대한설비공학회 2008 동계학술발표대회 논문집 pp. 324 ~ 329

08-W-055

PCM을 적용한 자연대류형 수냉식 방열기의 냉각특성에 관한 실험적 연구

성 대 훈†, 김 종 하*, 윤 재 호*, 김 우 승**, 백 종 현*.
한양대학교 대학원, *한국생산기술연구원, **한양대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Cooling Characteristics of the Liquid Cooling Radiator of the Natural Convection Type by Using the PCM

Dae-Hoon Sung†, Joung-Ha Kim*, Jae-Ho Yun*, Woo-Seung Kim**, Jong-hyeon Peck*

ABSTRACT: The liquid cooling effect of a natural convection type radiator by using the PCM has been investigated experimentally. The radiator size is 423×295×83 mm and PCM container size is 398×270×26 mm. The objective is elapsed time higher than maximum time to reach for maximum operating temperature of a general liquid cooling radiator. This study, in order to study on the effects of the phase-change phenomenon, carried out the various mass flow rate, input electric power, ambient and melting point of three type PCM. For the above experimental parameter, the melting time was performed about 180/250/560 min at input power 150 W and ambient 30℃ from using the three type PCM(PCM_S1/S2/S3) respectively. Furthermore, the effects of the thermal dissipation was decreased higher input power than lower input power at heating block and melting time of PCM. However, the effects of mass flow rate did not nearly affect of the thermal performance especially.

Key words: Heat absorption rate(열흡수율), Latent heat(잠열), Natural convection(자연대류), PCM(상변화물질), Heating block(발열부)

기 호 설 명

Q : 열량 [W]
R_{tot} : 총 열저항값 [℃/W]
$\dot{m}$: 질량유량 [g/sec]

그리스 문자

η : 효율

하첨자

amb : 대기(ambient)
base : 히팅블럭
elec : 전기 측
in : 방열기 물측 입구(inlet)
m : 평균값 (mean)
out : 방열기 물측 출구(outlet)
w : 물 측
w. b : 워터블럭

† Corresponding author
Tel.: +82-11-874-9706; fax: +82-41-5898-330
E-mail address: daehoon@kitech.re.kr

1. 서 론

전자기기를 냉각하는 방법으로 현재로서 히트

싱크나 히트파이프에 팬을 결합한 강제대류를 이용한 일체형 공랭식 냉각시스템이 대부분 채택되어 사용되고 있다. 그러나 공랭식 냉각시스템은 주로 컴퓨터 본체 내부의 공기를 순환시켜 전자기기를 냉각시키는 방식이기 때문에 장시간 사용하는 경우 본체내부의 주변 부속품들로 인해 발생되는 방출열량으로 인한 최고 설정온도를 벗어난 과열현상이 발생된다. 현재까지 많은 연구자들에 의해 현열을 이용한 액체냉각 방식을 적용하여 여러 가지 형상의 평판형 방열기의 열성능의 연구가 주로 이루어져 왔지만 자연대류 냉각방식의 경우 발열량이 증가됨에 따라 방열면적 증대를 통해 열을 제거해야 하고, 고발열에 요구되는 시스템에서는 발열원에 따라 체적이 커져야 하는 단점과 전자기기의 작동과 동시에 발열부의 온도가 수냉식에 비해 급격히 상승하는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 물을 작동유체로 선정하여 PCM의 잠열을 이용한 방식을 적용하여 자연대류형 수냉식 방열기의 냉각특성에 관한 연구를 수행하였으며, 유량과 전력변화 그리고 외기온도와 PCM의 용융온도 변화에 따른 방열기의 열전달 성능을 평가하여 CPU의 발열량에 따른 적합한 PCM 선정을 위한 연구를 수행하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 방열기 설계

Fig. 1은 본 시험에 사용된 방열기의 형상을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 공기측에서의 방열기 앞판과 PCM 용기 그리고 뒤판을 설계하고 재작하여 테두리 부분에 54개의 홀을 내어 M3 볼트와 너트를 사용하여 조립하였다. 앞판과 뒤판은 Aluminum 재질로 길이 423 mm, 높이 295 mm, 폭 83 mm를 설계하고 재작하였다. 방열판 1개당 외부 핀 채널은 공기측 폭 9 mm, 휜 높이 275 mm, 핀 두께 3 mm로 핀 수는 34개를 설계하였으며 앞판과 뒤판의 방열핀 공기측 면적은 0.294 m^2이다. 유동이 순환되는 내부 물 채널은 길이 22 mm, 핀 폭 3 mm, 높이 271 mm로 7 Pass로 설계하였다. 또한 PCM을 삽입하지 않는 방열판을 재작하여 PCM을 삽입한 것과 삽입하지 않는 것을 비교 할 수 있도록 공기측 방열면적과 내부의 수력직경을 같은 치수로 설계하고 재작하였다.

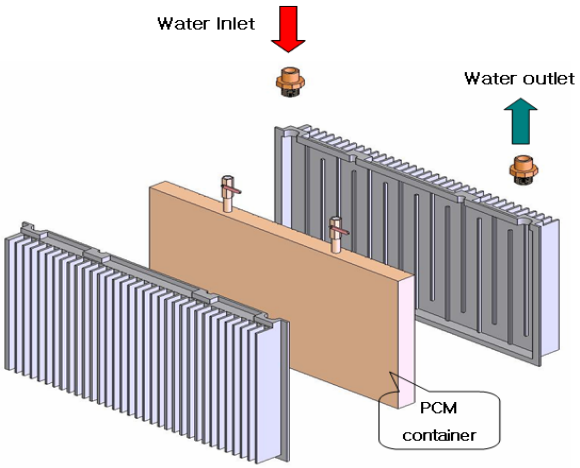

Fig. 1 The designed shape of radiator with PCM container

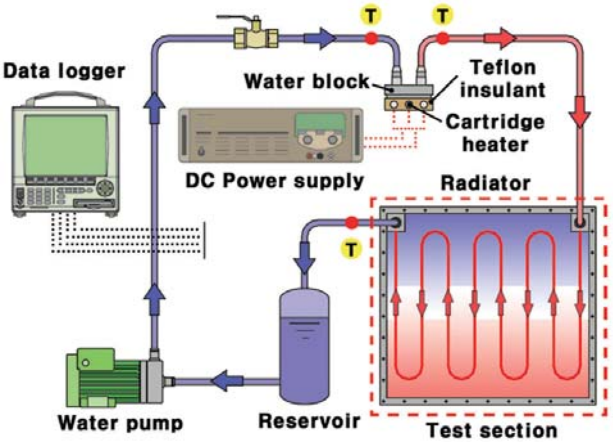

Fig. 2 Schematic diagram for the experimental setup

PCM 용기는 SUS-304재질로 두께는 2 mm, 길이 398 mm, 높이 270 mm, 폭 26 mm로 제작하였으며 테두리 접합부분은 특수용접으로 접합하였고 PCM을 삽입할 수 있는 입구와 삽입된 PCM의 가스방출을 위한 출구로 Fig. 1과 같이 주입구와 가스 출구측을 가공 및 용접하여 밸브를 설치하였으며 부피팽창으로 인한 파손 및 변형을 막기 위하여 용기체적의 90%만 PCM을 충전하였다. 그리고 방열판과 PCM용기 사이의 내부채널에 냉각수가 채널로만 흐르도록 채널이 맞닿는 곳에 실링(sealing)하여 냉각수가 채널로만 흐르도록 하였다.

2.2 실험장치

Table 1 Thermal properties of used PCM

Material	Melting point [℃]	Latent heat [J/g]	Amount of charging [g]	Density [g/cm^3]
S1	37～38	224.6	2232	0.97
S2	42～43	190.9	2310	0.99
S3	47～48	114.5	3700	1.61

Table 2 Experimental conditions

Item	PCM & without PCM
Ambient [℃]	25, 30, 35
Mass flow rate [g/sec]	15, 18, 22, 26
Input power [W]	100, 120, 150, 180

Fig. 2는 시험장치부의 상세도를 나타내고 있다. 본 시험 장치는 크게 전자기기에서 발생되는 열을 모사하기 위한 발열부와 열을 제거하기 위한 방열시스템으로 구성되어 있으며, CPU발열을 모사하기 위한 발열부는 열전도도가 높은 구리블럭을 사용하여 크기 50×50×10 mm의 측면의 직경이 6 mm, 길이 45 mm인 4개의 홀을 가공하여 총 400 W를 공급할 수 있는 카트리지 히터 4개를 설치하였다. 그리고 발열부의 접촉저항을 줄이기 위해 접촉면에 열전도도가 큰 서멀그리스(Thermal grease)를 얇게 도포하고 지그를 사용하여 클램프로 일정하게 압력을 가하여 접촉저항을 최소화 시켰다. 방열시스템은 발열부에서 열이 전달되도록 워터블럭과 워터블럭에서 열량이 전달되는 물을 순환하기 위한 직경 10 mm 배관과 방열기, 그리고 방열기에서 배출된 물을 저장할 수 있는 리시버와 이러한 물을 순환시키기 위한 펌프로 구성되어 있다. 본 시험에서 물 순환을 위하여 마그네틱 워터펌프를 사용하였고 유량조절을 용이하도록 순환펌프 출구에 밸브를 설치하여 시스템에 순환되는 물의 양을 일정하게 조절하였다. 시험에 사용된 순환수는 증류수를 사용하였고, 유량을 측정하는 방법으로 시스템에서 순환되는 물측 출구부에서 스톱워치를 사용하여 30초 동안 물을 받은 후 저울을 이용하여 측정하였으며 유량측정에 신뢰도를 높이기 위해 총 5회 측정값의 평균값을 사용하였다. 이러한 시스템의 열적 특성을 나타내기 위해 발열부 내부의 측면에서 깊이 25 mm, 32 mm, 40 mm 의 T-type온도센서 3개를 설치하여 온도센서의 평균값을 사용하여 발열부의 온도를 측정하였다. 물 측 온도를 측정하기 위해서 워터블럭 입구와 출구, 방열기의 입구와 출구에 각각 2개의 온도센서를 설치하였다. 방열기의 공기측은 핀 하부와 상부측에 각각 부착하였으며, PCM의 용융온도 및 상변화 구간을 측정하기위해 PCM 탱크 양쪽 입구와 출구에 RTD-type 온도센서를 장착하였다. 그리고 외기온도는 항온조실 바닥에서 약 1 m 높이에 벽면과 중앙에 각각 설치하여 실내온도를 측정하였고, 각각의 위치에서 측정된 온도는 MV-200(yokogawa)을 사용하여 2초당 1개의 데이터를 자동으로 저장되도록 하였다.

2.3 실험방법

항온항습실의 실내온도를 외기온도 조건으로 일정해지도록 약 1시간동안 작동시켜 안정상태가 지속되는지 확인한 후, 이때 물측 온도가 실내온도 조건과 같아지도록 펌프를 작동시켜 유량을 순환시켰으며, 이때 방열기 내부 물 측 온도가 실내온도와 동일한 상태에서 히터에 전원을 공급하고 시험을 시작하였다. 전력과 유량 그리고 외기온도에 따른 특성을 알아보기 위한 Table 2와 같이 실험조건을 변화시켜 설계변수에 대한 방열특성의 연구를 수행하였다.

2.4 실험데이터 처리 방법

발열부에 입력된 전기량은 식 (1)을 이용하여 구하였으며 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{elec} = A \bullet V \qquad (1)$$

물 측의 열량을 구하기 위해서 물측의 물성치는 식 (2)와 같이 워터블럭에서 입출구의 평균온도를 이용하였으며 다음과 같이 표현된다.

$$T_m = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (2)$$

또한 방열기로 전달되는 물측 열량은 식 (3)과 같다.

$$Q_w = \dot{m} c_p (T_{in} - T_{out})_{w.b} \quad (3)$$

여기서, c_p는 정압비열, $T_{in} - T_{out}$는 워터블럭의 입출구 온도차이다.

이때의 전기 측과 물측 열량비는 식 (4)로 표기할 수 있으며

$$\eta = \frac{Q_w}{Q_{elec}} \pm 5\% \quad (4)$$

효율이 ±5% 이하일 때의 데이터를 사용하였다.

또한 전자기기 장치의 열전달 특성은 열저항값이 일반적인 성능으로 표현되어지며, 총 열저항값은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$R_{tot} = \frac{T_{base} - T_{amb}}{Q_{elec}} \quad (5)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방열기 작동성능 특성

방열기의 작동성능을 파악하기 위해서 외기온도와 유량 및 전력을 변화하여 성능시험을 수행하고 그 결과를 시간에 따른 온도변화로 그래프를 나타내었으며, 동일한 조건에서 Table 1의 3종류의 PCM물질을 적용한 방열기와 PCM을 삽입하지 않는 수냉식방열기의 특성시험을 분석하고 성능을 비교하였다.

Fig. 3은 120 W, 22 g/sec의 실험조건에서의 PCM을 적용하지 않는 수냉식방열기의 시간에 따른 온도변화를 나타내는 그래프로서 전력이 공급된 후 발열부의 히팅블럭의 온도가 약 2시간 40분 후부터 일정하게 유지함을 알 수 있으며 , 이때의 히팅블럭의 온도가 약 65℃이고 순환수 온도의 입출구 평균온도가 약 53℃로 일정하게 유지되었다.

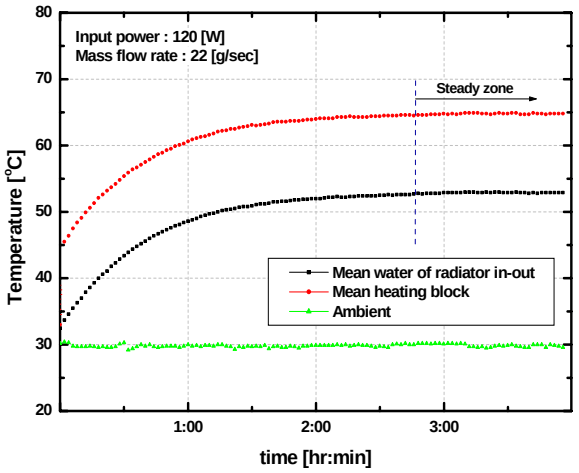

Fig. 3 Temperature tend without PCM

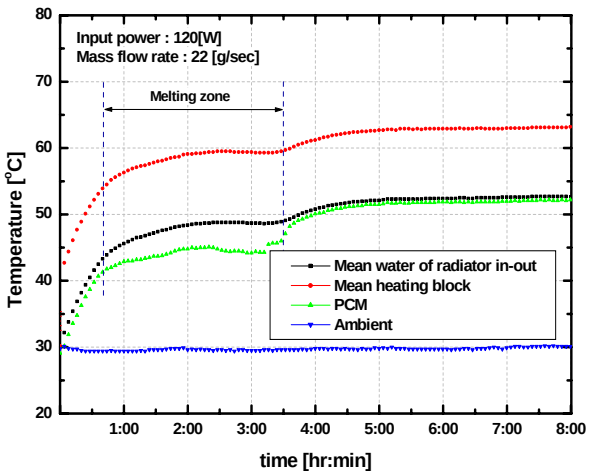

Fig. 4 Temperature trend with PCM_S2

Fig. 4는 용융온도가 42~43℃인 PCM_S2의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 그래프로 온도변화 구간이 3개의 구역으로 나누어지며 전력이 공급된 후 고체 열전도에 의해 온도가 급속히 증가하는 구역과 고상과 액상이 공존하는 상변화구역, 그리고 액체열전도에 의한 완전 액상구간으로 분류될 수 있다. 첫 번째 구간은 전력이 공급된 후 급속히 온도가 상승하여 히팅블럭의 온도가 약 40분 후에 온도가 56℃까지 상승하였고, 이후에 PCM이 액상과 고상으로 공존하며 상변화가 일어나면서 증가폭이 작아졌으며 60℃부근에서 약 3시간 40분 정도까지 온도가 유지되었다. 이후에 완전 상변화가 일어나면서 PCM이 액상으로 변화되어 온도가 약 64℃까지 증가하다가 시스템의 온도가 일정하게 유지되었다. 특히 PCM을 적용

하지 않는 수냉식방열기보다 히팅블럭의 온도가 약 1℃낮게 유지되는 현상이 나타났으며 이러한 결과는 PCM이 완전히 융해되지 않고 잔량이 존재하여 서서히 용융되는 것으로 판단된다.

3.2 외기와 유량 및 전력에 따른 특성

PCM을 적용한 자연대류 방열기와 PCM을 적용하지 않은 수냉식방열기의 외기온도와 유량 그리고 전력량 변화에 따른 방열특성에 대한 연구를 수행하였다.

Fig. 5은 외기온도에 따라 PCM이 완전히 용융이 일어나는 시간의 특성에 대한 시험결과로 외기온도가 증가하면서 용융되는 시간이 감소하였으며, 25℃의 경우 PCM_S1은 180분정도로 가장 먼저 용융이 일어났고, PCM_3이 500분으로 용융이 가장 늦게 일어났으며 3배 이상 시간이 증가하였다. 외기온도가 35℃의 경우 PCM_1이 95분정도로 가장 먼저 융해가 일어났으며, PCM_S2는 120분, PCM_S3는 160분에 완전히 융해가 되었다. 그러나 외기온도가 낮고 용융온도가 높은 물질일수록 융해되는 시간의 증가폭은 컸으며, 반면에 외기온도가 높아질수록 완전히 융해되는 시간은 비슷해지는 경향을 보였다.

Fig. 6는 발열량 변화에 따른 PCM이 완전히 용융이 일어나는 시간의 특성에 대한 시험결과로 전력량이 증가하면서 용융시간이 감소하였다. 특히 100 W의 경우 PCM_S1은 180분에 용융되었고, PCM_S2는 0.7배 증가되는 반면에 PCM_S3은 3배 이상 증가되어 가장 늦게 용융이 되었다. 그러나 180 W의 시험조건의 경우 PCM_S1은 120분, PCM_S2는 130분, PCM_S3는 170분에 완전히 용융이 되었으며, PCM의 용융온도의 특성보다 발열량이 높을수록 PCM의 용융시간은 비슷하게 나타났다. 즉 순환수 온도와 용융온도차가 크지 않는 경우 온도차가 큰 물질의 용융되는 시간보다 상대적으로 길어지는 것으로 분석된다.

Fig. 7은 전력량이 150 W의 조건에서 유량변화에 따른 PCM의 용융시간의 특성에 대한 시험결과로 유량이 증가하여도 PCM의 용융온도에 따라 용융시간이 약간의 차이가 있었으나 각각의 PCM의 용융시간은 유량변화에 따라 비슷한 결과가 나타났다.

Fig. 8은 고상과 액상에 공존하는 용융상태에서

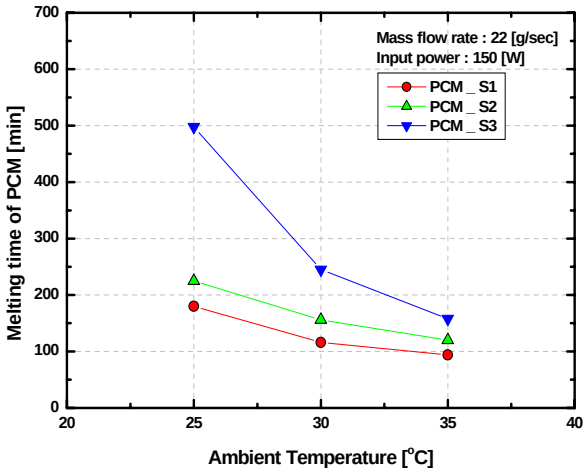

Fig. 5 Melting time of PCM with variable ambient

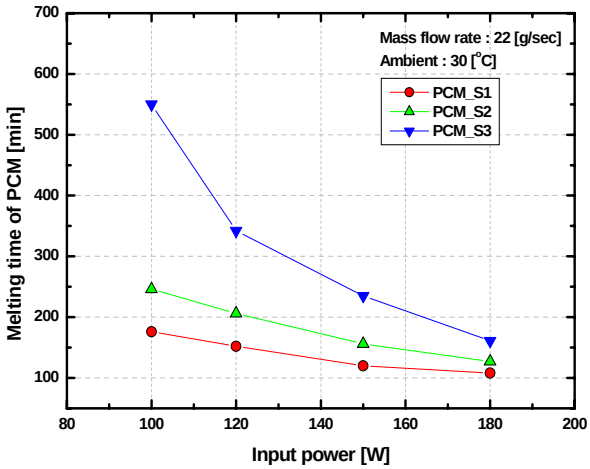

Fig. 6 Melting time of PCM with variable input power

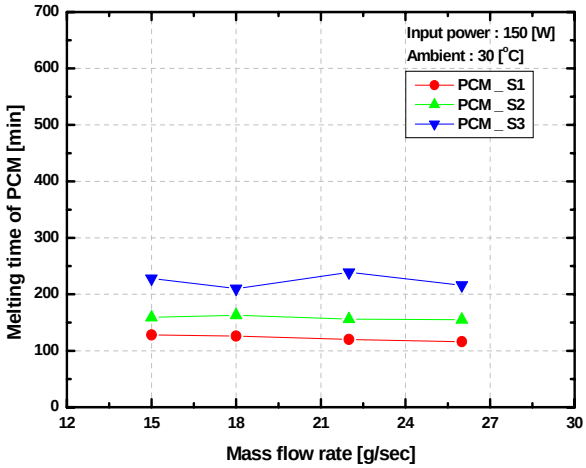

Fig. 7 Melting time of PCM with variable mass flow rate

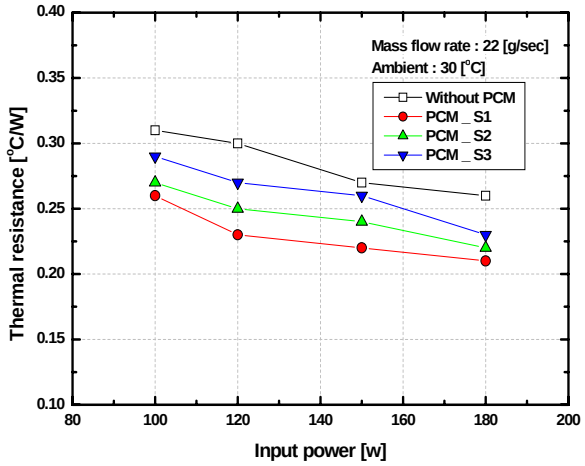

Fig. 8 Thermal resistance curve at melting point

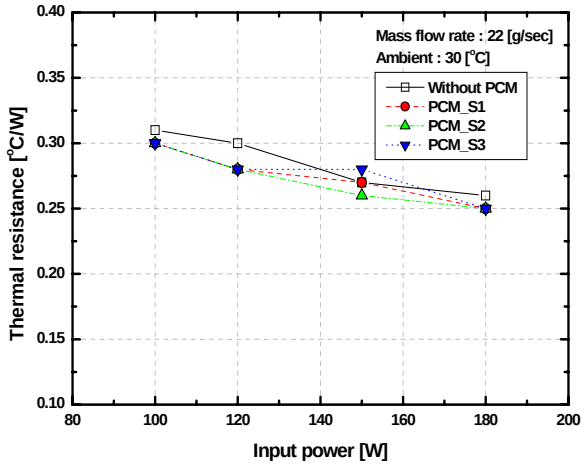

Fig. 9 Thermal resistance curve at steady state

의 시험결과를 분석한 데이터로 발열량이 증가할수록 외부유동의 부력을 촉진시키는 것으로 판단되며 그 결과로 인한 열저항값은 감소하였으며, 100 W의 경우 일반형 수냉식 방열기의 경우 0.31 ℃/W로 가장 높았고, PCM_S3이 0.28 ℃/W로 10% 향상되었으며, PCM_S2는 0.27 ℃/W로 13% 향상되었고, PCM_S1은 0.26℃/W로 16% 향상되었으며 열저항값이 가장 낮게 나타났다.

Fig. 9는 용융이 완전히 끝난 후 발열량 변화에 따른 방열특성에 대한 시험결과로 Fig, 8과 같이 발열량이 증가하면 열저항값이 감소하였으며, 100 W의 경우 모든 PCM은 0.3 ℃/W로 같게 나타났다. 150 W의 경우 일반형 수냉식 방열기와 PCM_S1의 열저항값이 0.27 ℃/W로 같게 나타났으며, PCM_S3이 0.28 ℃/W로 가장 높았고, PCM_S2가 0.26℃/W로 가장 낮았다. 180W의 경우 일반형 수냉식 방열기가 0.26 ℃/W로 가장 높게 나타났으며, 모든 PCM은 0.25 ℃/W로 같게 나타났다. 즉 PCM의 경우 용융이 끝났어도 내부에 잔량의 남아 있어 시간이 지나면 물측 열저항과 같아질 것으로 분석된다.

4. 결론

(1) PCM을 삽입한 방열기가 용융되는 구간에서 100 W의 경우 일반형 수냉식 방열기의 경우 열저항값이 0.31 ℃/W로 가장 높았고, PCM_S3이 0.28 ℃/W이며, PCM_S2는 0.27 ℃/W, PCM_S1은 0.26℃/W로 가장 낮게 나타났다.

(2) 상변화가 끝나도 PCM을 삽입한 방열기 성능이 유사한 성능을 나타내었고, 용융온도가 높은 PCM_S3의 경우 100 W에서 550분으로 가장 늦게 용융이 되었다.

(3) 외기온도 25℃, 전력량 100 W의 낮은 조건에서 PCM을 삽입하지 않는 조건보다 PCM_S3의 경우 용융이 완료되데 500분이 소요되었다. 그러나 유량변화로 인한 PCM의 용융시간은 큰 변화가 나타나지 않았다.

(4) CPU냉각을 위한 PCM을 적용한 자연대류형 수냉식방열기를 사용하기 위하여 주위환경과 발열량 등을 고려하여 적절한 설계가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국가과학기술위원회산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술개발”의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Cha, D, A. Kwon, O, K. Choi, M, J. Kim, M, J. Yun, J, H. 2007, "The Study on the Thermal Performance of Radiator for Electronic Devices Liquid Cooling".
2. Kandasamy, R. Wang, X, Q. Mujumdar, A S. 2007, "Transient cooling of electronics using phase change material(PCM)-based heat sinks".