

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
 Vol. 19, No. 2, 1999

## 확대 전열관의 비등열전달에 관한 이론적 연구

조 시기\*

\* 한라대학교 기계공학부

### A Theoretical Study on the Boiling Heat Transfer Performance of Tubes with Extended Surfaces

S. G. Jho\*

\* *Halla Institute of Technology*

#### ABSTRACT

The performance of vertical and horizontal tubes with extended surface of rectangular and triangular cross section was investigated theoretically for boiling heat transfer. A simple method for numerical program assuming one-dimensional heat flow was used to predict the performance of these extended surface tubes. The object of this study was to predict the effects of the height, thickness, numbers and clearance of the extended surface on boiling heat transfer. The results showed that extended surfaces are quite effective as compared to plane surfaces especially near the burn-out point and to promote heat flux in boiling heat transfer.

#### 기 호 설 명

A : 확대전열면 임의 반경의 단면적 [ $m^2$ ]  
 F : 확대 전열면의 형상 계수

$$= (\delta_t - \delta_b) / (R_t - R_b)$$

n : 확대 전열면 매수  
 $n_i$  :  $\alpha$ 를 결정하는 정수  
 $P_o$  : 확대전열면 선단에서의 온도구배 [K/m]

- Q : 확대전열면 1개의 전열량 [W/m]
- q : 보통 평면의 열유속 [W/m<sup>2</sup>]
- q<sub>0</sub> : 확대전열관의 열유속 [W/m<sup>2</sup>]
- R : 확대전열관 중심에서 임의 반경까지 거리 [m]
- r : 확대전열관 선단을 원점으로 중심을 향한 좌표 ( $R_i - R$ ) [m]
- s : 확대 전열면의 표면적 [m<sup>2</sup>]
- $\Delta T_{\text{sat}}$  : 전열면과 포화온도와의 온도차 [K]
- X<sub>0</sub> : 확대 전열면 높이 ( $R_i - R_b$ ) [mm]
- $\alpha$  : 표면 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]
- $\alpha_i$  :  $\alpha$ 를 결정하는 정수
- $\delta$  : 확대전열면의 두께 [mm]
- $\epsilon$  : 확대전열면의 간격 [mm]
- $\theta$  : 전열면과 주위 액체와의 온도차 [K]
- $\lambda$  : 확대전열관 재료의 열전도도 [W/mK]

### 첨 자

- i : 1, 2, 3, 4는 각각 대류, 핵, 천이, 막비등 영역을 나타낸다.(Fig. 1)
- b : 확대전열면의 근본
- t : 확대전열면 선단

### 1. 서 론

열 에너지를 유효하게 교환할 것을 목적으로 확대전열면을 열교환기에 이용하는 것은 지금까지는 열전달계수가 작은 공기 등의 기체측에 한정되었으나 최근에 원자로의 연료봉과 같이 액체 중에서 높은 열유속의 실현이 가능하게 되자, 확대전열면을 비등열전달에 응용하는 것이 중요한 연구과제로 되어있다. 한편 냉동기의 증발기용 고성능 열교환기를 개발 할 목적으로 전열면에 미세한 기계적인 가공을 한 전열면을 이용한 비등

열전달의 연구<sup>1~5)</sup>도 활발히 진행되고 있지만 이 방법은 제작상 어려움도 있고 확대전열면으로서의 효과가 충분하지 않다. 따라서 전열면으로서의 성능을 높이기 위해서는 폭과 높이가 어느 정도 주어지는 확대전열면의 비등열전달에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

지금까지의 비등열전달에 관한 확대전열면의 해석에 관한 연구로서는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

Lai<sup>6)</sup> 등은 특히 열전달계수가 큰 핵비등이 확대전열면 위에 존재할 때 열전달계수는 전열면과 주위 액체와의 온도차의 n승에 따라 변화한다고 이론을 세워 실험을 통한 고찰을 했다. 또한 Haley와 Westwater<sup>7)</sup>는 비등열전달계수와 확대전열면 표면온도와의 관계를 기존의 온도가 일정한 전열면의 비등곡선에 충실한 연속곡선으로 나타내어, 그 이론해석 결과를 R-113 및 알콜을 사용한 실험과 비교하였다. Takeyama<sup>8)</sup> 등은 비등 확대 전열면의 열유속과 전열면 온도와의 관계를 혼합비등곡선이라고 명명하여 각종 형상의 확대전열면에 대하여 혼합 비등곡선을 이론적으로 구하고 실험을 통하여 고찰하였다. 그 결과 확대전열면의 효과를 Burn-out 대책의 관점에서 볼 때, 한계열유속점이 확대전열면위에 안정히 고정되어 높은 열유속을 실현 할 수 있다는 것과, 또한 혼합비등곡선에 있어서 전열면 온도의 상승과정이 원만한 구배를 갖는 점에서, 온도제어가 용이한 것 등의 이점을 지적하였다.

또한 Ogata<sup>9)</sup> 등은 환상(環狀) 확대전열면을 대상으로, 확대전열면위에 인접하는 각 비등영역간의 간섭을 고려한 새로운 이론해석을 하고, R-113을 사용한 실험과 비교하여, 이 계산 방법이 상당히 유효한 것을 보고하고 있다.

본 연구는 Ogata 등의 이론해석 방법에 따라서 원형관의 비등열전달에 확대전열면을 응용하는 것을 목적으로, 대류·핵·천이 그리고 막비등의 각 영역에서의 열전달계수가 과열도의 n승

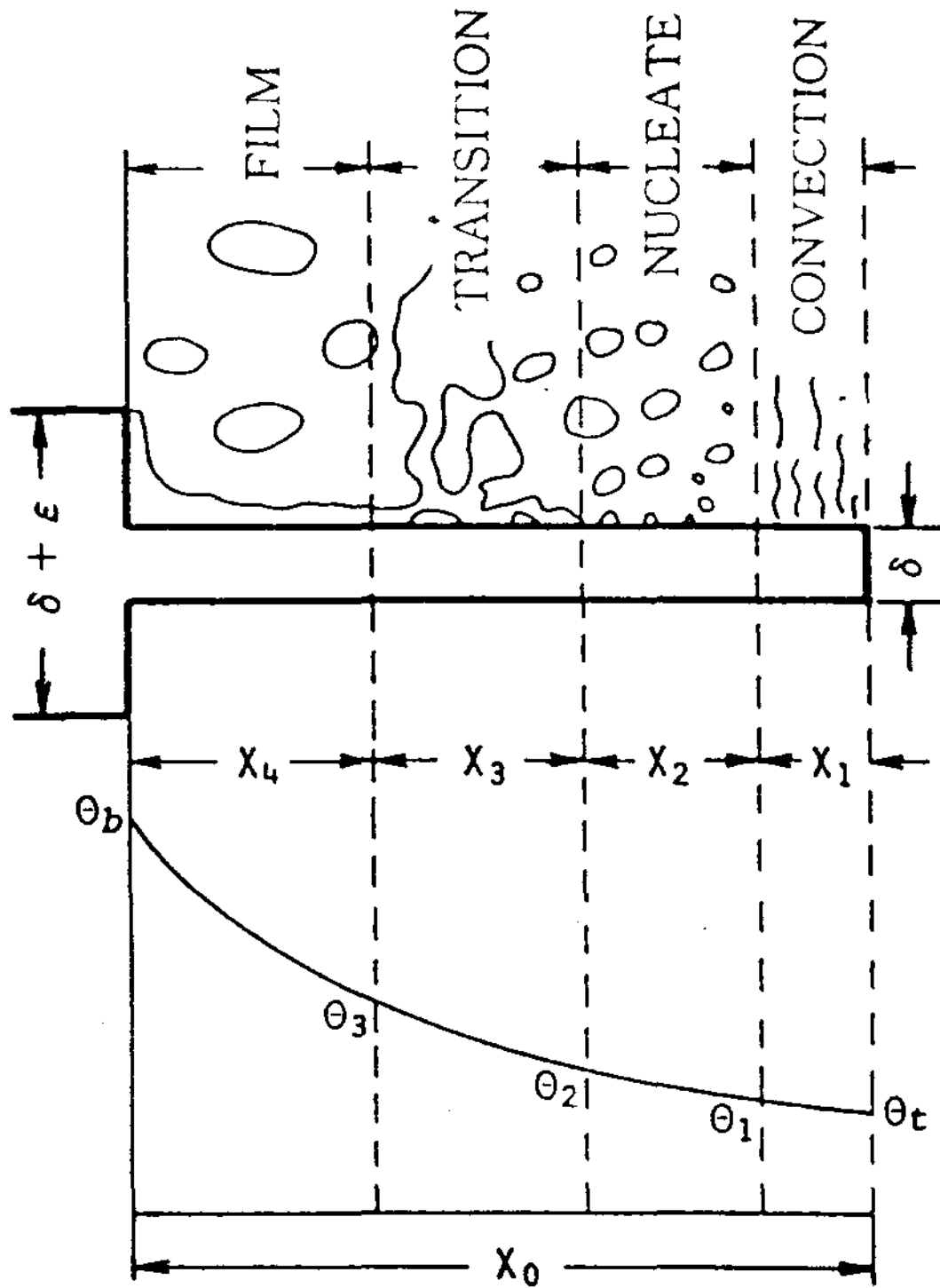


Fig. 1. Coordinate of extended surface in boiling

에 각각 비례한다고 가정한 광범위한 해석을, 확대전열관의 이용한계와 최적설계의 관점에서 고찰한 이론적 연구이다. 즉, 수평 전열관에는 환상(環狀)의 확대전열면을, 수직 전열관에는 종형(縱形)의 확대전열면이 있는 경우의 확대전열관이 혼합 비등곡선에 미치는 여러 가지 영향을 고찰하였다.

## 2. 이론해석

### 2.1 가정

확대전열관의 비등열전달에 관한 기초식을 유도하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.

- (1) 확대전열면 재질은 균일하고, 열전도도는 온도에 관계없이 일정하다.
- (2) 확대전열면 내부의 열은 확대전열면 높이 방

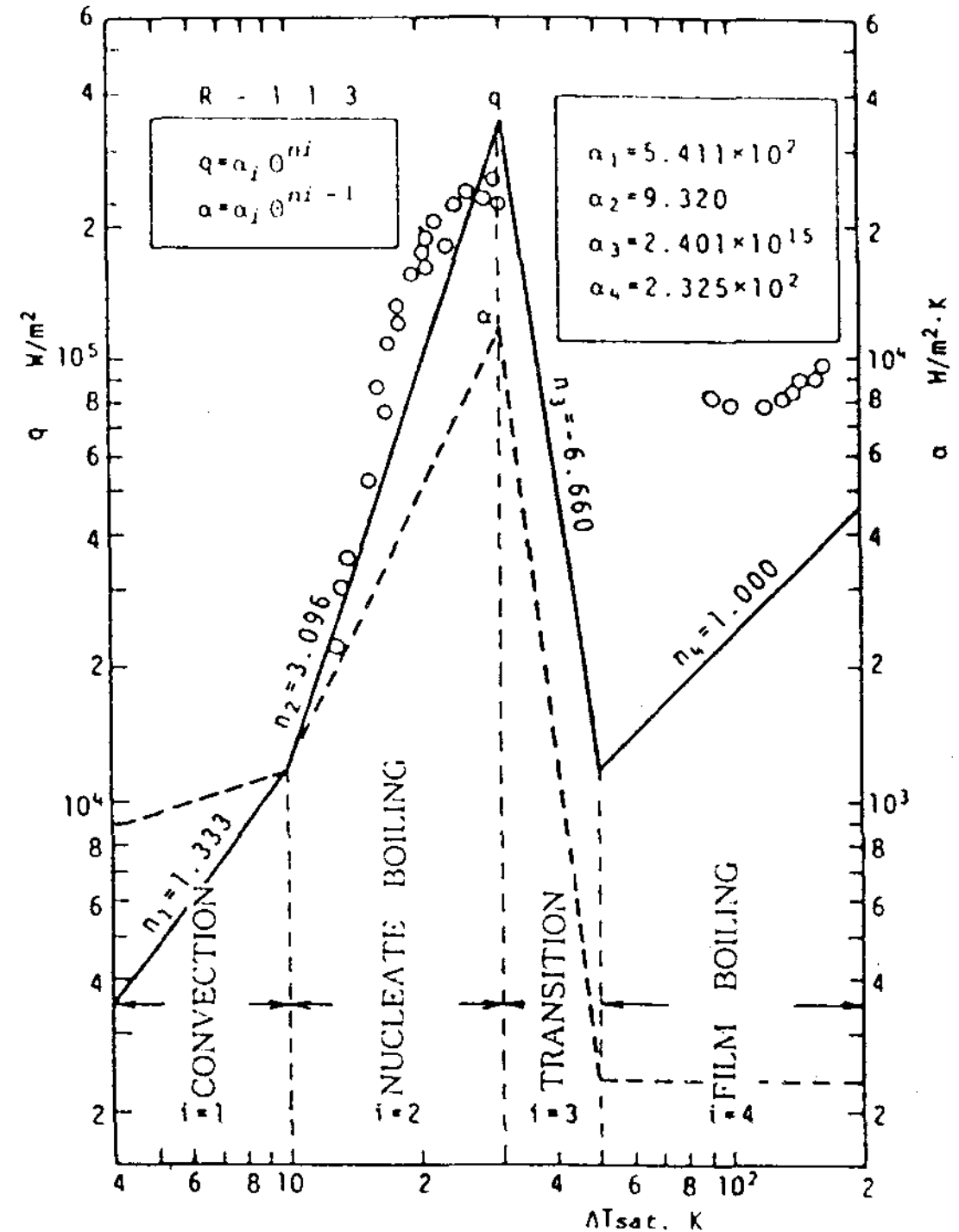


Fig. 2. Modified boiling curve used for prediction of extended surface performance

향의 1차원 흐름이다.

- (3) 주위 액체의 온도는 포화온도로 일정하다.
- (4) 열적으로 정상 상태이다.
- (5) 확대전열면위에 공존하는 각 비등영역간의 간섭은 열전달 분포의 가정(7)에서 고려한다.
- (6) 비등열전달에서 인접 확대전열면 상호의 기액유동으로 인한 간섭은 없다.
- (7) 확대전열면 표면에 대응하는 국소열전달계수는 대기압에서 R-113 pool 비등실험에서 구하여 각 비등영역을 직선으로 연결한 Fig. 2의 수정비등곡선에 따른다.

즉, 열전달계수  $\alpha$  와 온도차  $\theta$  와는 다음과 같은 관계가 있다.

(i) 자연대류 영역

$$\alpha = \alpha_1 \theta^{n_1-1} (\theta \leq 10K)$$

$$\alpha_1 = 5.411 \times 10^2$$

$$n_1 = 1.333$$

(ii) 핵비등영역

$$\alpha = \alpha_2 \theta^{n_2-1} \quad (10 \leq \theta \leq 30K)$$

$$\alpha_2 = 9.320$$

$$n_2 = 3.096$$

(iii) 천이 비등영역

$$\alpha = \alpha_3 \theta^{n_3-1} \quad (30 \leq \theta \leq 50K)$$

$$\alpha_3 = 2.401 \times 10^4$$

$$n_3 = -6.660$$

(iv) 막비등영역

$$\alpha = \alpha_4 \theta^{n_4-1} \quad (50K \leq \theta)$$

$$\alpha_4 = 2.325 \times 10^2$$

$$n_4 = 1.000$$

(8) 종형 확대전열면 열을 갖는 수직 원관의 경우는 원관의 곡율을 무시한다.

(9) 라관(裸管)의 직경은 12.5mm로 일정하다.

위의 가정중에서, (2)에 관해서는 열전달계수가 일정한 경우에 대한 R. K. Irey<sup>10)</sup>의 연구에서, 일반적으로 Biot 수  $N_{Bi} \leq 0.25$  이면 1차원 근사에 의한 오차는 3% 이하임을 알 수 있다. 본 연구의 대상으로 하는 동(銅)으로 만든 확대전열면의 비등열전달에 있어서는 열전달계수가 크게 변화하나, 그 최고치에 대하여  $N_{Bi} \leq 0.25$ 를 만족하는 확대전열면의 두께는 6.8mm로서, (2)를 충분히 만족시키는 범위이다. (3)은 강(強) 과냉 비등, 또는 높은 기포흐름에서는 성립하지 않는다. (5)는 확대전열면위에 공존하는 각 비등영역간에 Takeyama<sup>11)</sup> 등이 지적하는 간섭문제가 있다. (6)의 간격이 좁을 경우는 다수의 관관을 형성하였을 때는 상호간섭이 예상된다. (7)의 가정은 각 비등영역을 근사적(近似的)으로 고려한 것이다. (8)은 확대전열면 두께가 얇을 경우 라관의 곡율을 무시해도 좋다.

이상과 같이 불완전한 점도 있으나, 확대전열면에 관한 기초적 연구와, 그 응용을 목적으로 하여, 단순한 형상의 확대전열면에 관한 연구로서는 유효하다고 생각한다.

## 2.2 기초식의 유도

Fig. 3(a) 와 같은 단독 종형확대전열면의 좌표계에 있어서, 중심선에서 R의 위치에 있는 미소요소 1-2, 1'-2'의 열평형에서 식 (1)이 구해진다.

$$\lambda \frac{d}{dR} \left( \frac{d\theta}{dR} A \right) - 2\alpha \theta ds = 0 \quad (1)$$

확대전열면 두께  $\delta$  를 직선적으로 변화 시키면 식 (1)은 다음의 식 (2)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 \theta}{dR^2} (FR + \delta_b) + F \frac{d\theta}{dR} \\ & - \frac{2\alpha \theta M}{\lambda} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

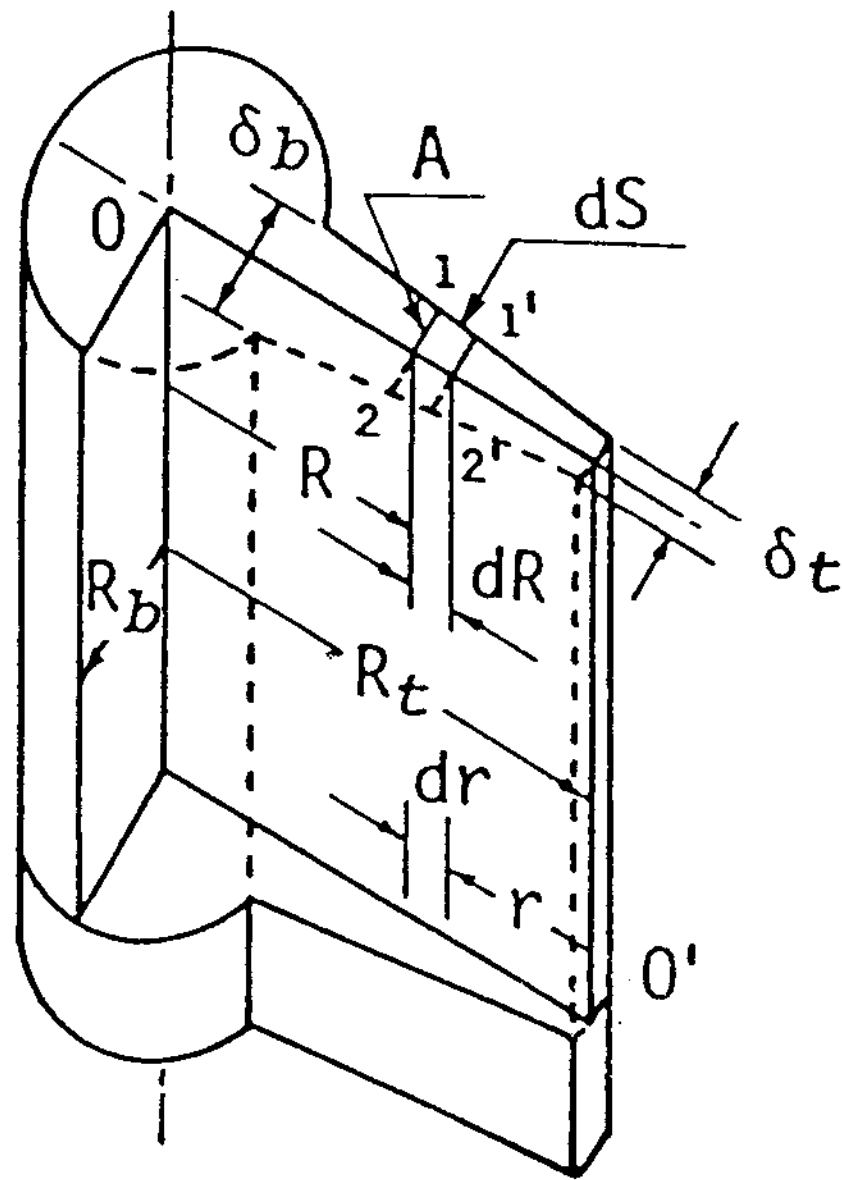
$$F = \frac{\delta_t - \delta_b}{R_t - R_b}$$

$$M = \frac{1}{\cos} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{F}{2} \right) \right]$$

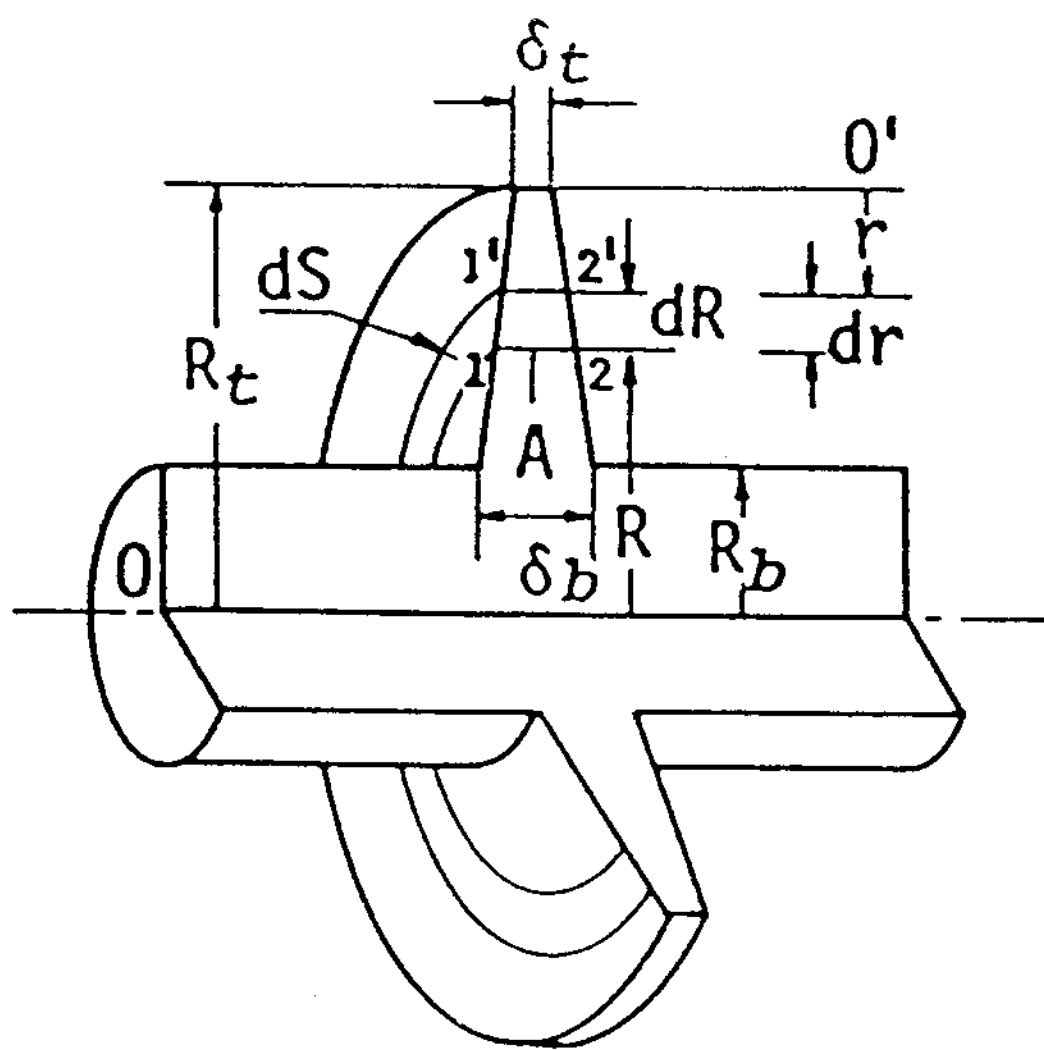
확대 전열면선단의 온도구배  $\left( \frac{d\theta}{dr} \right)_R = R_t$ 는 선단 온도차  $\theta_t$ 의 함수로 되어있기 때문에, 계산을 쉽게 하기 위해서 그리고 혼합 비등곡선의 종합적인 경향을 구하는 것을 목적으로 할 때, 확대전열면 선단에서 중심을 향하여 계산하는 것이 간편하다. 이때 경계 조건을 확대전열면 선단에서 생각하면 식 (3)이 된다.

경계조건은  $r = r_t$  에 있어서  $\theta = \theta_t$ ,

$$\frac{d\theta}{dr} = -P. \quad (3)$$



(a) Longitudinal surface



(b) Circumferential surface

Fig. 3. Coordinate of extended surface

확대전열면 선단에서부터 차례로 계산을 하기 위해, 중심좌표 R에서 선단좌표 r로 변환하면, 중형 확대전열면의 기초식은 (4)와 같이 된다.

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2} - \left\{ \frac{F}{F(X_0 - r) + \delta_b} \right\} \frac{d\theta}{dr} - \frac{2\alpha \theta M}{\{F(X_0 - r) + \delta_b\}} \quad (4)$$

경계조건은  $r=0$  에서  $\theta = \theta_t$

$$\frac{d\theta}{dr} = P. \quad (5)$$

다음에 Fig. 3(b)와 같은 환상확대전열면에 대하여도, 위와같은 방법으로 기초식을 유도하여 정리하면 식 (6)이 되며 경계조건은 식 (5)와 같다.

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2} - \left\{ \frac{F}{F(X_0 - r) + \delta_b} \right\} \frac{d\theta}{dr} - \frac{2\alpha \theta M}{\lambda \{F(X_0 - r) + \delta_b\}} = 0 \quad (6)$$

여기서 각 비등영역의 열전달계수  $\alpha = \alpha_i \theta^{ni-1}$  을 대입하여 정리하면 중형확대전열면의 기초식은 식 (7)과 같이 되며

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2} - \frac{F}{F(X_0 - r) + \delta_b} \frac{d\theta}{dr} - \frac{2\alpha_i \theta^{ni} M}{\lambda \{F(X_0 - r) + \delta_b\}} = 0 \quad (7)$$

또한 환상확대전열면의 기초식은 식 (8)과 같이 된다.

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2} - \left\{ \frac{F}{F(X_0 - r) + \delta_b} + \frac{1}{R_t - r} \right\} \frac{d\theta}{dr} - \frac{2\alpha_i \theta^{ni} M}{\lambda \{F(X_0 - r) + \delta_b\}} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{d\theta}{dr} - \frac{2\alpha_i \theta^{ni} M}{\lambda \{F(X_0 - r) + \delta_b\}} = 0$$

확대전열면 선단부의 열적조건에 따라서 식 (7)

과 식 (8)은 아래의 (9)와 (10)의 두가지 경계조건을 생각 할 수 있으나, 본 연구에서는 열전달이 있는 (10)의 경우만 생각하기로 한다.

선단 단열의 경우

$$r=0 \text{ 에 있어서 } \theta = \theta_i$$

$$P_0 = \left( \frac{d\theta}{dr} \right)_{r=0} = 0 \quad (9)$$

선단 자유의 경우

$$r=0 \text{ 에 있어서 } \theta = \theta_i$$

$$P_0 = \left( \frac{d\theta}{dr} \right)_{r=0} = \frac{\alpha_i \theta_i}{\lambda} \quad (10)$$

### 2.3 계산방법

각 비등영역이 공존하는 확대전열면에 있어서

는, 계산에 사용해야 할 열전달계수  $\alpha$ 가 비선형성이기 때문에 기초식은 비선형 2계미분 방정식으로 된다. 수치계산은 선단부에서 온도차  $\theta_i$  및 온도구배  $(d\theta/dr)_{r=0}$ 을 부여하는 경계조건과 Runge-Kutta 법을 써서, 확대전열면 선단에서부터 차례로 계산을 한다. 막비등이 단독으로 존재하는 전면막비등의 경우에는, 열전달계수가 일정하다고 가정되어 있기 때문에, 기초방정식은 변형 Bessel 방정식으로 되고, 해답은 변형 Bessel 함수의 선형해의 합으로 된다. 그러나, 이 경우도 온도분포를 구할때는 수치계산이 필요하므로 본 계산에서는 변형 Bessel 함수를 사용한 결과와, Runge-Kutta 법에 의한 결과의 오차가  $10^{-8}$ 까지 일치하는 것을 확인하였기 때문에 본 계산에서는 이 영역에서도 Runge-Kutta 법을 사용하였다.

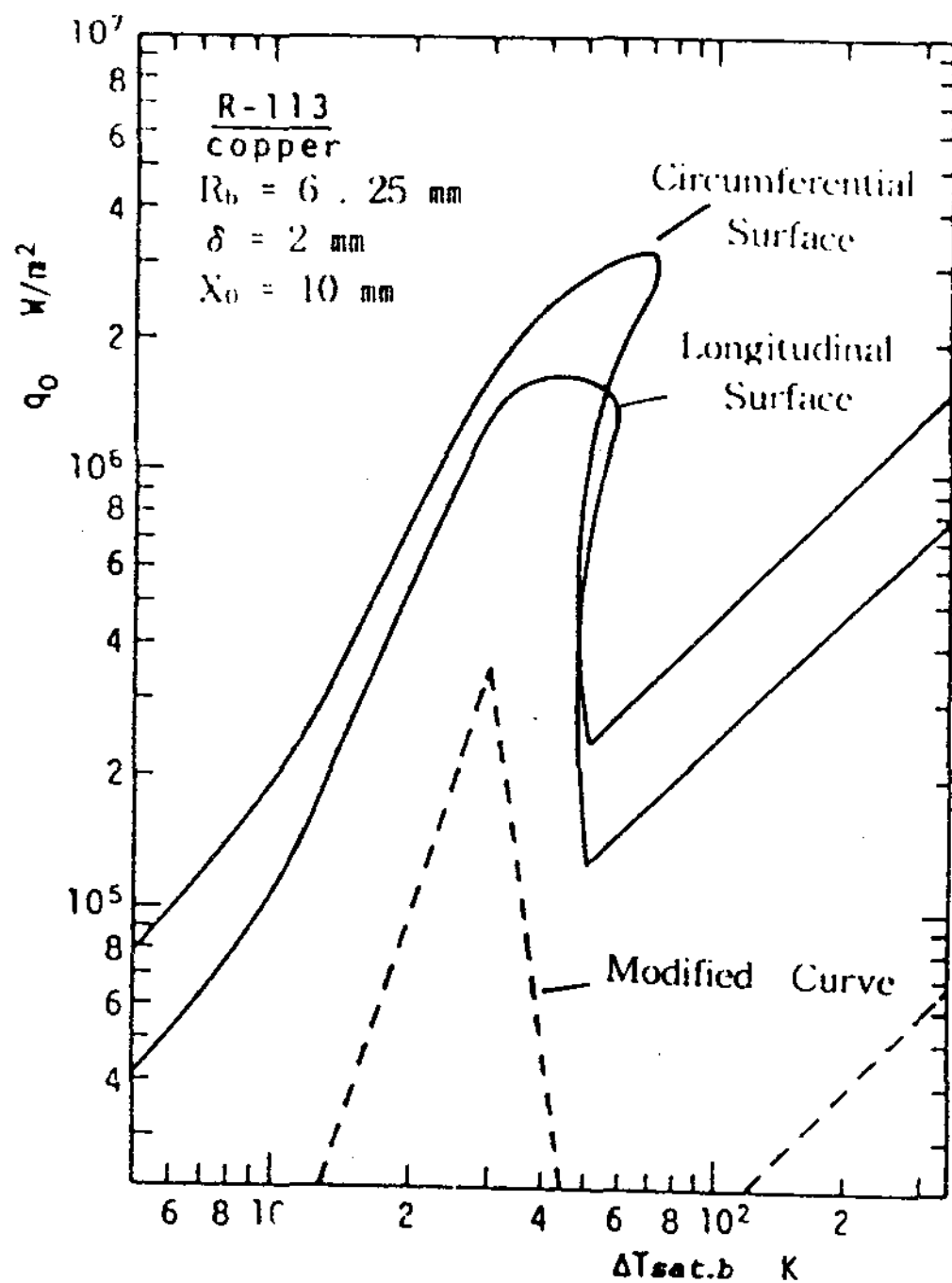


Fig. 4. Coexisting boiling curves for longitudinal and circumferential extend surface

### 3. 계산 및 결과 고찰

#### 3.1 종형 및 환상 확대전열면의 비교

Fig. 4는 직경이 12.5mm의 원관에 확대전열면 높이와 두께가 각각 같은 종형 및 환상 확대전열면이 부착된 전열관을 보여주며 각각의 확대전열면 근본부를 통과하는 열유속과 과열도의 관계를 나타내는 혼합비등곡선의 계산결과의 한 예로서, 확대전열면 높이  $X_0=10\text{mm}$ , 두께  $\delta=2\text{mm}$ 의 경우를 비교하고 있다. 그림중의 곡선은 계산에 이용한 수정비등곡선으로 보통평면으로 부터의 비등곡선을 나타내고 있다.

이 Fig. 4로 부터 종형 및 환상 확대전열면 모두가 보통 전열면 보다도 높은 열유속을 실현 할 수 있다는 것과, Burn-out 대책으로도 매우 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 확대전열면 근본부를 통과하는 열유속에 대하여 두경우를 비교하면, 종형확대전열면 보다도 환상 확대전열면의 경우가 확대전열면 근본부 온도의 전 영역에 걸쳐서

높다. 또한 극대 열유속점 근방 혼합 비등곡선의 형상은 종형 확대전열면이 둥그런 형상을 하고 있는데, 이것은 확대전열면 높이 방향의 면적 확대율이 틀린점에서 오는 결과이다.

### 3.2 확대전열면 높이의 영향

Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7 은 직경 12.5mm의 원관에 부착된 3종류의 확대전열면의 혼합비등곡선으로 두께가 1mm 로써 일정할 때에 확대전열면의 높이를 변화시켰을 때 의 결과를 나타내고 있다.

세 경우 모두가 높이가 크게 되면 될수록 열유속은 증가하나 Fig. 5 와 Fig. 6 과 같이, 같은 종형확대전열면의 경우에 확대전열면의 선단에 열용량을 갖지않는 Fig. 6 의 삼각형 단면 일 때의 혼합비등곡선의 열유속 극대치 근방의 형상이 둥그렇게 나타나있다. 특히, 이 형상에서 확대전

열면 근본부 온도가 보통 평면의 극대열유속점의 온도를 넘으면, 확대전열면 높이가 높은 경우는 열유속값이 서서히, 높이가 낮은 경우는 급격한 저하를 한다. 선단부와 근본부의 두께가 같은 종형 및 환상 확대전열면에서는 근본부의 온도가 이 온도를 넘어도, 바로 열유속이 감소하는 일이 없고 특히 후자에서는, 그 뒤로도 완만한 구배를 가지고 증가를 계속한다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 같은 두께와 높이라면 수평환상 확대전열면쪽이 높은 열유속을 나타내고 있다. 확대전열면 높이가 70mm 이상이 되면, 열 유속은 높이에 의하지 아니하고 거의 같은 값을 나타낸다.

이것은 근본부 온도를 임의의 온도에 고정하였을 때 확대전열면 높이를 높게 하여도 열전달에 기여하지 않는 대류부분이 증가하는 것을 의미한다. 그러나 이부분도 근본부 온도를 높혀가면 비등을 개시하여 높은 열전달을 나타낸다. 이때의

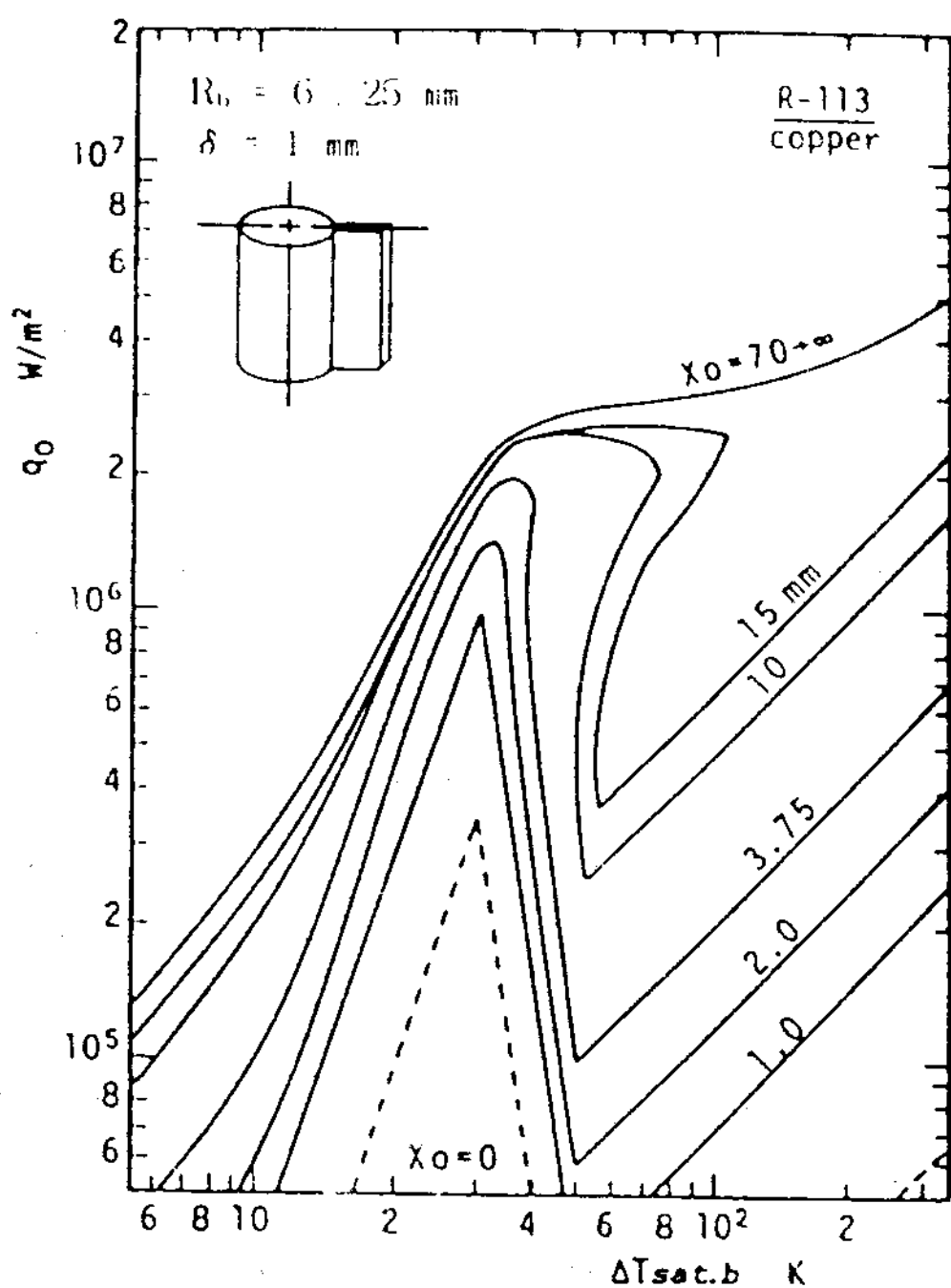


Fig. 5. Effects of hight for rectangular cross-section of longitudinal extend surface

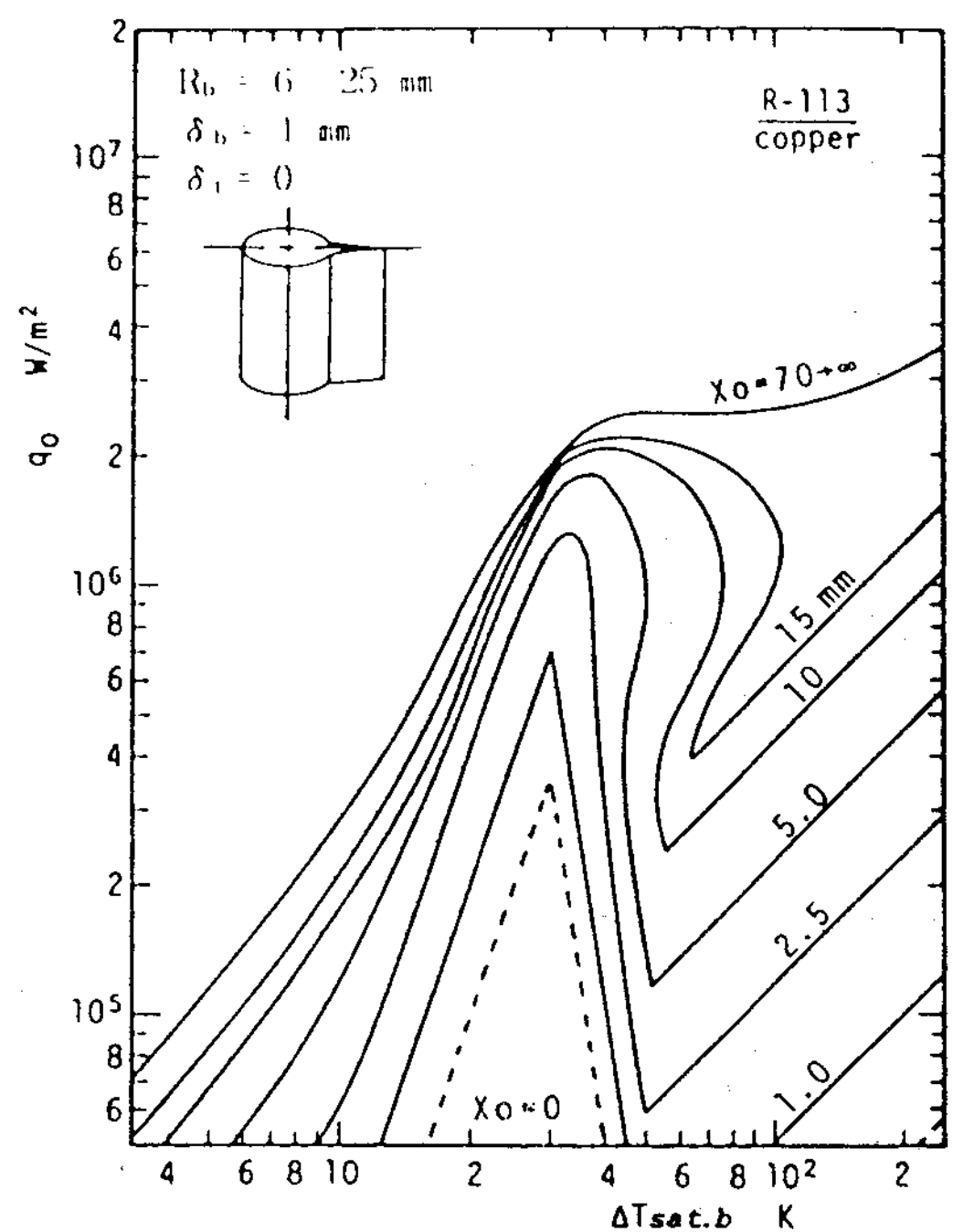


Fig. 6. Effects of hight for triangular cross-section of longitudinal extend surface



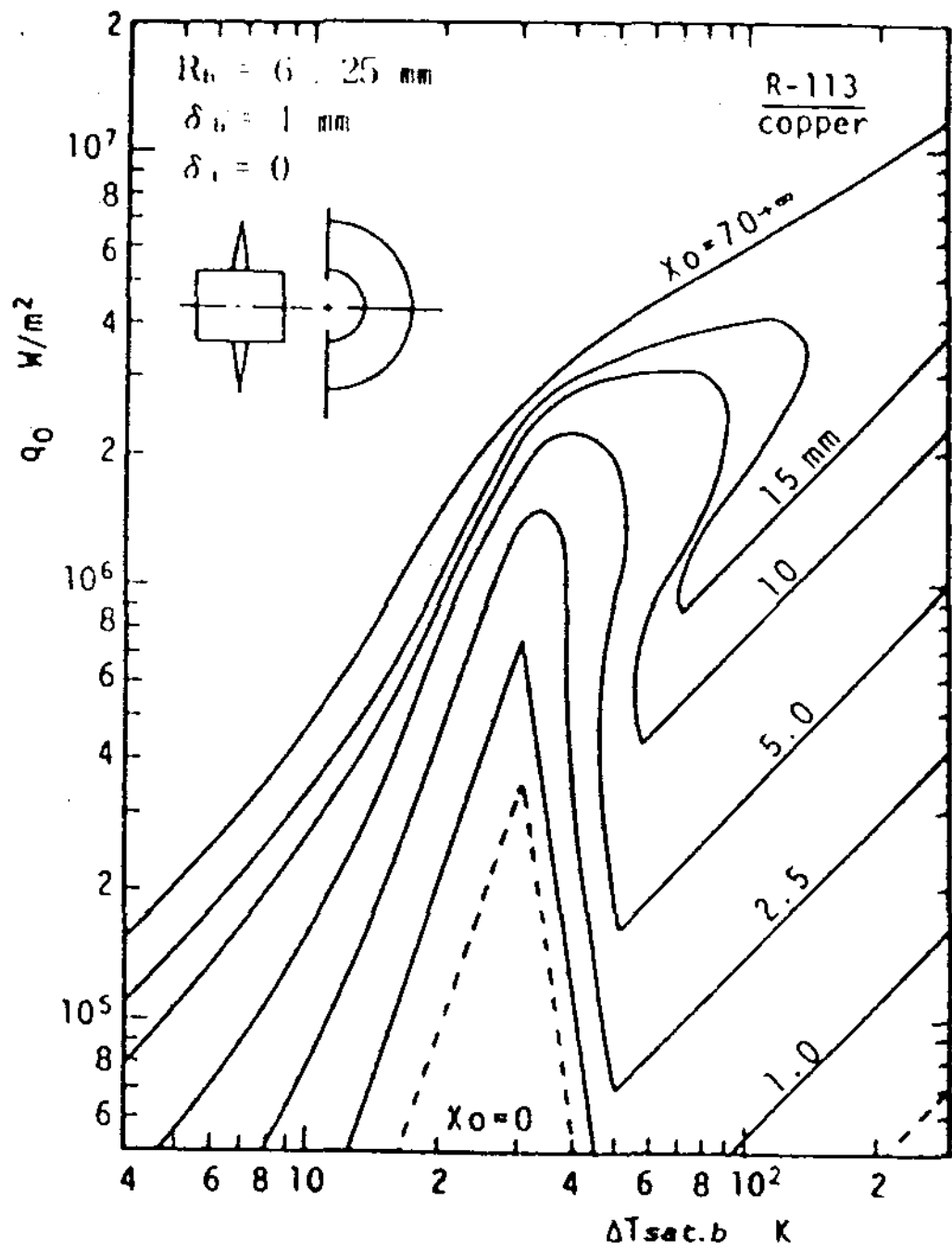


Fig. 7. Effects of height for circumferential extended surface

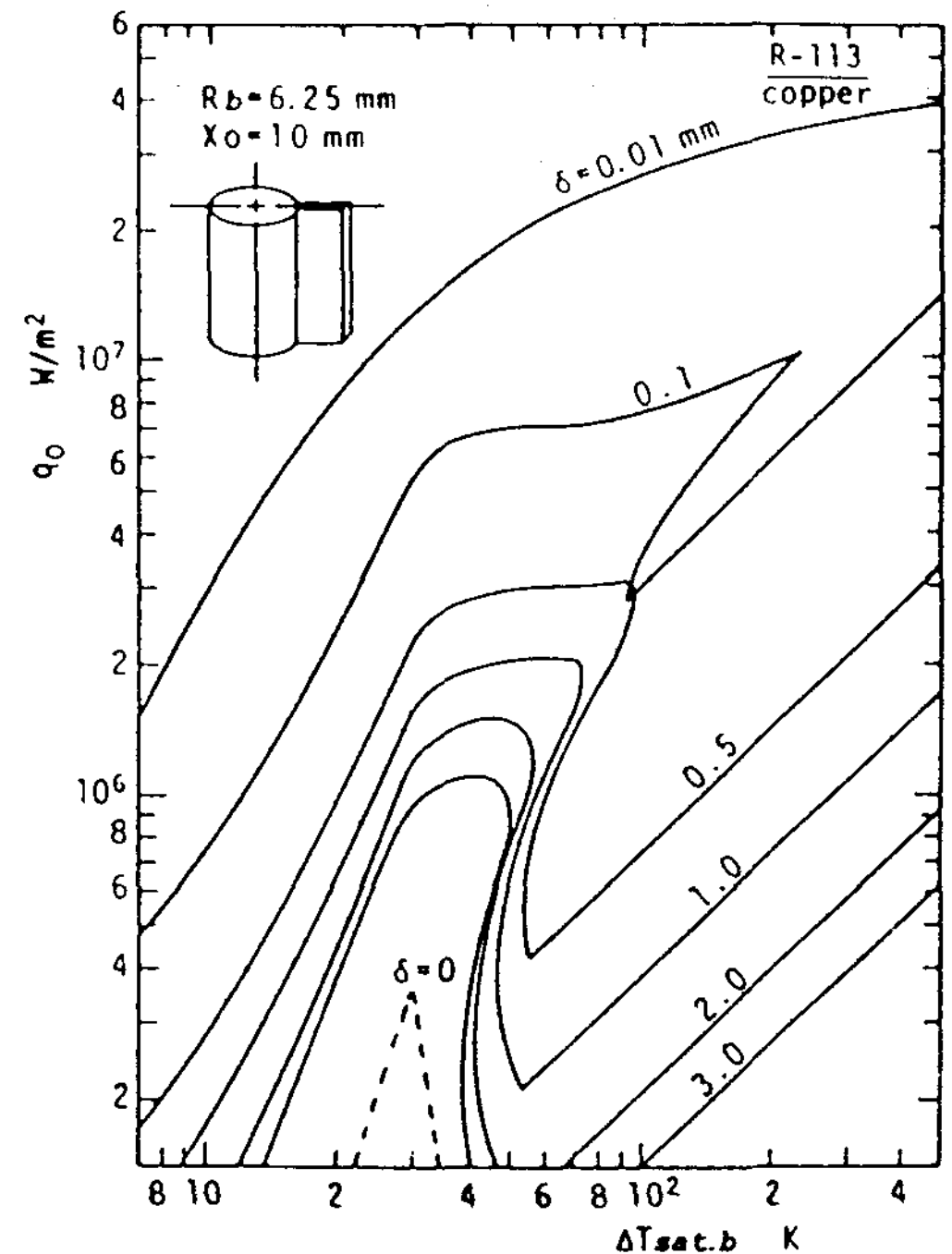


Fig. 8. Effects of thickness for longitudinal extended surface

한계열유속 값은 확대전열면의 높이와 함께 증가를 계속한다.

다만, 실제로 확대전열면 재질에 따라 용융점이 존재하기 때문에 이것이 기계적 의미의 이용 한계 온도로 된다. 이러한 한계치를 정하는 경우에는 확대전열면 높이에 대한 유효한 범위가 존재하여 확대전열면위에 높은 열전달계수의 비등 영역이 넓게 존재할수록 단독 확대전열면으로서의 유효성은 크게된다.

### 3.3 확대전열면 두께의 영향

Fig. 8, Fig. 9는 확대전열면 두께를 인자로써 정리한 열전달 특성곡선이다. Fig. 8, Fig. 9 양자 모두가 높이를 10mm(일정)로 했을때의 혼합비등 곡선으로, 두께가 얇으면 얇을수록 근본부를 통과하는 열유속이 증가한다. 또한 전면막비등으로의 천이온도도 높아져서, Burn-out 할 경우에 있어

서도, 큰 비약적 천이가 없어져 연속성을 나타내는 경향으로 된다.

확대전열면 두께가 0.01mm 정도로 얇게 되면 대단히 높은 열유속을 실현 할 수 있고 천이온도도 대단히 높게 된다. 또 두께가 0에 가까워지면 열유속 값은 무한대에 접근한다. 그러나 확대전열면 1매로 부터의 전달열량을 계산하면 대·소 관계는 변한다. 먼저 Fig. 10은 선단부와 근본부의 두께가 같은 중형확대전열면으로써 Fig. 8에 대응하는 결과로서 그림에서 알 수 있는 것과 같이 확대전열면 두께가 얇아질수록 1매로 부터 얻어지는 전열량은 저하한다. 따라서, 두께가 얇아질수록 확대전열면 1매의 단위면적당 열유속은 증가하나, 반대로 확대전열면 1장으로 부터의 전열량은 저하하기 때문에 두께가 0에 접근하면 확대전열면 1매로부터 얻어지는 전열량도 0에 접근한다.



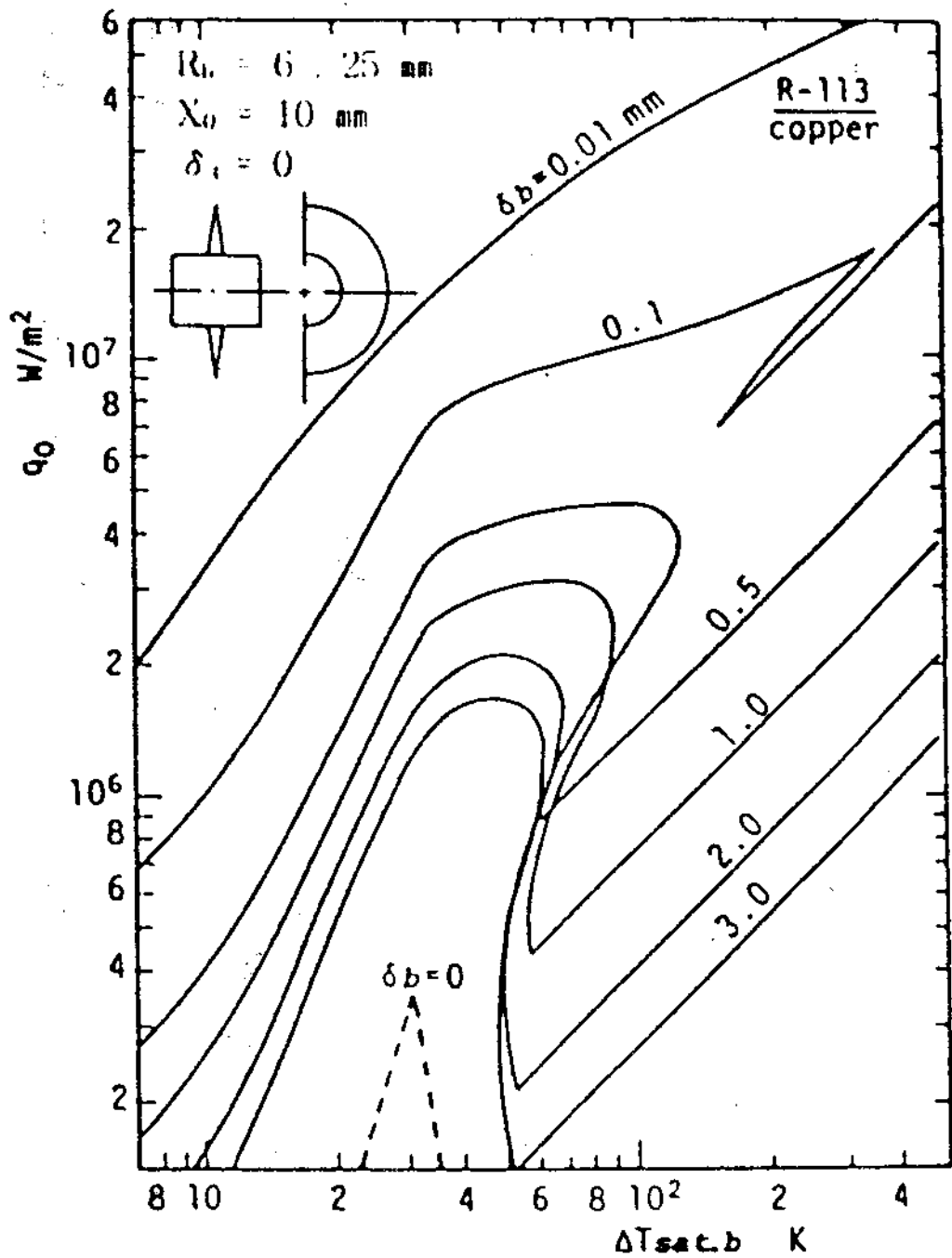


Fig. 9. Effects of thickness for circumferential extended surface

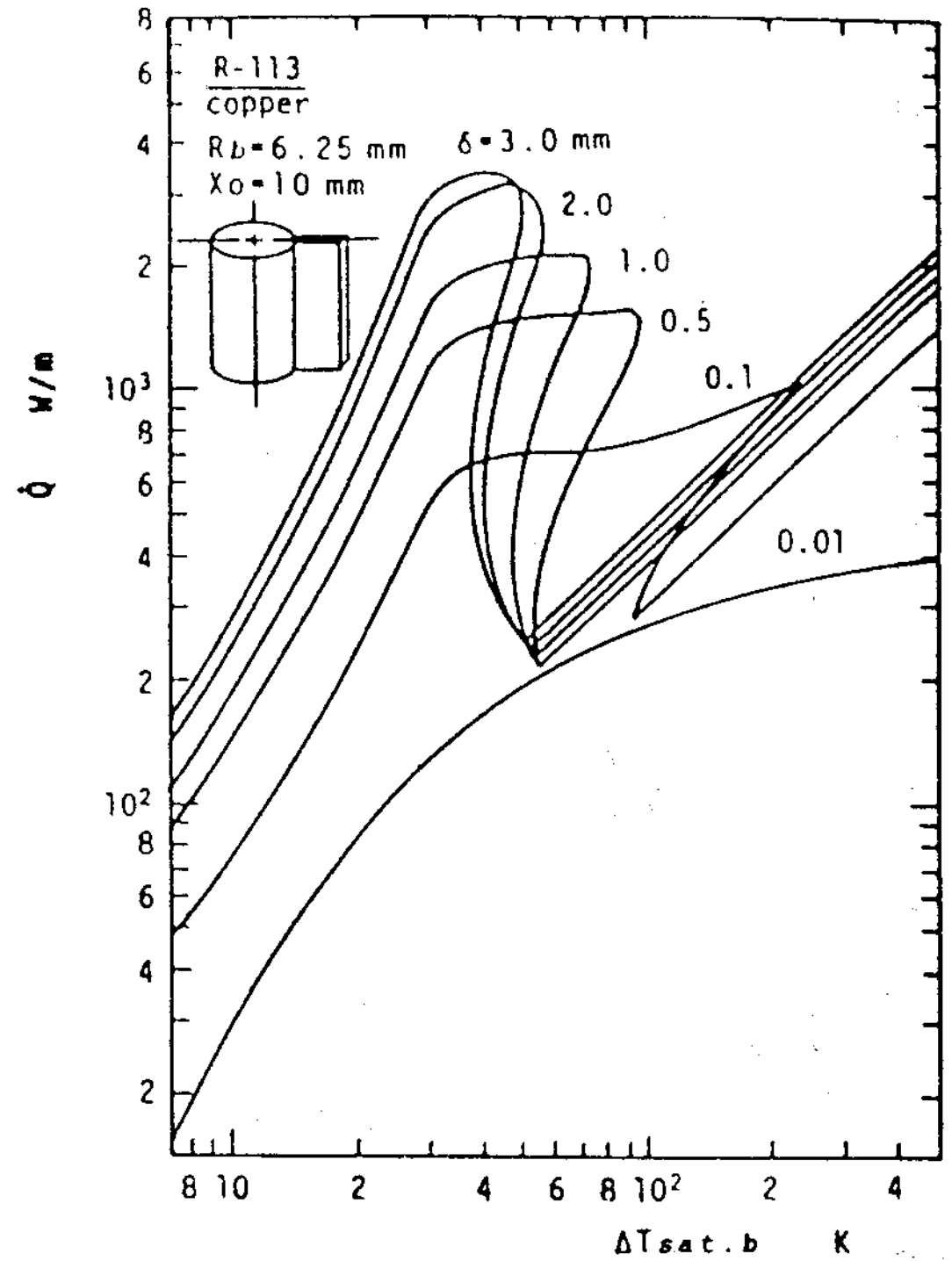


Fig. 10. Total heat transfer for single longitudinal extended surface

3.4 확대전열 매(枚)수의 영향

Fig. 11 은 직경 12.5mm 원관에 확대전열면 두께가 0.5mm(일정), 높이가 3.75mm(일정)를 붙인 종형확대전열관에 대하여, 확대전열면 매수를 인자로서 나타낸 혼합비등곡선으로 원관의 평면부를 포함한 평균 열유속이다. 확대전열면 매수가 0에서 78매로 증가함에 따라서 전체의 열전달은 증가한다. 따라서 확대전열면 근본부에 평면이 없는 확대전열면만의 배열이 가장 유효한 것을 알 수 있다.

그림중의 파선은 혼합 비등곡선 각각의 극대치를 연결한 것으로 확대전열면 매수가 증가함에 따라서 극대치도 증가하고 또한 전면막비등에 천이하는 전열면의 온도도 높게 되어 확대전열면의 존재에 의하여 평면부에 천이 비등영역이 안정되게 실현할 수 있는 것을 의미한다. 확대전열면 매수가 많을수록 Burn-out이 발생하는 전열면

온도가 상승하여, 그것도 혼합비등곡선의 고부하 영역에서 확대전열면 근본부 온도에 대한 열유속 증가의 구배가 완만히 된다. 따라서 높은 열유속을 유지하는 온도범위가 확대되어 Burn-out의 제어가 용이하게 되는 점에 효과가 있는 것을 나타내고 있다.

3.5 확대전열면 열(列)이 인접한 원관의 전열특성

열전달을 향상시킬 목적으로 확대전열면을 이용한다면 앞에서 지적한대로 확대전열면 근본부에 평면이 없이 확대전열면이 인접한 경우가 가장 효과적인 것을 알았다. 그러나 수평원관에 두께가 같은 환상의 확대전열면은 인접시킬수는 없는 경우가 있다. Fig. 12, Fig. 13에서 보면 확대전열면 두께가 얇을수록 매수가 늘어나게 되어 열유속이 큰값을 갖는다. 예를 들면 확대전열면

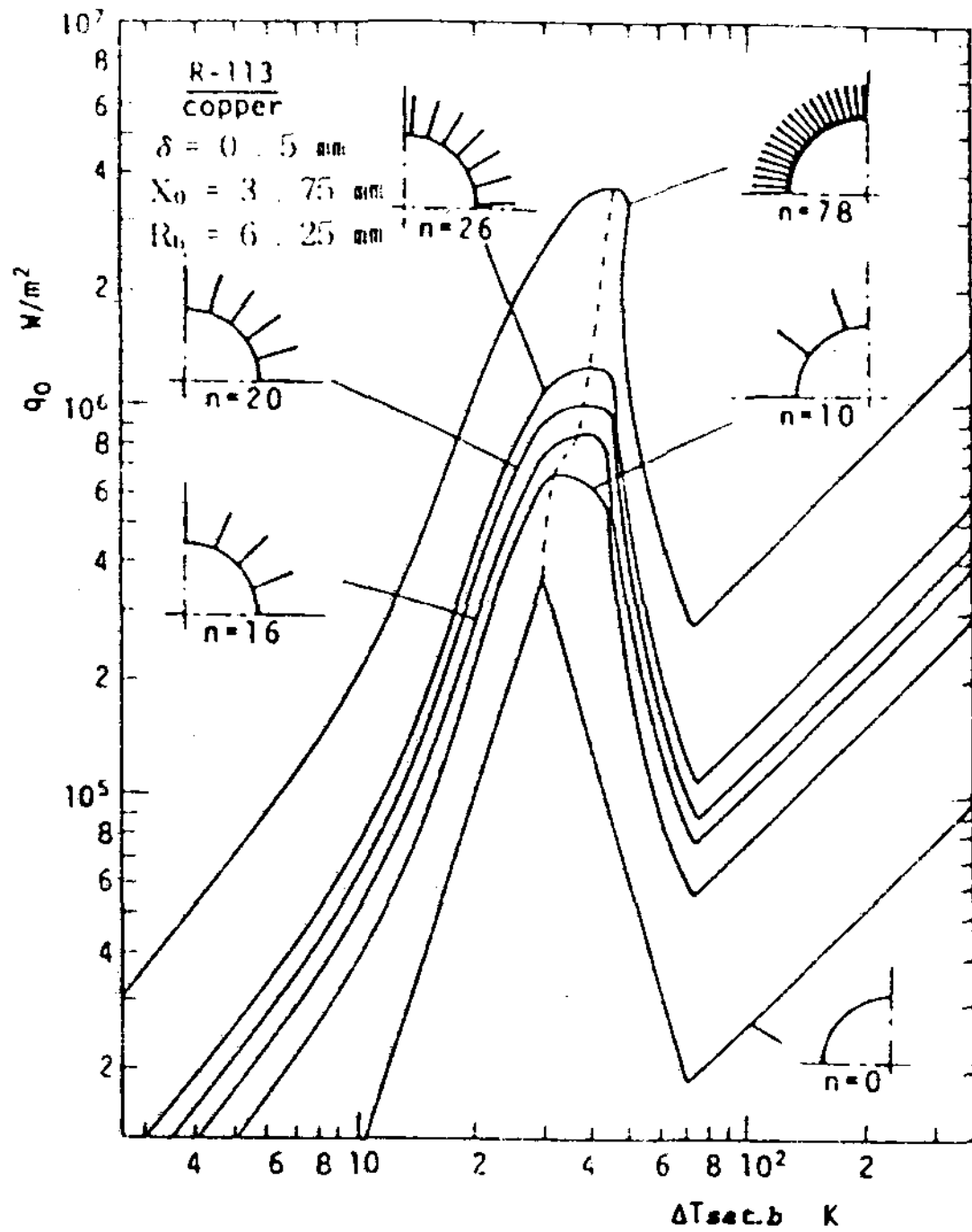


Fig. 11. Effects of extended surface numbers

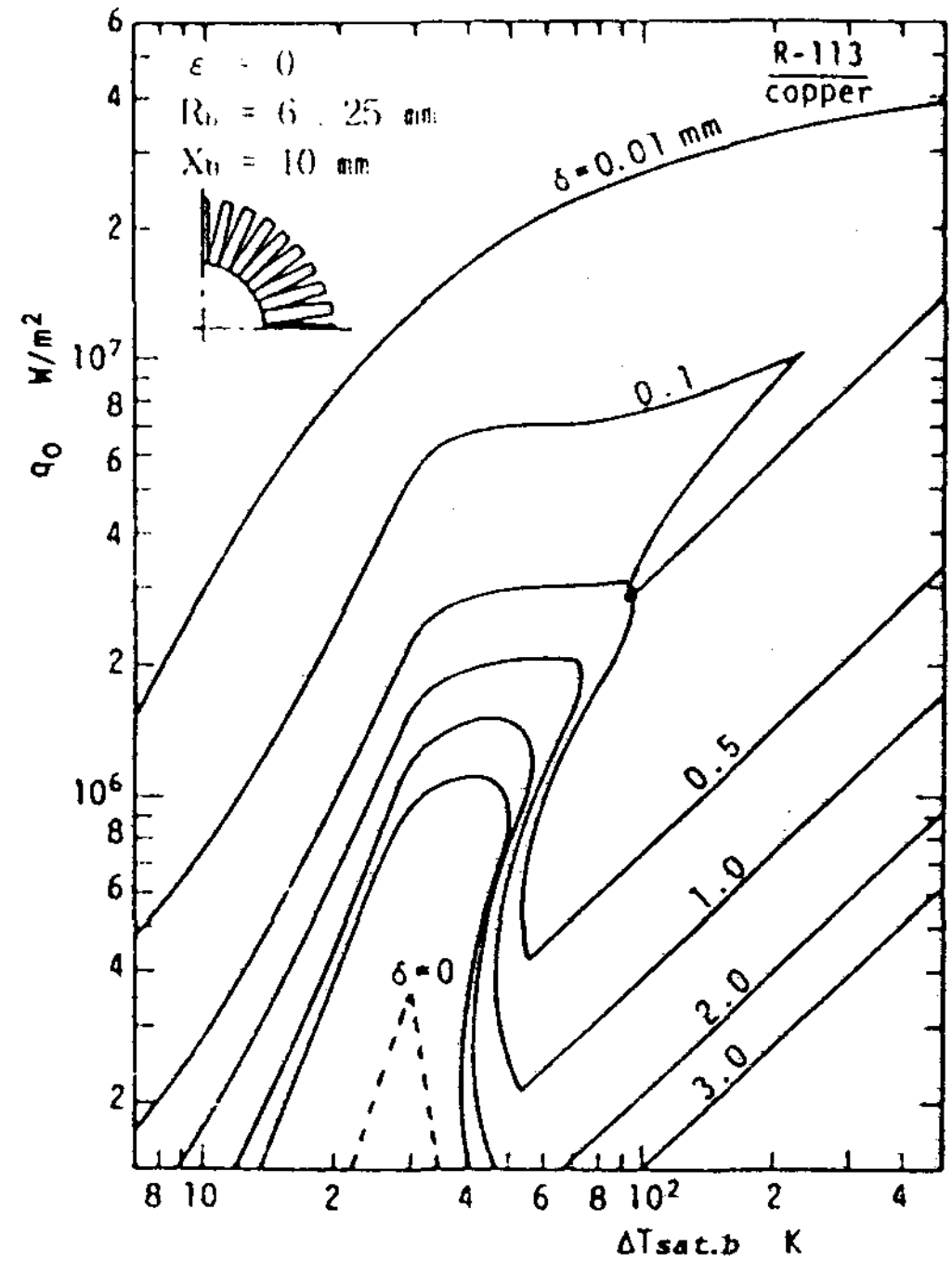


Fig. 12. Coexisting boiling curves of longitudinal extended surface arrays

두께  $\delta = 0.5\text{mm}$ 의 경우, 직경  $12.5\text{mm}$ 의 종형원관에 붙일 수 있는 확대전열면 매수는  $78.5$  매로 되고, 극대열유속값은  $3.6 \times 10^6 \text{W/m}^2$ 이다.  $\delta = 3\text{mm}$ 의 경우는  $13$ 매로 되고, 극대열유속 값은  $1.6 \times 10^6 \text{W/m}^2$ 이다. 이것은 확대전열면 두께가  $6$ 매의 차이가 있어도 극대열유속값은 필히 두께에 정비례하지 않는다.

즉 두께가 얇을수록 확대전열면내의 열의 흐름에 대해서는 저항으로 되나, 반면에 전열면적의 증가로 되어 이것이 종합적인 확대전열면의 전열 특성으로 된다. Fig. 12, Fig. 13에서 알 수 있는 것과 같이 확대전열면이 인접하는 조건에서 두께는 가능한 얇게 하여 되도록 많은 매수를 붙이는 것이 바람직하다. 그러나 이것은 확대전열면과 확대전열면의 간격이 작아지는 것을 의미하는 것으로 실제 비등시 발생하는 기포의 간섭 등으로 전열성능을 저하시킬 가능성이 있어서 최적의 간격에 대해서는 실험적인 검토가 필요하다.

### 3.6 확대전열면 간격과 두께의 영향

Fig. 14는 확대전열면 열상호의 간섭이 있다고 가정하였을 때 확대전열면과 확대전열면 사이에 일정한 간격이 필요한 경우의 예를 나타내고 있다. 즉 확대전열면 높이를  $10\text{mm}$ (일정)로 하고 간격은  $0.5\text{mm}$ (일정)로 할 경우 두께를  $3\text{mm}$ 에서  $0.5\text{mm}$ 까지 얇게 했을 때, 전체적인 열유속 값은 증가하는 경향을 나타낸다. 그러나 두께가  $0.1\text{mm}$ 로 되면 극대열유속값은 두께  $0.5\text{mm}$ 보다도 크게 되나, 핵비등에서 혼합비등영역의 일부에서  $0.5\text{mm}$ 보다도 역으로 작아진다.

또한 Fig. 12( $\epsilon = 0$ )에서 가장 큰 열유속 값을 나타낸 두께  $0.01\text{mm}$ 의 경우에도 Fig. 14에서는 열유속 값은 저하하고,  $\Delta T_{sat,b} = 30 \text{K}$  부근에서 보통 평면의 극대치에 가까운 값으로 된다.

이것은 Fig. 10에서 밝힌대로, 두께가 얇아질수록 확대전열면 1매에서의 전열량 절대치가 작아

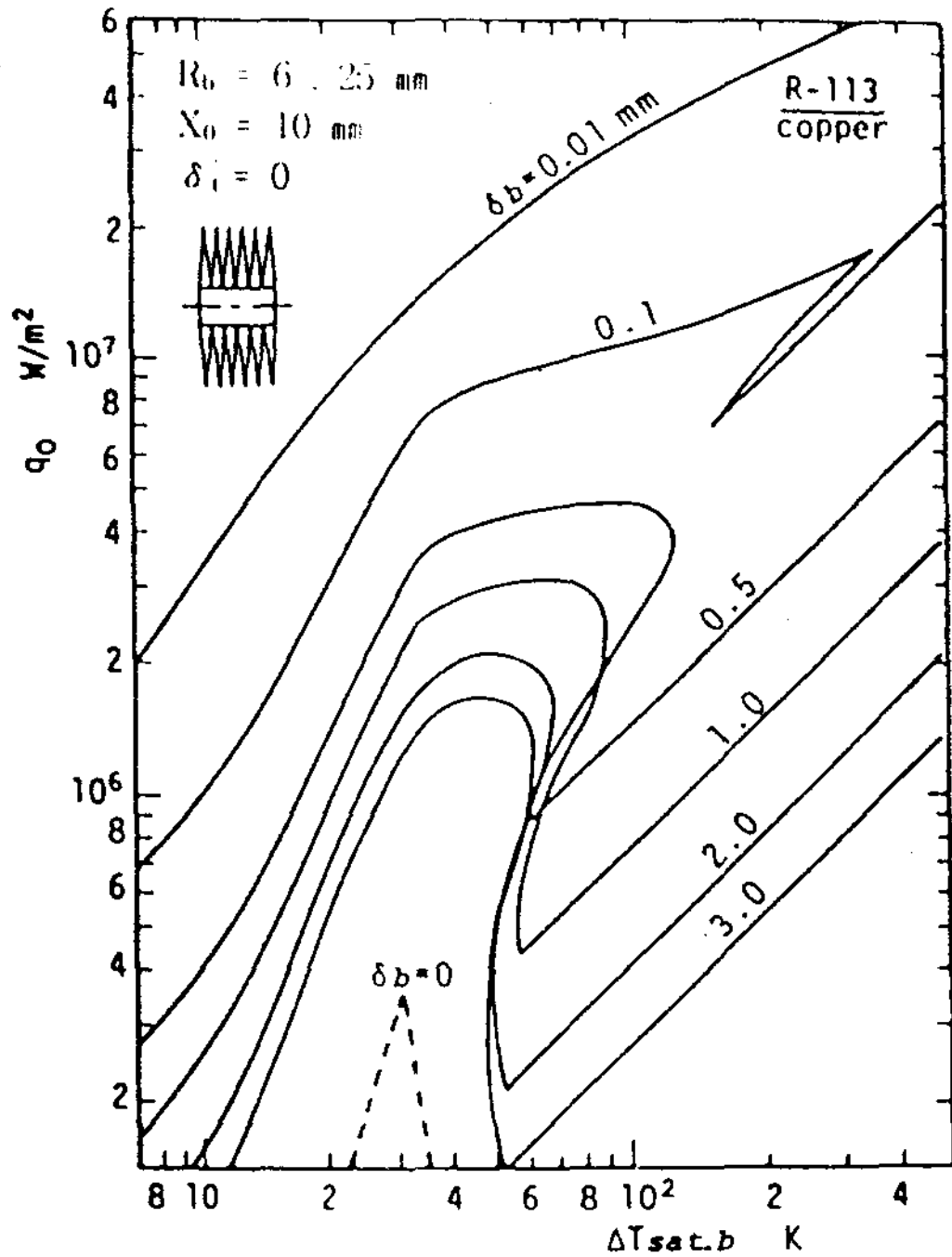


Fig. 13. Coexisting boiling curves of circumferential extended surface arrays

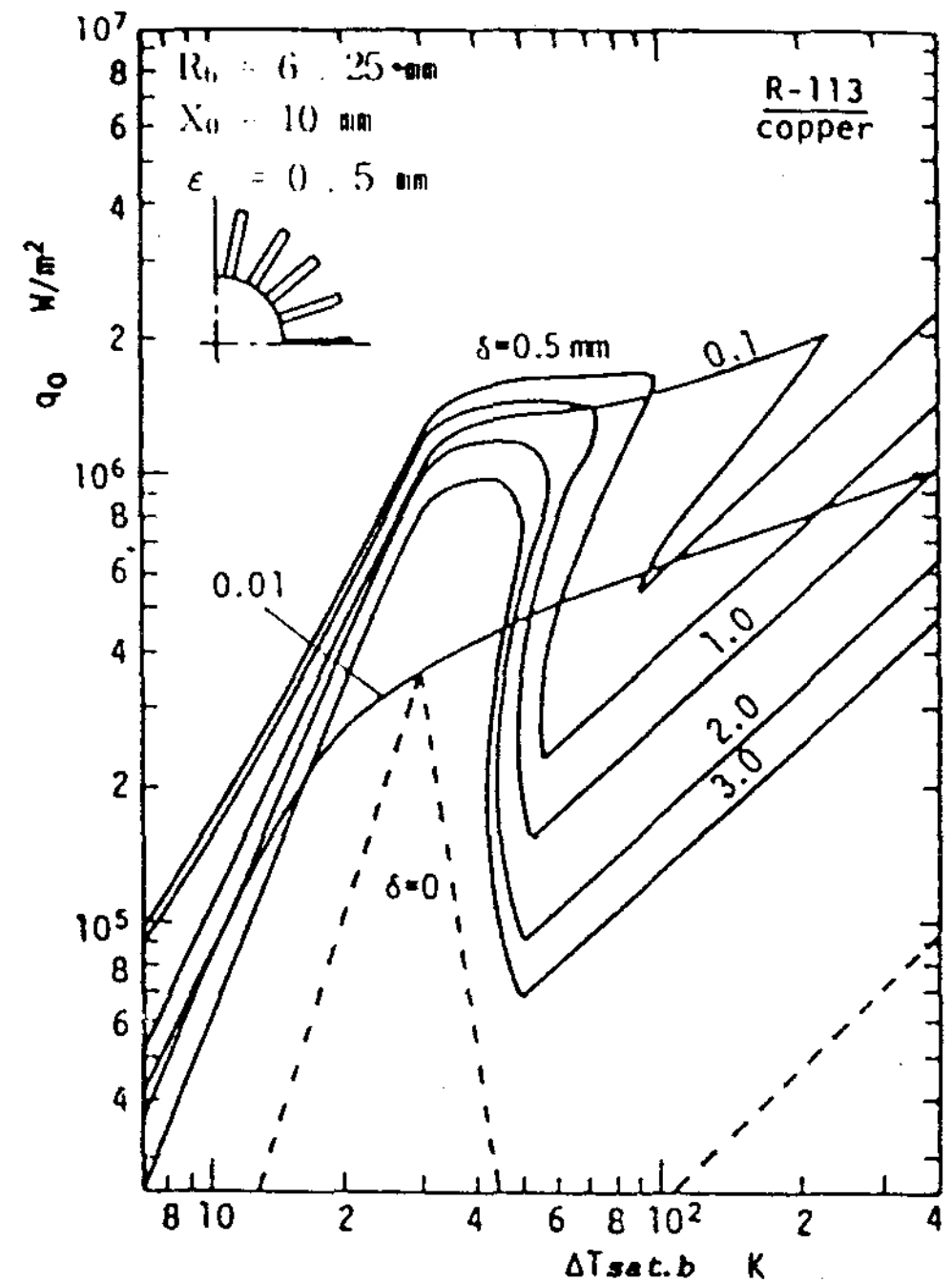


Fig. 14. Effect of extended surface spacing and thickness

지기 때문에, 두께가 0에 가까워 질 경우에는 혼합비등곡선도 보통평면의 비등곡선에 가까워진다. Fig. 12에서 두께가 0.5mm의 극대 열유속값은  $3.1 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 이나 Fig. 13에서는  $1.65 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 이다. 이것은 확대전열면 간격을 0.5mm로 하면 극대열유속값은 약 1/2로 되는 것으로, 즉 확대전열면 간격이 혼합비등곡선에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 물론 Fig. 14에 나타난 대로 인접한 확대전열면이 상호 간섭이 있어, 어느 정도의 간격은 필요하다고 생각되어지고, 만약 조금 더 큰 간격이 필요하다면 가장 효과적인 확대전열면의 두께는 조금 두꺼운 쪽이 될 것으로 생각한다.

#### 4. 결 론

확대전열면을 비등전열관에 응용하는 경우를

고찰하기 위해 가장 단순한 형상의 종형 및 환상 확대전열면을 대상으로, 비등시에 상호간섭이 없다고 가정하여 이론해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 같은 두께 및 높이의 확대전열면 근본부를 통과하는 열유속을 비교하면, 온도 전반에 걸쳐서 전열면의 확대율이 큰 환상확대전열면 쪽이 종형확대전열면 보다도 약 30% 이상 높은 값을 나타낸다.
- (2) 확대전열면 매수가 많을수록 전체의 열전달이 크게 된다.
- (3) 확대전열면 높이가 높을수록 열유속이 크게 되나, 70mm 이상이 되면 열전달에 기여하지 않는 선단부의 증가만을 가져와 높이에 의하지 않고 거의 같은 혼합비등곡선이 된다.
- (4) 확대전열면 두께가 얇을수록 상대적으로 높이가 높아지는 것을 의미하며, 열유속이 크게

되고 또한 전면 막비등으로의 천이온도도 높게 된다.

- (5) 확대전열면 상호 간섭이 없는 이상적인 조건에서는 간격을 두지 않고 확대전열면 근본부를 서로 인접시킨 배열이 가장 큰 열유속을 나타내고 또한 두께가 얇을수록 전열량도 증가한다 이것은 인접이라는 조건에서 오는 확대전열면 매수의 증가, 즉 전열면의 증가에 의한 효과이다.
- (6) 그러나 일정한 간격을 필요로 하는 경우, 평균 열유속은 두께에 대하여 극대치를 갖게 된다.

#### 참 고 문 헌

1. Nakasima 외 3인, 1986, 제 23회 일본 전열 심포지움 강연 논문집, pp.169
2. Obashi 외 3인, 1988, 제 25회 일본 전열심포

지움 강연 논문집, pp.295

3. Tong, 1991, 제 28회 일본 전열심포지움 강연 논문집, pp.88
4. Kosima 외 3인, 1994, 제 31회 일본 전열심포지움 강연 논문집, pp.721
5. Kido 외 3인, 1994, 제 31회 일본 전열심포지움 강연 논문집, pp.727
6. Lai. F. S, Hsu. Y. Y., 1967, AIChE Journal July, pp.817
7. Haley. K. W. & Westwater. J. W., 1966, Proc. 3rd Int. Heat Transfer Conf. 3
8. Takeyama 외 2인, 1971, 일본 기계학회 논문집, pp.750
9. Ogata 외 4인, 1980, 제 17회 일본 전열심포지움 강연 논문집, pp.250
10. Irey. R. K., 1968, Journal of Heat Transfer, Feb, p.175
11. Takeyama 외 1인, 1978, 일본 기계학회 논문집, pp.154