

Rib의 형상에 따른 heat spreader의 열전달 특성

김재중*, 이창희*, 백승준*, 신승훈*, 장석원*, 유동수*, 노홍구**

Heat Transfer Characteristics of PDP Heat Spreader with Various Rib Types

Jae-Jung Kim*, Chang-Hee Lee*, Seung-Jun Back*,
Seung-Hun Shin*, Seog-Weon Chang*, Dong-Su Ryu*, Hong-Koo Noh**

Key Words: Ribs(리브), Heat Spreader(히트스프레더), PDP(Plasm Display Panel)
Natural Convection Heat Transfer(자연대류 열전달)

Abstract

This paper reports a result of numerical heat transfer analysis for heat spreader with various ribs. Four different ribs are compared in this study. In general, the heat transfer on a vertical plate is enhanced when a rib is attached as the surface area increases, and the growth of the boundary layer is interrupted. However, for a low flow less than 0.1m/s, it is observed that the heat transfer is sensitive to the height of a rib: it decreases as the height increases. Among the four ribs, the H-shaped rib showed better performance than other ribs.

1. 서론

일반적으로 전자기기의 냉각에 사용되는 기구 들로는 히트싱크, 히트파이프 및 TEC등이 있으며 이외에 주요 발열체에 집적 부착시켜 열을 외기 나 기타 저온부로 열을 확산 전달시켜주는 장치인 히트스프레더(heat spreader)를 사용한다.

PDP는 플라즈마(Plasma)를 이용한 차세대 영상 장치로 각광받고 있지만 열적 문제가 자주 대두 되고 있다. 42inch PDP의 경우 동작시 총 350W 열량이 발생하는데, 이 중 플라즈마 그라스에서 전체 열량의 90%인 약 315W, PCB 모듈에서 35W가 발생하며 이들 부품은 고열로 인해 고장이 많이 일어난다. 또한 최대 허용 동작 온도가 90℃이하인 플라즈마 그라스는 형광영역(방전영역)과 비형광영역(비방전영역) 온도차가 10℃ 이상이면 플라즈마 그라스에 균열이 발생할수

있다.

현재는 fan과 열전달 촉진제로써 Silicon Sheet 를 이용하여 플라즈마 그라스와 히트스프레더를 접합시켜 PDP 내부 및 플라즈마 그라스의 온도를 균일하게 유지하고 있다.

Fan을 사용하는 PDP는 fan으로 인해 두께(현재 110mm)의 슬림박형화에 가장 큰 장애요인이 되고 있으며, 또한 Fan의 소음/중량증가/동력소비 등의 문제를 갖고 있다. 따라서 PDP에 Fan이 사용되지 않는 이른바 자연대류 냉각방식의 냉각장치가 개발되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 PDP 냉각에 적용하기 위해서 4가지 형상의 리브가 부착된 히트스프레더의 열전달 특성을 수치해석 프로그램을 이용하여 파악하고자 하였다.

2. PDP 수치계산모델의 설정

본 연구에서 설정된 PDP 수치계산모델을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 계산모델의 전체

* 대우전자(주) 품질경영연구소
** 한국전자통신연구원

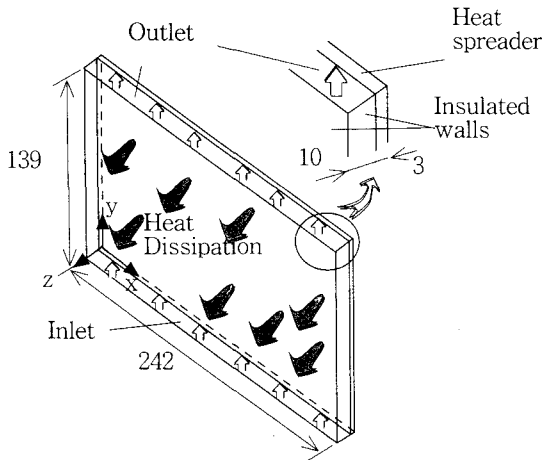


Fig. 1 PDP numerical model(unit: mm)

크기는 가로(x방향) 242mm, 세로(y방향) 139mm, 그리고 두께(z방향) 13mm이다. 그림의 상세도에 나타낸 바와 같이, 13mm의 두께중에서 3mm는 알루미늄 히트스프레더의 두께이며 나머지는 냉각공기가 흐르는 공간의 두께에 해당된다. 즉, 본 연구의 수치계산모델은 $242 \times 139 \times 3\text{mm}^3$ 의 히트스프레더와 $242 \times 139 \times 10\text{mm}^3$ 의 공간볼륨 등 크게 두가지 볼륨으로 구분된다. 그림에 나타나는 않았지만, 히트스프레더의 뒤쪽에는 플라즈마 그라스가 부착되어 있으며 이 그라스로부터 약 350W/m^2 의 열유속이 발생하고 이 열유속은 히트스프레더에 전달되게 된다. 플라즈마 그라스의 방열판 역할을 하는 알루미늄 히트스프레더는 열유속을 공간볼륨으로 방출하게되며, 이를 냉각하기 위해 공간볼륨의 하부에 유입구가 있고 상부에 유출구가 열려있다. 공간볼륨에 있어서 유입구 및 유출구 이외의 모든 면은 단열벽에 의해 단열 있다. 뜨거운 히트스프레더에 의해 공간볼륨 내에 유입구에서 유출구로 흐르는 자연대류유동이 발생하며 이 유동에 의해 히트스프레더와 플라즈마 그라스는 일정한 온도조건상태를 유지하게 된다.

Fig. 1에 포함된 히트스프레더는 매끈한 면형태이며 기존에 많이 쓰이는 형태이다. 이후 논의에서는 이를 기존모델이라 칭하였다. 본 연구에서는 히트스프레더의 냉각성능을 촉진시키기 위한 방안으로써 Fig. 2 (a), (b), (c) 및 (d)에 나타낸 바와 같이, 기존모델의 히트스프레더 면위에 I-type, H-type, V-type 및 Z-type 등 4가지 형상의 리브를 부착하여 성능비교를 하였다.

그림 2(a)에서 I-type은 가로 2mm, 세로 129mm 및 높이 1mm의 I형태의 리브를 14mm 간격으로 총 17개 부착하였다. 그림 2 (b)의 H-type은 전술

한 I-type과 동일한 형태의 리브를 y방향 14mm 간격으로 9개 추가하여 부착되었다. 그림 2 (c)의 V-type은 하나의 리브가 V형상이며 V의 왼쪽 선 길이 및 오른쪽 선 길이는 모두 14mm로 동일하

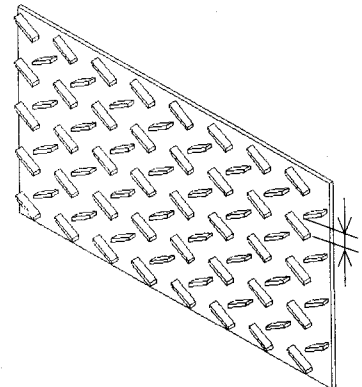
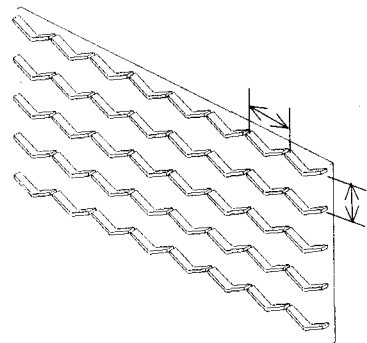
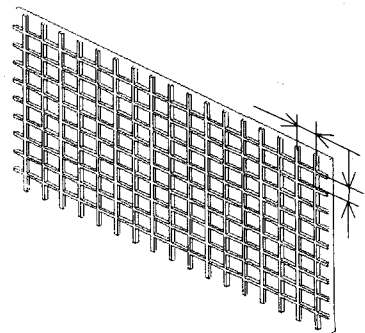
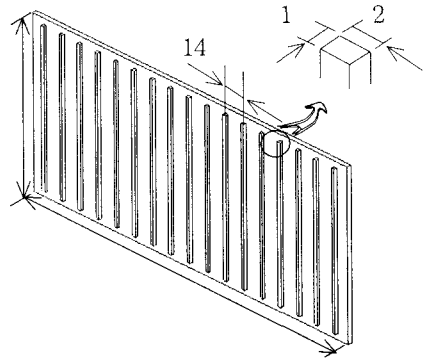


Fig. 2 Heat spreader with various ribs

고 양쪽 선의 각은 120°를 이룬다. 각 리브들은 30mm 간격으로 x방향 8개씩, 그리고 y방향 5개씩 즉, 총 40개의 리브가 부착되었다. 그림 2 (d)의 Z-type은 앞의 V-type과 거의 동일하나 V의 오른쪽 선이 y방향으로 15mm 엇갈려 배치되었다.

본 연구에서는 상기의 4가지 형상의 리브를 가지는 히트스프레더에 대해 리브 높이를 각각 1mm에서 0.75mm 그리고 0.5mm로 낮추어서 수치 계산을 수행하였으며 리브 높이에 따른 성능비교를 아울러 조사하였다.

3. 수치해석 방법

본 연구에서 적용한 열전달 현상을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동량방정식, 난류운동에너지 소산율방정식 그리고 에너지방정식이다.

연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_j u_i) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \mu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right\} + \rho g_i \beta (T - T_m) \end{aligned} \quad (2)$$

난류운동량에너지방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} \\ & + G_k + G_b + \rho \epsilon \end{aligned} \quad (3)$$

난류운동량에너지 소산율방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right\} \\ & + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_3 G_b) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (4)$$

에너지방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right\} + S_T \quad (5)$$

여기서,

$$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G_k = \frac{\mu_t}{\rho} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (7)$$

$$G_b = -\beta g_i \frac{\mu_t}{\rho \sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_3 = 0.09 \quad (9)$$

$$\sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 0.9, \quad \sigma_t = 0.85 \quad (10)$$

식 (5)에서 S_T 는 공간의 활동영역에서 에너지의 생성항을 뜻한다. 또한 식 (8)에서 σ_t 는 온도에 대한 난류 Prandtl 수이다.

본 연구에서 기존모델 및 여러 가지 리브 형상을 가지는 히트스프레더의 해석을 위하여 히트스프레더의 열유속을 350W/m², 유입구에서의 유입되는 냉각공기의 속도 및 온도를 각각 0.1m/s 및 27°C, 유출구에서는 대기압[0Pa]을 그리고 그외의 모든면에서는 단열조건으로 처리하였다.

본 연구에서는 온도분포를 해석하기 위하여 열·유체유동 해석 프로그램인 FLUENT 5.5를 이용하였다.⁽¹⁾ 이 프로그램은 유한체적법 및 엇갈린 격자계를 사용하며 운동량 방정식의 압력장을 처리하기 위해서 SIMPLE을 이용하였다.

반복계산시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 아래에 정의된 잉여치(Residual) R값이 조사되었으며, 각 종속변수에 대하여 잉여치값이 10⁻⁴ 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다.

$$R = \sum_{all \ domain} |\sum a_{nb} + b - a_p \phi_p| \quad (11)$$

여기서 ϕ , a 및 b 는 각각 본 연구에서의 종속변수, 이산화방정식의 계수 및 생성항을 나타내고 하첨자 p 와 nb 는 각각 계산제어체적과 인접제어체적의 격자점⁽²⁾을 나타낸다.

본 계산에서는 수렴조건을 만족하기 위하여 RAM 762byte, Pentium III 1GHz PC에서 2000여 회의 반복계산을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 기존모델

본 연구에서 선정된 기존모델의 열전달 특성을 파악하기 위하여 z=3mm인 x-y 단면, 즉 히트

스프레더 표면에서의 온도 및 속도분포를 Fig. 3 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 히트스프레더의 최대표면온도는 63.8°C이며 온도분포는 62.0~63.8°C로서 1.8°C의 온도불균일을 나타내고 있으며 유입구를 통해 들어온 27°C의 냉각공기는 히트스프레더의 표면을 타고 올라가면서 데워져 59°C온도로 유출된다. 아울러 그림 (b)에서 y방향으로 유동하는 냉각공기의 열경계층(thermal boundary layer)이 성장하는 것을 확인 할 수 있었으며 0.1m/s의 속도로 유입된 공기는 자연대류 유동에 의해 약 0.165m/s의 속도로 유출된다.

4.2 개선모델(I, H, V 및 Z-type)

본 연구에서는 4가지 리브 형상의 히트스프레더에 대해 리브 높이를 1mm, 0.75mm 및 0.5mm로 변화시키면서 해석을 수행하였으며 그 결과 I-type 히트스프레더는 리브높이가 0.75mm인 경우에, 나머지 H, V, Z-type 히트스프레더들은 리브 높이가 0.5mm인 경우에 낮은 히트스프레더

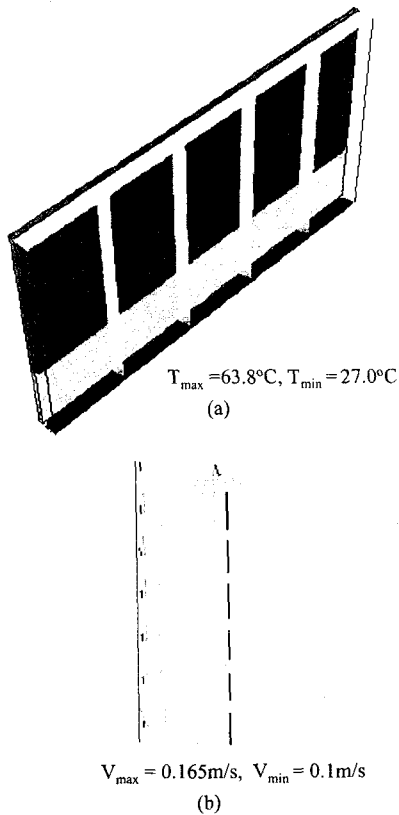


Fig. 3 Cooling characteristics of conventional type (Left-top isometric view)
 (a) Distribution of temperature at x-y plane [z=3mm, Unit:°C]
 (b) Distribution of velocity in side view [Unit:m/s]

표면 온도분포를 나타냈으므로 이들 경우에 대해 논의하고자 한다.

4.2.1 I-type 히트스프레더

기존모델의 히트스프레더 표면에 0.75mm 높이의 I 형상 리브를 부착한 I-type 히트스프레더를 계산 결과를 Fig. 4 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 히트스프레더의 최대표면온도는 60.8°C이며 온도분포는 59.2~60.8°C로서 약 1.6°C의 온도불균일을 나타내고 있다. 아울러 기존모델에 비해 약 3°C정도 낮은 온도분포를 나타내도 있으며 히트스프레더 표면온도의 불균일은 0.2°C정도 향상됨을 알 수 있다. 이는 리브의 전열면적의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 4 (b)에서 I 형상 리브사이를 유동하는 냉각공기는 기존모델의 유동과 유사한 유동형태를 나타냈다.

4.2.2 H-type 히트스프레더

기존모델에 0.5mm 높이의 H 형상의 리브를

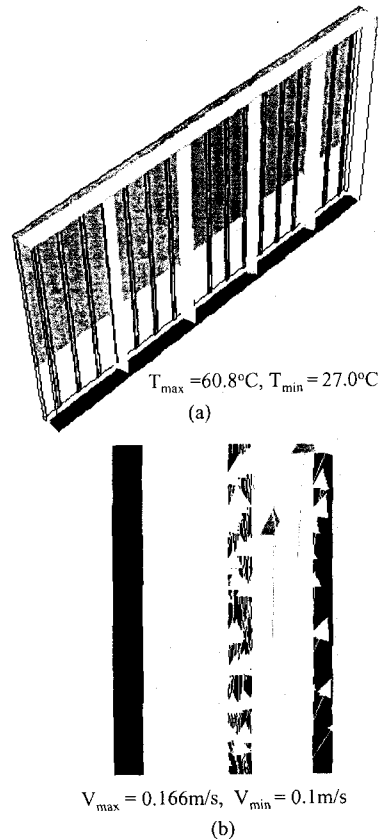


Fig. 4 Cooling characteristics of I-type (Left-top isometric view)
 (a) Distribution of temperature at x-y plane [z=3mm, Unit:°C]
 (b) Distribution of velocity in side view [Unit:m/s]

부착한 H-type 히트스프레더의 계산 결과를 Fig. 5 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 히트스프레더의 최대표면온도는 59.2°C이며 온도분포는 57.5~59.2°C로서 1.7°C의 온도불균일을 나타내고 있으며 히트스프레더 표면온도는 기존모델에 비해서 약 3.5°C 낮은 온도분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 전열면적의 증가뿐만 아니라 유동 박리·재부착의 효과에 기인한 것으로 판단된다.

그림 (b) H 형태의 리브를 통과하는 속도벡터를 옆방향에서 살펴본 것으로 속도벡터가 리브에 타고 넘은 후 리브 피치의 1/2지점, 즉 리브의 피치가 14mm이므로 리브 끝에서 약 7mm인 지점에 재부착(reattachment)되는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 유동형태가 유입구에서 유출구까지 반복적으로 발생하였다.

4.2.3 V-type 히트스프레더

기존모델에 0.5mm 높이의 V 형상의 리브를 부

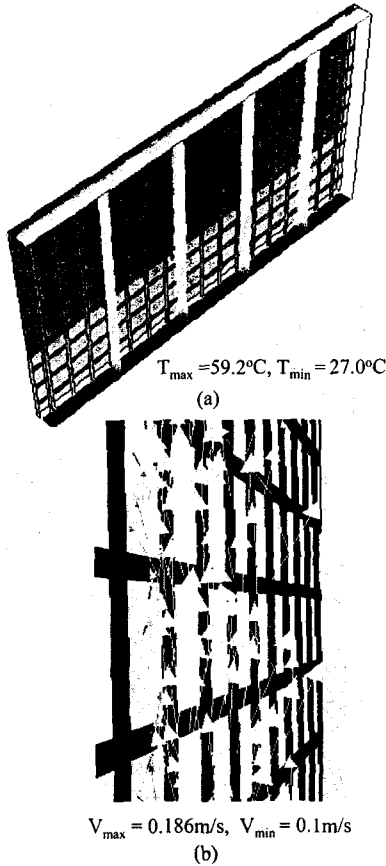


Fig. 5 Cooling characteristics of h-type
(Left-top isometric view)
(a) Distribution of temperature at x-y plane [$z=3\text{mm}$, Unit: °C]
(b) Distribution of velocity in side view [Unit:m/s]

착한 V-type 히트스프레더를 계산한 결과를 Fig. 6 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 히트스프레더의 최대표면온도는 60.6°C이며 온도분포는 58.9~60.6°C로서 약 1.7°C의 온도불균일을 나타내고 있다.

그림 6 (b)에서 유동의 형태를 살펴보면 속도 벡터들이 V 형태의 리브를 직접 타고 넘은 후 유동의 재부착은 H-type과 유사하게 리브 피치의 1/2지점에서 발생했으며, V-type의 경우 리브 피치가 30mm이므로 재부착은 15mm 지점에서 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 V 형태의 리브가 경사가 지기 때문에 공기벡터가 타고 넘어 가야하는 리브의 길이가 좀 더 길어진 영향인 것으로 판단된다.

4.2.4 Z-type heat spreader

기존모델에 0.5mm 높이의 Z 형상의 리브를 부착한 Z-type 히트스프레더를 계산한 결과를 Fig. 7 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 히트스프레

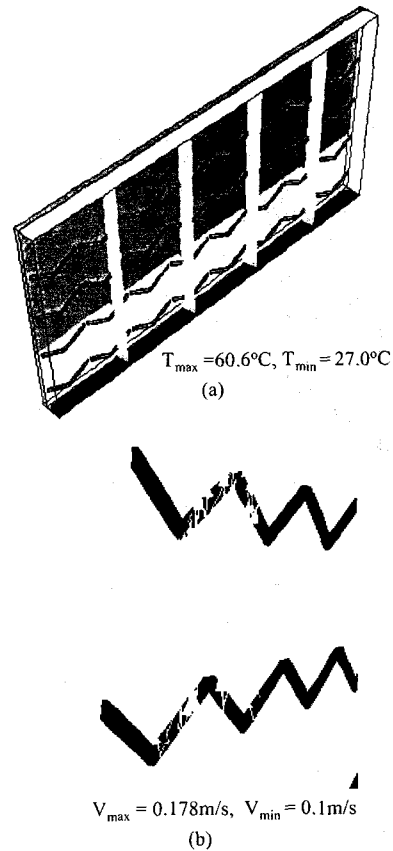


Fig. 6 Cooling characteristics of V-type
(Left-top isometric view)
(a) Distribution of temperature at x-y plane [$z=3\text{mm}$, Unit: °C]
(b) Distribution of velocity in side view [Unit:m/s]

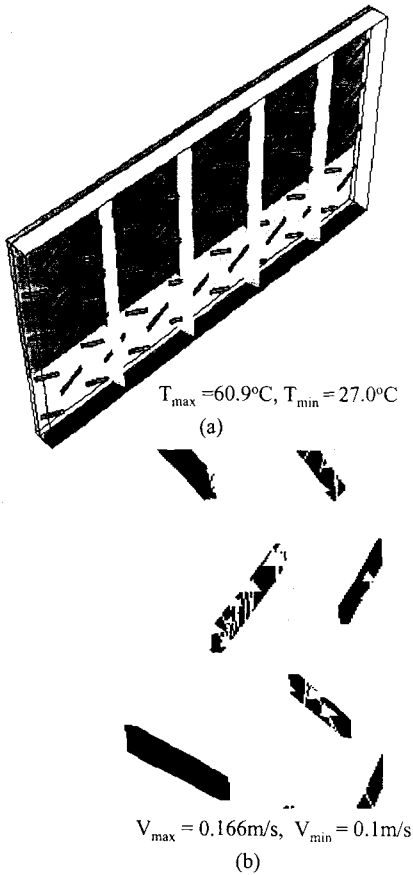


Fig. 7 Cooling characteristics of Z-type (Left-top isometric view)
 (a) Distribution of temperature at x-y plane [z=3mm, Unit: °C]
 (b) Distribution of velocity in side view [Unit:m/s]

더 표면온도분포는 59.3~60.9°C로서 1.6°C의 온도불균일을 나타내고 있다.

그림 7 (b)에서 유동분포를 살펴보면 속도벡터들이 Z 형태, 즉 V 리브의 오른편 반쪽리브를 타고 넘은 후 유동의 재부착은 15mm 상부에 위치한 왼편 반쪽리브에 부딪혀 리바운드되어 Z 리브 피치의 1/2지점인 7mm 지점에서 발생하는 것을 확인 할수 있었다.

4.3 개선모델 비교

각 형태를 리브를 가지는 개선모델의 최대 표면온도를 리브 높이변화에 따라 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 x축 및 y축은 각각 리브 높이 및 히트스프레더 최대 표면온도를 나타내며 사각형(■), 원형(●), 삼각형(▲) 및 역삼각형(▼)은 각각 I-type, Z-type, V-type 및 H-type 리브가 부착된 히트스프레더를 나타낸다. 그림에서

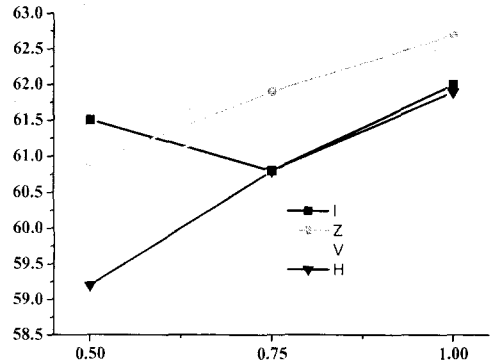


Fig. 8 Comparison of temperature each type rib

I 형상 리브가 부착된 히트스프레더만이 0.75mm에서 낮은 온도값을 가지며, V, Z 및 H 형상 리브가 부착된 히트스프레더들은 리브 높이가 높아질수록 온도가 상승함을 알 수 있다. 이는 냉각공기의 유입속도가 저속인 영향으로 리브가 높아지면서 유동저항을 받는 것으로 판단된다.

5. 결론

4가지 형태의 리브가 부착된 히트스프레더의 열전달 특성을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존모델에 리브를 부착하면 전열면적의 증가 및 유도의 박리·재부착의 효과에 의해 열전달 성능이 향상된다.
2. V, Z, H 형태의 리브가 부착된 히트스프레더는 유입구의 유속이 0.1m/s의 저속인 영향으로 리브의 높이가 높아질수록 유동 저항에 의해 열전달 성능이 저하됨을 확인 할 수 있었다.
3. 본 연구에서 고려한 리브의 형상에서는 H 형태의 리브를 가지는 H-type 히트스프레더의 열전달 성능이 상대적으로 우수한 것으로 평가됐다.

6. 후 기

본 연구는 2000년도 정보통신부 정보통신산업 기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Fluent Inc., 1998, "Fluent 5.0 User's Guide", Fluent Inc.
2. Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere, Washington, DC.