

## 환상원의 비등열전달 특성에 관한 연구

조 시 기

한라대학교 기계공학부

### An Experimental Study on the Boiling Heat Transfer Characteristics of an Annular Fin

S. G. Jho

Halla Institute of Technology

#### 요 약

본 연구는 열에너지 교환을 목적으로 이용되는 환상(環狀)원의 비등 열전달에서 간섭판의 영향을 고찰한 실험적인 연구이다. 환과 인접한 간섭판의 간격과, 환 높이의 변화에 따라 비등열전달에 미치는 영향을 구했다. 환 간격은 단독 환상원에 간섭판을 0.05 mm에서 2 mm까지 6가지 종류, 그리고 환 높이는 3 mm, 8 mm, 13 mm의 3종류로 변화시켰다. 실험결과 환 높이가 제일 큰 13 mm일 때 간섭판 간격이 0.25 mm로 비교적 좁은 간격임에도, 핵비등 영역에서는 열전달 촉진효과가 있었다. 그러나 간섭판의 간격이 0.05 mm로 더 좁아지면 저 열유속 영역에서는 환 간격 내에 유체가 유입이 어려워 환 선단면에서의 비등열전달과 일치한다. 이러한 경향은 환 높이가 작아져도 비슷하다. 또한 환과 간섭판의 간격이 0.25 mm 이상이면 간섭판의 영향이 적어, 확대 전열면으로서 전열 촉진 효과를 얻을 수 있다.

**Abstract**— This paper covers an experimental study on the boiling heat transfer characteristics of annular fin. The effect of interference between annular fin and neighboring dummy plate was investigated which are used to exchange heat energy in boiling heat transfer. The effect of distance variation between the fin and dummy plate and the height variation of the fin was studied. Distance between the fin and dummy plate varies from 0.05 mm to 2 mm for 6 cases and height was set to be 3, 8, and 13 mm. It was shown that the largest fin height of 13 mm with relatively small distance of 0.25 mm with dummy plate even promoted heat transfer effect in the nucleate boiling region. However, in case of low heat flux, when the distance becomes 0.05 mm then heat transfer characteristics of whole fin is the same as that of the fin tip since it is hard for the liquid to come through the fin and dummy plate. This tendency is much the same when the fin height is low. It is shown that when the distance is more than 0.25 mm, the promotion of heat transfer can be acquired by an extended surface since the effect of dummy plate is quite small.

#### 1. 서 론

열에너지자를 보다 효율이 좋게 이용하기 위한 방법으로 환(확대전열면)을 열 교환기에 이용하기 위한 연구는 꾸준히 되고 있다. 열 교환기는 액체 - 기체의 열교환기 형태가 일반적으로서, 주로 열전달계수가 작은 기체 측에 열전달 계수를 증진시키는 기하학적인 구조의 환을 연구 개발하여 고성능화를 추구하고 있다. 그러나 보일러, 원자로 등과 같이 액체 중에 직접열을 전달시키는 경우, 높은 열유속을 이용하기 위해서는 비등폭선에 나

타나는 한계 열유속점의 Burn-out을 극복해야 된다. 즉 비등열전달에서 보다 고성능의 전열면을 연구 개발하는데는 한계열유속을 인정시키는 문제라고도 할 수 있다. 이에 관련하여 전열면에 특수 도금하는 방법, 특수한 입자를 소결하는 방법이 있으나, 전열면으로서의 내구성에 어려움이 있다. 다른 방법은 전열면에 미세한 기계적인 가공을 하여 핵비등 영역에서의 열전달을 향상시키는 방법이 있으나 보다 적극적이고 높은 비등열전달을 이용하기 위해서는 구조가 간단하고, 기계적 가공도 용이한 환이 바람직한 일이라고 생각되어 전보<sup>1)</sup>에서 혼합비등

을 하는 흰 달린 관의 열 전달 특성을 이론적으로 검토하여 흰의 높이, 두께 및 흰 간격의 영향에 대해서 고찰하였다. 그러나 이 해석에서는 실제로 비등현상에 있어서 일어나는 흰 열의 기액 유동의 간섭에 대한 영향을 무시하고 있어 이에 대한 연구가 필요하다. 고성능 비등 열전달의 실험적 연구에 대한 여러 연구자<sup>2,10</sup>도 기액 유동의 간섭에 대해 고려하지 않았다.

흰열의 간섭에 대하여 Bondurant과 Westwater<sup>10</sup> 등은 환상 흰열의 R-113에서의 비등 실험에서 흰 간격이 1.57 mm 이상에서는 인접 흰 간의 간섭이 없어 양호한 열 전달이 유지되어 흰으로서 유효하지만, 그 이하 간격에서는 열전달이 저하한다고 보고하고 있다. 그러나 Ogata<sup>11</sup> 등은 세선(細先) 및 두께가 일정한 유공(有孔) 환상 흰을 대상으로 실험을 하여, 특히 열유속이 낮은 영역에서 Bondurant과 Westwater이 지적인 흰 간격 1.57 mm 이하에서도 간섭에 의해 오히려 열전달이 촉진되는 경우가 있는 등의 결과를 얻었다. 따라서 인접 흰 간의 간섭이 있는 영역에서도 비등 열전달에서 흰의 이용은 가능하리라 생각되어, 전보<sup>12</sup>에서 얻은 결과를 토대로, 본 연구는 실험적으로 흰 간격이 좁은 환상(環狀) 흰에서의 비등 열전달 특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 실험전열면, 응축기, 냉각기, 보조전기히터 및 가열

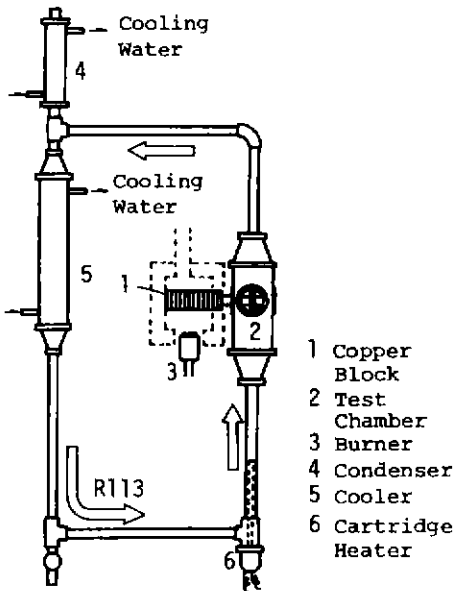


Fig. 1. Experimental setup.

버너로 구성되어있다. 실험전열면(흰)과 일체로 제작된 동(銅)블럭을 버너로 가열하여, 그 열이 전도되면 실험 전열면에 나타난 비등 현상을 유리창을 통하여 확인하고 사진촬영도 하게 되어 있다. 비등은 실험전열면(흰)에서만 일어나도록 전열면이외의 부분은 데프론으로 모두 단열하여 액체와 직접 접촉하지 않도록 하였다. 흰은 동(銅)으로 만들었고, 실험장치는 Loop로 구성되어, Loop 내에서 일어나는 자연 순환류에 흰이 평행이 되도록 하였다. 이용한 액체는 R-113으로 보조히터를 이용하여 포화온도(47.6°C)를 일정하게 유지하였다. 흰은 두께  $\delta=2$  mm(일정)의 환상 흰으로서, 흰 높이  $h=13$  mm, 8 mm 및 3 mm의 3종류로, 모두가 베이스 직경은 24 mm이다. 여기서 흰의 높이를 3 mm 이상으로 한 것은 확대전열면으로서의 기능을 갖는다고 생각하며, 3 mm 이하는 기계가공 전열면에 가깝다고 생각하여 다루지 않았다. 흰과 같은 직경의 폴리카보네이트관을 흰에 평행으로 흰의 양측에서 근접시키고, 간격은 실험 전후에 간격 게이지에 의해 측정 확인하였다. 흰의 온도 분포를 측정하기 위하여 흰 베이스를 포함한 3종류의 동심원  $R_1=25$  mm,  $R_2=18$  mm 위의 3점(흰 상부, 중부, 하부)에 합계 9본의 열전대를 장치하였다. 열전대는 직경 0.3 mm Cr-Ar 시즈 형으로 측정부에 0.5 mm 드릴로 깊이 1 mm를 가공하여 삽입하고, 삽입 후에 액체와 접촉하지 않도록 납땜으로 봉인하였다. 열전대 직경이 0.3 mm로서 비등현상에 영향을 주지 않는다고 생각한다.

그러나, 흰과 폴리카보네이트 간섭판과의 간격이 0.3 mm 보다 작은 간격에 대해 실험할 때에는 흰 표면온도 측정을 위해 장치한 열전대를 제거하고 실험을 하였다. 실험은 버너의 불꽃을 조절하여 비 비등 영역에서 점차로 온도를 높여가는 방향으로 하여, 전면 막비등으로, 천이 이후는 점차로 온도를 내려 증기 막이 일부가 파괴되어

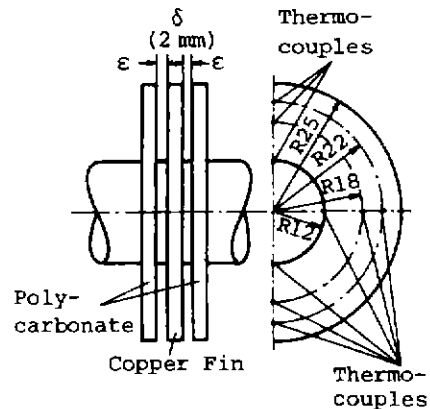


Fig. 2. Tested fin surface.

핵 비등이 공존하는 영역까지 하였다. 열유속 측정은 가열블럭과 전열면 사이에 깊이 10 mm, 직경 0.5 mm, 간격 5 mm로 3곳을 드릴가공을 하여 직경 0.3 mm Cr-Ar 시즈 열전대를 삽입하여 온도차이를 측정하고,  $q = \lambda(dt/dx)$  식에서 구하였다. 측정은 3점의 온도가 흔들리지 않는 정상상태가 된 것을 Pen-recorder를 통하여 확인한 다음 실시하였으며, 온도 측정오차는  $\pm 0.01$  K이다.

실험전열면 및 간섭판의 상세도를 Fig. 2에 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 혼합 비등 곡선

Fig. 3, 4 및 5는 흰높이 13 mm, 8 mm 그리고 3 mm 각 흰 높이  $h$ 에 대하여, 흰간격  $\epsilon$ 을 변수로 하여 정리한 혼합 비등 곡선이다. Fig. 3부터 나타낸 흰에 대한 이론 계산치와 수정비등곡선에 대해서는 참고문헌(1)에 근거하여 본 논문에 참고로 표시하였다.

전체의 경향은 어느 경우에 있어서도 비슷하여 비등과열도 10 K 이하인 저열유속 영역에서는 간격이 좁은 경우에 열전달 촉진의 효과가 나타나고 또 비등과열도 10 K 이상의 고열유속 영역에서는 간격이 좁아짐에 따라서 열전달이 점차로 저하한다. 그러나 주의하여 보면 곡선의 모양은 조금의 차이가 보인다. 먼저  $\epsilon=0.25$  mm에 특히 주목하면 흰높이  $h=13$  mm일 때 비등 곡선의 모양이 전체적으로 위로 솟은 곡선이었으나, 높이가 낮아짐에 따라서 직선으로 되고,  $h=3$  mm에서는 거의 하나의 직선으로 나타나 기액 유동의 간섭이 단조롭게 변화하는 것을 나타내고 있다. 저열 유속 영역에서의 열

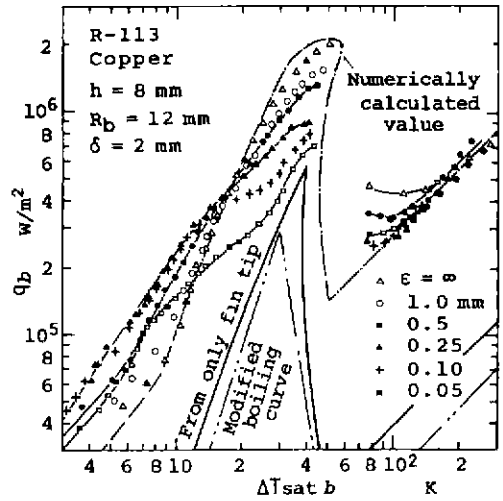


Fig. 4. Coexisting boiling curves ( $h=8$  mm).

전달 촉진의 경향은  $h=13$  mm에서  $\epsilon=0.1$  mm와 0.25 mm에 걸쳐서 최대로 되는 데, 흰 높이가 낮아짐에 따라서  $\epsilon=0.1$  mm 부분에서의 촉진 효과가 저하하고, 비등 곡선의 도면 위의 왼쪽 방향으로의 엇갈림은  $\epsilon=0.25$  mm에서 최대로 된다.

여기서  $\epsilon \leq 0.1$  mm의 경우를 보면 높이가 낮아짐에 따라서 곡선 전체의 모습에 차이가 보인다. 특히  $\epsilon=0.05$  mm에 대하여 보면,  $h=13$  mm와 8 mm는 저과열도에서 상당히 큰 열전달 촉진이 있으나, 열유속은 더 이상 오르지 않는 뒤, 흰 선단에서 만의 열전달이 일어나는 경우에 가까운 모습으로 된다. 한편  $h=3$  mm에서는 저과열

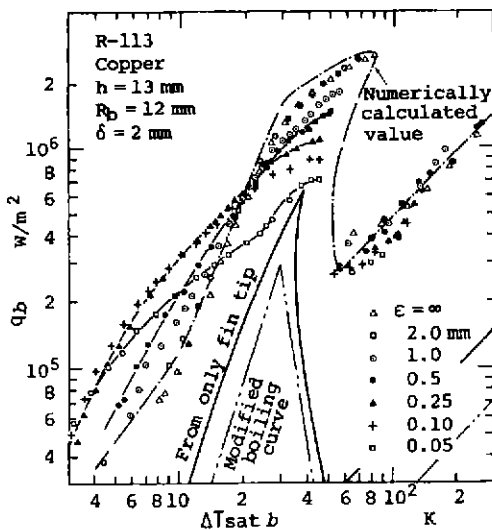


Fig. 3. Coexisting boiling curves ( $h=13$  mm).

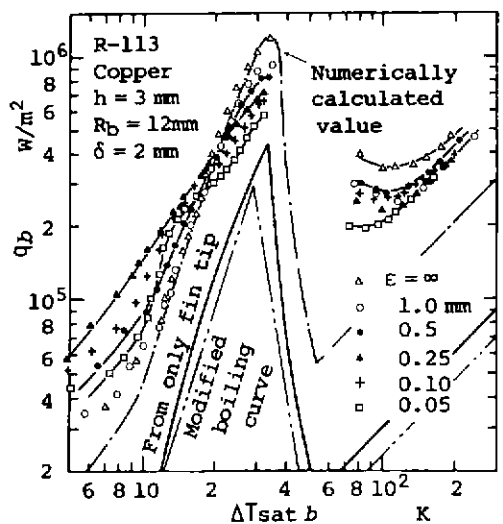
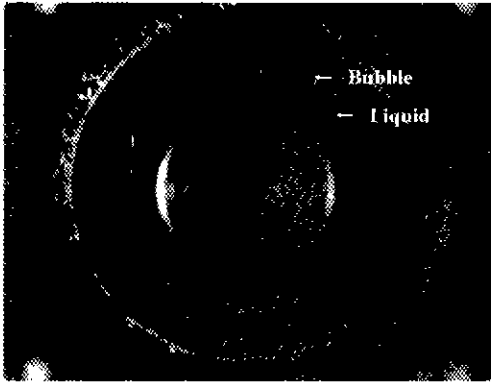
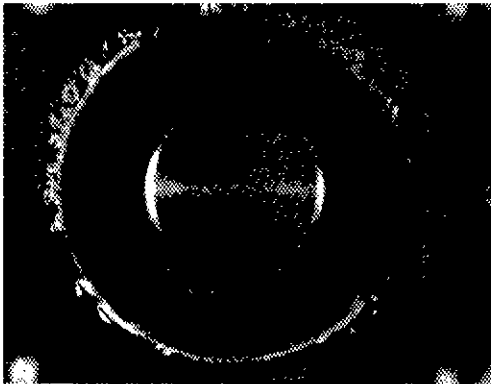


Fig. 5. Coexisting boiling curves ( $h=3$  mm).



(a)  $\Delta T_{sat,b} = 10.6\text{K}$   
 $q_b = 2.35 \times 10^5 \text{W/m}^2$

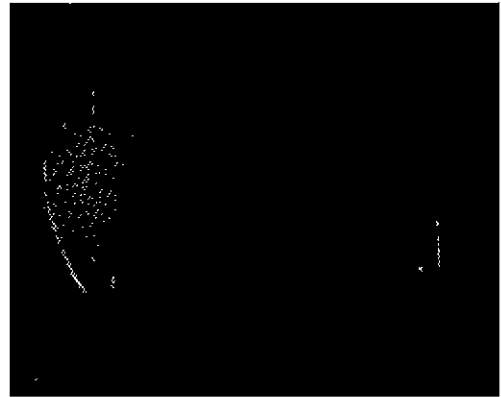


(b)  $\Delta T_{sat,b} = 22.3\text{K}$   
 $q_b = 5.48 \times 10^5 \text{W/m}^2$

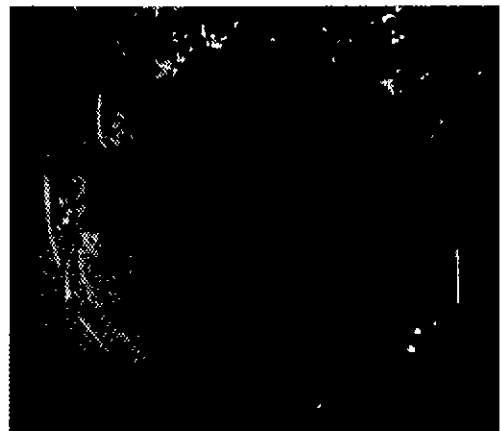
**Fig. 6. Boiling in extremely narrow spacing on a high fin ( $\epsilon=0.05 \text{ mm}$ ,  $h=13 \text{ mm}$ ).**

도에서 열전달 촉진이 크지 않고, 과열도(過熱度)의 상승에 따라 완만히 열유속이 증가한다. 이후 곡선은 급히 상승하여 열전달이 양호한 부분이 존재하는데, 다시 기울기가 완만히 된 뒤, 흰 선단에서 만의 열전달 곡선에 따른 모양으로 된다. 이 때의 비등 양상은 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 먼저 Fig. 6은 흰 높이  $h=13 \text{ mm}$ , 간격  $\epsilon=0.05 \text{ mm}$ 의 경우로 (a)는 흰 근본부(根本部, root) 과열도  $10.6 \text{ K}$ 로써 비교적 저열유속영역인데, 흰 하부에서 액막이 침투하여 기포가 성장하여 흰 상부로 나가는 모양이고, (b)는 과열도  $22.3 \text{ K}$ 로써 고열 유속 영역이기 때문에 흰 간격이 좁은 관계로 액막이 흰 근본부까지 침투하지 못하고, 흰 선 단부에서만 열전달이되어 흰 선 단부에서만 발생한 기포를 보여주고 있다.

Fig. 7은 흰 높이  $h=3 \text{ mm}$ , 간격  $0.5 \text{ mm}$ 인 경우로써 (a)는 저열유속영역으로 흰 근본부까지 액막이 침투하여 비등 열전달이 일어나는 것을 알 수 있고 (b)는 고열유



(a)  $\Delta T_{sat,b} = 6.21\text{K}$   
 $q_b = 1.48 \times 10^5 \text{W/m}^2$



(a)  $\Delta T_{sat,b} = 32.3\text{K}$   
 $q_b = 5.75 \times 10^5 \text{W/m}^2$

**Fig. 7. Boiling aspects in the space on a low fin ( $\epsilon=0.5 \text{ mm}$ ,  $h=3 \text{ mm}$ ).**

속영역임에도 불구하고 흰 높이가 낮은 관계로 액막의 침투가 활발하여 높은 열유속 값을 나타내고 있다.

Fig. 8은  $\Delta T_{sat,b}=10 \text{ K}$ 에 있어서의 열유속값과  $\epsilon$ 과의 관계이다. 즉  $h=3 \text{ mm}$ 에서 열 유속의 최대가  $\epsilon=0.25 \text{ mm}$ 에 있고,  $\epsilon \leq 0.1 \text{ mm}$ 에서는 확실히 저하하고 있어,  $h=13 \text{ mm}$ ,  $8 \text{ mm}$ 에 비하여 극대치를 나타내는 곡선의 모습이 둔하다.

Fig. 9는, 한계 열유속점에서 흰 간격의 영향을 흰 높이를 변수로 한 것이다. 각 흰 높이에 따라서 작아지고, 특히  $\epsilon \leq 0.5 \text{ mm}$ 에서 감소의 비율이 급격하다. 한계 열유속점에 있어서 과열도는 흰 높이가 낮아질수록 간격의 영향을 받지 않게 된다. 일반적으로 두께가 두껍고 높이가 낮은 흰에서는 보통평면과 비교한 한계 열유속점의 과열도의 상승이 작고, 따라서  $\epsilon=0 \text{ mm}$ 의 흰 선단만

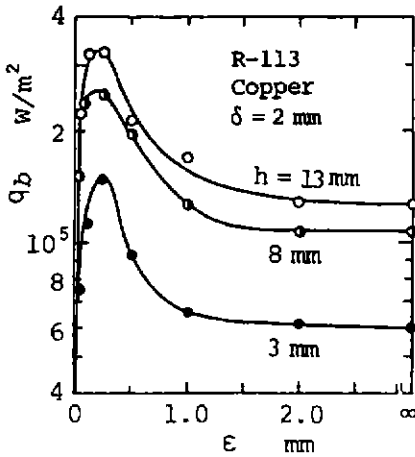
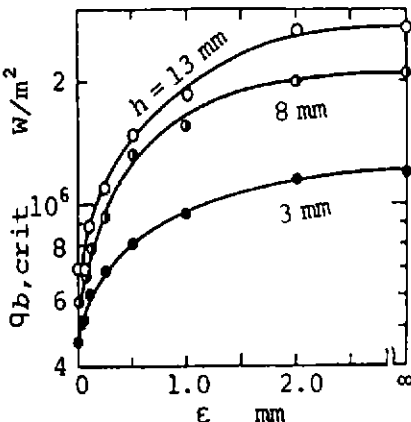
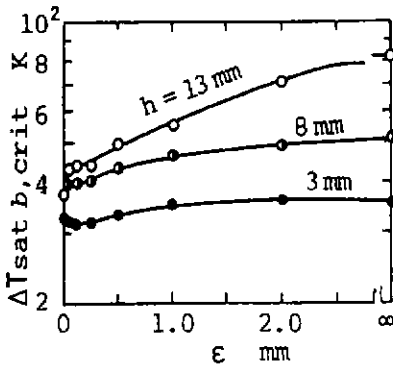


Fig. 8. Effect of confining the space in low heat flux region ( $\Delta T_{sat,b}=10$  K).



(a) Maximum heat flux



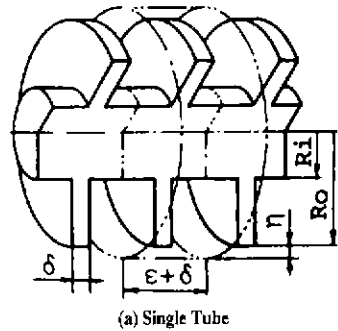
(b) Fin base superheat at maximum point

Fig. 9. Effect of confining the space in maximum point.

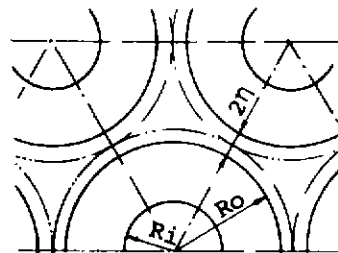
의 경우와  $\epsilon=\infty$ 의 단독 튜브의 경우와의 차이가 작은 것이 Fig. 9와 같은 경향이 원인이라고 할 수 있다.

3-2. 열유속 밀도관점에서 고찰한 최적 튜브 높이

일반적으로, 튜브에서의 전열량은 튜브 길이가 길어짐에 따라 크게 되는데, 오히려 길이가 긴 튜브를 이용하여도 전열 면적이 증가하는 비율에 비해서는 전열량이 증가하지 않고, 열교환기로서의 체적을 고려하면 체적만이 크게 된다. 보다 고밀도의 열교환기를 설계하려고 할 때, 형상이 단순한 튜브 달린 관을 관군(管群)으로서 사용한다면, 관군의 단위 체적에서 발생하는 열유속을 열유속 밀도라고 정의할 때에, 이 열유속 밀도가 열교환기 설계의 최적 조건을 추구하는 하나의 지침으로 될 수 있다. 여기서 Fig. 10에 나타난 바와 같은 체적 요소를 생각하여 열유속 밀도를 구하여 본다. 단 여기서  $2\eta=0$ 이고, 인접 관간의 상호 간섭은 고려하지 않는다 Fig. 11은 인접 튜브 상호의 간섭이 일어나지 않는 간격  $\epsilon=2$  mm와 저 열유속영역에서의 열전달 촉진이 큰(반대로 고열유속 영역에서는 열전달이 저하한다)  $\epsilon=0.25$  mm의 2가지 경우에 대한 열유속 밀도의 실험치를 3종류의 튜브 높이에 대하여 각각 나타낸 것이다. 또 그림 중 3개의 일점체선은  $\epsilon=2$  mm로한 단독 튜브의 경우를 이룬 계산에 의해 구한 열유속 밀도이다.  $\epsilon=2$  mm일 때 실험치는 이 이론과 잘 일치하고, 이들 3종류의 튜브 높이에서는 제일 낮



(a) Single Tube



(b) Tube bundles

Fig. 10. Volume element to evaluate heat flux density.

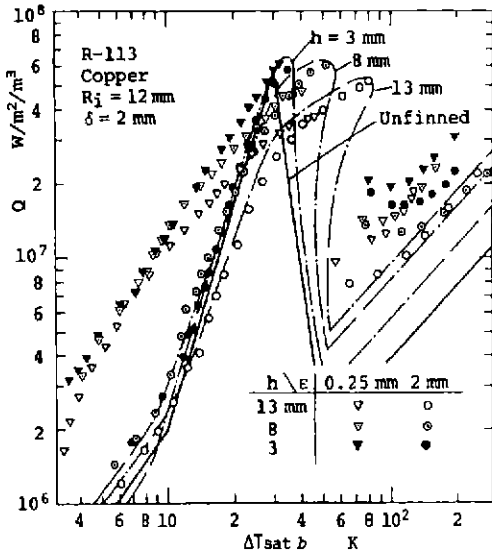


Fig. 11. Heat flux density comparison between conditions of interference free and effective clearance.

은 3 mm의 것이 극대치뿐만 아니라, 핵·천이 공존의 혼합비등 영역 전반에서 가장 높은 열유속 밀도를 나타낸다. 단, 핵 비등의 대부분의 영역에서 실선으로 나타낸 원이 없는 경우와 거의 같은 값으로, 열유속 밀도에 관한 한 원의 유효성이 적다. 한편  $\epsilon \leq 0.25$  mm일 때, 저 열유속의 열전달 촉진 영역에서는 모든 원 높이에서 열유속 밀도가 대단히 커서, 원 간격의 간섭에 의한 열전달 촉진 효과를 기대할 수 있다. 이것을 조금 자세히 보면, 근본 과열도가 10 K까지의 저열유속 영역은 3종의 원 높이에서 실험치가 일치하고, 높이의 영향이 작다. 높은 원의 경우에 기포의 생성은 원 근본부근에 한정되어, 표면적이 큰 것에 비하면 기액유동(氣液流動)에 의한 열전달의 촉진이 크지 않을 것으로 생각되나, 이 실험치는 높이가 13 mm 정도까지 이 촉진 효과가 원 전체에 크게 미치는 것을 나타내고 있다. 또 과열도가 10 K 이상에서는 높이에 의한 차가 나타나  $\epsilon = 2$  mm에 있어서 각각의 원 높이의 고열 유속 영역에 접근하는 모양으로 되고,  $h=3$  mm의 열유속 밀도가 가장 높다. 또 원 높이가 높은 경우에  $\epsilon=0.25$  mm의 극대치는  $\epsilon=2$  mm의 극대치에 미치지지는 않으나,  $h=3$  mm에서는 원 간격에 관계 없이 극대치가 거의 같은 값으로 된다.

열유속으로 비교한 Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5와 비교해 간격이 좁은 경우의 극대치의 저하가 작은 것은 원 간격이 좁아지면, 관 단위 길이당의 원 개수가 증가하기 때문에, 원 간격이 좁아지는 것에 따른 열전달의 저하가 상쇄되는 것에 의한 것이다. 이것으로부터 열유속

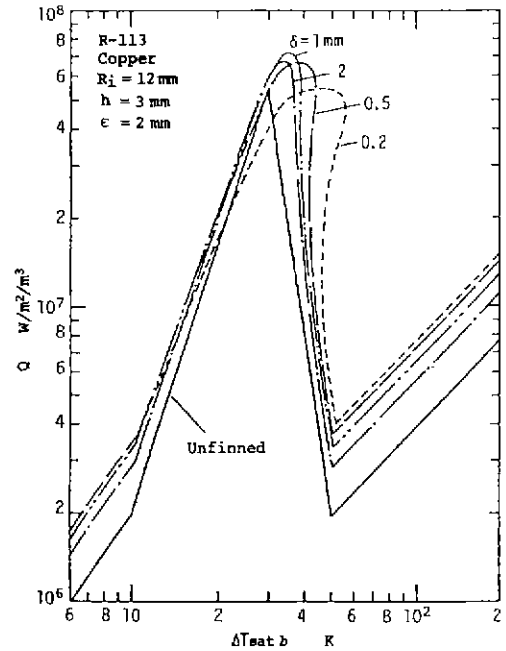


Fig. 12. Variation of heat flux density with fin thickness (calculated.  $h=3$  mm,  $\epsilon=2$  mm).

밀도의 관점에서  $h=3$  mm 정도의 원을  $\epsilon=0.25$  mm로 이용하는 것이 최적 조건으로 된다. Fig. 12는 간섭이 없는  $\epsilon=2$  mm일 때 원 두께  $\delta$ 를 변수로 하여 이론 계산

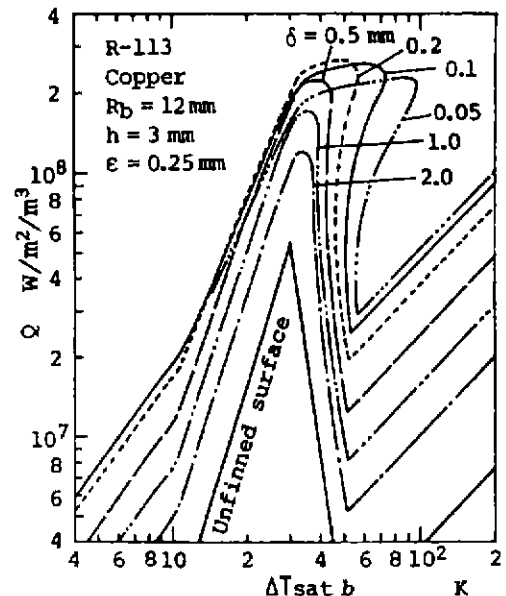


Fig. 13. Variation of heat flux density with fin thickness (calculated.  $h=3$  mm,  $\epsilon=0.25$  mm).

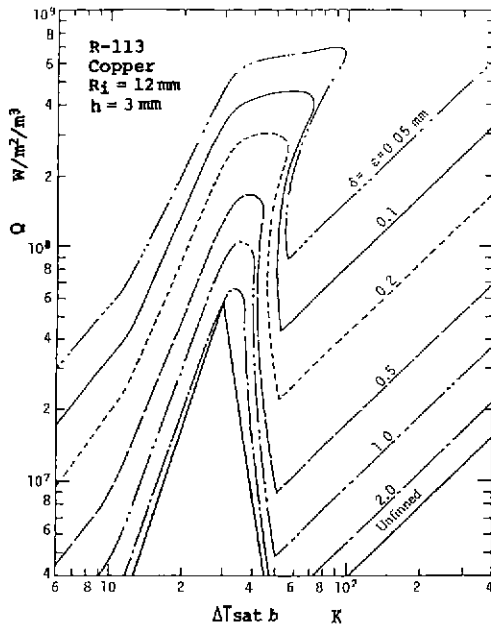


Fig. 14. Variation of heat flux density with fin thickness (calculated.  $h=3$  mm,  $\epsilon=\delta$ ).

에서 열유속 밀도를 구한 그림이다.  $\delta=0.5$  mm로 하면 극대치는  $\delta=2$  mm일 때와 거의 같고 그것도 극대점의 과열도를 상당히 높일 가능성이 있다.  $\epsilon=2$  mm로 상당히 넓은 경우 두께를 더욱 얇게 하여도 이것에 의한 관 단 위 길이당의 흰 매수의 증가는 거의 없고, 흰 1매에서의 전열량의 감소에 의해 오히려 열유속 밀도가 저하하는 것으로 된다.

한편 간격  $\epsilon$ 가 좁아지면 두께를 얇게 하는 것에 의한 열유속 밀도의 증대는 현저하여, 흰 간격  $\epsilon=0.25$  mm일 때 간섭이 없으면 결과는 Fig. 13으로 된다. 또 두께와 간격을 같게 하여 흰을 배치 한 경우의 열유속 밀도는 Fig. 14로 된다. 흰이 얇을수록 고열유속 밀도가 얻어지는 것으로 된다. 그러나 Fig. 13 및 Fig. 14의 간격이 좁은 경우에는 고열유속 영역에서 간섭에 의한 열 전달의 저하가 예상되어 정확하게는 실험으로 분명히 할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

3종류의 높이가 다른 비등환상흰에 간섭판을 설치하여, 간섭판과 흰과의 간격에서 발생하는 기액유동(氣液流動)의 간섭이 비등 열전달에 미치는 특성을 실험적으로 구했다. 또 단위 체적당 열유속 밀도의 관점에서 흰의 유효성에 대하여 검토를 하고, 기액의 양상을 고찰

한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 간격이 0.05 mm에서도, 저열유속 영역에서는 간격 내에 유체가 진입하지만, 온도가 상승함에 따라서 흰열사이로 유체의 진입이 곤란하게 되어 흰 표면은 열전달에 기여하지 않고 흰 선단에서만 열전달과 일치한다.

(2) 간격을 0.25 mm로 하면 핵 비등 저열유속 영역에서는 기포피의 운동에 의한 열전달의 촉진 효과가 크고, 흰이 없는 면보다 상당히 높은 열유속 밀도를 얻을 수가 있다.

(3) 흰 높이가 3 mm의 흰에서는 고열유속 영역에서도 높이가 낮은 관제로 유체의 침입 효과가 크게 나타나 높은 열유속 값을 얻을 수 있고 열유속 밀도의 극대치는 간섭이 없는 경우와 같은 정도의 값으로 된다.

(4) 관로의 비등 열전달에서 흰의 최적이용과 그 한계라고 하는 관점에서 두께가 일정한 환상 흰열의 추천치를 중고위 열유속 사용 조건에서 나타낸다면, 흰 높이는 3 mm, 흰 간격 0.25 mm, 흰 두께 0.2 mm로 된다.

#### 후 기

이상의 실험 결론은 간섭판을 설치한 경우의 실험결과로, 간섭판이 아닌 실제 발열을 하는 흰열을 사용한 경우에 대해서는 본 실험에서 얻은 열유속, 흰높이, 간격값과 차이가 날수 있다.

#### 사용기호

$q_b$	: 흰 근본부(根本部, root) 열 유속 [ $W/m^2$ ]
$Q$	: 관군 단위 체적당의 열유속 밀도 [ $(W/m^2)/m^3$ ]
$Q_f$	: 흰 한 면에서의 전열량 [ $W$ ]
$R_b$	: 흰 근본(root) 반경 [ $mm$ ]
$R_t$	: 흰 선단(tip) 반경 [ $mm$ ]
$\Delta T_{sat,b}$	: 흰 근본 과열도(過熱度) [ $K$ ]
$h$	: 흰높이 = $(R_t - R_b)$ [ $mm$ ]
$\delta$	: 흰 두께 [ $mm$ ]
$\epsilon$	: 흰과 흰의 간격 [ $mm$ ]
$\eta$	: 흰 선단과 선단 거리의 절반 [ $mm$ ]

#### 첨자

crit: 극대점에서의 값

#### 참고문헌

1. 조시기: 태양 에너지, "확대전열관의 비등 열전달에 관한 이론적 연구", Vol. 19, No. 2, p. 45 (1999).
2. Masataka 外 5人: 제35회 일본 전열 심포지움 강연

- 논문집, "Enhancement of Boiling Heat Transfer from Surface of Copper Tube by Spray Coating" 1998-5, p. 209.
3. Kamoshida, J. 외 1인: 제33회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Formation of Macrolayer on Pool Boiling at High Heat Flux", 1996-5, p. 267.
  - 4 Kaji, M. 외 4인: 제32회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Enhanced Boiling Heat Transfer to Lithium Bromide Aqueous Solution on Horizontal Tube", 1995-5, p. 811.
  - 5 Torikoshi, K. 외 3인: 제31회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Evaporation Heat Transfer Characteristics of HFC's Refrigerant Mixtures inside a Horizontal Tube", 1994-5, p. 733.
  - 6 Kido, O. 외 3인: 제31회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Evaporation Heat Transfer and Pressure Drop of HCFC22 inside an Internally Grooved Horizontal Tube", 1994-5, p. 727.
  7. Nagasaki, T. 외 3인: 제31회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Boiling Heat Transfer from Small Heating Elements", 1994-5, p. 826.
  8. Nagasaki, T. 외 3인: 제30회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Boiling Heat Transfer from Small Heating Elements", 1993-5, p. 808
  9. Wei, T.M.: 제 28회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, "Pool Boiling Heat Transfer on the Pin-Fined Surface", 1991-5, p. 88.
  10. Bondurant, D.L. and Westwater, J.W.: Chem. Eng. Prog Symp. No 113, Vol. 67, p. 30 (1972).
  11. Ogata, J. 외 4인: 제 18회 일본전열 심포지움 강연 논문집, "Experimental Study of Boiling Heat Transfer on Annular Fin", p. 376 (1981).