

국한 충돌공기제트에 의한 발포 알루미늄 방열기의 열전달 특성

황 준* · 김서영[†] · 강병하**

(2002년 10월 23일 접수, 2003년 1월 27일 심사완료)

Thermal Transport from an Aluminum Foam Heat Sink in a Confined Impinging Air Jet

Jun Hwang, Seo Young Kim and Byung Ha Kang

Key Words: Electronics Cooling(전자장비냉각), Aluminum Foam(발포알루미늄), Heat Sink(방열기), Confined Jet Impingement(국한충돌제트), Heat Transfer Enhancement(전열촉진)

Abstract

An experimental study has been performed on thermal transport from an aluminum foam heat sink under a confined impinging air jet. Three kinds of aluminum foam heat sinks with 10, 20 and 40 PPI and a conventional pin-fin heat sink are tested in the present study. The jet Reynolds number is varied in the range of $Re=667\sim 5672$. The effect of the confinement disk diameter and the distance between the confinement disk and the heater surface on the averaged Nusselt number is investigated in detail. The results are also compared with those of the unconfined impinging air jet. The critical distance, at which thermal performance shows a minimum compared to the unconfined jet impinging, will be described in terms of the Reynolds number and the pore density of the aluminum foam.

기호설명

d : 분사홀(노즐)의 직경 [m]
 D : 국한 원판의 직경 [m]
 h : 방열기 높이 [m]
 h_c : 대류 열전달 계수 [$W/(m^2K)$]
 H : 원판과(분사홀) 열원면 사이의 거리[m]
 k : 열전도도
 L : MC나일론의 높이
 Nu : 국소 Nusselt 수
 \overline{Nu} : 평균 Nusselt 수

\overline{Nu}_{con} : 국한된 상태에서의 평균 Nusselt 수
 \overline{Nu}_{uncon} : 개방된 상태에서의 평균 Nusselt 수
 q'' : 열유속 [W/m^2]
 r : 반경방향 거리 [m]
 Re : Reynolds 수, $U_0 d/v$
 S/V : 단위부피당 표면적 [m^{-1}]
 t_b : 방열기 베이스판의 두께 [m]
 t_d : 발포알루미늄 금속지주의 두께 [m]
 T_o : 분사홀(노즐) 출구 공기 온도[$^{\circ}C$]
 T_w : 열원 표면 온도[$^{\circ}C$]
 U_o : 노즐 출구 공기 속도[m/s]

† 책임저자, 회원, KIST 열유동제어센터

E-mail : seoykim@kist.re.kr

TEL : (02)958-5683 FAX : (02)958-5689

* 국민대학교 대학원 기계공학과

** 국민대학교 기계·자동차공학부

그리스문자

β : 기공밀도[PPI]

ε : 다공도

ν : 공기의 동점성 계수[m²/s]
 θ_w : 무차원 벽면온도

1. 서론

일정한 온도 이하에서 안정적으로 작동하는 전자 장비는 소형화 및 경량화의 추세에 따라 국부적으로 에너지 밀도가 상당히 증가하고 있고, 발생되는 막대한 양의 열은 기존의 방열시스템으로는 해결할 수 없는 심각한 수준에 이르게 되었다. 이에 따라 전자장비 냉각이 장비의 운영적 측면에 있어 매우 중요한 과제로 자리잡았고 현재 많은 연구가 이루어지고 있다.^(1,2)

충돌제트를 이용한 방열기기술은 그 연구결과의 하나로 핀과 같은 확장된 표면적에 적용하면 기존의 일반적인 대류 열전달 방법보다 뛰어난 열전달 성능을 나타내는 것으로 밝혀졌으며⁽³⁾ Sparrow et al.⁽⁴⁾은 충돌제트 이용시 충돌제트를 이용하지 않은 경우보다 대류 열전달 성능이 10 배 이상 향상됨을 보고하였다.

발포알루미늄은 다공성 물질의 일종으로 단위 부피당 매우 높은 표면적비와 0.9이상의 높은 다공도로 인하여 기존 다공성 물질의 큰 단점중의 하나인 유동의 압력 손실이 적고 내부는 금속지주로 직접 연결되어 있어 높은 유효 열전도도를 가지고 있으며 기계적 강도 또한 충분하다.⁽⁵⁾ 이러한 특성에 의해 발포알루미늄을 전자장비 냉각에 활용하기 위한 연구가 진행되어 왔다. Paek et al.⁽⁶⁾은 실험을 통해 전자장비의 냉각에 발포알루미늄을 적용할 수 있음을 밝혔고 Lee et al.⁽⁷⁾은 발포알루미늄 방열기와 냉각 팬의 조합을 실제 CPU 냉각용 방열기와 냉각성능을 비교 수행하여 기존 핀-핀형(pin-fin type) 방열기와 유사한 방열성능을 보였다. 또한 발포알루미늄 방열기의 중량이 기존 방열기에 비해 약 1/3이므로 경량화 및 재료비의 절감을 꾀할 수 있으며 비교적 간단한 제작공정 및 가공의 자유로움으로 인한 생산비 절감 효과를 감안할 때 전자장비의 냉각에 있어 기존 방열기보다 유용하다고 할 수 있다. 따라서 단위 부피당 높은 표면적 비와 유동의 효율적인 혼합이 중요한 요소인 충돌제트와 발포알루미늄의 조합시 방열효과의 극대화를 이룰수 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^(8,9)

최근 전자장비의 경우 고집적화로 인하여 회

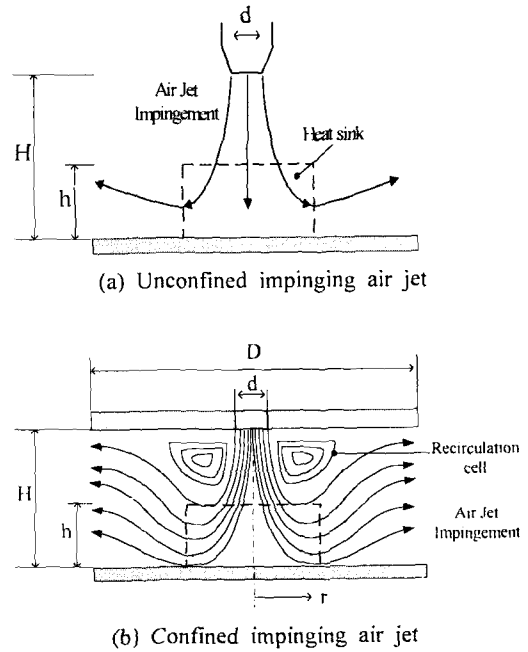


Fig. 1 Physical model

로기판 등과 같은 전자장비의 구성요소들은 그 설치공간에 있어 많은 제약을 받는다. 이에 따라 발포알루미늄 방열기를 전자장비에 활용하기 위해서는 설치공간의 제약과 밀접한 여러 조건들에 대한 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 기존의 연구결과를 바탕으로 발포알루미늄을 실제 전자장비에 활용하기 위해 전자장비의 국한된 공간내의 충돌제트(confined jet impingement)가 발포알루미늄의 열전달 성능에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 국한 충돌공기제트는 Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 분사홀 말단에 설치되어 있는 국한 원판에 의해 방열기에서 방열된 열의 일부분이 대기중으로 빠져나가지 못하고 평판 아래에서 재순환하게 된다. 재순환 영역이 발달됨에 따라 재순환된 열은 충돌공기제트와 열교환을 일으켜 비국한 충돌공기제트인 Fig. 1(a)보다 열전달 성능이 저하된다. 이와 같은 국한 충돌공기제트의 열전달 특성을 열원과 국한 원판 사이의 높이와 국한 원판의 직경을 변화시키면서 비국한 공간에서의 열전달 성능과 비교·분석하여 국한 충돌제트하에서 발포알루미늄을 이용한 전자장비 냉각장치의 설계 자료를 확보하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

기공밀도(β), 국한 원판과 열원면 사이의 거리(H)와 국한 원판의 직경(D)의 변화가 발포 알루미늄 방열기의 열전달 성능에 미치는 영향을 고찰하기 위한 실험장치는 Fig. 2와 같다. 실험조건은 표 1에 나타내었다. 충돌제트를 만들기 위한 공기는 외부의 압축기로부터 공급되며 압력 조절기(presure-regulator)를 통해 0.4기압의 일정한 압력으로 유지된다. 유량계(rotameter)를 통해서 유량이 조절되고 주위 온도와 충돌제트의 온도를 동일하게 맞추기 위해 유로에 소형 히터를 두었으며 노즐부의 유로에는 메쉬(mesh)층을 설치하여 충돌제트의 유속이 노즐출구에서 균일하게 되도록 하였다. 전자장비내부의 국한된 공간내 충돌제트를 모사하기 위하여 직경은 $D=75, 150, 300\text{mm}$ 의 아크릴 원판을 분사홀 말단에 설치하였고 원판이 없는 상태에서는 노즐을 분사홀 말단에 설치하였다. 분사홀 및 노즐의 직경은 $d=20\text{mm}$ 로 고정되었고 분사홀 및 노즐의 직경을 기준으로 한 Reynolds 수는 $667 \sim 5672$ 이었다.

본 실험은 열원 표면과 국한 원판 사이의 높이 H가 중요한 요소이므로 0.1mm 이하의 오차를 가진 아크릴 블록으로 정확한 높이 H를 유지시켰고 미세 이송장치를 이용하여 실험장치 바닥과 원판의 수평이 이루어지는 것을 확인하였다. 열원과 발포알루미늄 방열기가 설치된 시험부는 크기 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 10\text{mm}$ 의 블록형상으로 단열성과 내열성을 위해 MC(monomer cast)나일론으로 제작되었다. MC나일론블록 윗면에는 등열유속 조건을 제공하기 위하여 두께 약 0.18mm 의 골드필름히터를 부착하였고, 골드필름히터 윗면에는 방열기와의 접촉 열저항을 줄이기 위해 열그리스(thermal grease: $0.7\text{W/m} \cdot \text{K}$)를 도포하였다. 열그리스를 일정하게 도포한 후 방열기를 골드필름히터 윗면에 붙이고 소형 볼트로 고정하였다. 본 실험에서 직류전원공급장치(DC power supply)에 의해 공급되는 열유속은 약 3200W/m^2 로 고정하였다. MC나일론 블록 외부로의 열손실량을 최소화하기 위해 주위에 단열재를 부착하였으며 밑면에는 1mm 의 공기 단열층을 설치하였다. 또한 MC나일론 블록 밑면과 측면 단열재내부에 열전대를 설치하여 전도에 의한 열손실량을 측정하였다.

Table 1 Experiment conditions

d (mm)	D (mm)	q (W/m^2)	H/h	Re	β (PPI)
20	75, 150,	3200	1.33	667	10,
	300		~ 2.66	~ 5672	20, 40

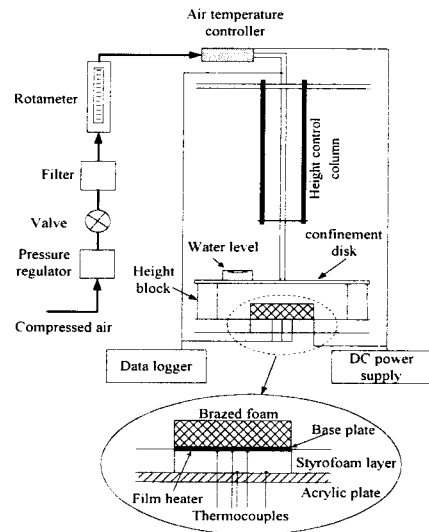


Fig. 2 Experimental setup

충돌제트의 온도와 히터의 표면온도는 T-type의 열전대를 사용하여 측정하였다. 히터의 표면온도는 반경 18mm 의 중심부 영역에 설치된 5개의 열전대로 측정하였다. MC나일론블록의 밑면과 측면에 각각 4개와 3개씩 열전대를 설치하였고 단열재 내부에 3개의 열전대를 설치하여 전도에 의한 열손실을 측정하였다. 열전대를 통해 측정된 온도를 조사하여 열적으로 정상상태(steady state)에 도달한 것을 확인한 후, 데이터 획득장치(Yokogawa DR230)로 공기의 온도와 시험부의 온도를 기록하였다.

본 실험에서 시편으로 사용된 방열기는 편평방열기와 $\beta=10, 20, 40\text{PPI}$ 의 기공밀도를 가진 발포알루미늄 방열기로 다공도는 0.92 로 고정되었다. 모든 시편은 두께 $t_b=1.0\text{mm}$ 의 알루미늄 판이 브레이징 되어있고 한번의 길이가 40mm 인 정방형이며 방열기의 높이는 $h=9.0\text{mm}$ 이다.

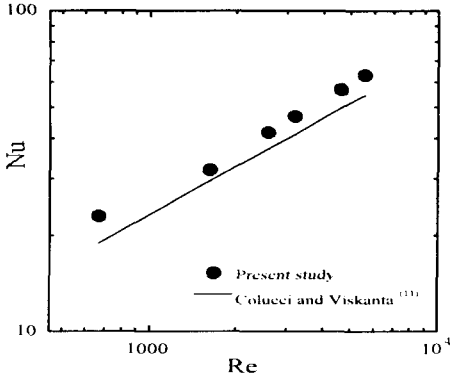


Fig. 3 Variation of local Nusselt number at the stagnation point

발포알루미늄 방열기의 열전달 특성을 고찰하기 위해 히터표면에서의 대류 열전달계수를 다음과 같이 정의 하였다.

$$q = h_c(T_w - T_o) \quad (1)$$

여기서 q 는 단위 면적당 열전달량, h_c 는 국부대류 열전달계수, T_w 와 T_o 는 각각 열원표면의 온도와 분사홀 출구에서의 공기 온도이다. 또한, 균일한 열유속을 갖는 열원표면에서 무차원 표면 온도는 다음과 같이 정의된다.⁽⁹⁾

$$\theta_w = \frac{T_w - T_o}{qd/k} \quad (2)$$

여기서 k 는 공기의 열전도도이다. 따라서 국부 Nusselt 수는 다음과 같이 표현된다.

$$Nu = \frac{h_c d}{k} = \frac{1}{\theta_w} \quad (3)$$

본 실험에서 한정된 크기를 가지는 다공성 방열기의 방열 성능은 열원의 평균 온도로 표현될 수 있다. 일반적으로 충돌제트의 국부 대류열전달계수는 유동특성에 의해 정체점을 중심으로 반경방향으로 변화하지만 본 실험에서는 방열기의 베이스 알루미늄 판의 높은 열전도성에 의해 열

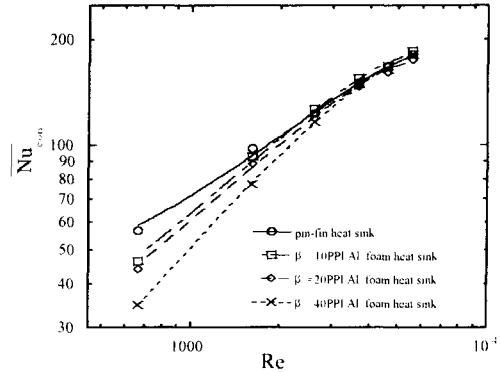


Fig. 4 Effect of Reynolds number on the averaged Nusselt numbers for various heat sinks at $H/h=2.0$ and $D=300mm$

원표면온도 변화는 미약하게 된다. 또한 실제 실험에서는 MC 나일론 블록 주위로의 전도 열손실 때문에 열전대의 위치에 따른 반경방향의 온도변화를 정확히 측정하기는 매우 어렵다. 따라서 열원표면에서의 평균 Nusselt 수 \overline{Nu} 값은 5개의 열전대에서 측정한 온도의 산술평균으로부터 구하였다.⁽⁹⁾

3. 실험결과 및 고찰

본 연구의 실험장치와 실험방법의 타당성을 검증하기 위해 국한 충돌공기제트에 의한 평판열원에서의 대류 열전달에 대한 기존의 Colucci와 Viskanta⁽¹⁰⁾의 실험결과를 본 연구에서 측정한 두께 1.0mm의 알루미늄 평판에서의 실험결과와 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 이 경우 열원과 노즐과의 간격은 $H/D=1.0$ 이었다. 본 실험의 결과는 기존 상관식과 19% 정도의 오차를 보이지만 Colucci와 Viskanta에 의한 실험은 30000이상의 고 Reynolds 수 범위에서 실험한 결과의 상관식임을 감안하면 대체적으로 일치하는 경향을 보인다. 이러한 오차는 열손실 산정의 오차에 기인하는 것으로 Nu 산정시 $660 < Re < 5700$ 의 범위내에서 열손실이 차지하는 비율이 Reynolds 수가 증가함에 따라 전체 열유속의 25%부터 10%까지 감소하는 것을 확인 하였다.

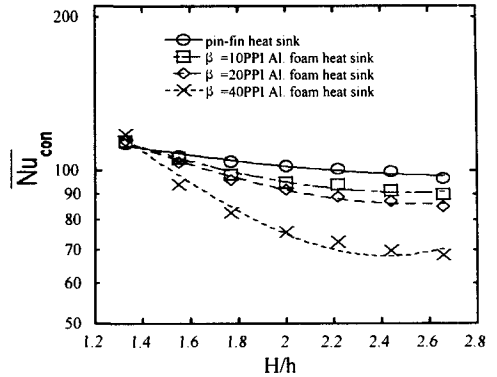
Table 2 Geometrical particulars of aluminum foam heat sink

	ϵ	β (PPI)	S/V (m^{-1})	k_c [$W(m \cdot K)$]	t_d (mm)
Foam 1	0.92	40	2740	6.01	0.102
Foam 2	0.92	20	1720	5.56	0.203
Foam 3	0.92	10	790	5.33	0.406

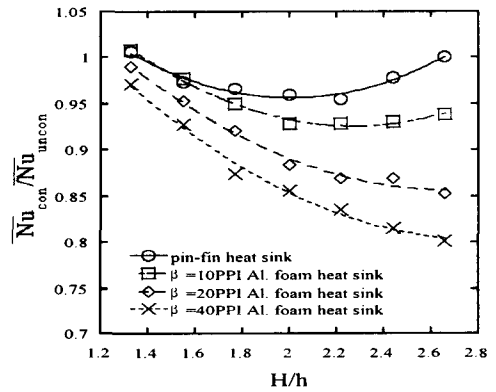
Fig. 4는 국한된 공간에서 Reynolds 수의 변화가 발포알루미늄의 열전달 특성에 미치는 영향을 보여주고 있다. 본 실험은 발포알루미늄의 다공도(ϵ)를 0.92로 고정시키고 기공밀도(β)를 변화시키면서 실험하였다.⁽¹⁰⁾ Table 1에서 볼 수 있듯이 발포알루미늄의 기공밀도(β)가 10PPI, 20PPI, 40PPI로 변할 경우 단위부피당 표면적 비는 각각 $790m^{-1}$, $1720m^{-1}$, $2740m^{-1}$ 이다. 핀형 방열기의 경우 다공도(ϵ)는 0.77이고 단위부피당 표면적 비는 $570m^{-1}$ 이다.

Fig. 4에 나타나 있듯이 $Re < 2000$ 구간에서는 모든 발포알루미늄 방열기의 열전달 성능이 핀형 방열기보다 낮은 것을 볼 수 있다. 또한 발포알루미늄 기공밀도가 증가할수록 방열성능이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 발포알루미늄의 기공밀도가 증가함에 따라 유동저항이 증가하여 발포알루미늄 방열기 내부로의 침투유량을 감소시키기 때문이다. Paek et al.⁽⁹⁾은 다공도가 일정할 경우 발포알루미늄의 열전달 특성은 기공밀도의 영향을 받으며 표면적의 확대보다는 침투유량의 증가가 열전달 성능에 보다 중요함을 밝혔다. 그러나 Reynolds 수가 증가함에 따라 공기체트의 운동량 증가로 인해 각 방열기의 열전달 성능의 차이가 적어짐을 볼 수 있다.

국한 원판과 열원면 사이의 거리 H의 변화에 따른 국한 충돌공기체트와 비국한 충돌공기체트의 열전달 특성을 Fig. 5에 나타내었다. $Re=1615$ 이고 국한 원판의 지름 $D=300mm$ 이다. Fig. 5(a)는 각 방열기의 평균 Nusselt 수 \overline{Nu} 를 보여주고 있다. 분사홀과 열원면 사이의 거리 H/h가 감소함에 따라 각 방열기마다 평균 Nusselt 수 \overline{Nu} 가 증가하는 것을 볼 수 있다. 국한 충돌공기체트의 열전달 특성은 국한 충돌공기체트의 국한된 상태의 평균 Nusselt 수 \overline{Nu}_{con} 와 비국한 충돌공기체트



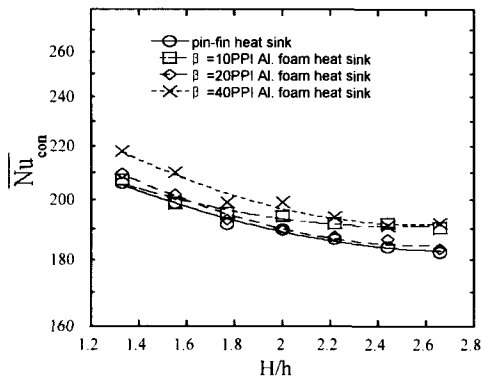
(a)



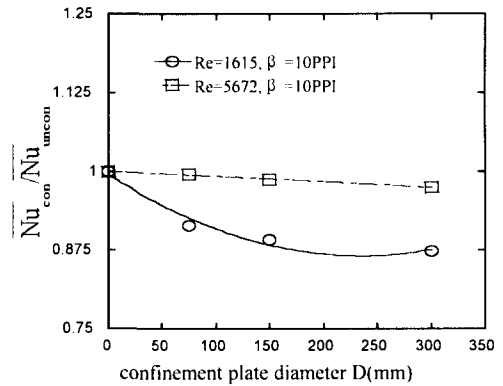
(b)

Fig. 5 Comparison of the confined impinging air jet and unconfined impinging air jet at different heights at $Re=1615$ and $D=300mm$

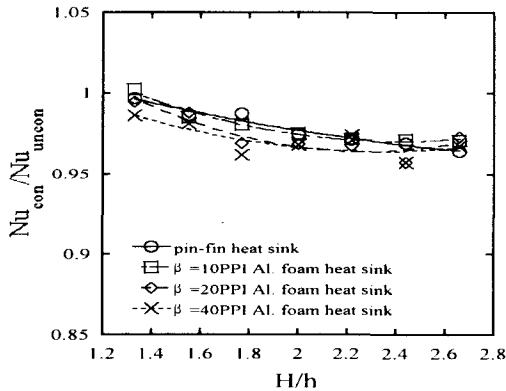
의 개방된 상태에서의 평균 Nusselt 수 \overline{Nu}_{uncon} 의 비로서 나타낼 수 있다. 즉, $\overline{Nu}_{con} / \overline{Nu}_{uncon} < 1$ 이면 국한 원판에 의해 재순환 영역이 생성되어 개방 충돌공기체트에 비해 열전달 성능이 감소하는 것을 의미하고, 1에 근접할 수록 국한 원판에 의한 재순환 영역의 영향이 미미해져 개방 충돌공기체트와 유사한 열전달 성능을 나타내는 것이다. 이러한 국한 원판의 영향에 의해 방열성능이 최저가 되는 임계높이는 각 방열기에 따라 달라지며 Fig. 5(b)에 나타나 있다. 핀형 방열기의 경우 국한 충돌공기체트의 특성은 발포알루미늄에 비해 크게 나타나지 않았으며 임계높이 이하의 구간인



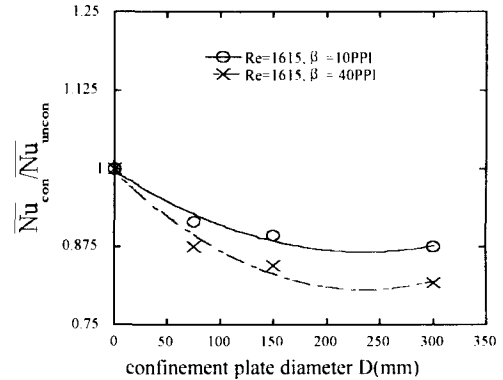
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 6 Comparison of the confined impinging air jet and unconfined impinging air jet at different heights at $Re=5672$ and $D=300\text{mm}$

Fig. 7 Effect of confinement plate diameter on the averaged Nusselt numbers at $H/h=2.0$

$H/h < 2$ 에서는 재순환 영역이 충분히 발달하지 못한 상태에서 H/h 가 낮아짐에 따라 분사홀과 열원 표면과의 높이가 가까워져 열전달 성능이 향상되었으며 $H/h=1.33$ 에서 개방 충돌공기제트와 유사한 열전달 성능을 나타냈다. 임계높이 이상으로 H/h 가 증가함에 따라 재순환 영역이 점차로 소산되므로 개방 충돌공기제트와 유사한 상태가 되어 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}=1$ 에 근접하는 경향이 보인다.

발포알루미늄 방열기의 경우 다공밀도가 가장 낮은 $\beta=10\text{PPI}$ 의 임계높이 구간은 $2 < H/h < 2.4$ 이며 기공밀도가 증가할수록 열전달 성능은 더욱 감소한다. 이는 기공밀도의 증가에 따른 유동저항의

증가에 기인하는 것으로 유동저항이 증가됨에 따라 충돌공기제트가 방열기 내에 유입되지 못하고 재순환 영역을 발달 시킨다. 이에 방열기는 열을 방열시키지 못하고 방열기의 열전달 성능이 저하되는 것이다. 20, 40PPI 발포 알루미늄 방열기의 경우 실험영역내에서 정량적인 임계높이를 확인할 수는 없었지만 편형 방열기와 10PPI 방열기의 경향으로 미루어 볼 때 H/h 를 증가시키면 재순환 영역의 소산으로 인해 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}=1$ 에 근접할 것으로 판단된다.

Reynolds 수가 클때 국한 충돌공기제트의 열전달 특성을 고찰하기 위해 $Re=5672$ 에서 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig 5와 비교하여 모든

방열기의 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}$ 의 변화의 폭이 적은 것을 알 수 있다. 이는 Reynolds 수가 증가함에 따라 국한 충돌공기제트의 유속이 증가하여 방열기 근처에서 재순환된 열과 열교환이 되지 않고 방열기 내에 바로 유입됨에 따라 개방 충돌공기제트와 유사한 열전달 성능이 나타났다. 그러므로 $Re=5672$ 이상의 Reynolds 수 영역에서는 국한충돌공기제트의 열전달 특성은 개방 충돌공기제트와 유사할 것으로 판단된다.

Fig.7은 국한 원판의 직경의 크기가 국한 충돌공기제트열전달에 미치는 영향을 보여주고 있다. 국한 충돌공기제트의 경우 분사홀 직경(d)과 국한 원판과 열원면 사이의 거리(H)에 비해 국한 원판의 직경(D)이 충분히 크면($D/d, D/H \gg 1$) 유입된 공기는 충돌공기제트 주위에 재순환 영역을 형성한다. 이 재순환 영역에 의한 공기제트 유동의 압축은 정체선(stagnation line) 주위의 압력을 낮게 형성시켜 충돌면을 따라 공기제트의 강한 가속을 발생시키는 원인이 된다. 낮은 압력은 유동의 하류 지역(downstream)에서 원상태로 되는데 이는 압력의 역구배를 형성시켜 유동의 난류천이와 경계층 분리(separation)를 촉진시킨다.⁽¹³⁾ Huber 와 Viskanta⁽¹⁴⁾ 그리고 Colucci 와 Viskanta⁽¹¹⁾는 각각 반경방향의 거리와 분사홀의 직경비 $r/d=1.4\sim 1.6$, $r/d=1.6$ 의 정체점 하류구간에서 이러한 난류천이로 인하여 국한되었음에도 불구하고 열전달 성능이 향상되었음을 보였다. 하지만 본 실험 시편의 크기가 $r/d \leq 1.2$ 이므로 $D=300\text{mm}$ 으로 고정된 Fig. 4~6의 실험 결과에서는 이러한 난류천이에 의한 열전달 향상은 일어나지 않았고 재순환 영역에 의하여 개방 충돌공기제트와 비교하여 열전달 성능이 감소하였다.

Fig.7(a)는 $Re=1615, 5672$ 에서 국한 원판의 직경의 크기에 따른 국한충돌공기제트의 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}$ 을 나타내었다. 이때 국한 원판의 직경은 300mm, 150mm 그리고 75mm로 300mm에서 각각 1/2, 1/4씩 줄였다. 열원과 국한 원판 사이의 길이 $H/h=2.0$ 이고 $\beta=10\text{PPI}$ 이다. $Re=1615$ 에서 국한 원판의 직경이 300mm에서 75mm까지 감소함에 따라 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}=0.874$ 에서 0.914까지 증가했다. 이는 국한 원판의 직경이 감소함에 따라 재순환 영역이 소산되어 점차적으로 개방된 상태와 유사한 열전달 성능을 나타나기 때문이다. $Re=5672$ 에서는 충돌공기제트의 유속이 증가함에

따라 충돌공기제트의 난류 강도가 강해져 국한 원판의 직경의 크기에 관계없이 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}=1$ 에 근접한 결과를 볼 수 있다.

기공밀도의 증가에 따른 압력강하가 미치는 영향을 고찰하기 위해 $\beta=10\text{PPI}$ 및 40PPI 발포 알루미늄 방열기에 대한 결과를 Fig.7(b)에 나타내었다. 국한 원판의 직경이 $D=300\text{mm}$ 인 경우 $\beta=40\text{PPI}$ 의 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}$ 은 $\beta=10\text{PPI}$ 보다 7% 낮은 것을 볼 수 있다. 국한 원판의 직경이 동일할 경우 기공밀도가 증가하면 충돌공기제트 유동의 압력강하 또한 증가하여 재순환 영역을 더욱 발달시키게 된다. 이는 방열기의 열전달 성능을 더욱 저하시키게 한다. 하지만 국한 원판의 직경이 감소함에 따라 재순환 영역이 점차 소산되어 $\beta=10\text{PPI}$ 와의 $\overline{Nu}_{con}/\overline{Nu}_{uncon}$ 차이는 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

국한 충돌공기제트에 의한 발포 알루미늄 방열기의 열전달 성능을 기공밀도(β), 국한 원판(분사홀)과 열원표면 사이의 높이(H), 국한 원판의 직경(D)을 변화시키면서 실험하였다. 또한 개방 충돌공기제트와 열전달 성능을 비교·분석하여 국한 충돌공기제트의 열전달 특성을 실험을 통하여 고찰하였다.

국한 충돌공기제트내에서 국한 원판과 열원면 사이의 높이 H가 고정된 경우 발포알루미늄 방열기의 열전달 성능은 기공밀도의 차이에 의한 영향을 받으나 Reynolds 수가 증가할수록 기공밀도에 의한 영향은 미약하였고 각 방열기마다 유사한 열전달 성능을 보였다.

국한 원판과 열원표면 사이의 높이 H를 변화시키면서 국한 충돌공기제트와 개방 충돌공기제트의 열전달 성능을 비교한 결과, $Re=1615$ 에서는 재순환 영역에 의해 열전달 성능이 가장 저하되는 임계높이는 편형 방열기가 발포알루미늄 방열기보다 낮았으며 발포알루미늄 사이에서 임계높이는 기공밀도가 증가할수록 높아질 것으로 판단된다. 각 방열기마다 임계높이 이하에서는 국한 충돌공기제트는 개방 충돌공기제트와 유사한 열전달 성능이 나타났고 임계높이 이상에서도 재순환 영역이 소산됨에 따라 개방 충돌공기제트와

유사한 열전달 성능이 나타났다. $Re=5672$ 에서는 모든 방열기에서 국한 원판과 열원표면 사이의 높이에 따른 충돌공기제트의 국한 원판의 영향은 미약했으며 개방 충돌공기제트와 유사한 열전달 성능이 나타났다.

국한 원판의 직경을 변화시키면서 발포알루미늄 방열기의 열전달 성능을 실험한 결과, $Re=1615$ 에서는 국한 원판의 직경의 크기가 감소할수록 열전달 성능이 향상되었고, $Re=5672$ 에서는 강한 유속에 의해 재순환 영역의 영향을 받지 않아 국한 원판의 직경의 크기에 관계없이 개방 충돌공기제트와 유사한 열전달 성능이 나타났다.

후 기

본 논문은 한국과학기술연구원 지정 선문대학교 공조기술 지역 협력 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kang, B. H., Jaluria. Y. and Tewari. S. S., 1990, "Mixed Convection Transport from an Isolate Heat Source Module on a Horizontal Plate," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 112, pp. 653~661.
- (2) Kim, S. Y., Sung, H. J., Hyun, J. M., 1992, "Mixed Convection from Multi-Layered Boards with Cross-Stream Wise Periodic Boundary Conditions," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 35, pp. 2941~2952.
- (3) Hansen, L. G and Webb, B. W, 1993, "Air jet impingement heat transfer from modified surface," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 36, pp. 989~997.
- (4) Sparrow, E. M., Goldstein, R. J., and Rouf, M.A., 1975, "Effect of Nozzle Surface Separation Distance on Impingement Heat Transfer for a Jet in a Crossflow," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 97, pp. 528~533.
- (5) Paek, J. W., Kang, B. H., Kim, S. Y. and Hyun, J. M., 2000, "Effective Thermal Conductivity and Permeability of Aluminum Foam Material," *Int. J. Thermophysics*, Vol. 21, pp. 453~464.
- (6) Paek, J. W., Kim, S. Y. and Kang, B. H., 2000, "Heat Transfer from an Aluminum Foam Heat Sink for Electronics Cooling," *Proc. of the 4th JSME-KSME Thermal engineering Conf.*, Kobe, Japan, pp. 635(2)~640(2).
- (7) Lee, M. H., Paek, J. W., Kim, S. Y. and Lee, K. S., 2001, "Heat Transfer from a Fan-Aluminum Foam Heat Sink Assembly for CPU Cooling," *Proc. of the KSME Thermal Engineering Conf. - Spring 2001*, pp. 101~106.
- (8) Webb, R. L., 1994, "Principles of Enhanced Heat Transfer," John Wiley & Sons. Inc.
- (9) Paek, J. W., Kim, S. Y. and Kang, B. H., 2001, "Effects of Nozzle Size and Height of Aluminum Foam Heat Sink on Jet Impingement Heat Transfer," *J. KSME*, Vol. 25, pp. 1263~1271.
- (10) D. W. Colucci and R. Viskanta, 1996, "Effect of Nozzle Geometry on Local Convective Heat Transfer to a Confined Impinging Air Jet," *Exp. Thermal and Fluid Science*, Vol. 13, pp.71~80.
- (11) Paek, J. W., Kim, S. Y. and Kang, B. H., 2001, "Heat Transfer from a Porous Heat Sink by Air Jet Impingement," *Korea Journal of Refrigeration and Air Conditioning*, Vol. 13, pp. 73~79.
- (12) ERG Duocel Aluminum Foam Catalog, 1995, Energy Reaserch and Generation Inc., Oakland, CA.
- (13) Incropera, F. P., 1999, "Liquid Cooling of Electronic Devices by Single-Phase Convection," John Wiley and Sons, New York.
- (14) Huber, A. M., and Viskanta. R., 1994, "Heat Transfer to a Confined Impinging Array of Air Jets with Spent Air Exits," *ASME Journal of Heat Transfer*, 116, pp. 570~576.