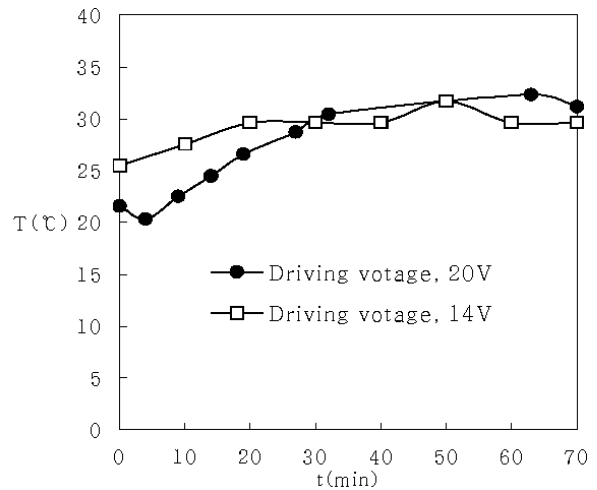


Fig. 7 Temperature variation of the motor using heat pipe and cooling fan with respect to the voltage difference (Fig. 2 ②)

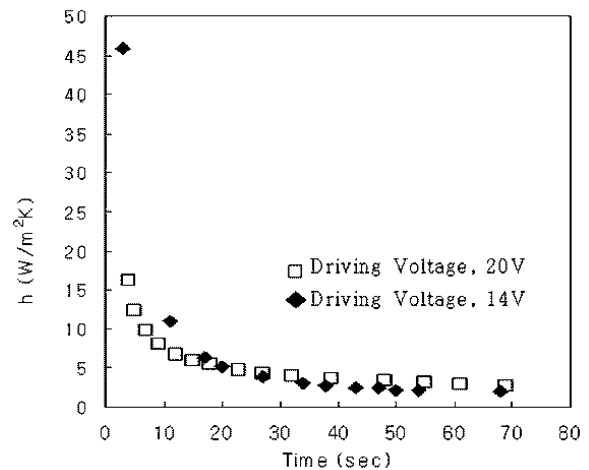


Fig. 8 Heat transfer coefficient without heat pipe

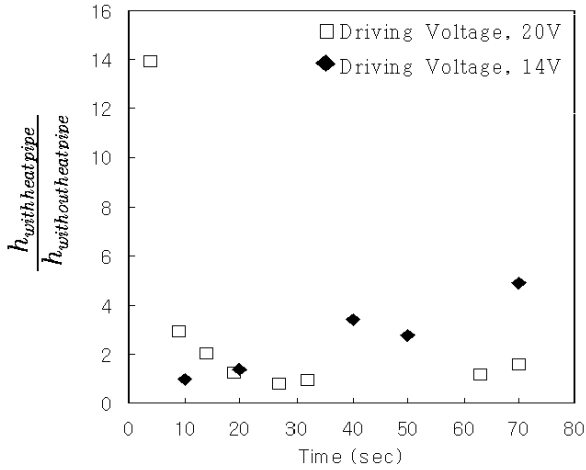


Fig. 9 Heat transfer coefficient with heat pipe

Fig. 8은 구동모터에 히트 파이프를 사용하지 않을 경우에 14v 및 20v의 전압을 공급하였을 때 핀형 방열기의 구동모터와 냉각팬이 작동하여 구동모터가 냉각될 경우, 대류열전달 계수를 측정하는 것이다. 냉각초기시간 10sec 이내에는 14v의 전압을 인가하였을 때 3배이상 구동 모터가 냉각이 잘 되었으나 30sec 이상의 냉각시간에서는 20v의 전압을 인가할 경우에 냉각이 약 32%~35% 정도 냉각 성능이 우수한 것으로 측정되었다.

Fig. 9는 구동모터에 히트 파이프를 사용할 경우에 14v 및 20v의 전압을 공급하였을 때 핀형 방열기의 구동모터와 냉각팬이 작동하여 구동모터가 냉각될 경우와 히트파이프의 사용하지 않을 경우의 대류열전달 계수의 비를 측정하는 것이다. 이 결과를 살펴보면 20v 전압인가의 경우 냉각초기, 10sec 이내에서는 히트파이프를 사용할 경우가 사용하지 않는 경우 보다 3~15배 정도의 냉각 성능의 향상을 보여 주었고 냉각시간이 20sec 이상에서는 최고 1.5 배 정도의 냉각성능 향상을 나타내었다. 그러나 14v의 전압을 인가할 경우에는 냉각초기, 10sec 이내에서는 냉각 성능을 향상을 보여주지 않았지만 냉각시간이 40sec 이상에서는 히트파이프를 사용할 경우가 사용하지 않는 경우보다 3~5배 정도의 냉각 성능 향상을 보여 주었다.

Fig. 10은 구동 모터에 20v의 전압을 인가하여 모터의 국소 냉각을 수행하기 위하여 히트파이프를 사용했을 때, 히트파이프 주위의 국소적인 위치에 따른 열전달 계수를 측정하는 데이터이다. 이 측정에서도 알 수 있듯이 냉각초기, 10sec 이내에서는 히트파이프의 주위(Fig.에서 ①위치)에서 가장 냉각이

잘 되고 있음을 알 수 있고 냉각시간 10~30 sec 사이에서는 히트파이프의 응축부 주위에서의 냉각이 히트파이프 주위 및 증발부 주위보다 약 30%~60% 정도 냉각이 잘 되고 있으며 냉각시간 40sec 이후에는 응축부 주위의 냉각이 히트파이프 주위 및 증발부 주위보다 20%~25% 정도 냉각이 국소적으로 수행되고 있음을 알 수 있었다.

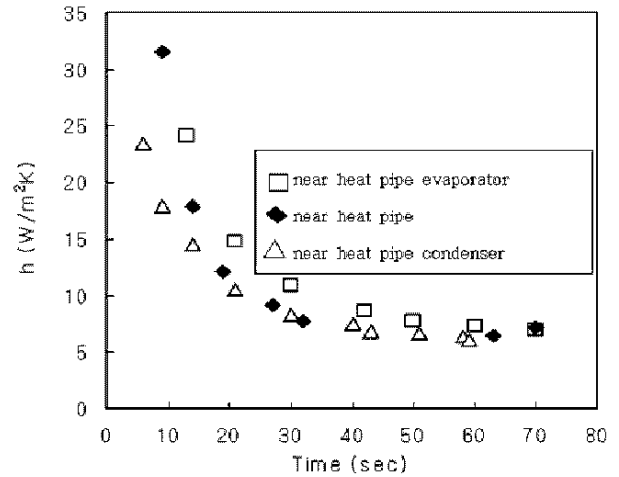


Fig. 10 Heat transfer coefficient with heat pipe with respect to the local position

#### 4. 결 론

히트파이프와 냉각팬의 조합은 실제 구동모터의 냉각에 적용하기 위해서 다양한 유동조건 변화에 따른 열전달 성능을 실험적으로 측정하고 기존 모터의 방열기의 냉각성능과 비교를 통해 수행하였다. 히트파이프와 냉각팬의 조합은 현용 구동모터의 냉각용 핀형 방열기보다 실험을 통해 방열성능이 우수하다는 것을 확인하였다. 히트파이프와 냉각팬이 동시에 작용하였을 때 전도와 강제대류가 일어나 충분한 냉각효과를 나타내서 열원의 표면온도가 일정한 값에 도달하게 되면 표면온도는 유지되었다. 5개의 히트파이프와 냉각팬으로도 방열성능과 냉각성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 좀더 구체적으로 언급하자면 정상 상태가 되었을 때, 20V 및 14V를 인가할 때 히트파이프를 설치할 때가 설치하지 않을 때 보다 냉각이 각각 170% 및 500% 정도가 우수함을 실험적으로 검증할 수 있었다.

하지만 이번 연구에 사용한 구동모터의 크기가 한 종류로 한정된 시험을 하게 되었으며 이러한 구조의 냉각장치는 간단하고 잔 고장은 적으나 기존

의 구동모터보다 체적이 커지는 문제가 있다. 앞으로 다양한 크기의 구동모터에 이러한 냉각장치를 적용하는 연구와 냉각장치의 체적문제를 개선하는 연구가 추가되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

1. Babin, B. R., Peterson, G. P., Wu, D., 1990, "Steady-State Modeling and Testing of a Micro Heat Pipe," ASME J. of Heat Transfer, Vol. 112, No.3, pp.595~601
2. 박종홍, 이재현, 1996, "전자장비 캐비닛의 냉각 특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집, 제20권, 제7호, pp. 2356 ~ 2366.
3. 노홍구, 임경빈, 박만홍, 2001, "히트 스프레더가 사용된 노트북 PC의 냉각성능에 관한 수치적 연구", 대한기계학회 논문집, 제25권, 제6호, pp. 766 ~ 775.
4. 오박균, 오세진, 변광수, 이석호, 2001, "노트북 PC용 히트파이프 냉각시스템의 성능에 관한 실험적 연구", 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp.314~319.
5. Moon, S. H, Hwang, K., and Choi, T. G., 2001, "Application of Miniature Heat Pipe for Notebook PC Cooling," KSME J., Vol. 25, No.6, pp.799-803.
6. 이기우, 박기호, 이석호, 유성연, 2002, "전자냉각용 히트파이프 히트싱크 개발", 대한설비공학회 논문집, pp.664~670.
7. Lee, M. H., Pack, J. W, Kim, S. Y., and Lee, K. S., 2002, "Heat Transfer from a Fan-Aluminum Foam Heat Sink Assembly for CPU Cooling," KSME J., Vol. 26, No.3, pp.417-422.
8. 강상우, 이운표, 2004, "소형 CPL 히트파이프를 이용한 전자장치 냉각 기술", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1241 ~ 1246.
9. Kim, M. H, 특허 출원번호 20-1990-0012271 1990.08.14
10. Incropera, Frank. P and DeWitt, David P., 2003, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 5th ed., Wiley and Sons, pp. 55-158.