

# 회열이 있는 전열면의 R-113에서의 비등열전달에 관한 연구

조 시 기<sup>†</sup>

한라대학교 기계공학부

## A Study on the Boiling Heat Transfer of Heat Surface with Fin Array to R-113

Shi-Gie Jho<sup>†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Halla University, Won-Ju 220-712, Korea

(Received August 4, 2000; revision received February 28, 2001)

**ABSTRACT:** This study investigate experimentally the effect of fin height, thickness, and clearance on the boiling heat transfer. The heat surfaces having copper fin array is tested for pool boiling. The gas-liquid exchange interference is investigated based on fin array clearance. These test results can be applied to the design of tube bundle system. The fin height of 2 mm is found to be effective. Effects of heat transfer promotion reaches the highest level when the fin clearance is 0.5mm. Also, heat flux is increased when the fin thickness is smaller. But 0.2mm fin thickness is highly recommended.

**Key words:** Boiling heat transfer(비등열전달), Boiling curve(비등곡선), Burn out(번아웃), Pool boiling(풀비등)

### 기 호 설 명

- $b$  : 핀 두께 [mm]
- $h$  : 핀 높이 [mm]
- $q_b$  : 핀 근본부(根本部, root) 열유속 [ $W/m^2$ ]
- $\Delta T_{sat}$  : 핀 근본부 과열도(過熱度) [K]
- $Q$  : 단위 체적당의 열유속 [ $W/m^3$ ]
- $Ri$  : 열유속 밀도 환산시의 기본 원주반경 [mm]
- $D$  : 핀 달린 전열면 직경 [mm]

### 그 리 스 문 자

- $\delta$  : 핀 간격 [mm]

### 하첨자

- $crit$  : 임계열유속점에서의 값

### 1. 서 론

1934년 Nukiyama<sup>(1)</sup>에 의해 구해진 금속면에서 포화수로의 열전달에 관한 비등곡선은 그후 많은 연구자에 의해 임계열유속 안정이라는 면과 천이 특성의 문제 등에 대해 수많은 연구가 있었다.

이러한 금속면에서 액체로의 열전달에 관한 연구 중에는 열전달 촉진이라는 관점에서 주로 전열면에 미세한 기계적 가공을 하여 연구<sup>(2-7)</sup>를 하였다. 이러한 연구는 열전달계수가 높은 핵비등 영역에 관한 것으로 천이비등 영역이나, 막비등 영역 등 비등열전달 전체적인 면으로 보면 국부적인 연구라고 생각된다. 따라서 비등열전달에서 핵비등에서 막비등으로의 비약적인 천이특성을 자유로이 제어할 수 있다고 한다면, 번아웃 대책

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-33-760-1223; fax: +82-33-760-1221

E-mail address: sgjho@hit.halla.ac.kr

과 보다 높은 열유속의 실현을 위하여 유효한 수단이 될 것이다. 이 목적을 위하여 확대전열면을 비등열전달에 응용할 것을 생각하고 단독 평판 환상에 일어나는 대류, 핵, 천이, 그리고 막의 각 비등 영역간의 간섭을 고려한 수정비등곡선을 제안하고, 이론계산에 의한 환의 열전달특성을 구하는 방법으로 세 가지 단면형상이 다른 환상환과 종형환에 대해 고찰<sup>(8)</sup>하였다.

그 결과 환의 길이가 길수록 열유속 값이 크게 되나 70mm 이상이 되면 열전달에 기여하지 않는 선단부만의 증가를 가져오고, 또 두께가 얇은 환을 되도록 많이 붙여 사용하는 것이 유효하다는 결론을 얻었다.

그러나 이 계산에서는 단독 환 위에서 공존하는 인접한 각 비등 영역간의 간섭만을 고려한 수정 비등곡선을 사용하고 있어 환열로써 응용하는 경우에 환과 환의 상호간섭 문제까지 고려하지 않았다. 이러한 비등간섭의 문제는, 예를 들면 Bondurant et al.<sup>(9)</sup>의 수평환상 환열에 관한 실험에서 환 간격 1.57mm 이하에서는 환과 환의 비등 간섭에 의한 열전달의 저하가 현저하기 때문에, 환열로써 사용하는 것은 부적당하다고 결론짓고 있다.

저자는 단독 환상(環狀)환에 간섭판을 0.05mm에서 2mm까지 6가지 종류로 변환시키고, 환 높이를 3mm, 8mm, 13mm의 3종류에 대해 실험하여 기액이 유동하는 모습을 관찰하였다. 여기서 기체와 액체의 유동이 강력한 주기성을 갖는 것을 확인하고, 열전달특성에서 환 간격의 영향과 환 높이의 영향에 대해 고찰<sup>(10)</sup>하였다.

즉, R-113에서의 풀비등 실험으로 동제(銅製)의 환과 간섭판과의 간격이 좁은 경우 간섭판의 영향은 핵비등에서 혼합비등에 걸쳐서 열유속에 의해 크게 두 가지로 나누어지는데, 첫째는 비교적 낮은 열유속 영역에서의 전열촉진과, 둘째는 비교적 높은 열유속 영역에서의 전열 저하의 현상이다. 이때, 환과 간섭판과의 간격이 0.25mm

일 때 전열촉진이 가장 크고, 또 관군(管群)으로서의 열유속 밀도에 의한 평가에서는 높은 열유속 영역에서 환과 환의 간격이 좁아짐에 따라 전열이 저하되나, 환 매수가 증가되기 때문에 전열량의 증가를 가져와 결과적으로는 높은 값을 갖는다.

이상의 결과에서, R-113과 동제(銅製)의 환에 대한 비등실험에서 최적의 환치수를 추정하는 것이 가능하였다. 그러나, 이 환열의 간섭에 관한 실험을 단독 환에 단열 간섭판을 근접시킨 것으로, 비등면이 좁은 간격을 사이에 두고 서로 대항하는 실제의 환열에 대한 기액 유동의 간섭과는 다소 틀릴 것으로 예측된다. 따라서 본 연구는 실제로 동제의 환열을 갖는 전열면에 대해 풀비등 실험을 하여, 환과 환 사이에서 일어나는 기액유동의 간섭을 앞의 보고와 관련을 지어 고찰한 것으로, 환 높이, 두께, 간격이 혼합비등 곡선에 미치는 영향을 검토하고 환열의 최적조건을 제원을 찾는 것을 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 이용한 전열면의 한 예를 Fig. 1에 나타내고 있다. 즉, 환 높이  $h$ 에 대해서는 1mm에서 10mm까지, 환 두께  $b$ 는 0.2mm에서 1.5mm까지, 환 간격은 0.23mm에서 2mm까지 12종류의 작고 얇은 환열로써, 각각의 크기를 Table 1에 나타내었다. 모두 방전 가공에 의해 동(銅)블럭으로 가공한 것으로 기준면은 직경 10mm의 원형평면이다.



Fig. 1 Test finned surface.

Table 1 Dimensions of test finned surface (unit: mm)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h$	0	1	2	5	10	2	2	2	2	2	2	2
$b$	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	1.0	1.5
$\delta$	0	0.28	0.28	0.28	0.28	0.5	1.0	2.0	0.28	0.5	0.5	0.5

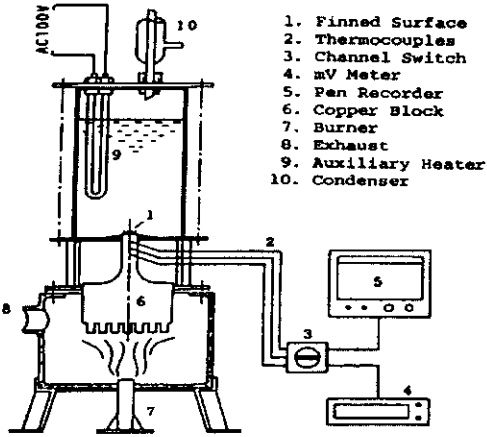


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up.

이것을 Fig. 2에 나타난 실험장치의 비등 용기 내에 장치하여, 액체는 R-113으로 대기압하의 포화 풀비등 실험을 하였다.

R-113은 실험할 때마다 새로운 것으로 바꿨으며, 측정개시 전에 충분히 탈기하였다. 전열면 온도는 동 블록원주부 중심선상에 있는 3개의 열전대의 지시온도를 전열기준면까지 연장하여 계산하였고, 전열량은  $q = \lambda(dt/dx)$  식에서 구하였다. 측정은 3점의 온도가 변하지 않는 정상상태가 된 것을 Pen-recorder를 통하여 확인한 다음 실시하였으며, 사용한 열전대는 K type이고 측정기 오차는  $\pm 0.05\%$  범위이다.

3. 비등의 양상

Fig. 3은 수직 흰열의 비등양상을 나타내고 있

다. 흰 두께 0.2 mm, 높이 10 mm, 간격 0.28 mm의 경우로, 실험한 중에서 가장 간격이 작고, 두께가 얇으며, 높이가 높은 흰열이다. 열유속이 낮은 원편의 사진에서는 흰 근본(root) 부근에서 기포가 발생하고, 흰과 흰 사이를 상승하여 흰열의 위에서 합체되어 큰 덩어리로 되어 전열면에서 이탈하는 것이 관찰된다.

가운데 사진은 고열유속의 혼합비등 영역에서의 사진으로서 여기서는 격렬한 핵비등이 일어나는 영역이 흰 높이의 중간부에 있고, 특히 기포피가 흰과 흰 간격 안에도 충분하여 빛이 통하지 않고, 그 부분이 검게 보인다. 근본부근이 안정된 막비등으로 싸여, 기액경계면의 모양이 매끄럽기 때문에 흰열의 모양을 판별할 수 있다. 전열면의 위에 형성된 합체기포는 열유속이 증가함에 따라서 크게 되는데, 흰열에서는 보통 평면에 비교하여 그 모양이 복잡하다. 이 사진의 영역은 임계열유속의 70~80%에 상당하는 영역으로, 활발한 비등양상을 관찰할 수 있다.

전면 막비등의 오른쪽 사진에서는 비등의 양상도 유연하고, 형성된 기포의 합체도 작고 미끄럽게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 계산치와 비교

Fig. 4는 흰 높이 5 mm, 두께 0.2 mm, 간격 0.28 mm 흰열의 실험결과를 비교한 것으로, 수정 비등곡선을 이용한 계산치<sup>(8)</sup>와 실험결과의 비교를 한 예이다.

실선은 계산에 의해 구한 값으로 흰열의 간섭

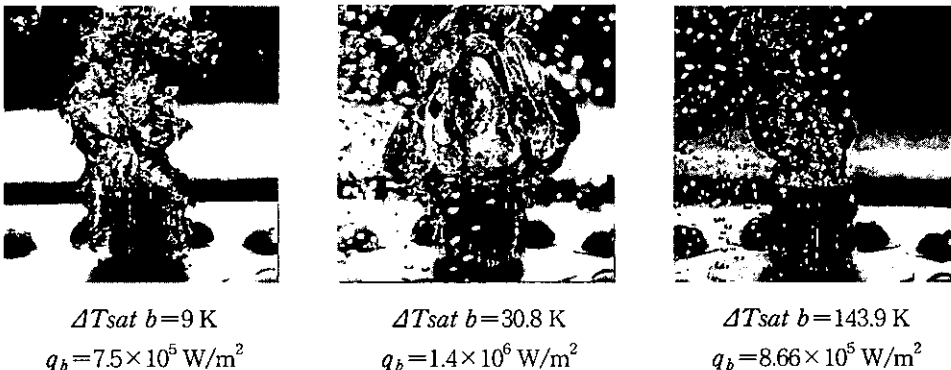


Fig. 3 Boiling aspects of fin arrays ( $h = 10 \text{ mm}$ ,  $\delta = 0.2 \text{ mm}$ ,  $\epsilon = 0.28 \text{ mm}$ ).

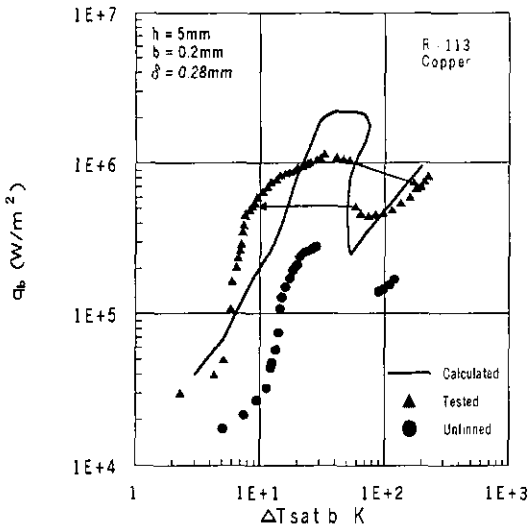


Fig. 4 Comparison of test and calculation results for heat flux.

이 없는 경우에 상당한다. 이 곡선에 비해, 실험치는 핵비등이 일어나는 저열유속 영역에서 열전달 촉진효과가 크게 나타나, 상당히 높은 열유속이 얻어지는 것에 대해, 고열유속 영역에서는 근본 과열도의 상승에 대해 열유속 증가의 기울기가 완만하고, 계산치와 교차하여 비교적 낮은 열유속 값에서 막비등으로 천이한다.

이 현상은 환과 환 사이에서 일어나는 기액유동의 간섭에 의한 것으로 간섭판을 근접시킨 실험결과<sup>(10)</sup>와 일치한다. 전면 막비등 영역은 이 경

우에 계산치와 거의 일치하고 있다. 이 경향은 다른 크기의 환열에 있어서도 마찬가지이다.

그리고, Fig. 4 중의 화살표는 실험에 있어서 열유속의 상승 또는 하강해 가는 경우의 비약적 천이현상의 방향을 나타낸 것이다.

#### 4.2 혼합비등곡선의 제인자의 영향

환열의 혼합 비등 곡선은 높이  $h$ 와 두께  $b$  및 간격  $\delta$ 에 지배된다.

Fig. 5, 6, 7은 각각의 인자를 변수로 하여서 얻어진 실험결과를 계통적으로 모은 것이다. 즉, Fig. 5는 환 높이를 변화시킨 것인데, 높이가 높게 될수록 열유속은 단순히 증가한다. 특히 열유속이 높은 영역에서 이 차이는 크게 되고, 높은 환에서는 완만히 오른쪽이 올라가는 경향이 넓은 과열도 범위에 걸쳐 지속된다. 또 막비등 영역에 있어서도 높이에 의한 열유속값이 환 높이가 높을수록 증가하는 것을 알 수 있다.

높은 환에서는 열유속이 높은 것만이 아니고, 혼합비등에서 전면 막비등으로 천이하는 온도도 높아서 환 높이가 낮은 환에 비하면 번아웃 대책상 유리한 성격이라 할 수 있다.

Fig. 6은 환 간격을 변수로 한 것으로, 비등개시위치 등의 변화를 보면, 환 간격이 좁아짐에 따라서 곡선이 고과열도측으로 이동하여 있다고 할 수 있다. 이는 전열면적의 증가에 원인도 있지만, 주로 핵비등이 일어나는 저열유속에서의

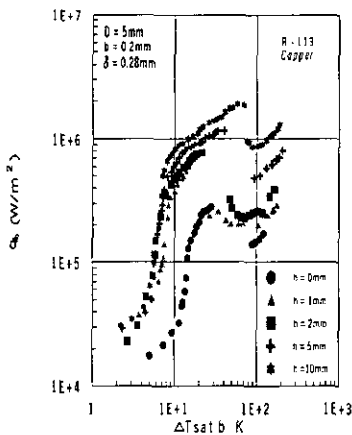


Fig. 5 Effect of fin height on boiling curves.

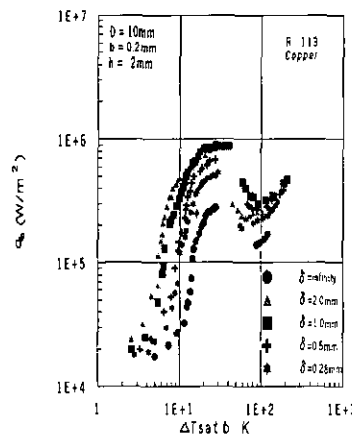


Fig. 6 Effect of fin clearance on boiling curves.

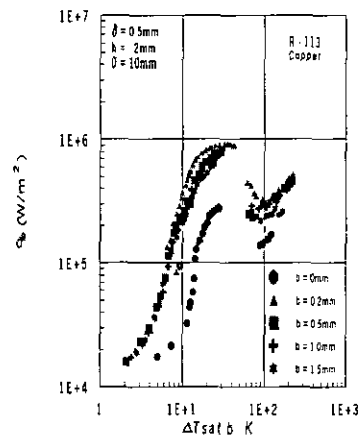


Fig. 7 Effect of fin thickness on boiling curves.

전열촉진효과에 의해 나타난 것이다. 본 실험범위에서 전열촉진은 흰 간격이 좁을수록 크게 나타났다.

실험 가능한 최소간격 0.28 mm는 단열간 접판을 근접시킨 실험<sup>(10)</sup>에서 얻은 최대의 전열촉진을 나타낸 간격 0.25 mm와 거의 같은 정도이다. 단, 흰 간격이 좁을 때는 고열유속 영역에서 전열저하가 현저하였다. 열유속 값이 최대로 되는 것은 간격은 0.5 mm일 때다.

Fig. 7은 흰 두께에 의한 변화이다. 흰 높이는 Fig. 6과 같은 2 mm이고 흰 간격은 Fig. 6에서 최대 열유속 값을 나타낸 0.5 mm이다.

실험결과는 흰 두께가 얇을수록 높은 열유속을 나타낸다. 이것은 흰이 얇을수록 매수를 증가시켜 전열면적의 증가에 의한 효과가 나타난 것을 알 수 있다.

4.3 임계 열유속점에 대한 제인자의 영향

Fig. 8, 9, 10은 혼합비등곡선에서 횡축은 임계 열유속 점만을 취하고 종축에는 각각의 인자료를 모은 것이다. Fig. 8, 9, 10의 상단은 임계열유속치, 하단은 그 점에 있어서의 전열면과열도로, 특히 후자는 번아웃 대책면에서 제어 가능성의 목표로 된다.

Fig. 8은 흰 높이의 영향으로 계산치와 비교하고 있다. Fig. 8 상단부의 임계열유속은 흰 높이가 높아짐에 따라 단조롭게 증가하는데, 특히 높이가 2 mm까지의 증가비율이 크다. 곡선의 경향

은 거의 같은데, 실험치는 계산치보다 상당히 낮은 값으로 나타났다. 이것은 흰열 간격 내를 점유하는 기포피에 의해 기액교환이 원활히 이루어지지 못하기 때문으로 알 수 있다.

Fig. 8은 흰 높이가 클수록 하단부의 전열면과열도는 높은 온도로 된다. 곡선의 모양은 실험치와 이론치가 상당히 다르며, 흰 높이가 2 mm 이하에서는 흰이 없는 보통면보다 낮은 과열도에서 천이한다. 이것은 극히 좁은 간격 0.28 mm이기 때문에 흰열의 근본(root) 부근에 기포가 뭉치기 쉬워서 오히려 막비등이 촉진되는 것을 나타내고 있다. 흰 높이가 높은 경우에도 낮은 과열도에서 근본 부근은 막비등에 지배되어, 비등곡선의 기울기가 완만하게 되는데, 흰열 선단(先端)까지 증기막으로 덮히기까지는 상당히 높은 과열도를 필요로 하여 Fig. 8과 같은 결과로 된 것이다. 실험은 1 mm까지인데, 더욱 높이가 낮게 되면 결국 흰이 없는 평면의 전열면에 가까워지리라 생각된다.

Fig. 9는 극대점에서 흰열 간격의 영향이다. 극대열유속을 나타낸 Fig. 9의 상단을 보면, 계산치는 간격 0.5 mm 이상에서 간격이 좁아짐에 따라서 증대하는데 실험치는 간격 0.5 mm에서 최대치로 되고, 이 간격보다 좁아지면 기액교환이 잘 안되어 열전달 저하를 가져와 임계열유속이 저하한다. 임계점의 전열면 과열도를 나타낸 Fig. 9의 하단의 곡선도 실험치는 간격 0.5 mm에서 최대치를 갖는 모양으로 된다.

1 mm 이상의 간격에서는 실험치와 계산치는

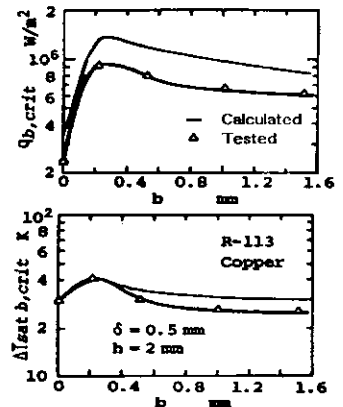
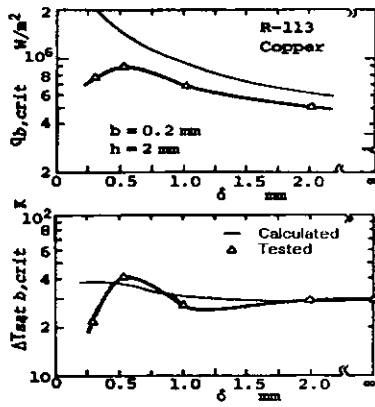
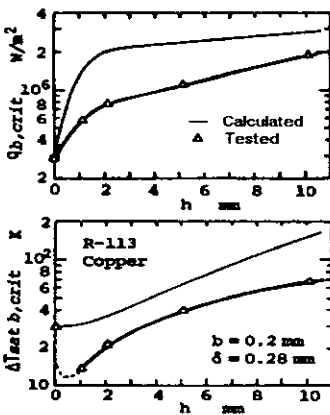


Fig. 8 Effect of fin height on the maximum point.

Fig. 9 Effect of fin clearance on the maximum point.

Fig. 10 Effect of fin thickness on the maximum point.

거의 일치하지만 0.5 mm에서는 실험치와 흰열의 간섭을 고려하지 않은 이론치보다도 높아져 서면 아웃 제어면에서 큰 이점이라고 말할 수 있다.

앞에서 행한,<sup>(10)</sup> 두께가 일정한 환상(環狀) 흰의 양측에서 간섭판을 근접시킨 실험에서, 간섭판과의 간격이 0.25 mm일 때에 핵비등이 일어나는 저열유속 영역에서 가장 열전달속진이 크고, 또 고열유속 영역에서는 간섭에 의한 열유속의 저하가 크지 않은 것에서, 간격 0.25 mm를 추천치로 하였는데 여기서는 그것의 꼭 2배의 간격에서 최적의 결과를 얻은 것으로 된다. 이것은 단일 간섭판의 간섭을 받을 때 일어난 열전달과 실제 열전달이 일어나는 비등 흰열의 간섭을 받을 때의 차이에서 오는 것이다. 즉, 간섭판은 열전달을 하지 않기 때문이고, 실제로 흰열이 서로 인접하여 비등 열전달을 하는 경우는 기액유동의 영향을 받기 때문에 흰열의 간격이 2배가 되는 것은 당연하다고 할 수 있다.

Fig. 10은 임계 열유속에 대한 흰 두께의 영향을 나타낸 것으로, 두께 0.2~1.5 mm의 실험범위에서는 두께가 얇아짐에 따라서 임계열유속도, 또 이때의 과열도도 높게 된다. 특히 두께 0.2 mm에서 증가비율이 커서, 얇은 흰이 조금 더 유효한 것을 알 수 있다. 흰열의 간섭을 생각하지 않을 경우, 이론적으로는 가능한 얇은 흰을 좁은 간격에 가능한 많이 붙이는 것이 좋다는 결과가 얻어졌으나, 앞의 실험결과에서 흰 간격을 0.5

mm로 하면, 이론계산으로는 흰 두께가 0.1 mm 이하에서는 역으로 열유속이 저하하는 결과도 얻어졌다. 이것은 얇은 흰은 흰 1매당의 전달열량이 작기 때문에, 그것도 흰 간격을 일정하게 한다면 흰 매수가 그다지 증가하지 않은 것에서 온 것이다.

흰 두께 0.2 mm가 최적일지 아닐지는 이보다 더 얇은 흰을 이용하여 실험적으로 확인할 필요가 있다. 그러나 여기서는 본 실험결과에 근거하여 흰 두께의 추천값은 0.2 mm로 한다.

5. 열유속 밀도와 최적 흰 형상

Fig. 5에서 고열유속을 얻기 위해서는 흰은 높을수록 좋다는 결과가 얻어졌다. 그러나 흰 간격이 좁은 경우에 흰 근본부 가까이는 기액유동이 원활히 일어나지 않아 열전달이 저하하고, 또 흰이 높고 얇은 흰에서는 선단부 가까이는 온도가 내려가기 때문에, 대부분의 영역에서 비등이 발생하지 않는 점도 있다.

따라서 너무 낮은 흰은 증기막으로 쉽게 휩싸여 버리고, 너무 긴 흰은 쓸데없는 부분이 많기 때문에 흰 높이에도 최적치가 존재하는 것으로 된다. 이 평가기준으로서 흰 달린 이론계산<sup>(8)</sup>에서 이용한 것과 같은 단위체적당의 열유속 밀도를 도입한다. 즉, 본 실험에서 이용한 흰열을 직경 12.5 mm의 원주 표면에 축과 평행으로 붙여, 삼

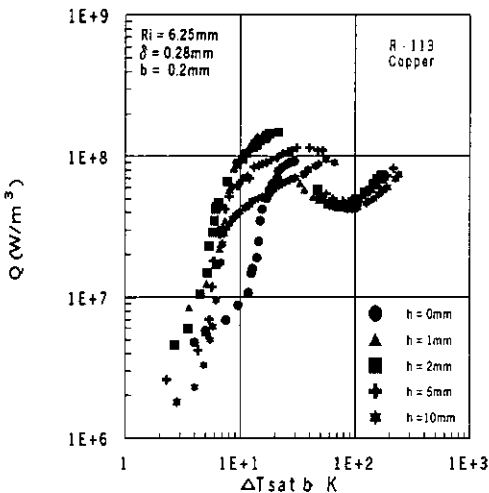


Fig. 11 Effect of fin height on heat flux density.

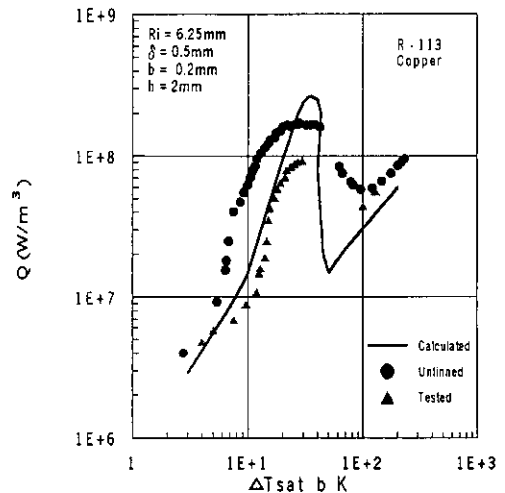


Fig. 12 Heat flux density of the optimum fin array ( $\delta=0.5$  mm,  $h=2$  mm,  $b=0.2$  mm).



Fig. 13 Boiling aspects of the optimum fin array ( $\Delta T_{sat} b = 25.5 \text{ K}$ ,  $q_b = 9.6 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ ).

각배열로 밀집시킨 경우의 유속밀도, 즉, 흰 달린 관군(管群)에서의 총전열량을 흰열간의 간격을 포함한 흰 달린 관군의 총점유체적으로 나눈 값을 구해보면 Fig. 11이 된다. Fig. 11에서 알 수 있는 것처럼 흰 높이가 낮아짐에 따라서 열 유속 밀도가 증가한다.

흰 높이가 1 mm의 실험치는 2 mm 것과 과열도 10 K까지 거의 일치하고 있는데, 임계점의 과열도는 앞에서 서술한 대로 보통 평면의 천이 과열도보다도 낮기 때문에, 번아웃 제어의 관점에서 도 바람직하지 않다.

따라서 최적 흰 높이는 2 mm라고 할 수 있다. 흰 높이가 10 mm 정도되면 고열유속 영역에서 흰이 없는 보통 평면보다도 낮은 열유속 밀도밖에 얻어지지 않는다. 앞에서의 결과를 종합하면 고 열유속 밀도를 실현하기 위해서 최적 흰의 제원으로서 흰 높이는 2 mm, 두께는 0.2 mm, 간격 0.5 mm를 추천치로 들 수 있다. 이때의 열유속 밀도를 계산치와 함께 보통 평면의 결과와 비교한 것이 Fig. 12이다. 고열유속 밀도의 실현 및 번아웃 제어의 두 가지 목적에 대하여, 흰열이 가공된 전열면이 상당히 효과가 있는 것을 알았다.

Fig. 13은 이 최적 치수의 흰열에 대한 비등의 양상으로 임계열유속점 부근의 것이다. 이때도 Fig. 3의 가운데 사진과는 달라서, 흰 선단까지

격렬한 비등이 일어나고 있는 것을 알 수 있다.

## 6. 결 론

보다 높은 열유속 밀도의 실현과 번아웃 대책을 목적으로 하여, 흰열을 비등열전달에 응용하는 경우의 최적 흰 제원을 얻기 위해, 흰 높이, 간격, 두께를 변경시켜 실험을 하여 열전달특성을 고찰하였다.

이들의 유효성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 흰 높이가 높아짐에 따라서 열유속은 증가하고 또 임계점의 전열면 과열도도 높아져서, 흰 높이가 높은 흰이 번아웃 대책상 효과적이다

(2) 흰 간격은 0.5 mm일 때 열전달 촉진이가장 크고 높은 열유속이 얻어진다.

(3) 흰 두께는 얇을수록 열유속이 증가하나 0.2 mm보다 얇은 흰에서 흰 간격이 일정하면 전열량은 반대로 저하한다.

(4) 관군(管群)의 비등열 전달에 있어서 흰열의 최적 이용과 그 한계를 열유속 밀도의 관점에서 고찰하면 흰 높이가 2 mm, 간격 0.5 mm, 두께 0.2 mm를 추천치로 들 수 있다.

여기서 최적 이용의 기준으로서 열유속 밀도는 언제나 판단의 기준이 되는 것이 아니고, 목적 상황에 따라서 적당한 것을 찾아 쓸 필요가 있고, 이것에 따라 최적 제원도 변할 것이다.

## 참고문헌

1. Nukiyama, S., 1934, The maximum and minimum values of the heat  $Q$  transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure, JSME, Vol. 37, p. 367.
2. Misawa, H. and Nakayama, W., 1994, Enhancement of forced convection boiling heat transfer in microchannels, 31st, National Heat Transfer Symposium of Japan, p. 775.
3. Shizuya, M. et al., 1991, Boiling heat transfer of refrigerant mixtures inside a horizontal tube, 28th, National Heat Transfer Symposium of Japan, p. 436.
4. Tong Meng Wei, 1991, Pool boiling heat transfer on the pin-finned surfaces, 28th,

- National Heat Transfer Symposium of Japan, p. 88
5. Ebisu, T. et al., 1995, Enhancement of evaporation heat transfer for alternative refrigerant, 32nd, National Heat Transfer Symposium of Japan, p. 533.
  6. Han, W. H. et al., 1996, Condensation and evaporation heat transfer characteristics of HFC-134a in a horizontal smooth and a micro-finned tube, KSME, B, pp. 1725-1734.
  7. Lee, J. K. et al., 1998, Pool boiling heat transfer coefficients of alternative refrigerants of low fin tubes, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 10, No. 4, pp. 411-422.
  8. Jho, S. G., 1999, A theoretical study on the boiling heat transfer performance of tubes with extended surface, Solar Energy, Vol. 19, No. 2, p. 45.
  9. Bondurant, D. L. and Westwater, J. W., 1971, Performance of transverse fins for boiling heat transfer, Chemical Engineering Progress, Vol. 67, No. 114, p. 30.
  10. Jho, S. G., 2000, An experimental study on the boiling heat transfer characteristics of an annular fin, Energy Engg. J., Vol. 9, No. 1, pp. 60-67.