

경사진 충돌제트를 이용한 핀 힌 히트싱크의 열특성 연구

홍 기 호* · 송 태 호†

(2004년 3월 18일 접수, 2004년 6월 2일 심사완료)

Heat Transfer Characteristics of Inclined Jet Impinging on a Pin Fin Heat Sink

Kiho Hong and Tae-Ho Song

Key Words : Pin Fin Heat Sink(핀 힌 히트 싱크), Particle Image Velocimetry(입자 영상 유속계), Impinging Jet(충돌 제트), Local Heat Transfer Coefficient(국부 열전달 계수)

Abstract

An inclined jet impinging on a pin fin heat sink is proposed and investigated experimentally. To investigate the flow pattern, flow visualization using fluorescence and velocity measurement using particle image velocimetry(PIV) are conducted with water. The jet impinges over a wide span of the heat sink with a large recirculation in the upper free space and occasionally with another smaller one in the upstream corner. Further, thermal experimentation is conducted using air to obtain temperature profiles using a thermocouple rake in the air and using thermal image on the heat sink back plate, with impinging angles of 35, 45 and 55 degrees. The Reynolds number range based on the nozzle slot is varied from 1507 to 6405. The results show that impinging angle of 55 degree shows the largest heat transfer capability. The results of thermal experiment are compared and discussed with those of flow visualization.

기호설명	
A_f	핀의 열전달 면적
C_D	항력계수
D	수력학적 지름
h_l	국부열전달 계수
H	힌 높이
\overline{Nu}_D	평균 누셀수
Pr	프란틀수
q	열전달량
Re	레이놀즈수
T	온도
u	x 방향 속도
v	y 방향 속도
x	힌 베이스의 수평방향
y	힌 높이 방향

하첨자

b	유속평균(bulk mean)
w	벽(wall)
D	수력학적 지름
Max	핀 사이의 협소부

1. 서론

개인용 컴퓨터의 중앙처리장치(CPU)의 경우 최근 몇 년 동안 100 MHz 에서 2.8 GHz 의 처리속도 까지 발전 하였다. 컴퓨터의 처리속도가 빨라짐으로써 각종 연산 장치의 발열량도 급격히 늘어나게 되었고, 이에 대한 해결책으로 여러 가지 고성능의 냉각장치(heat sink)를 개발해 왔다. 기존의 제품들은 움모 형태의 핀 힌(pin fin)방식이 대부분으로서, 히트 싱크의 본체는 알루미늄 등의 전열성이 양호한 재료로 형성되어 있으며, 그 상부에는 팬을 장착한다. 이러한 핀 힌 히트 싱크(Pin Fin Heat

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과
E-mail : thsong@kaist.ac.kr
TEL : (042)869-3032 FAX : (042)869-3210

* 회원, 한국과학기술원 대학원 기계공학과

Sink ; PFHS)의 형상, 재질, 냉각풍의 방향 등에 대한 많은 연구가 있었다.

PFHS 에 대한 연구는 핀 형상, 노즐에 대한 히트 싱크의 위치, 히트 싱크 재료, 레이놀즈수 (Reynolds number) 등의 효과를 고려한 광범위한 영역에서 진행되어 왔는데, Sara⁽¹⁾는 직교류에서 흰 형상에 따른 레이놀즈수와 누셀수(Nusselt number)의 관계식을 제시했고, Shaukatullah⁽²⁾ 등은 직교류에서 핀 흰 히트 싱크의 형상을 최적화 하였다. Sparrow and Larson⁽³⁾은 상부 냉각 방식에 대하여 나프탈렌 승화법을 이용하여 핀 흰의 가장 자리에서의 흰이 내부의 흰보다 열전달 성능이 우수함을 밝혔고, Ledezma⁽⁴⁾ 등은 충돌 제트 (impinging jet)에서 흰 간격 설계를 최적화했다. Maveety⁽⁵⁾ 등은 충돌제트에서 흰 형상, 레이놀즈수 (Re_D), 노즐 위치를 바꿔가면서 실험을 행하였다.

이상의 선행 연구의 경우 냉각풍을 부는 방식으로서 수직 수평 두 방향에 고정하여 실험하였으나, 경사지게 냉각풍이 충돌할 경우에 대한 실험적 연구는 없었다. 상부에 자유공간을 두고 냉각 풍을 경사지게 불어줄 경우, 먼지 등의 이물질 축적으로 유동이 막히고 열전달 효과가 거의 없는 정체 구역(dead zone)을 출일 수 있을 뿐만 아니라, 유량의 막힘 현상도 없고, 내구성 면에서 기존의 냉각 방식보다 유리할 것으로 예측된다.

따라서 본 연구에서는 냉각풍의 충돌 각도를 변화시켜가면서 그에 따른 히트 싱크의 열특성과 국부 열전달 계수의 변화를 구하였다. 실질적으로 기울어지게 충돌하는 유동 해석은 극심한 난류(turbulence)이기 때문에 수치적으로 구하기는 어렵고, 그 결과의 신뢰성도 떨어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 실험적 방법으로 유동 및 열특성을 규명하였다.

실험적 연구를 위하여 상부에 자유공간을 두고 충돌각도를 변화시킬 수 있는 시험부(test section)를 만들고, 이를 실험하기 위한 소형 풍동을 제작하였다. 충돌 각도의 변화와 유량 일정 조건하에 유량을 변화 시켜가면서 실험을 수행하였고, 유량과 충돌각도에 대한 흰의 온도분포와 유체 온도 분포를 통해 열특성을 분석하였다. PIV(Particle Image Velocimetry)와 형광물질을 이용한 유동가시화를 통하여 시험부 내부 유체의 유동을 파악하고 속도성분을 측정하였다.

2. 유동장

2.1 유동 가시화

무엇보다도 먼저 시험부 내부의 유동형태를 파악하기 위하여 형광물질을 이용한 가시화를 실시하였다. 수용성의 붉은색 형광물질을 시험부 내에 주입하기 위하여 Kd Scientific 사의 주사기 펌프 (Model 100)를 이용하였다. 작동유체는 물을 사용

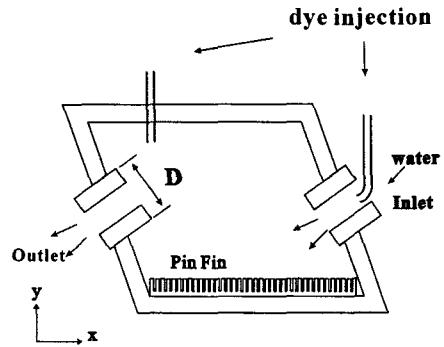


Fig. 1 Location of fluorescence dye injection port

하고, 일정한 유압, 유량을 유지하기 위하여 지상으로부터 4m 상단에 200리터의 수조를 설치하였다. 따라서 일정한 높이에서 유체가 호스, 개폐밸브, 유량계를 통하여 시험부로 유입된다. 수조에는 지상으로부터 펌프를 통해 물이 일정 높이로 충전된다. 수평 방향으로부터의 경사 주입각도 35, 45, 55도와, 노즐 슬롯 폭 D 기준 Re_D 를 1507, 3332, 6405로 바꾸어가며 실험을 실시하였다. Fig. 1과 같은 시험부 내에 슬롯의 정중앙과 시험부의 좌상단에 구멍을 내고 형광 물질을 물의 유량이 커짐에 따라 분당 0.03 ml 에서 0.09 ml 까지 주입하였다. 유동가시화와 열전달 실험에 사용된 PFHS 의 규격은 베이스 x 방향 길이와 z 방향 폭은 각각 125 100 mm 이고, 베이스 두께는 0.8 mm 이다. z 축 방향으로 핀 흰의 폭 길이와 흰 피치는 각각 2.3, 3.9 mm 이고, x 축 방향으로의 핀 흰의 폭 길이와 흰 피치 1.3, 3.8 mm 이다. 또한 D 는 15 mm 이고, 유동부의 높이는 100 mm 이다.

2.2 가시화 결과

Fig. 2의 그림들은 Re_D 가 1507, 경사 55도에 대한 실험결과이다. 촬영된 고속도 동영상에서 대표적인 유동형상을 6개의 프레임으로 동영상에서 뽑아내어 순차적으로 보여주고 있다.

Fig. 2(b)에서 보는 것처럼, 주입되는 유체가 핀 흰 위를 전반적으로 충돌하며, 상부 공간으로 큰 시계 방향 1차 재순환류(recirculation)가 발생함을 알 수 있다. 한편 (c), (d)에서 보이는 바, 오른쪽 벽 하단 부분에서는 작은 반시계 방향 2차 재순환류가 존재한다는 것을 알 수 있다. 히트 싱크에 충돌한 유체는 (b), (c), (d)에서 보는 것처럼 충돌 후 왼쪽 슬롯을 통하여 빠져나가고, 일부는 (e), (f)의 상단에서 다시 시험부 내를 순환한다. 주입각도 55도 경우, 흰에 충돌한 유체는 깊은 각도로

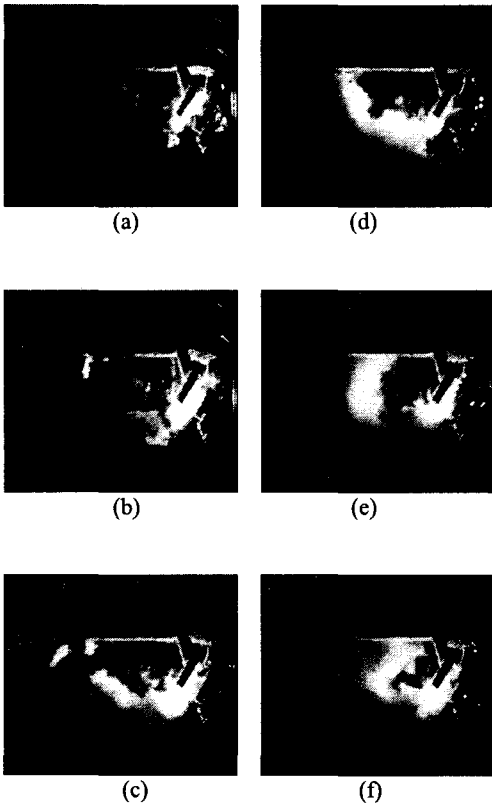


Fig. 2 Flow visualization at 55 degree injection : $Re_D = 1507$ (Dye appears white)

충돌하기 때문에 핀 흰 뒷부분에까지 넓은 부분에 걸쳐 충돌하지 못한다. 즉, 시험부 핀 흰 왼쪽의 일부분이 열전달 효과가 없는 정체구역으로 남게 됨을 예상할 수 있다. 지면상 여기에 보이지는 않았으나, 주입각도가 45도인 경우, 핀 흰에 충돌하는 유체는 55도의 경우보다 좀 더 널리 퍼져서 충돌한다. 55도의 경우와 마찬가지로 오른쪽 벽 하단 부에 와류로 인한 유체의 2차 재순환을 관찰할 수 있었으나, 55도의 경우 보다 와류의 크기는 컸다. 주입각도가 35도 일 경우에도, 유동의 전반적인 양상은 앞의 두 경우와 유사하였다. 히트 싱크 뒷 부분에까지 넓게 퍼지면서 유체가 히트 싱크에 충돌하고, 오른쪽 하단부분에 2차 순환하는 유동이 크게 자리잡는다. 그리고 앞의 두 경우와는 달리 오른쪽 하단부에 생기는 2차 순환의 크기는 앞의 두 경우보다 매우 컸다. Re_D 가 3332, 6405일 때, 전반적인 유동 현상은 Re_D 가 1507일 때와 유사하였다.

요약하면 주입각도가 45도 일 경우, 35도와 55도에 비해 보다 넓은 충돌범위를 보였고, 55도일 때 우측 하단 부분의 2차 재순환류가 가장 작았다

2.3 유속측정- 입자 영상 유속계(PIV)

입자 영상(particle image)화상 처리를 이용한 속도장 측정기법의 기본원리는 주어진 시간간격(Δt)동안 유체와 함께 움직인 미세한 추적입자들의 변위정보를 CCD 카메라와 같은 영상입력장치를 이용하여 화상 데이터로 저장한 다음, 디지털 화상 처리 기법을 이용하여 입자변위를 계측하고, 시간간격으로 나누어줌으로써 속도벡터를 얻어내는 것이다.

우선 적절한 추적입자(seeding particle)를 선정하고, 원통형 렌즈(cylindrical lens)로 더블 펄스 레이저 평면광(light sheet)을 만들어 측정하고자 하는 유동평면에 조사했다. CCD 카메라로 유동평면을 촬영하여 입자영상을 취득하였다. 이때 추적입자의 크기와 농도(concentration), 카메라 노출시간, 시간간격 등은 실험조건에 따라 다르게 설정하였다. CCD 카메라로 찍은 영상으로부터 속도벡터를 계산하는 소프트웨어를 사용하였다.

2.4 속도벡터

Fig. 3은 시험부의 속도장을 PIV로 구한 결과의 일례이다. 밑면에 핀 흰이 있고, 그 위를 충돌하는 기류의 모양을 나타내고 있다. 후처리 과정으로 통계적인 방법으로 5%의 오차 벡터들을 처리하고, 주변 속도 벡터들을 기준으로 제거한 에러 벡터를 내삽하고, 총 127장을 평균하였다.

한편, 핀 흰 내부에 있어서는 핀과 핀 사이의 형상이 작아 흰 내부의 유동 속도를 PIV로 구할 수 없었다.

Fig. 3은 충돌 각도가 55도로, 슬롯 기준 Re_D 1507일 때 구한 속도 성분이며, 형광 물질을 통한 가시화 결과처럼 대부분의 유동은 핀 흰 위를 훑고 지나가며 상단에서 일부 시험부로 다시 순환하였다. 충돌각도가 55도로 급격한 경사를 이루기 때문에 유동은 핀 흰의 유동방향으로 전반부에 주로 충돌하고 있다. 충돌각도 55도 일 때는 경사가 상대적으로 35도, 45도인 두 경우보다 급해, 핀 흰의 우측 하단부의 유동이 두 경우보다 약했다. 단, 형광물질 가시화에서 볼 수 있는 우측 하단부의 2차 순환류는 관찰되지 않았다. 이는 렌즈를 통한 평면 광이 노즐 통로 돌출부에 산란되어 시험부내 우측 하단부까지 조사하지 못해 추적입자의 영상을 얻지 못했기 때문으로 생각된다. 충돌각도 45도의 경우, 55도 일 때와 마찬가지로 대부분

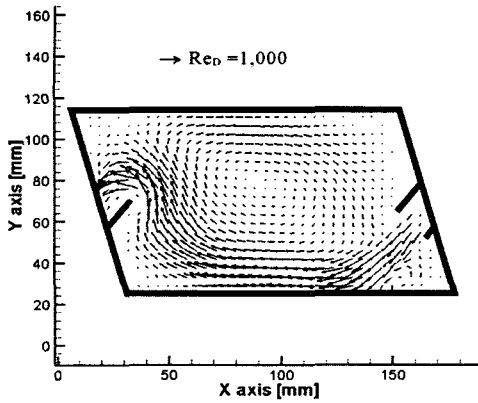


Fig. 3 Velocity vectors at degree injection 55: $Re_D=1507$

Table 1 Measured of drag coefficient

Re_D	drag coefficient [C_D]		
	35°	45°	55°
1507	10.7	8.4	8.8
3332	3.6	3.3	3.9
6405	2.0	2.1	1.5

의 유동은 핀 환 위를 지나가며, 최대 속도는 우측 노즐을 빠져 나왔을 때 다시 좌측 노즐로 들어갈 때임을 알 수 있었다. 충돌각도가 35도 일 때는 경사가 상대적으로 45도, 55도인 두 경우보다 완만해, 유동은 핀 환의 유동방향으로 후반부에 주로 충돌하고 있다. 세 가지 각도로 충돌 시 어는 경우에도 제트가 환의 좌측 끝부분까지 넓은 범위로 충돌하는 것을 관측하였다.

2.5 압력강하

시험부에 압력 탭을 유입 직전과 직후에 슬롯 중앙부에 내어 시험부내의 압력강하를 측정하였다. 압력강하를 통해 각도와 Re_D 에 따른 항력계수를 구할 수 있고, 정의는 다음과 같다.

$$C_D = \frac{\Delta p}{\rho v^2 / 2} \tag{1}$$

여기에서 v 의 속도는 슬롯에서의 속도이다. 항력계수는 각도 따라 1.5 에서 10 까지의 값을 보였고, 결과는 Table 1 에 나타나 있다. 유속이 커질수록 C_D 는 급격히 작아져서, 압력손실은 유속의 증가에 대략 선형적인 정도로 비례하며 커짐을 알 수 있다.

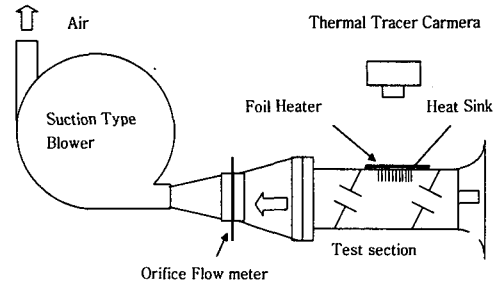


Fig. 4 Schematic diagram of the wind tunnel

3. 열전달 실험장치 및 실험방법

Fig. 4 는 흡입식 풍동과 열전달 실험 장치의 개략도이다. 히트 싱크의 뒷면 바닥에 얇은 박막 히터를 붙여서 가열하였다. 두께 10 μm 의 스테인레스 스틸 박막을 히트 싱크에 맞게 재단한 후 구리 막대 진극봉과 스테인레스 박막 사이에 전기 전도성 접착제를 발라 구리와 박막 히터를 고정시켰다.

히트 싱크와 박막 히터 사이에는 전기절연성이 있고 열전도성은 좋은 Chomerics 사의 T410 패드를 이용해 공기층이 생기지 않도록 압착시켰다. 시험부는 150 °C 까지 열 변형이 없고, 열전도계수가 낮은 폴리카보네이트($k=0.019 W/m \cdot K$)로 제작하였다. 시험부 상부에는 NEC 사 적외선 온도계(thermal tracer)카메라인 Th3104를 설치하여, 히터의 온도분포를 비접촉식 방식으로 측정하였다. 좌우 측면과 밑면은 단열을 위하여 Kaowool 사의 세라믹 화이버(Al_2O_3 [47%]+ SiO_2 [53%])을 사용하여 열손실을 최소화했다. 풍동을 흐르는 공기의 유량은 Mana 사의 장애식 오리피스 유량계를 이용하여 유량을 측정했다.

히트 싱크의 유동방향으로의 공기 온도분포를 측정하기 위하여 열전대 레이크(thermocouple rake)를 만들었다. 이는 K-type 36 게이지 열전대 17개를 7 mm 등간격으로 지지봉에 심어 스테인레스 스틸 박판에 고정시키고, 히트 싱크 베이스 3 mm 바로 위에 위치시켜 유체 온도를 측정하였다. 엄밀한 의미에서, 이렇게 측정된 공기의 온도가 핀 환 내부를 흐르는 공기의 온도로 볼 수는 없다. 그러나 달리 내부 공기온도를 측정할 방법이 마땅히 없고, 핀의 길이방향으로 흐르는 공기가 처음과 나중의 온도차가 크지 않으면 핀 환 내부에서나 바로 상부에서나 공기 온도차는 거의 없을 것으로 판단된다. 강한 제트를 얻어맞는 부분에서 공기의 열정산을 해보면 이러한 온도상승은 히터

바닥과 공기입구와의 온도차의 3%정도에 불과하다. 다른 부분에서라도 이 값은 10%정도 이내에 머물 것으로 추측되며, 따라서 이에 의한 누설수 혹은 대류 열전달 계수의 온도차 10%이내 일 것으로 예측된다. 끝으로 측정된 온도 데이터는 HP사의 데이터 처리 장치 349704A를 이용하여 수집, 정리하였다.

히터에서 발생한 열량은 모두 냉각 제트로 전달되지는 않고 일부가 다른 곳으로 손실되어 버린다. 열손실량을 계산하기 위하여, 먼저 시험부 내의 열손실은 풍동의 사면, 즉 윗면, 좌우 측면, 밑면에서 자연대류에 의해 일어난다고 가정하였다. 윗면과 아랫면에서는 대기온도 차이에 의한 수평면에서의 자연 대류 양은 Lloyd and Moran⁽⁶⁾에 의해 제시된 식을 이용하였다. 또, 수직 측면에서 열손실을 계산하기 위하여, Churchill and Chu⁽⁷⁾의 누설수에 관한 관계식을 사용하였다.

윗면의 온도분포는 적외선 온도계 카메라로 얻은 값을 사용을 사용하고, 측면과 밑면에 대해서는 열전대를 심어 측정된 값을 사용하였다. 윗면의 경우 히터를 공기 중에 개방시켰기 때문에 윗면에서 많은 열량이 손실됨을 알 수 있었다. 유량 증가에 따라 열손실량은 감소하는 경향을 보였고, 전체 열량의 2.1%에서 7%까지 외부로 손실되었다. 손실된 열량은 히터 열량에서 제외시키고 국부 열전달 계수를 구하였다.

4. 열전달 실험 결과 및 분석

4.1 국부 열전달 계수와 열저항

Fig. 5는 열전대 레이크를 통해 시험부 내 핀 힌 바로 위에서 공기 온도를 측정한 그래프이다. 노즐의 위치는 그래프 우측 상단에 위치하여 냉각풍을 불고 있으며, 각도가 커짐에 따라 공기온도의 최고점이 우측으로 후퇴하는 값을 보였다. 또, 55

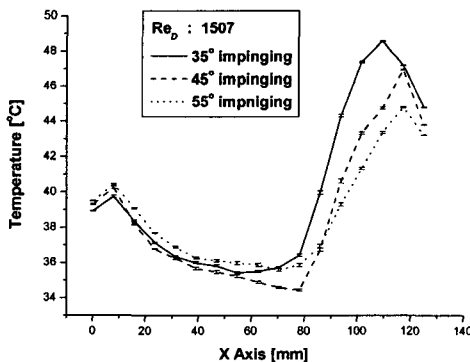


Fig. 5 Air temperature just above the pin fin (air inlet temperature=26.3 °C, D=15 mm)

도의 경우 우측의 공기 온도가 다른 두 경우보다 낮은 값을 나타냈다.

핀에서의 열전달 계수는 다음 식과 같이 정의된다.⁽⁸⁾

$$q = h_f A_f (T_w - T_b) \quad (2)$$

여기서 q , h_f , A_f , T_w , T_b 는 열량, 국부 열전달 계수, 핀의 면적, 벽 온도, 공기온도를 나타낸다. 열량의 경우 힌의 위치에 무관한 일정 열유속 공급 조건이고, T_w 는 적외선 온도계로 박막 히터의 국부 온도 값을 측정된 것이다. 이 온도를 곧 핀 힌의 표면온도로 보았다. 그 이유는 핀 힌이 열전도성이 매우 높은 재질로 만들어져 있어서 힌 효율이 100%에 가깝고 기타의 접촉 열저항은 매우 작기 때문이다. T_b 는 다소의 오차가 있으나 열전대 레이크로 측정된 값이라고 보면 국부 열전달 계수는 식 (3)과 같다.

$$h_f = \frac{q}{A_f (T_w - T_b)} \quad (3)$$

Fig. 6은 핀 힌의 길이 방향으로 중심선 상의 국부 열전달 계수의 변화를 보여주고 있다. 즉 식 (3)을 이용하여 구한 그래프이다. 그래프 우측상단에서 노즐을 통하여 작동유체가 충돌되고 있으며 우측에서 최대 열전달 계수값을 가지고 좌측으로 갈수록 낮은 값을 보였다.

이는 작동유체가 노즐에서부터 힌에 충돌할 때 충돌효과로 인하여 충돌부분에서 큰 열전달 계수를 보이는 것으로 생각된다. 충돌 후 다소 열전달 계수가 감소하는데, 충돌 후 반작용에 의한 유동의 상승으로 그 부분에서 힌 내부의 유동량이 적어지기 때문이다. 본 연구의 국부 열전달 계수는 충돌 각도가 크고, 작동 유체의 속도가 클수록 높은 값을 보였다. 즉 유동이 힌에 큰 각도로 충돌할 경우, 힌과 힌 사이의 유량이 힌의 냉각효과가 더 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 유동 가시화에서 관찰할 수 있었던 우측노즐 하단부에 존재했던 2차의 재순환류 성분은 35도의 각도로 힌에 충돌할 때 크게 관찰되었다. 이 재순환류 부분이 힌

Table 2 Average heat transfer coefficient obtained from the heat transfer experiment

Re _D	Average heat transfer coefficient [W/m ² ·K]		
	35°	45°	55°
1507	52.6	57.6	62.6
3332	71.4	76.4	88.2
6405	101.8	122.6	139.5

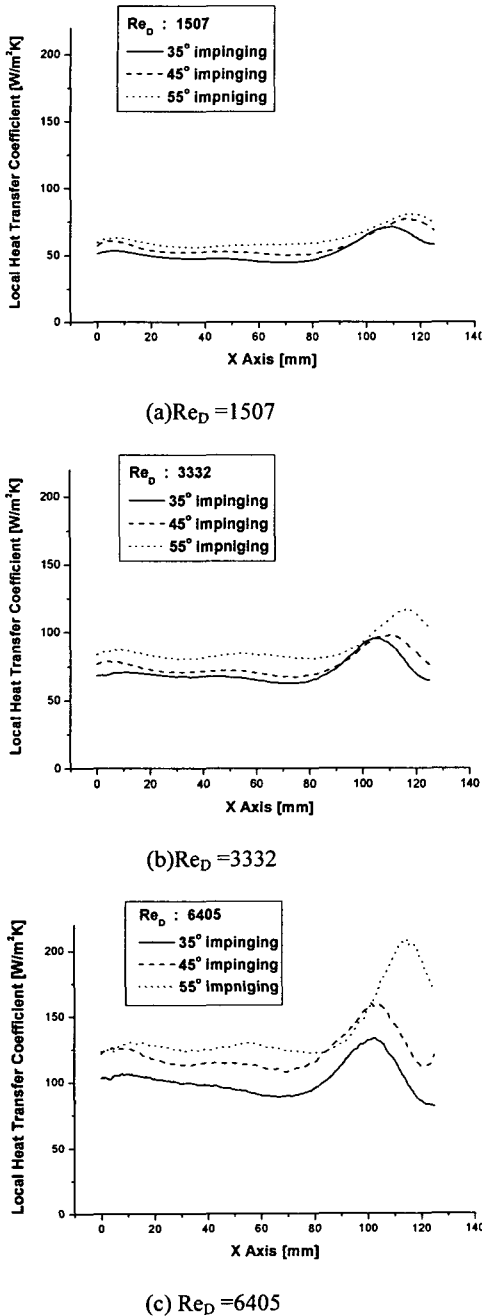


Fig. 6 Variations of local heat transfer coefficient based on fin area($Re_D=1507$ corresponding to inlet air velocity 0.98 m/s at $D=15 \text{ mm}$)

의 열전달 측면에서 열 소산을 감소시킨다고 보인다. 즉 재순환류 형성 부분이 클수록 그 부분은 열전달 효과가 작은 부분이라고 생각된다. 전체

휀 핀의 평균 열전달 계수값은 Table 2에 보였다. 각도에 따른 열전달 계수값은 35도일 때 가장 작은 값을, 55도일 때 가장 큰 열전달 계수값을 보였다. 55도보다 더 경사지게 충돌시킬 경우, 일반적으로 휀에 대한 냉각기류 가이드가 있고 핀 휀 상부에서 냉각기류가 수직으로 충돌될 때, 휀 사이에 직교류가 흐르고 큰 열전달 계수를 가지나, 본 연구의 경우 경사지게 충돌시킬 경우 유동경로가 짧아져 Table 1에 나타난 바와 같이 압력 손실량이 낮아 냉각 면에서 유리하다고 할 수 있다.

4.2 유동가시화 결과와의 비교

한편, 유동장의 실험결과에서 시험부 내의 속도 성분의 정량적인 분포를 구할 수 있고, 성분들 중에 휀 바로 위에서의 수직 방향으로의 속도성분을 추출함으로써 x 방향 속도 성분 u 를 알아낼 수 있다. 즉 히트 싱크 바로 윗면에서 관측된 y 방향 속도 성분 v 를 질량보존식에 넣어 다음 식과 같이 휀 사이의 u 평균성분을 구할 수 있다.

$$\bar{u} = \frac{1}{H} \int_0^x v dx \tag{4}$$

여기에서 주된 열전달은 휀을 가로지르며 지나 는 속도 성분 즉, u 속도에 의하여 주어진다고 가정해보자. 그러면 여러 x 위치에서 u 속도를 기준으로, Re_D 수를 구하고 이를 기준으로 식 (5)을 이용하여 열전달 계수를 구할 수 있다. 식 (5)는 튜브 관에서의 평균 누셀수를 구하는 식이고 가시화 결과를 통해 국부 열전달 계수의 변화를 개략적으로 파악하기 위하여 휀 배열에 적용하였다.⁽⁹⁾

$$\overline{Nu_D} = C Re_{D,max}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \begin{cases} 0.7 < Pr < 500 \\ 1000 < Re_{D,max} < 2 \times 10^6 \end{cases} \tag{5}$$

이렇게 가시화를 통한 국부 열전달 계수의 계산치와 실제 열전달 실험을 통하여 구한 열전달 계수값을 Fig. 7에 보였다. 두 결과는 예상과 달리 서로 상당히 다른 결과를 보였다. 이것은 아마도 휀의 상단면과 노출된 밑면에 직접 충돌하는 제트 즉 v 속도의 영향이 대단히 큰데 식 (5)는 이러한 영향은 전혀 반영하지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 또한 식 (5)은 개략적인 열전달 계수를 파악하기 위하여 무한 휀 군에서의 평균 열전달 계수를 구하는 식을 적용한 것이고, 휀 사이의 직접 측정된 u 속도성분을 근거로 구한 열전달 계수값이 아니라 PIV 를 이용하여 휀 바로 위에서의 수평축에 유출입하는 v 성분을 통해 질량보존에 의한 간접적인 u 성분을 구하기 때문에 v 속도성분이 최대가 되는 부분에서라도 이 속도는 높이에 따라 다소의 변화를 가질 수 있다. 특히, v 속도는

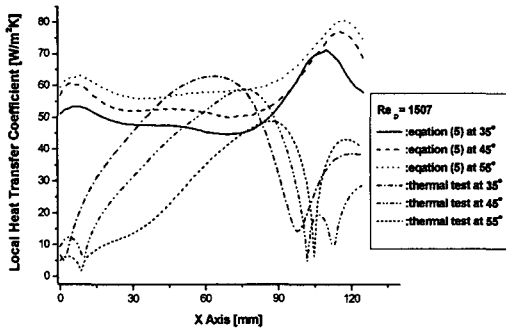


Fig. 7 Comparison between local heat transfer coefficient of flow visualization and that of heat transfer experiment

핀 측면에서도 상당히 냉각작용을 할 것으로 생각된다. 따라서 경사진 제트를 갖는 핀 힌의 경우에 그 열전달 성능은 핀에 수직 및 수평 성분을 모두 감안하여 예측하여야 함을 알 수 있다. 이러한 예측모델은 아직 없는 형편이다. 다만 Fig. 7에서 알 수 있는 것은 본 논문에서 제시된 냉각방식이 동일한 풍속으로 힌의 옆으로 흘러가는 기존의 방식과 같은 정도의 열전달 성능을 보이는데 반하여 그 압력 손실량은 Table 1에 나타난 바와 같이 매우 낮다는 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 핀 힌 히트 싱크(Pin Fin Heat Sink)에서 수직, 수평 냉각방법이 아닌 경사지게 충돌하는 방식을 제안하였고, 이러한 히트 싱크의 열 특성을 실험적으로 수행하였다. 이를 위하여 형광물질을 이용하여 핀 힌 위를 충돌하는 유동의 형태를 정성적으로 알아 보았다. 또한, 입자 영상 유속계를 이용하여 시험부 내의 유동 형태와 속도성분들을 정량적으로 구해 보았다. 그 결과 제트는 히트 싱크 전반에 걸쳐 충돌하며 그 상부에 커다란 회전류가 생성됨을 알았다. 충돌각도가 55도로 가장 큰 경우 압력손실이 작았다.

유동가시화 외에 히트 싱크에 경사지게 충돌할 수 있는 소형 풍동을 제작하여, 충돌각도 유입유량 등의 실험 인자들을 변화시켜 가면서 열전달 실험을 수행하였다. 그 결과 55도로 경사가 비교적 급할 때 히트 싱크의 열전달 계수는 큰 값을 보였고, 열저항도 작은 값을 나타냈다. 단순한 수

치적 예측을 시도한 결과, 핀 힌 내의 열전달은 핀에 수평한 속도 및 수직한 속도성분을 모두 감안하여 산정하여야만 옳다는 것을 알게 되었고, 이러한 경우의 열전달 관계식이 아직 없어서 그 필요성이 절실하다고 할 수 있다. 끝으로 본 논문에서 제시한 냉각방식은 열전달 성능이 우수하면서도 압력손실이 작은 특성을 갖고 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 Critical Technology 21 사업의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- (1) Sara, O. N., Yapici, S. and Yilmaz, M., 2001, "Second Law Analysis of Rectangular Channels with Square Pin-Fins," *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 28, No. 5, pp. 617-630.
- (2) Shaukatullah, H., Storr, R. W., Hansen, J. B. and Gaynes, A. M., 1996, "Design and Optimization of Pin Fin Heat Sinks for Low Velocity Applications," *IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A*, Vol. 19, No. 5, pp. 486-494.
- (3) Sparrow, E. W. and Larson, E. D., 1982, "Heat Transfer from Fin-Fins Situated in an Oncoming Longitudinal Flow which Turns to Crossflow," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 25, No. 5, pp. 603-614.
- (4) Ledezma, G., Morega, A. M. and Bejan, A., 1996, "Optimal Spacing Between Pin Fins With Impinging Flow," *J. Heat Transfer, Trans. ASME*, Vol. 118, pp. 570-577.
- (5) Maveety, J. G. and Hendricks, J. F., 1999, "A Heat Sink Performance Study Considering Material, Geometry, Nozzle Placement, and Reynolds Number With Air Impingement," *J. Heat Transfer, Trans. ASME*, Vol. 121, pp. 156-161.
- (6) Lloyd, J. R. and Moran, W. R., 1974, "Natural Convection Adjacent to Horizontal Surfaces of Various Plate Forms," *ASME Paper 74-Wa/HT-66*.
- (7) Churchill, S. W. and Chu, H. H. S., 1975, "Correlation Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 18, pp. 1323-1329.
- (8) Holman, J. P., 1997, "Heat Transfer," 8th ed., McGraw-Hill, New York.
- (9) Incropera, F. P. and DeWitt, K. P., 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," 4th ed., John Wiley & Sons, New York.