

참 고 문 헌

1. 河注植, 自動制御工學, 海事圖書出版部, 1976
2. Huibert Kwakernaak and Raphael Sivan, Liner Optimal Control Systems, WILLEY- INTERSCIENCE, pp 220-247, 1972
3. Stanley M. Shinnars, Modern Control System Theory and Application, 2nd Edition, pp 206-239, 1978
4. Gene F. Franklin and J. David Powell, Digital Control of Dynamic Systems, Addison-Wesley Publishing company, INC., pp 251-256, 1980
5. Katsuhiko Ogata, State Space Analysis of Control Systems, Prentice-Hall, INC., 1967
6. 高橋 安人, 北林 俊行, 制御 と 力學系, コロメ社, 1971
7. 廣 田實, 船舶制御 ツステム工學, 成山堂書店, 1982
8. Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Prentice-Hall, INC., pp 407-425, 1970
9. 梁注鎭, 河注植 ; "PID 제어기의 최적 설계에 관한 연구(III)", 한국 박용기관학회지, Vol. 11, No. 3, pp 61-69, 1987
10. 全明吉, 河注植 ; "3차 계통의 최적제어에 관한 연구", 한국해양 대학원 논문집 제7집, pp 556-581, 1985
11. 河注植, 盧彰注 ; "선박에 있어서의 내연기관 구동발전기의 속도 안정에 관한 연구", 대한 전기 학회지 Vol 24, No.4, pp 63-70, 1975
12. Digital Governor System DGS 8800, NOR CONTROL, SHIP AUTOMATION GROUP, 1983

풀沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

A Study on the Influence of Liquid Bulk Temperature
to the Characteristics of Nucleate Boiling
in a Pool Boiling System

姜 泰 一

Tea-Il Kang

〈 目 次 〉

Abstract

기호설명

제 1 장 서 論

제 2 장 이론해석

2.1 핵비등개시에 관한 이론

2.2 비등곡선

제 3 장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

3.2 열전대제작 및 검정

3.3 실험방법

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 전열면온도 및 열유속의 수치계산

4.2 전열면온도에 관한 고찰

4.3 액혼합 평균온도에서 구한 기포반경과 과열도

4.4 한계열유속에 관한 고찰

4.5 핵비등곡선에 관한 고찰

제 5 장 결 論

참고문헌

ABSTRACT

The process of evaporation associated with the vapor bubbles in a liquid is called boiling. Here attention will be focused on the boiling at the solid heated surfaces in engineering applications.

The heat transfer characteristics of the subcooled pool boiling, for the NCH2 metal which is placed under the subcooled liquid, are studied for investigating the effects of subcooling on the boiling curve, and the other values which are related to the subcooled boiling.

The above mentioned experiments are carried out with seven subcooled liquid temperatures under the atmospheric pressure.

The results obtained from the above experiments are as follows.

1. The subcooled pool boiling curves for the given temperatures of the subcooled liquid are expressed as $q \propto \Delta T_w^{4.070 \sim 5.821}$.
2. The range of the critical heat fluxes of the subcooled pool boiling is $(2.144 \sim 3.666) \times 10^6 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h}$.
3. The superheat of the liquid is decreased with the increase

기 호 설 명

- a : 온도확산계수 [m^2 / h]
- C_p : 정압비열 [$kcal / kg \text{ } ^\circ C$]
- $C_{s,f}$: 유체와 전열면으로 결정되는 정수
- g : 중력가속도 [m / s^2]
- H : 증발열 [$kcal / kg$]
- h : 열전달율 [$kcal / m^2 h \text{ } ^\circ C$]

4. The effect of the subcooling factor below the points of incipient boiling of the subcooled boiling curves is conspicuous, but the effect of the subcooling factor above those of the incipient boiling of the subcooled boiling curves is subtle.



γ : 비중당 $[kg / m s^{-1}]$

θ : 액의 접촉각 $[deg.]$

μ : 점성계수 $[kg / m s]$

σ : 표면장력 $[kg / s^2]$

ABSTRACT

The process of evaporation associated with the vapor bubbles in a liquid is called boiling. Here attention will be focused on the boiling at the solid heated surfaces in engineering applications.

The heat transfer characteristics of the subcooled pool boiling, for the NCH₂ metal which is placed under the subcooled liquid, are studied for investigating the effects of subcooling on the boiling curve, and the other values which are related to the subcooled boiling.

The above mentioned experiments are carried out with seven subcooled liquid temperatures under the atmospheric pressure.

The results obtained from the above experiments are as follows.

1. The subcooled pool boiling curves for the given temperatures of the subcooled liquid are expressed as $q_c \propto \Delta T_w^{4.070 \sim 5.821}$.
2. The range of the critical heat fluxes of the subcooled pool boiling is $(2.144 \sim 3.666) \times 10^6$ kcal / m² h.
3. The superheat of the liquid is decreased with the increase of liquid subcooling, but the vapor radius is increased with that of liquid subcooling.

4. The effect of the subcooling factor below the points of incipient boiling of the subcooled boiling curves is conspicuous, but the effect of the subcooling factor above those of the incipient boiling of the subcooled boiling curves is subtle.



제 1 장 서 론

전열면상의 핵비등 현상은, 보일러 튜브, 원자로의 노심냉각, 각종 열교환기 및 화학플랜트의 증발부등과 같은 많은 공학분야에 응용되며, 특히 안정성을 요하는 원자로에서는 핵비등열전달이 중요한 과제로 되어 오고 있다.

비등현상 자체가 핵비등, 막비등, 전열면소손등 다종다양한 양상을 나타내고 있을 뿐만 아니라, 기·액물성치와 표면거칠기등 많은 인자들이 영향을 미치고 있기 때문에, 이론적인 해석이 어렵고 일반적인 비등특성과 비등현상은 지금까지 실험을 통해 체계화 되고있다.

핵비등의 발생에 관한 이론적 연구는 A. E. Bergles⁽¹⁾, E. J. Davis⁽²⁾ W. M. Rohsenow⁽³⁾, P. Griffith⁽⁴⁾ 등에 의하여 이루어진 바 있다.

아냉각비등영역에서는 핵비등 발생정도가 매우 중요하며 이에 관하여서는 P. Saha⁽⁵⁾ 등에 의한 연구가 있다.

또한 스테인레스계 소결금속면의 핵비등열전달에 관하여는 최⁽⁶⁾, 및 표면거칠기의 변화에 따른 핵비등열전달의 특성에 대해서는 정⁽⁷⁾ 등의 연구가 있다.

Nagayama⁽⁸⁾ 는 전열면에서 일반적으로 핵비등을 촉진하기 위하여 인공적인 기부를 형성시켜 현저하게 핵비등 열전달을 개선시키는 연구결과를 얻고있다.

핵비등의 열유속과 전열면온도에 관한 종래의 연구결과를 요약하

여 기술하면 다음과 같다. Nishigawa⁽⁹⁾는 직경 100 mm의 수평전열면에 있어서 물의 실험에서 얻은 결과를 다음 식으로 표시하였다.

$$q = 2.421 \Delta T_w^{3.00} \quad (1.1)$$

Jens and Lottes⁽¹⁰⁾는 물의 아냉각상태에 관한 실험결과로서 다음 식으로 제시하였다.

$$q = 2.335 \Delta T_w^{4.00} \quad (1.2)$$

T. Ueda⁽¹¹⁾는 전기가열하는 원주의 외측을 자유낙하하는 상태의 물의 실험에서 다음 식을 제시하였다.

$$q = 0.086 \Delta T_w^{5.00} \quad (1.3)$$

전열면온도 산출에 있어서는 시편 상부의 전열면으로 나가는 열 유속에 비해 측면으로 나가는 열유속은 무시할 정도이다. 따라서 본 실험에서 열전대에 의해 측정된 전열면 내부온도에서 전열면 표면의 온도를 계산하기 위한 수치계산에 있어서는 1차원 열전도 문제로서 해석을 하였다. 해석과정에 있어서는 Patankar⁽¹²⁾의 일차원 열전도 수치계산식인 이산화방정식 (Discretization equation)을 도입하여 수치계산을 행하였다.

본 실험에서는 풀비등에 있어서 액체온도가 핵비등특성에 미치는 영향을 알기 위하여 길이 105 mm, 폭 3.2 mm, 두께 0.2 mm인 시편 AYK No2. (적우야금 주식회사, Jis 기호 ; NCH2)를 사용하여, 액혼합평균

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

온도가 18.3, 23.6, 30.1, 37.5, 49.2, 61.3, 76.9 °C의 변화에 따른 핵비등곡선의 특성에 관하여 실험을 하였다.



물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究
온도가 18.3, 23.6, 30.1, 37.5, 49.2, 61.3, 76.9 °C의 變化에 따
른 핵비등곡선의 특성에 관하여 실험을 하였다.



제 2 장 이 론 해 석

2.1 핵비등개시에 관한 이론

2.1.1 액중의 평형증기포

어떤 크기의 증기포가 액중에 존재하며, 평형을 유지하고 있는 상태를 생각하자. Fig. 2.1과 같이, 기포의 반경을 r , 표면장력을 σ 라고 하면 기포내의 압력 P_g 는 주위의 액의 압력 P_l 보다 ΔP 만큼 높아서,

$$\Delta P = P_g - P_l = \frac{2\sigma}{r} \quad (2.1)$$

의 관계가 있다.⁽¹³⁾

기상의 온도 T_g 는 압력 P_g 에 대한 포화온도라고 생각하면 된다. 엄밀히는 곡률을 갖는 액면상에서의 평형증기의 압력-온도의 관계는, 액면이 수평일 때의 포화압력과 온도의 관계와는 동일하지는 않지만, 이 차이는 일반적으로 무시할 수 있다. 그리고 그림과 같은 상태에서 기포가 평형을 이루고 있으므로, 온도장이 균일하지 않으면 안된다. 따라서 주위의 액온도 T_l 은 압력 P_l 의 포화온도 T_g 보다도 과열되어 온도 $T_g = T_l$ 의 상태에 있을 필요가 있다.

포화곡선상에서 압력과 온도의 사이에는 C. Clapeyron 식⁽¹⁴⁾

$$\frac{dp}{dT} = \frac{H_{lg}}{T(v_g - v_l)} \quad (2.2)$$

의 관계가 성립한다. 여기에서, 액의 비용적은 증기의 비용적에 비

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究
하여 적고 ($v_g \gg v_l$), 또한 증기물 이상기체라고 하면

$$v_g = \frac{RT}{p} \quad (2.3)$$

가 성립한다. 식 (2.3)을 식 (2.2)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{dp}{p} = \frac{H_{lg}}{R} \cdot \frac{dT}{T^2} \quad (2.4)$$

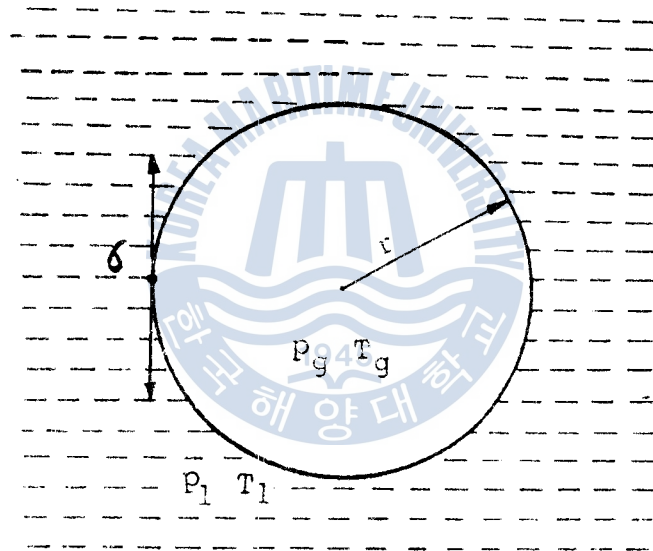


Fig. 2.1 Force balance about a bubble

단, R은 증기의 가스정수이다. 따라서 액의 과열도 $\Delta T_s = T_g - T_s$ 는, 이식을 압력 P_l 에서 P_g 까지 적분함으로써 구하여 진다. 즉 식 (2.1)의 관계를 이용하면,

$$\Delta T_s = T_g - T_s \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{R T_s T_g}{H_{lg}} \ln \frac{P_g}{P_l} \\ &= \frac{R T_s T_g}{H_{lg}} \ln \left(1 + \frac{2\sigma}{P_l r} \right) \end{aligned}$$

이 관계는, $\left(\frac{2\sigma}{P_l r} \right) \ll 1$ 이라고 하면, 다음과 같이 간단화된다.

$$\Delta T_s = \frac{R T_s T_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma}{P_l r} \quad (2.6)$$

$$\cong \frac{T_s v_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma}{r}$$

위 식에서 액의 과열도 ΔT_s 는 $1/r$ 에 비례한다.

2.1.2 전열면으로 부터의 증기포발생

전열면을 통하여 가열에 의해 액을 비등시키는 경우의 과열도는 일반적으로 비교적 작다. 따라서 증기포는 항상 전열면상에서 부터 발생한다. 이 경우의 비등기포는 미리부터 증기나 가스를 포획하고 있는 전열면상의 캐비티를 핵으로 하여 발생한다고 생각된다.

Griffith^{(4),(5)}는 캐비티에서의 기포의 성장과정을 생각하여, 캐비티 내외의 각 위치에 있어서 기액면계의 곡률반경 r 의 변화를 Fig. 2.2과 같이, $1/r$ 과 기포용적의 관계로서 나타내고 있다. 식 (2.6)에서 명확한 바와 같이, 기포가 평형을 유지하기에 필요한 과열도는 $1/r$ 에 비례한다. 그러므로, 이 그림에서 $1/r$ 의 극대치가

플 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

이 캐비티에서 부터 기포가 성장하기에 필요한 최저과열도를 의미하게 된다.

Fig. 2.2 에서 곡선의 형상은 캐비티의 형상과 액의 접촉각 θ 에 의해 변화하지만, 일반적으로 금속면을 젖게하기 쉬운 액 ($\theta \leq 90^\circ$) 에서는 곡선의 극대치에서의 곡률 즉 r^* 는 언제나 캐비티의 개구부의 반경과 같게된다.

따라서, 캐비티의 반경의 대소가 기포성장에 필요한 과열도를 정하게 된다. 균일한 온도장의 경우에는, 반경 r^* 의 캐비티는 전열면 혹은 액의 과열도가

$$\begin{aligned} \Delta T_s &= T_g - T_s \\ &= \frac{T_s v_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma}{r^*} \end{aligned} \quad (2.7)$$

이상이 되었을 때 발포점이 될 수 있다. 실제의 전열면에는 여러 크기의 개구반경을 갖는 캐비티가 존재할 것이다. 만약 이들이 모두 활성화 될 수 있는, 즉 기포핵이 될 수 있다고 한다면, 상식의 관계는 Fig. 2.3 과 같이 된다. 그러나 비교적 큰 캐비티는 액으로서 충만되고 말것이다. 기포핵이 될 수 있는 캐비티가 되기 위해서는, 그 저부에 증기 또는 가스가 남아있지 않으면 안된다.

Fig. 2.3 에서 명확히 알 수 있는 바와 같이, 균일온도장의 경우, 증기발생에 필요한 최저과열도는 전열면상에 존재하는 최대의 기포핵이 될 수 있는 캐비티의 크기, 즉 그림에 나타낸 r^*_{max} 로서 결정된다.

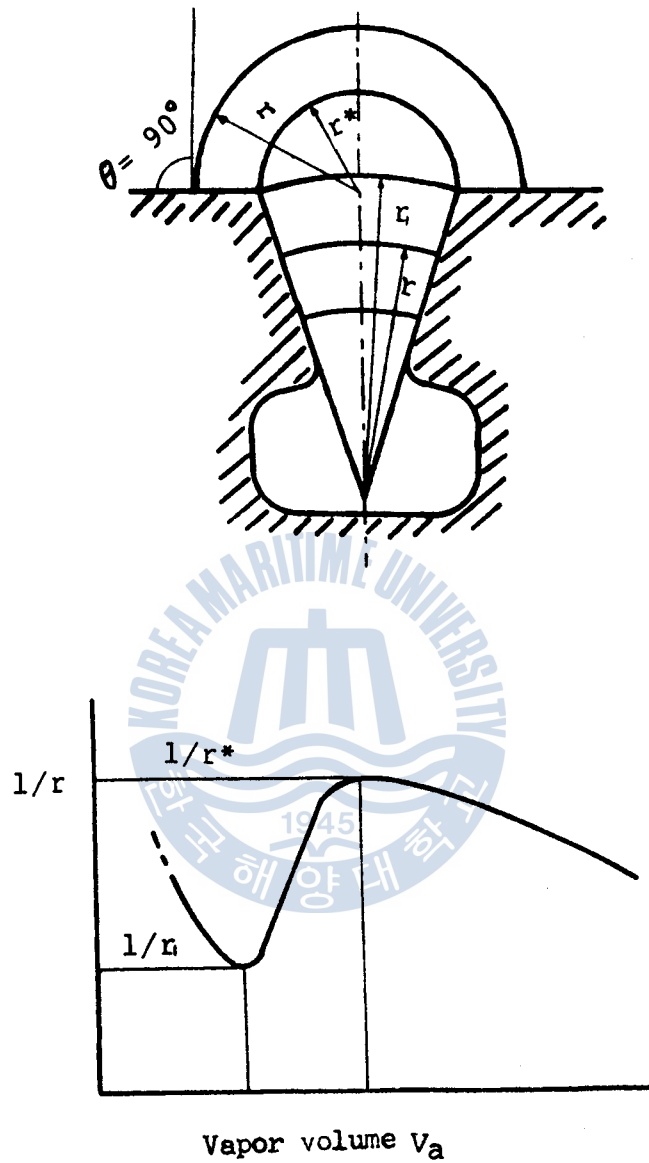


Fig. 2.2 Formation of a bubble over a cavity in a heated surface

沸騰에 있어서 液體溫度가 極沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

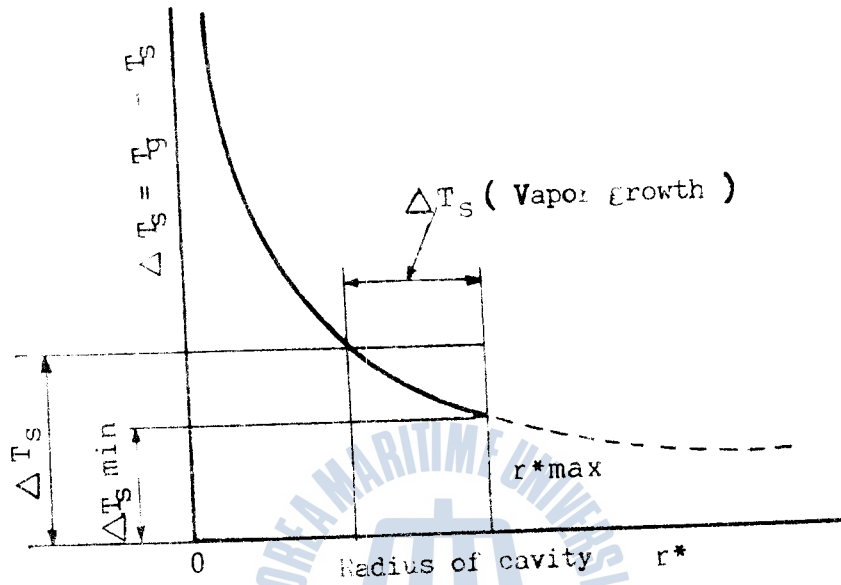


Fig. 2.3 Superheat of liquid versus radius cavity

2.1.3 핵비등 개시조건

지금까지는 기포주위의 액은 균일한 온도라고 생각했었다. 그러나 전열면에 접한 액은 가열열유속에 따라서 온도기울기를 갖고 있어 균일하지는 않다. 또한 이와같은 온도경계층내에 있는 기포의 온도가 액의 어느 위치의 온도와 대응할 것인가 하는 문제도 생각되어진다.

Hsu^{(16), (17)}은 풀비등에 관하여, 전열면 근방의 액온분포의 시간적 변화를 생각 함으로써, 기포의 발생조건과 기포주기에 관하여 명확한 고찰을 하고 있다.

강제유동에 있어서의 비등개시조건에 대하여는 동일한 관점에 기초한 Bergles-Rohsenow⁽¹⁾의 연구가 있다. Fig. 2.4는 Bergles 등의 고찰을 모형적으로 나타낸 것이다. 관내의 액단상류를 생각하면, 가열열유속은 다음의 관계에 있다.

$$\begin{aligned}
 q_w &= h_1 (T_w - T_{1b}) \\
 &= -k_i \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

여기에서, h_1 은 열전달율, T_w 과 T_{1b} 는 전열면온도와 액혼합 평균 온도, k_i 는 액의 열전도율이다. 여기에서 문제로 하고 있는 기포나 캐비티의 크기는, 흐름장의 점성저층두께보다도 일반적으로 얇다. 따라서 전열면근방의 액온분포는 다음 식과 같이 직선적인 관계로 표시된다.

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에

8

$$T_1 = T_w - \frac{q_w}{k_l} y$$

액 혼합 평균온도와 유량이 일정하다면, 열유속의 증가와 열면온도 T_w 와 액온기울기 $(\frac{\partial T}{\partial y})_{y=0}$ 가 증가하므로, 이 는 Fig. 2.4 중의 점선군과 같이 변화한다. 그리고 그림중의 T_g 곡선은, 식 (2.7)에 있어서 $r^* = y$ 로 치환하여 구한 것으로 다음식과 같다.

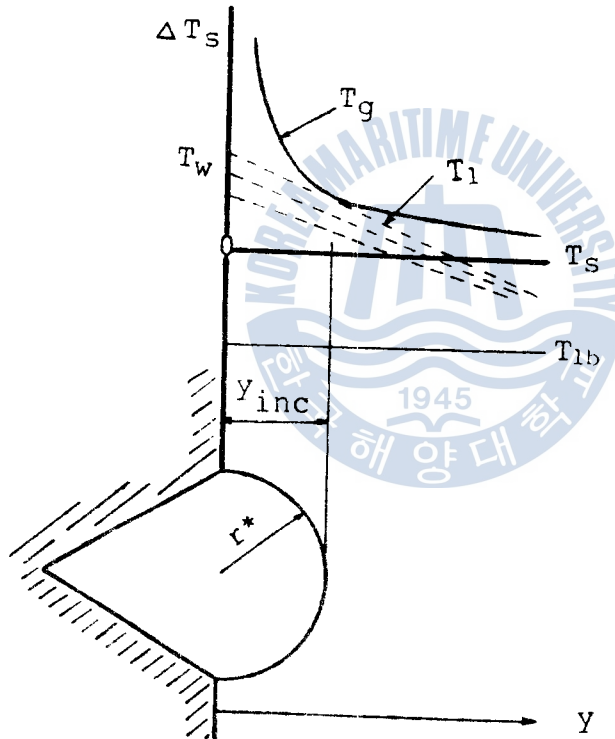


Fig. 2.4 Initiation of bubble growth in forced convection

$$T_g = T_s + \frac{T_s v_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma}{y} \quad (2.10)$$

면을 적시기 쉬운 보통의 액의 경우, 캐비티로 부터 기포가 발생하기 위해서는 기포는 항상 캐비티 위의 반구상(반경 r^*)의 상태를 변화도중 이루지 않으면 안되고, 또한 기포주위의 액온도는 기포로의 정미의 전열을 행할 수 있는 온도분포가 되지 않으면 안된다. 이 점으로 부터, Bergles 등은 간단히, 반경 r^* 의 반구상의 기포가 더욱 성장하기 위해서는, 전열면으로 부터의 거리 $y = r^*$ 에 있어서의 온도가 식(2.7)으로 주어지는 온도 T_g 보다 크지 않으면 안된다고 가정하고 있다.

이와 같이 가정하면, 비등은 액온도분포의 선이 T_g 곡선에 접할때, 그 거리 y 와 같은 개구반경을 갖는 캐비티에서 부터 개시된다는 것이 된다. 이 조건에서부터 Rohsenow⁽¹⁸⁾는 비등개시에 필요한 가열열유속과 과열도의 관계를 다음과 같이 구하고 있다.

Fig. 2.4 과 같이, T_g 곡선과 T_1 선이 접하는 위치를 y_{inc} , 이 때의 핵비등 개시 열유속을 q_{inc} 라고 하면 접점에서는 $T_g = T_1$ 이다. 따라서 식(2.9), (2.10)에서, 전열면 과열도는

$$(T_w - T_s)_{inc} = \frac{q_{inc}}{k_l} y_{inc} + \frac{T_s v_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma}{y_{inc}} \quad (2.11)$$

또한 이 점에서는 $\partial T_g / \partial y = \partial T_1 / \partial y$ 이므로

$$y_{inc} = \left(\frac{T_s v_g}{H_{lg}} \cdot \frac{2\sigma k_l}{q_{inc}} \right)^{1/2} \quad (2.12)$$

이를 식 (2.11) 에 대입하면 열유속과 전열면과열도의 관계

$$q_{inc} = \frac{k_l H_{lg}}{q \sigma T_s v_x} (T_w - T_s)_{inc}^2 \quad (2.13)$$

이 구해진다. Bergles-Rohsenow⁽¹⁾ 는 이 조건을 물의 압력 1~140 ata 의 범위의 여러가지 유동조건에 적용하여, 다음의 실험식의 형태로 표시되고 있다.

$$q_{inc} = 15.60 p^{1.156} (T_w - T_s)_{inc}^{\frac{2.30}{0.0234}} \quad (2.14)$$

단, q_{inc} 의 단위는 $kcal/m^2 h$, p 는 $kg/m s^2$, 또한 온도 T 는 C이다. 상술의 결과는, 전열면상에 여러가지 크기의 유효 캐비티가 존재한다고 가정하고 구한 것이다.

2.2 비등곡선

Fig. 2.5 는 여러 가지의 비등영역을 나타내고 있다. 이 그림은 물속에 잠겨있는 전기적으로 가열된 백금선으로 부터의 열유속을 온도차 $T_w - T_s$ 에 대하여 그린 것이다.

<영역 1>에서 표면근처의 유체운동은 자연대류에 의한다. 이 영역에서는 분체가 가열되면 근처의 액체가 약간 가열되어 표면으로 상승할 때 증발된다.

<영역 2>에서는 기포가 백금선의 표면에서 형성되기 시작하고 이 기포는 표면에서 깨어지며 액체 속에서 없어진다. 이 영역에서 핵비등이 시작된다. 온도차이가 더욱 커지면 기포가 더욱 급격히 형

성되어 액체의 표면으로 상승하여 사라지게 된다.

이것이 <영역 3>에 나타나 있다. 결국 기포가 급격히 형성되어 나중에는 가열면을 덮게 되고 새로운 액체가 유입하는 것을 방해하게 된다. 이 때에는 기포는 합쳐져서 증기막을 형성하여 면을 덮어버린다. 따라서 열이 액체에 도달하려면 이 막을 통하여 전도되지 않으면 안되므로 비등과정에 영향을 미치게 된다. 이 막의 열저항은 열유속을 감소시키게 된다.

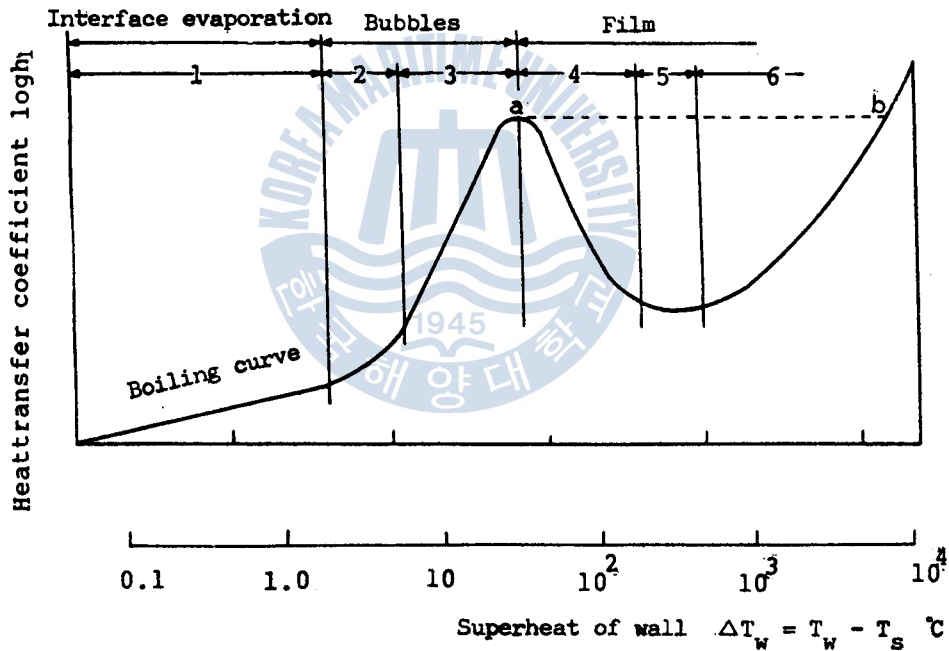


Fig. 2.5 Principal boiling regimes in pool boiling of water
(19)
at atmospheric pressure with electrically heated platinum wire

이 현상은 <영역 4> 즉 막비등영역에서 볼 수 있다. 이 영역은 핵비등으로 부터 막비등으로의 천이를 나타내며 불안정하다. 안정된 막비등은 <영역 5>에서 나타난다. 안정된 막비등을 유지하려면 면의 온도가 높아야 한다. 이 조건이 만족될 때에는 면에서 잃은 열의 상당부분이 <영역 6>에 표시된 바와 같이 열복사에 기인하게 된다.

실기적으로 가열된 선은 점 a에서 불안정하다. 왜냐하면 이 점에서의 작은 온도증가 ΔT_w 비등열유속의 감소를 가져오기 때문이다. 그러나 가열된 선은 같은 열유속을 달성해야 하고 비등곡선이 더욱 내려가기 때문에 선의 온도가 올라간다.

실제 관찰상대는 막비등영역 내의 점 b에 해당. 다시 이루어질 수 있다. 이 온도는 보통선의 온도정보보다 높기 때문에 선이 더 빨리게 된다. 계 (System)가 점 a에 도달할 때 갑자기 에너지를 잃으면 부활비등과 불안정한 막영역을 관찰할 수도 있다.



제 3 장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

Fig. 3.1 에 실험장치 개략도를 나타냈으며, Photo.1 은 실험장치 전경을 나타낸다. 용기는 두께 3 mm의 강재로서, $400 \times 400 \times 400$ mm의 크기이며 용기의 전후면에는 비등현상을 잘 관찰할 수 있도록 직경 130 mm ϕ 의 원형관찰창 및 30 W 백열등을 설치하였다. 용기의 측면에 좌우로 엇갈리게 투입식전기히터 (100 V, 1.5 kw)를 설치하여 용기내의 물의 온도를 조절할 수 있게 하였다. 시편의 가열량 조절에 사용한 슬라이더는 용량 10 kVA, 1 차측 정격전압 100 V, 2 차측 최대전압 130 V, 2 차측 최대전류는 80A 이다. 아울러 유체의 온도를 조절하기 위해서는 1 차측 정격전압 100V, 2 차측 최대전압 130 V, 2 차측 최대전류 23.1A의 슬라이더를 사용하였다.

가열량을 측정하기 위하여 디지털멀티메타를 사용하여 시편에 걸리는 전기저항 및 전압을 측정하여 가열량을 산출하였다. 실험부의 시편은 Fig. 3.2, Photo.2에 나타낸 바와 같이 길이 105 mm, 폭 3.2 mm, 두께 0.2 mm이며 시편의 화학성분 및 기계적 특성은 Table 3.1과 같다. 시편의 양단에 작은 클램프를 만들어서 접촉을 최대로 시켜 접촉저항을 최소로 줄이고 시편 교체작업을 용이하게 하였다. 시편의 양단에 걸리는 전압 및 열기전력을 측정하기 위하여 디지털멀티메타 두 대를 사용하였다.

시편에 흐르는 전류가 용기에 흐르는 것을 방지하기 위하여 스

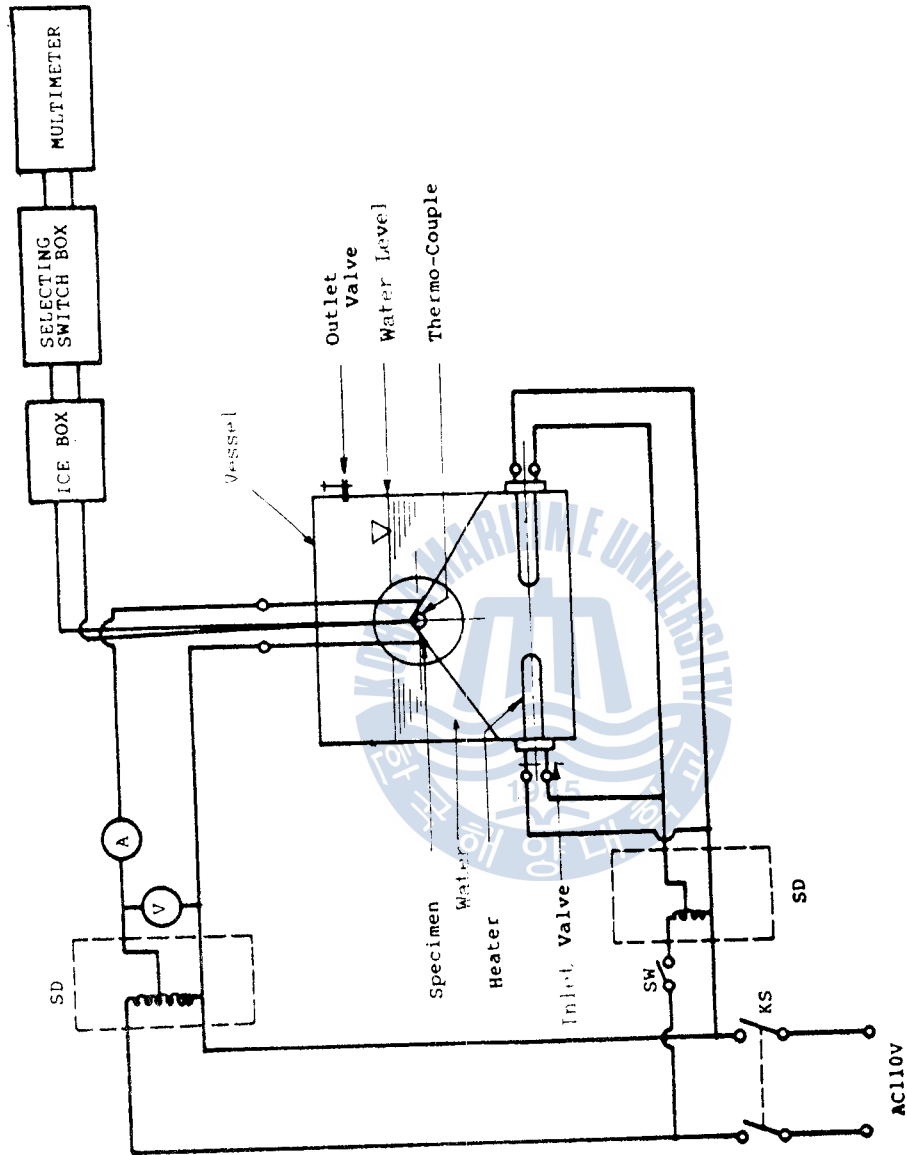


Fig. 3.1 Schematic of experimental apparatus

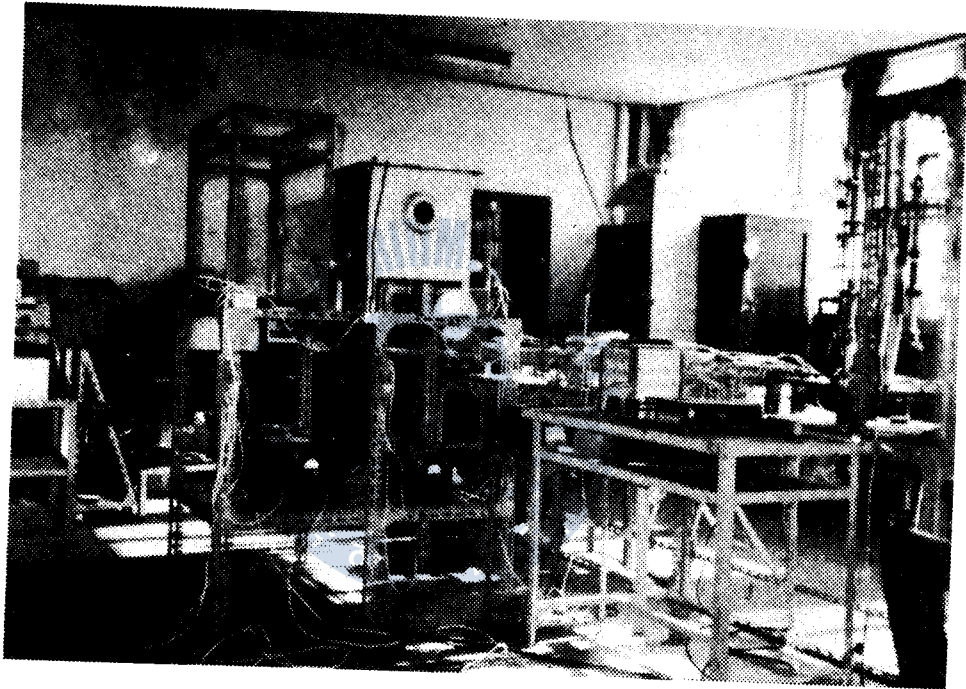


Photo. 1 complete view of experimental apparatus

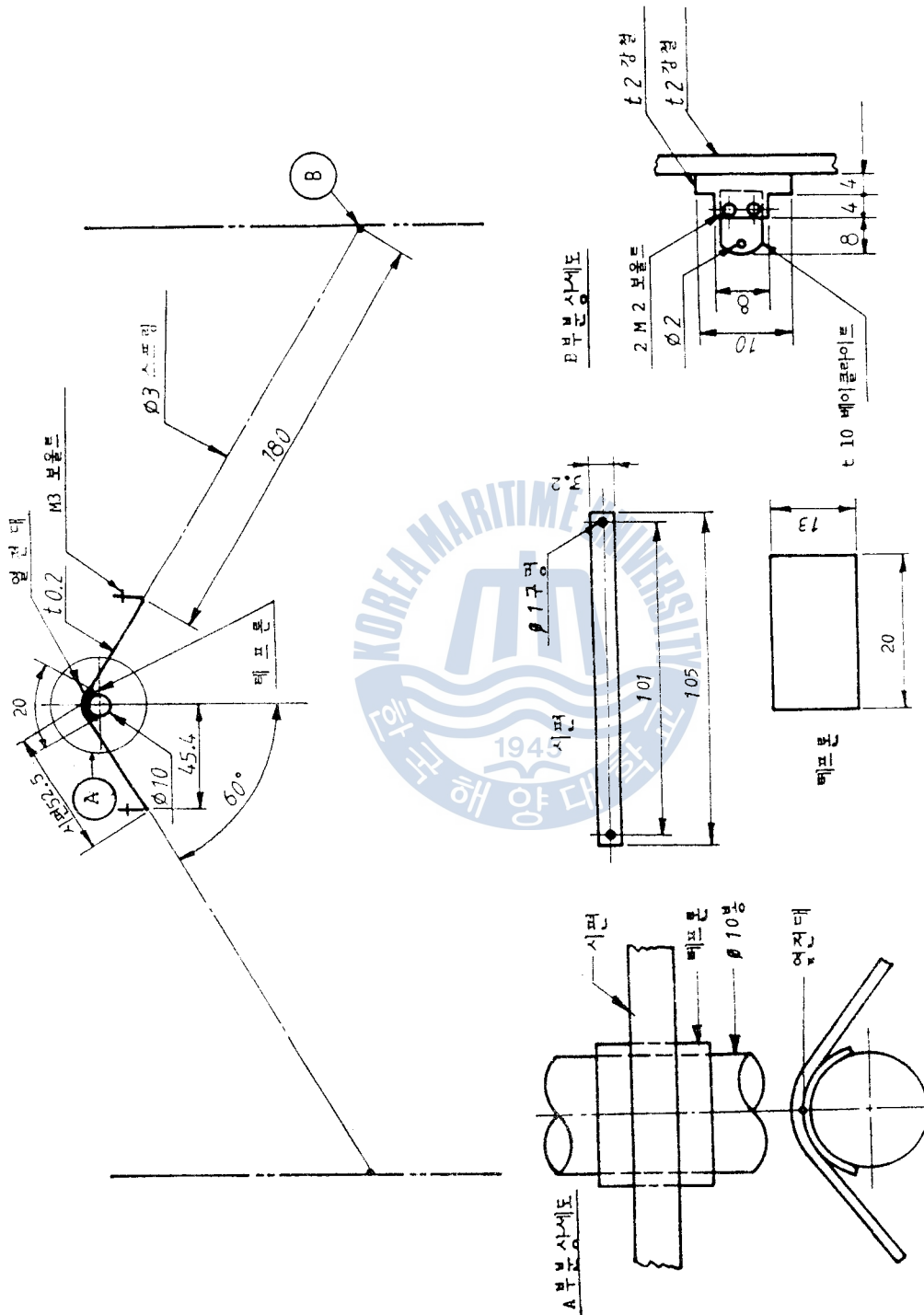


Fig. 3.2 Experimental part



Photo. 2 Experimental vessel

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 該沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

프링 (180, t3) 양단에 두께 10 mm의 베이클라이트로 고정시켰다. 용기의 배수를 위하여 $\frac{1}{2}$ 인치 니어들밸브를 설치하였으며 관찰창을 분해할 수 있도록 관찰창 소임기구를 제작하였다. 실험용 시편에 부착된 열전대는 열전대 기준 접점용 상자에 연결된다. 발생된 열기전력은 선택스위치상자에서 디지털멀티메타에 입력되어 열기전력을 측정하도록 하였다. 열전대 기준 접점에는 살개 부순 얼음과 소량인 물을 혼합하여 냉각수 기준점점의 온도를 0°C로 유지하였다.

Chemical compositions *						
Ni	Cr	Al	C	Si	Mn	Fe and the other
57	15-18	0	0.15	0.75-1.5	1.5	Residue

Mechanical properties				
Thermal conductivity kcal/mh°C	Specific heat kcal/kg°C	melting temp. °C	tensile stress kg/m s ²	density kg / m ³
10.8	0.11	1300	637 -- 784	8,250

Table 3.1 Chemical compositions and physical properties of test piece

3.2 열전대 제작 및 검정

시편의 열기전력을 측정하기 위한 열전대는 C-A로서 굵은 선과 소선을 조합한 보상도선(Extension wire)를 사용하였다. 제작 방법은 슬라이더를 이용하여 적정한 전압(60V)으로 강하시켜 연필심을 이용하여 방전을 시켜 제작하였으며, 열전대 접점이 시편에 잘 접촉될 수 있도록 세밀한 주의를 하였다. 실험실에서 사용한 제작장치는 Fig. 3.3 과 같다.

열전대 검정장치는 Fig. 3.4 와 같다. 그림에 나타낸 바와 같이 열전대 검정장치는 내경 110 mm, 두께 5 mm, 높이 200 mm의 쇠 파이프로 제작하였다. 그 쇠 파이프 외부에 설치한 가열선은 운모튜브를 끼워 절연이 되게 하여, 관하부에서 부터 약 2/3 높이까지 감고 글라스울 튜브로 고정시켰다. 가열선의 입력전원은 슬라이더로 조절하여 소정의 온도로 일정히 유지한 상태에서 2개의 열전대를 동시에 동일한 온도에서 검정할 수 있게 하였다. 검정용 유체는 온도를 0°C ~ 100°C 범위에서는 물을 사용하고, 100°C 이상에서는 식용유를 사용하였다.

본 실험에서는 300°C 까지 검정을 행하였다. 용기내에서 가열되어지는 유체는 그 온도차를 최소로 하기 위해 스탠드에 고정된 소형 모터(60 Rpm)에 직경 약 30 mm의 프로펠러를 직결하여 회전시킴으로써, 열전대 검정장치내의 유체온도차를 0.1°C 이하가 되게 하였다. 표준온도계는 별도의 스탠드에 고정시켰으며, 동시에 검정할 2개의 열전대는 Fig. 3.4 과 같이 아이스박스, 로타리스위치를 거쳐

물沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

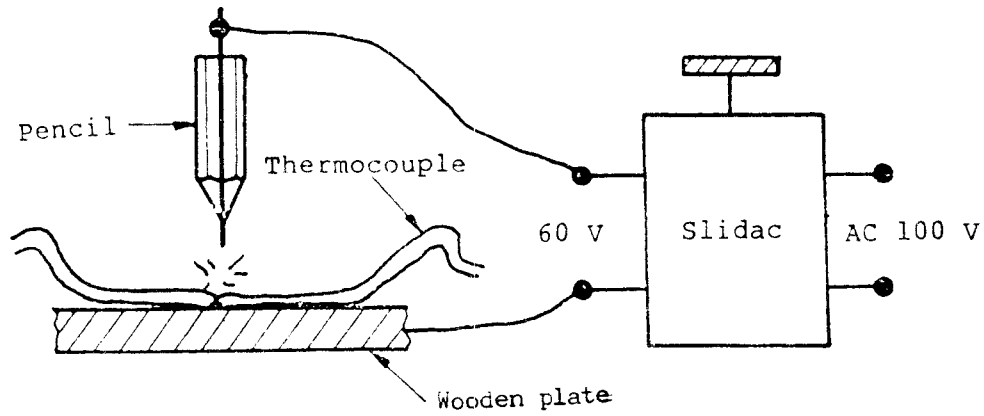


Fig. 3.3 Manufacturing apparatus of thermocouple

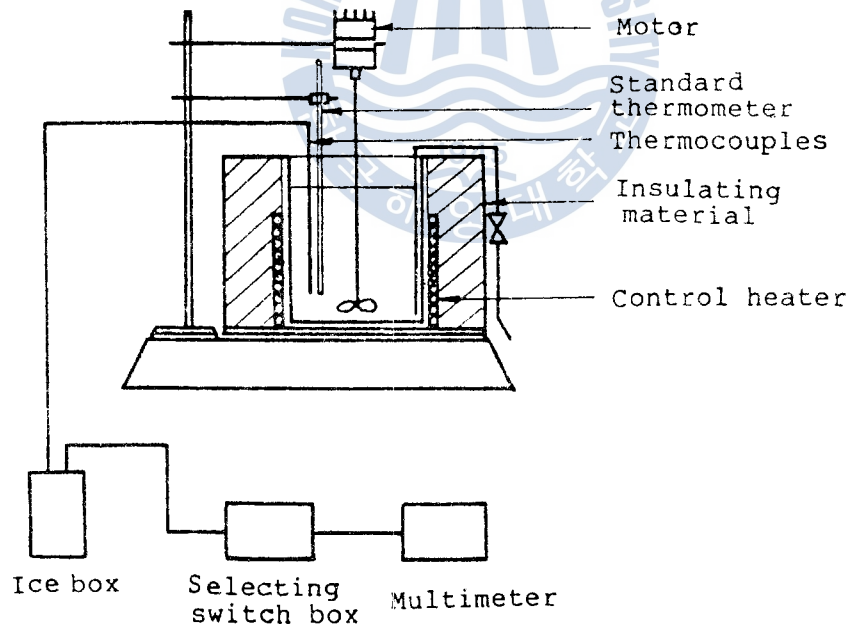


Fig. 3.4 Calibration apparatus for thermocouples

디지털멀티메타에서 그 기전력이 측정되게 하였다. 실험 후 장치내의 유체를 제거하기 위해 배수관을 설치하였다.

검정결과는 Fig.3.5, Fig.3.6 과 같으며, 그림중의 검정직선은 최소자승법으로 처리하여 구한 것이다.



공沸騰에 있어서 液體溫度의 核沸騰特성에 關한 研究

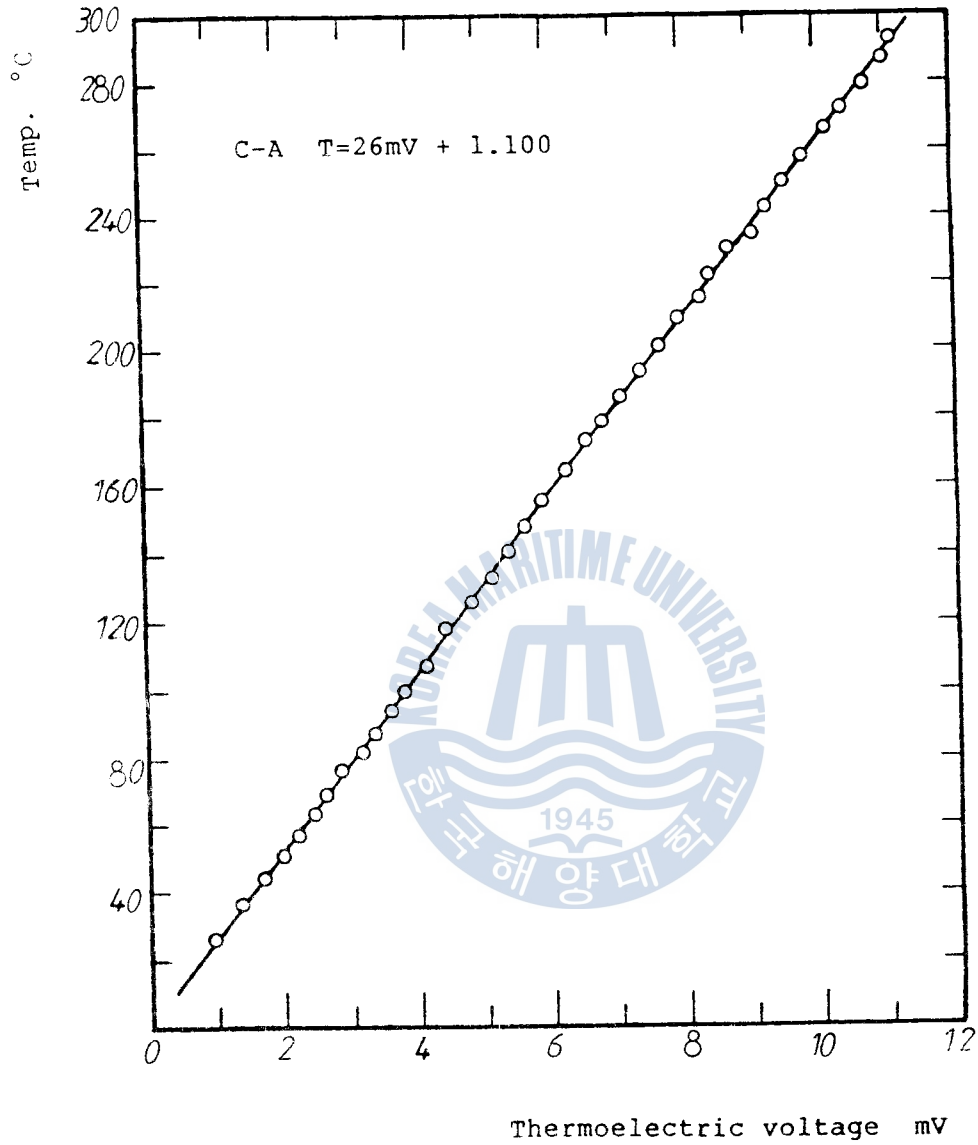


Fig. 3.5 Experimental curve of C-A thermocouple for measuring test piece temperature

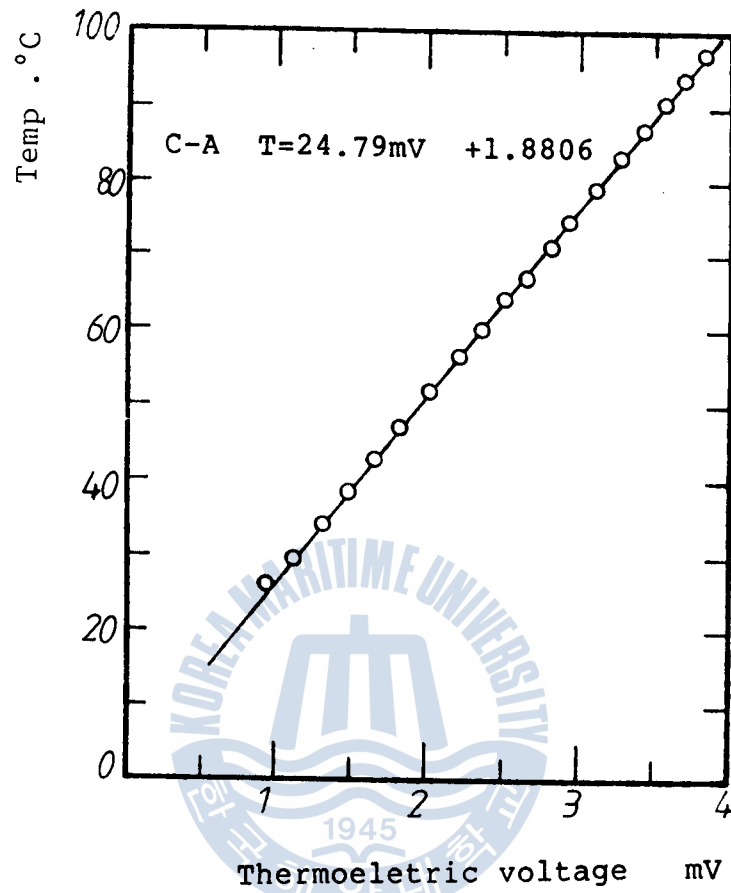


Fig. 3.6 Experimental curve of C-A thermocouple for measuring water temperature

물沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

3.3 실험방법

본 실험은 풀비등에 있어서 액혼합 평균온도가 핵비등 특성에 미치는 영향을 알기 위한 것이다. 액혼합 평균온도 T_{1b} 는 18.3, 23.6, 30.1, 37.5, 49.2, 61.3, 76.9 °C에서 행하였다.

용기내에서 물을 넣어서 용기측면에 설치된 투입식히터 (100V, 1.5kw)로 액혼합 평균온도를 조정하였으며 균일한 온도로 유지할 수 있도록 세심한 주의를 기울였다. 시편과 단열재 사이 열전대를 삽입함에 있어 최대한 접촉을 시켜, 시편과 단열재 틈 사이로 물이 들어와 비등하는 일이 없도록 하였다. 열전대는 단열된 시편의 중앙부의 온도를 시편의 내부온도로 채택하였다.

초기핵비등 현상을 잘 파악하기 위해, 백열등 (30W)을 설치하여, 용기내부를 밝게 하였으며 핵비등이 발생하기 시작하는 근방의 가열량을 최소열유속으로 취하였으며 이를 위해 정밀한 디지털멀리메타를 설치하였다. 예비실험에서 구하여지는 개략의 한계열유속을 구해서 본 실험에서는 전열면소손 근처에서 슬라이더를 서서히 조절하여 정확한 한계열유속을 측정하였다.

시편에 부착된 열전대의 정확한 열기전력을 측정하기 위하여 아이스박스에 들어가는 얼음을 잘게 부수기 위한 나무망치를 제작하였으며, 얼음에 불순물이 들어가는 것을 막기 위하여 깨끗한 형깎을 사용하였다. 용기에 사용하는 유체는 실험이 끝날 때마다 배수하여 용기가 녹스는 것을 방지하였다.

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 전열면온도 및 열유속의 수치계산

본 연구에서는 최근 Patankar⁽¹²⁾에 의한 TDMA(Tridiagonal Matrix Algorithm)에 의하여 열전도 수치해석을 하였다. 본 연구에서 실험한 시편은 Fig.3.2에서 보는 바와 같이 길이 105 mm, 폭 3.2 mm, 두께 0.2 mm이므로 상부의 전열면으로 나가는 열유속에 비해 측면으로 나가는 열유속은 무시할 정도이다.

따라서 본 실험에서 측정된 전열면의 내부온도에서 전열면 표면의 온도를 계산하기 위한 수치계산에 있어서는 1차원 열전도 문제로 해석을 하였다.

일차원 정상상태 열전도 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \dot{q} = 0 \quad (4.1)$$

단, \dot{q} 는 단위체적당 열발생율, k 는 열전도율이다.

본 연구에서는 식(4.1)을 Patankar⁽¹²⁾의 1차원 열전도 수치계산식인 이산화방정식(Discretization equation)을 도입하여 수치계산을 행하였다. 이산화방정식은 다음과 같다.

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i T_{i-1} + d_i \quad (4.2)$$

단, i 는 1부터 11까지이며, 온도 T_i 는 이웃하고 있는 온도 T_{i+1} 와 T_{i-1} 로서 표시된다. 1과 11은 경계점(Boundary points)

이다.

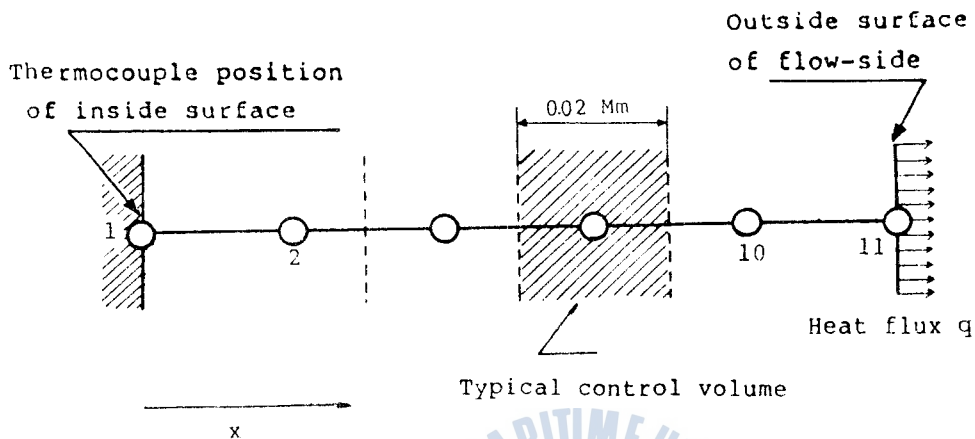


Fig. 4.1 Control volumes for the internal and boundary points

경계점 $i = 1$ 과 $i = 11$ 에서 식 (4.2) 을 적용하면 다음과 같이 된다.

$$a_1 T_1 = b_1 T_2 + c_1 T_0 + d_1 \quad (4.3)$$

$$a_{11} T_{11} = b_{11} T_{12} + c_{11} T_{10} + d_{11} \quad (4.4)$$

식 (4.3) 과 (4.4) 를 고찰해보면 온도 T_0 와 온도 T_{12} 격차점은 Fig. 4.1 에서 존재하지 않으므로, c_1 과 b_{11} 은 0 가 된다. 격차점 1 에서는 단열되어 있고 열전대에 의하여 온도 T_1 을 알 수 있으므로 $a_1 = 1$, $b_1 = 0$, $c_1 = 0$, $d_1 = T_1$ 이다.

식 (4.3) 을 보면 온도 T_1 은 온도 T_2 에 의해 표시된다. 격자점 2 에서는 식 (4.3) 에서 보는 바와 같이 온도 T_1, T_2, T_3 가 관련된다. 식 (4.3) 에서 온도 T_1 은 온도 T_2 에 의해 표시되기 때문에 격자점 2 의 온도 관계에서 온도 T_2 는 온도 T_3 에 의해 표시 가능하다. 이 과정을 반복 시행하면 온도 T_{10} 은 온도 T_{11} 에 의해 표시 되어진다.

위에 언급한 내용을 전방치환법 (Forward-substitution process) 이라고 한다. 온도 T_i 는 온도 T_{i+1} 에 의해 표시된다고 가정하면 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$T_i = P_i T_{i+1} + Q_i \quad (4.5)$$

식 (4.1) 과 유사하게 T_{i-1} 는 T_i 에 의해 표시하면 다음과 같다.

$$T_{i-1} = P_{i-1} T_i + Q_{i-1} \quad (4.6)$$

식 (4.6) 을 식 (4.2) 에 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i (P_{i-1} T_i + Q_{i-1}) + d_i \quad (4.7)$$

식 (4.7) 을 온도 T_i 에 대해 정리하여 식 (4.5) 와 비교하면 P_i , Q_i 는 다음과 같다.

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (4.8)$$

$$Q_i = \frac{d_i + c_i Q_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (4.9)$$

물沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

경계면의 하나인 격자점 1에서 P_1, Q_1 은 다음과 같이 표시된다.

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1} \quad (4.10)$$

$$Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \quad (4.11)$$

그리고 격자점 11에서는 $b_{11} = 0$ 이므로 식(4.8)에서 $P_{11} = 0$ 가 된다. 식(4.5)의 i 에 11을 대입하면 격자점 11에서 온도 T_{11} 은

$$T_{11} = Q_{11} \quad (4.12)$$

이 된다.

구체적인 계산용 프로그램 및 플로우 차트는 부록 A에 나타내고 수치 계산에 적용된 절점간의 거리는 0.02 mm 이며 격자점 수는 11개로 채택하였다.

4.2 전열면온도에 관한 고찰

식(2.13)에 100°C 증기비체적 $v_g = 1.67 \text{ m}^3/\text{kg}$, 100°C 물의 열전도율 $k_s = 0.586 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$ 을 대입하여 초기비등시의 전열면온도 T_{winc} 를 구하여 실험치와 비교한 그림이 Fig.4.2이다. 실험에서 구한 결과와 식(2.13)에서 구한 결과는 낮은 액혼합 평균온도에서는 상당한 차이를 보이나 액혼합 평균온도가 높을수록 그차는 줄어들며 액혼합 평균온도가 100°C 에 이르면 실험결과와 일치하리라 본

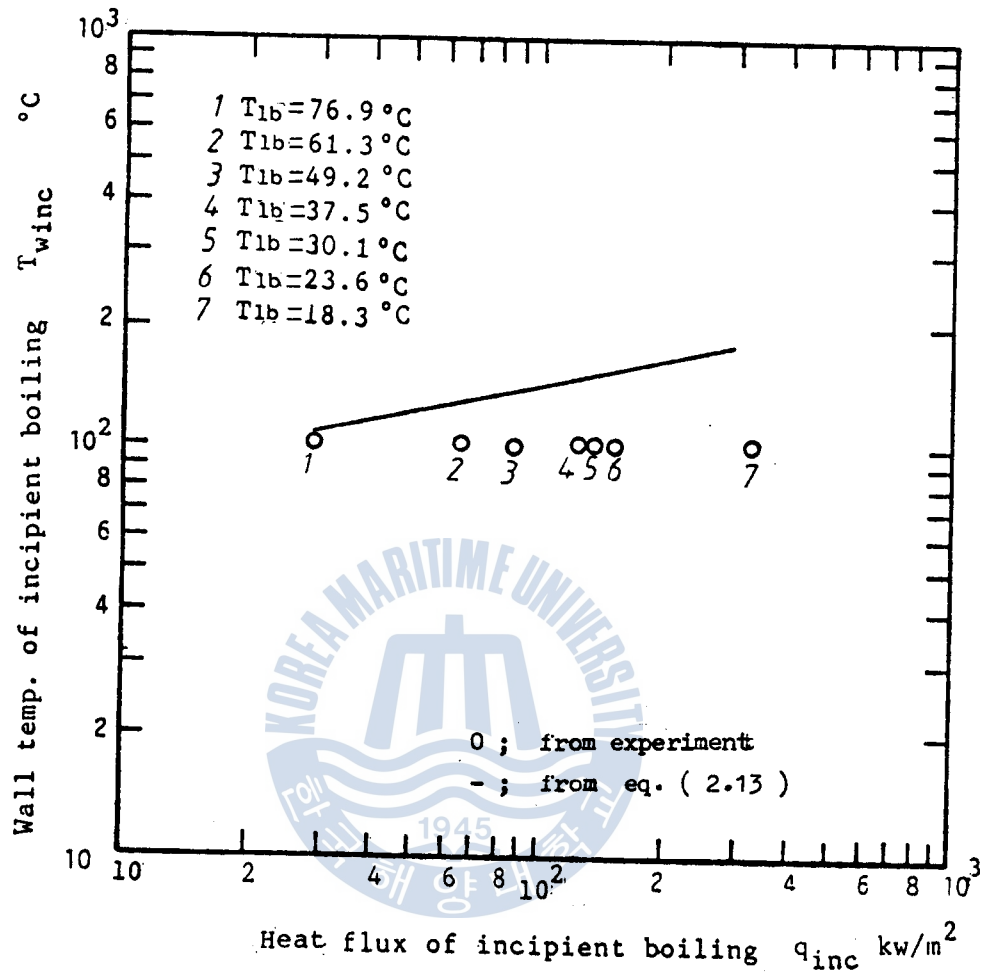


Fig. 4.2 Wall temperature of incipient boiling versus heat flux of incipient boiling

다.

식(2.14)에 대기압력 $p = 101,234 \text{ kg} / \text{m s}^2$, 물의 포화온도 $T_s = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 를 대입하여 초기비등시 전열면온도 T_{winc} 를 구하여 실험치와 비교한 그림이 Fig.4.3 이다. 실험에서 구한 결과와 식(2.14)에서 구한 결과는 잘 일치함을 알 수 있으며 이는 식(2.14)가 광범위한 물의 압력과 여러가지 유동조건을 고려한 실험식이기 때문에 잘 일치하는 것으로 생각된다.

실험에서 구한 전열면온도, 열유속과, Table 4.1의 물성치를 Rohsenow⁽²⁰⁾ 식

$$\frac{C_{ps} \Delta T_w}{H_{sg}} = C_{sf} \left[\frac{q}{H_{sg}(\mu_s \cdot g)} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_s}{\gamma_s - \gamma_g}} \right]^{0.33} \cdot P_{rs}^s \quad (4.13)$$

에 대입하여 구한 전열면온도, 열유속 관계를 Fig.4.4부터 Fig. 4.10 까지 비교하였다. 단, C_{ps} 는 포화수 정압비열, ΔT_w 는 전열면 과열도, H_{sg} 는 증발열, C_{sf} 는 유체와 전열면 조합으로 결정되는 정수, σ_s 는 포화수의 표면장력, γ_s 는 포화수의 비중량, γ_g 는 포화수증기의 비중량, P_{rs} 는 포화수의 프란틀수, g 는 중력가속도, q 는 열유속이다. 그림에서 보는 바와 같이 실험치와 Rohsenow식의 계산결과는 약간의 차이를 보인다. 이는 본 실험의 조건은 아냉각비등이며 Rohsenow의 계산식은 포화비등에서 얻은 실험식이기에 실 실험의 결과와 계산결과는 약간의 차이가 나타나는 것으로 생각되어진다.

4.1의 수치해석에서 얻은 전열면 표면온도와 열유속 관계를 Fig. 4.11에, 전열면 표면온도와 열전달율 관계를 Fig.4.12에 나타내었다.

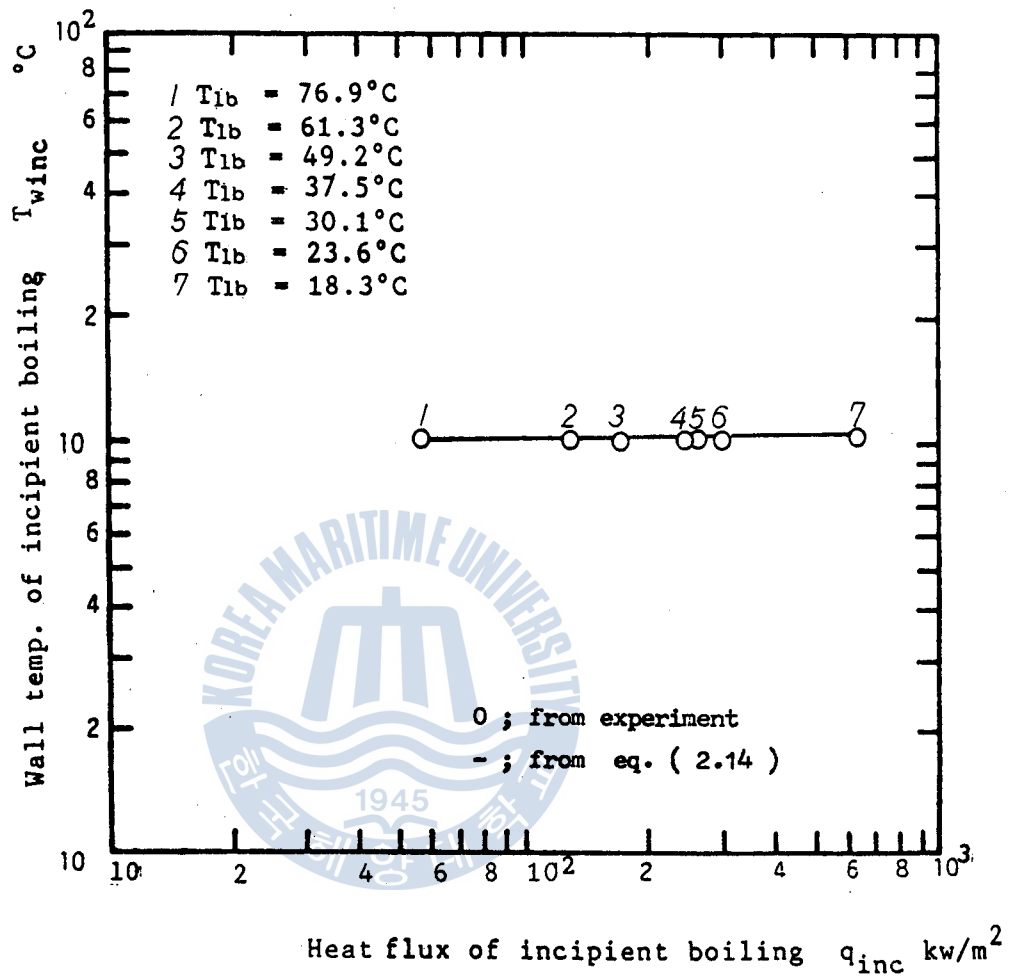


Fig. 4.3 Wall temperature of incipient boiling versus heat flux of incipient boiling

No.	Properties			
1	Thermal diffusivity	a_s (m^2 / h)	6.08×10^{-4}	
2	Constant determined by fluid and wall combination	C_{sf}	6.00×10^{-3}	
3	Acceleration of gravity	g (m / s^2)	9.8	
4	Latent heat of vaporization	H_{sg} (kcal/kg)	539.1	
5	Atmospheric pressure	p (kg/m s^2)	1.01×10^5	
6	Prandtl number	Pr_s	1.76	
7	Saturated water	Specific heat	C_{ps} (kcal/kg $^{\circ}C$)	1.007
8		Thermal conductivity	k_s (kcal/mh $^{\circ}C$)	0.586
9		Temperature	T_s ($^{\circ}C$)	100
10		Specific weight	γ_s (kg /m $^2s^2$)	9,389
11		viscosity	μ_s (kg/m s)	0.284×10^{-3}
12		Surface tension	σ_s (kg / s^2)	0:06
13	Saturated vapor	Specific volume	v_g (m^3 / kg)	1.67
14		Specific weight	γ_g (kg/m $^2s^2$)	5.86

Table 4.1 Properties of saturated water and vapor

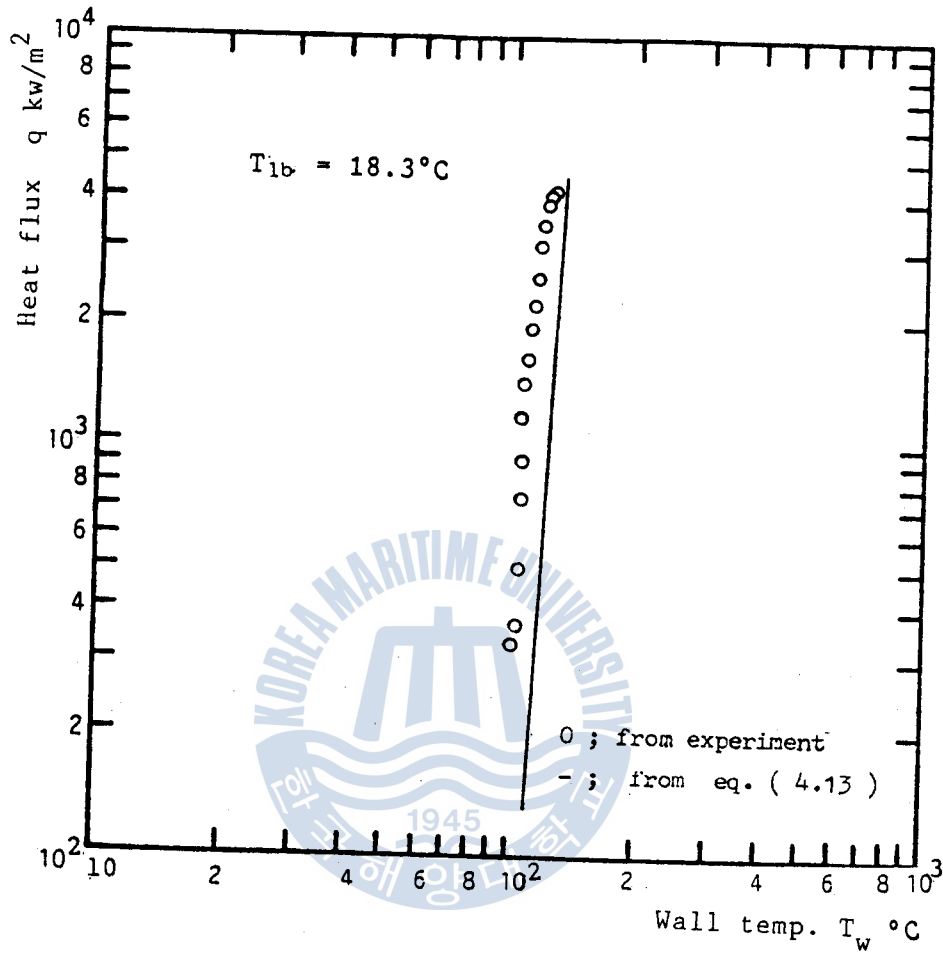


Fig. 4.4 Heat flux versus wall temperature

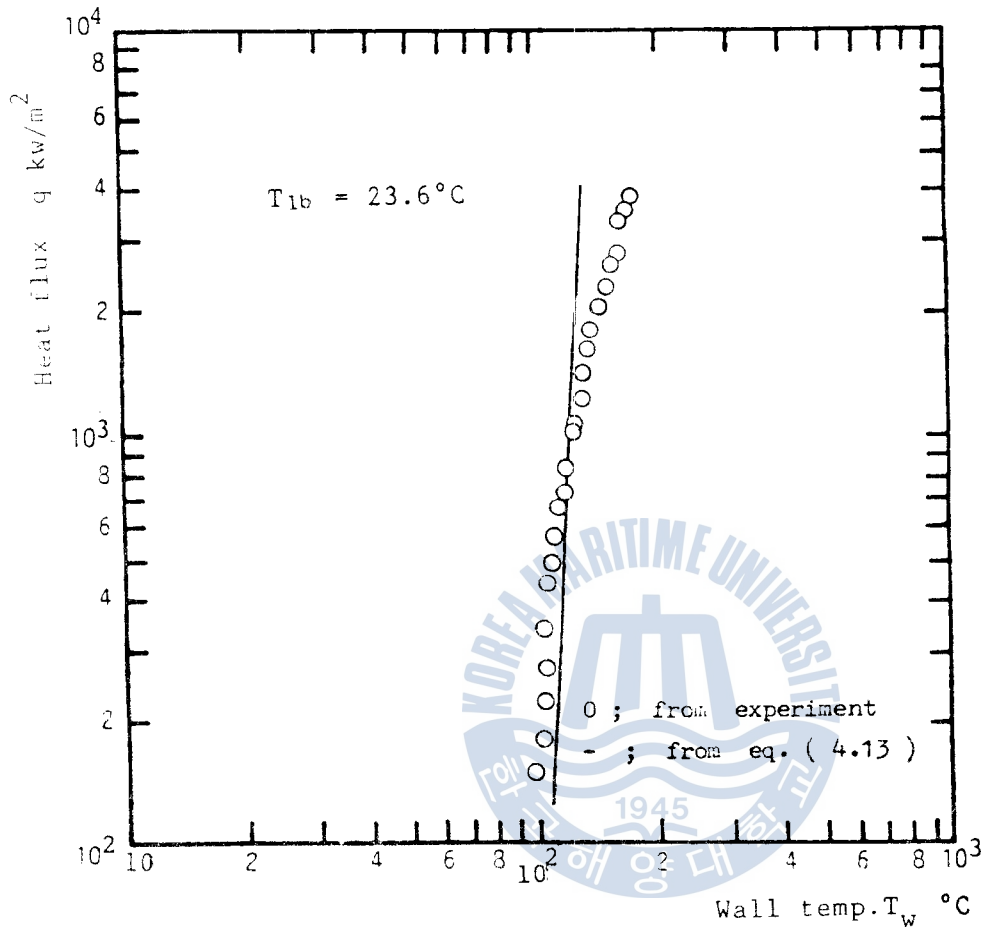


Fig. 4.5 Heat flux versus wall temperature

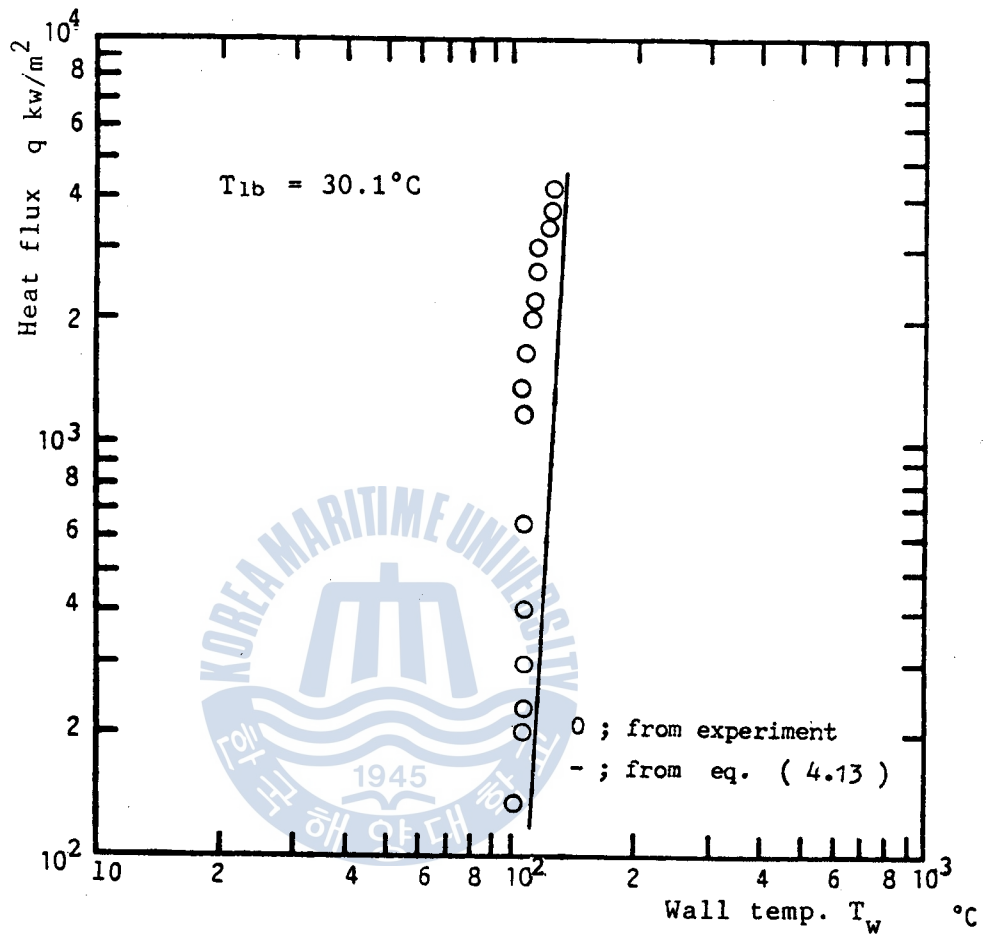


Fig. 4.6 Heat flux versus wall temperature

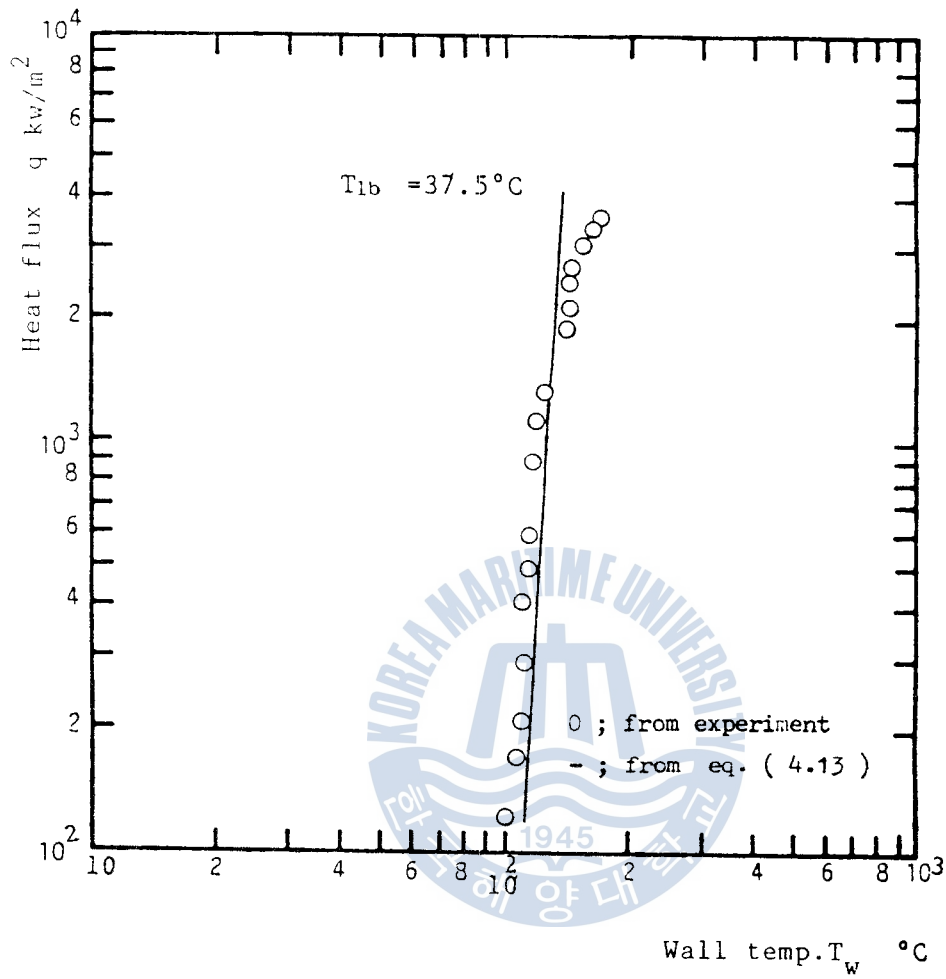


Fig 4.7 Heat flux versus wall temperature

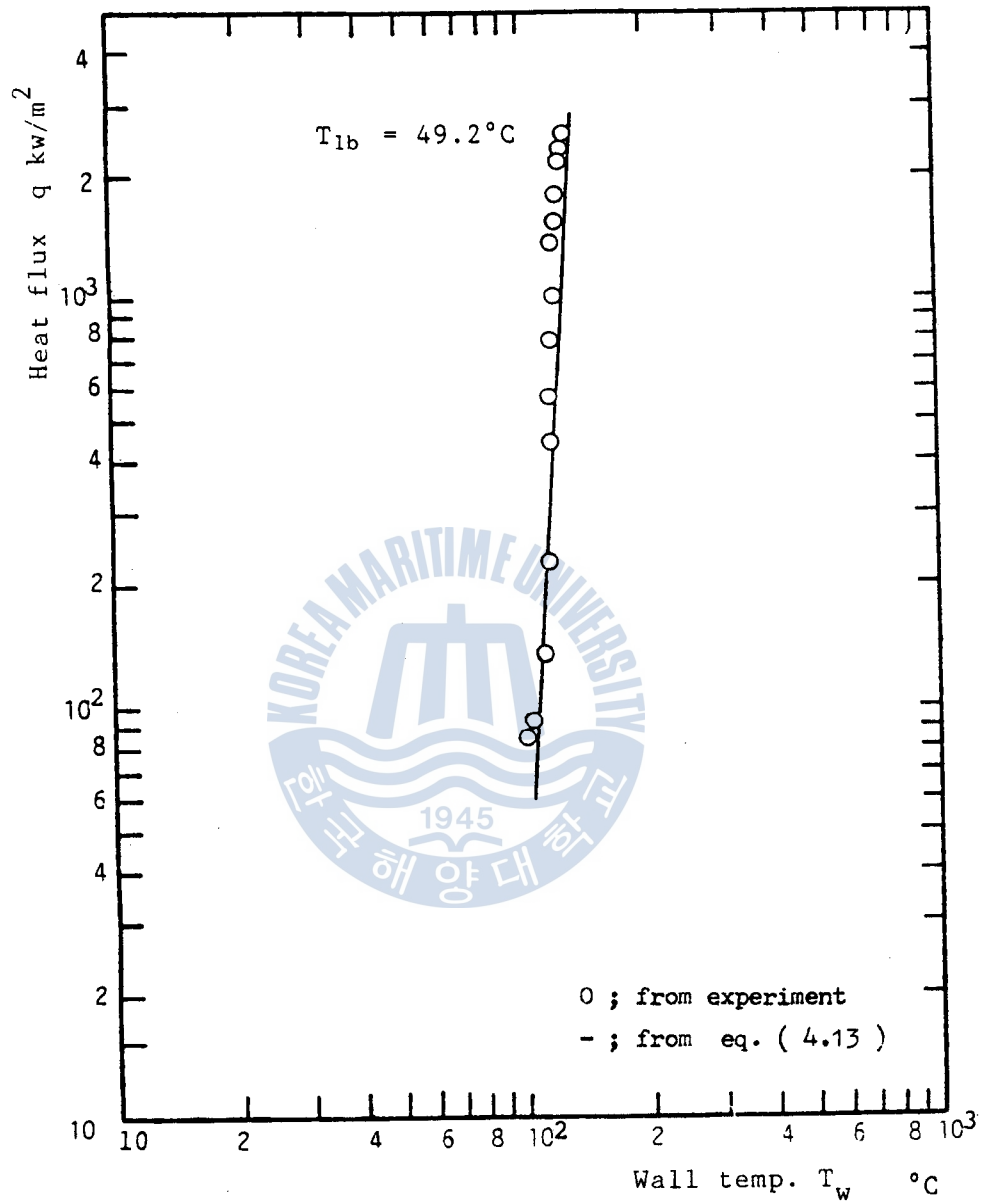


Fig. 4.8 Heat flux versus wall temperature

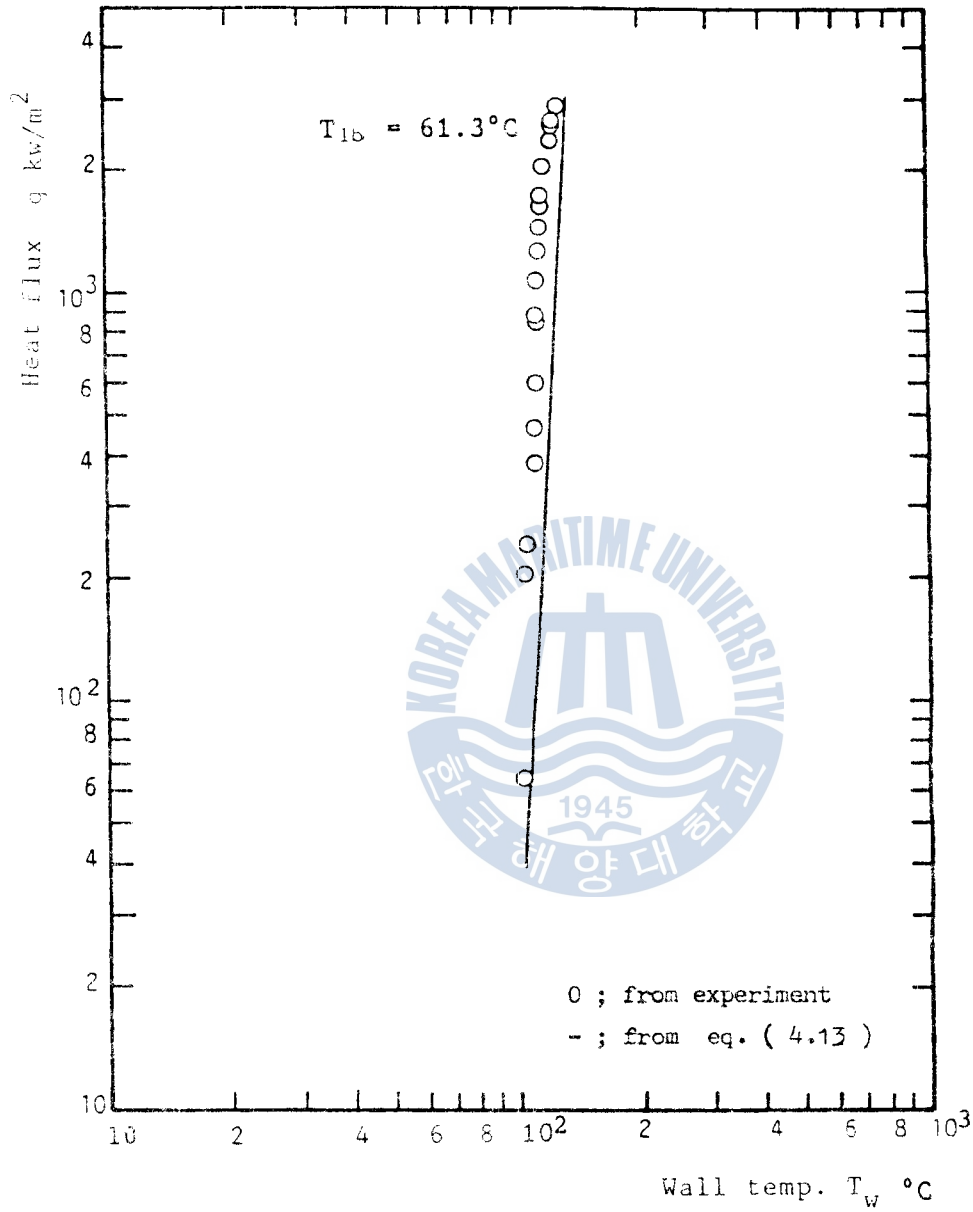


Fig 4.9 Heat flux versus wall temperature

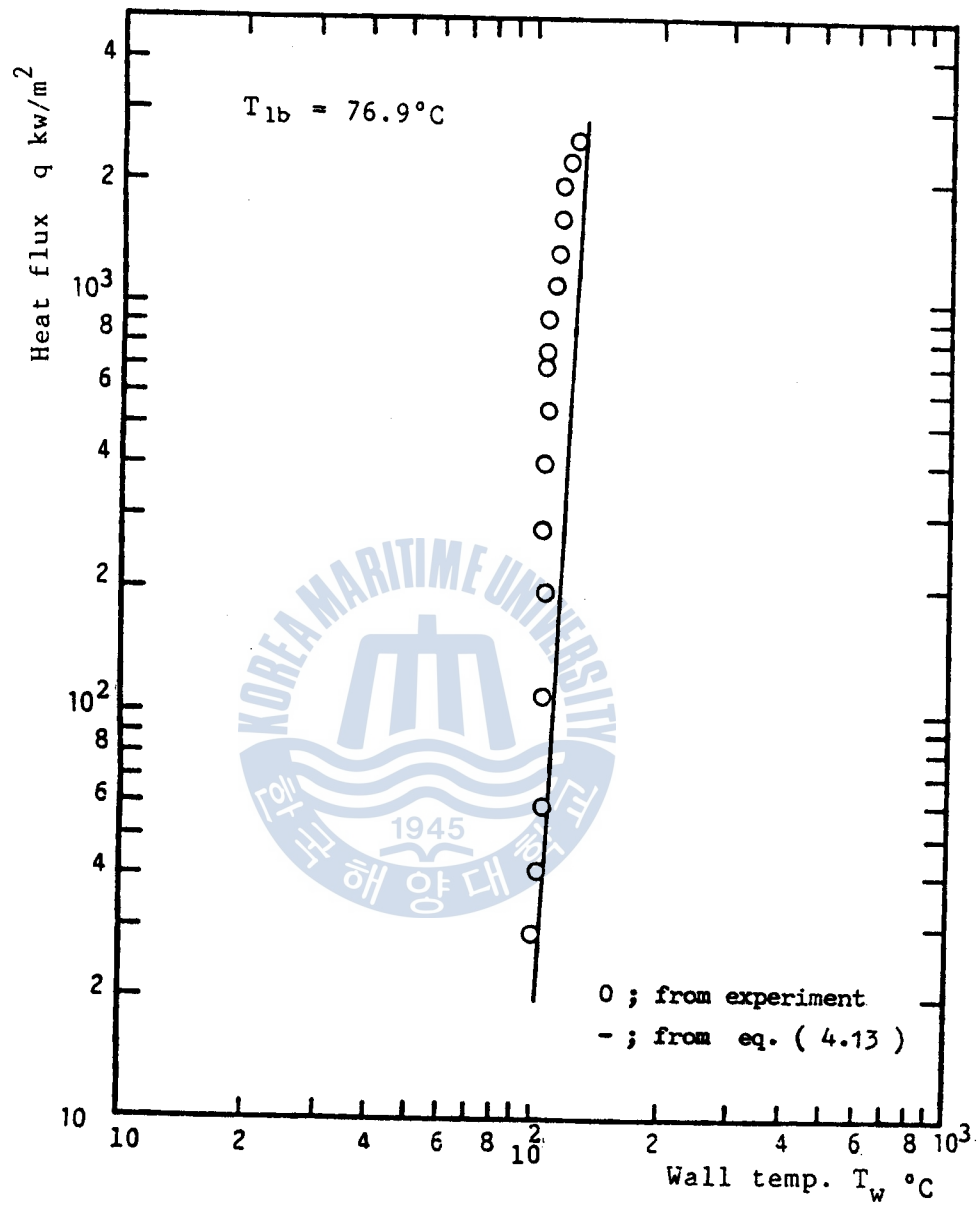


Fig. 4.10 Heat flux versus wall temperature

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 관한 研究

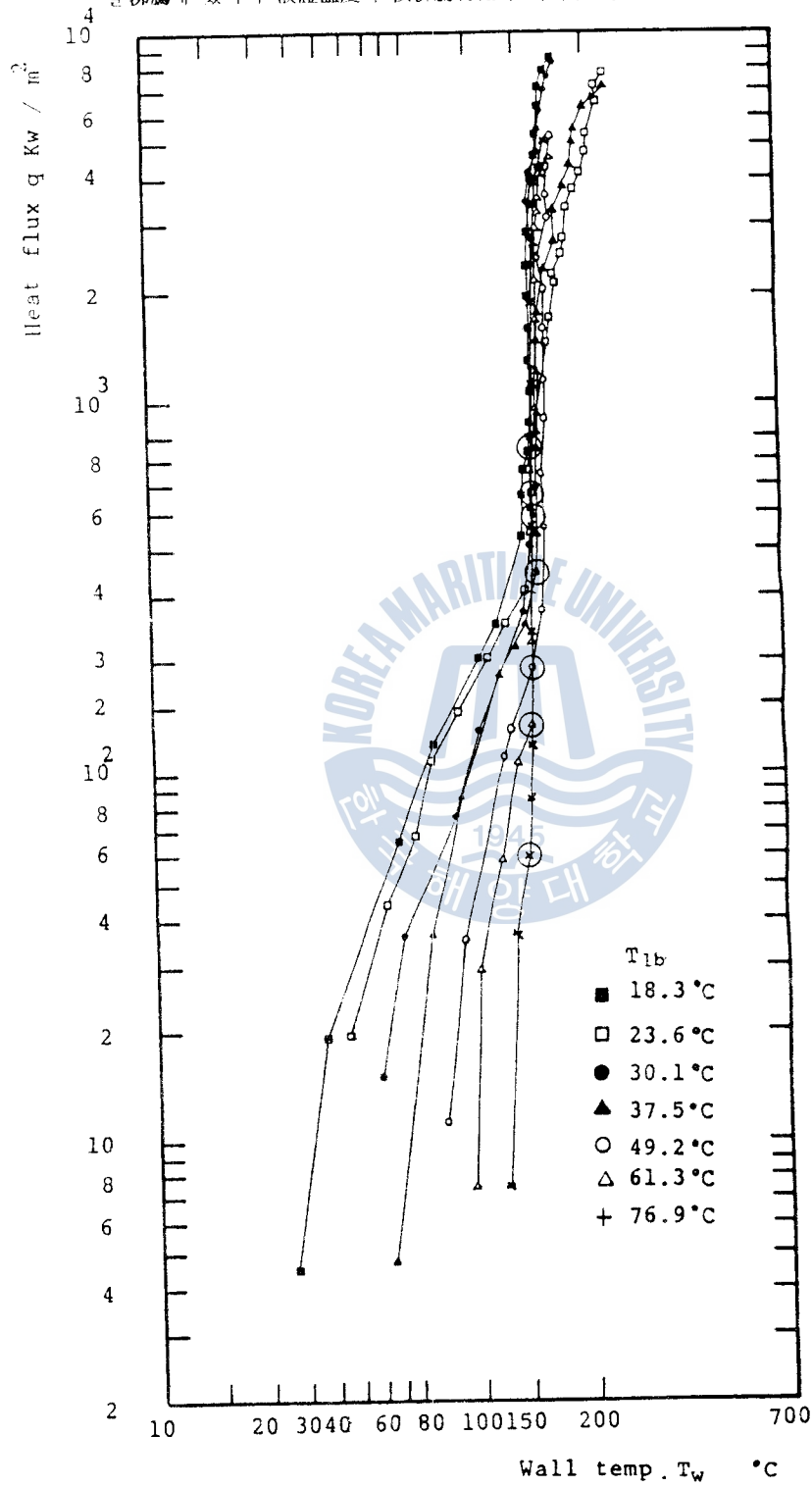


Fig. 4.11 Subcooled boiling heat flux versus wall temp.

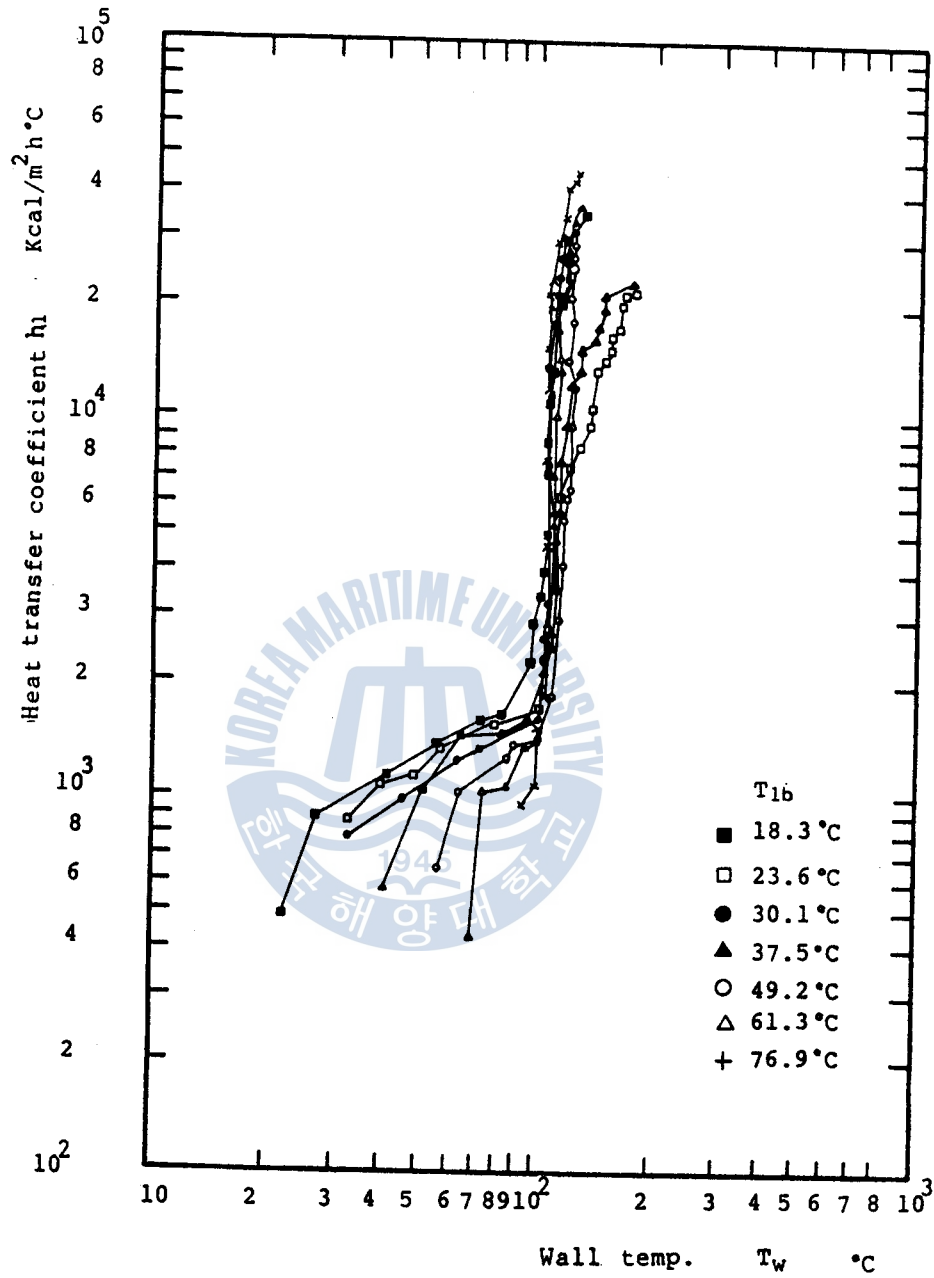


Fig. 4.12 Subcooled heat transfer coefficient versus wall temp.

亂沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

각 비등곡선에서 알 수 있듯이 액 혼합 평균온도가 증가할수록 자연 대류영역에서는 우측으로 이동하고 핵비등 이후의 영역에서는 비등 전이 집중화되는 경향을 보여 액 혼합 평균온도가 핵비등 이후의 영역에서는 그다지 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.



4.3 액 혼합 평균온도에서 구한 기포반경과 과열도

식 (2.12) 에 표 4.1 의 물성치를 대입하여 기포반경을 산출한다.

식 (2.2) 의 우변을 일정한 상수라고 두면 다음과 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{v_g - v_l}{H_{lg}} \right) \cdot T = \text{const.} \quad (4.14)$$

여기서 $T_1 \approx T_g$ 라 가정하여 식 (4.14) 를 온도 T_1 에서 T_g 까지, 압력 P_1 에서 P_g 까지 적분하면 다음식이 된다.

$$T_g = T_s \left(1 + \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{v_{sg}}{H_{sg}} \right) \quad (4.15)$$

단, r 은 기포의 반경이다.

식 (4.15) 에 표면장력 $\sigma = 0.06 \text{ kg/s}^2$, 포화온도 100°C 에서 비체적 차이 $v_{sg} = 1.67 \text{ m}^3/\text{kg}$, 포화온도 100°C 에서 증발열 $H_{sg} = 539.05 \text{ kcal/kg}$ 대입하여 증기온도 T_g 를 계산한 후 액의 과열도와 기포반경 관계를 Fig. 4.13 에 나타냈다.

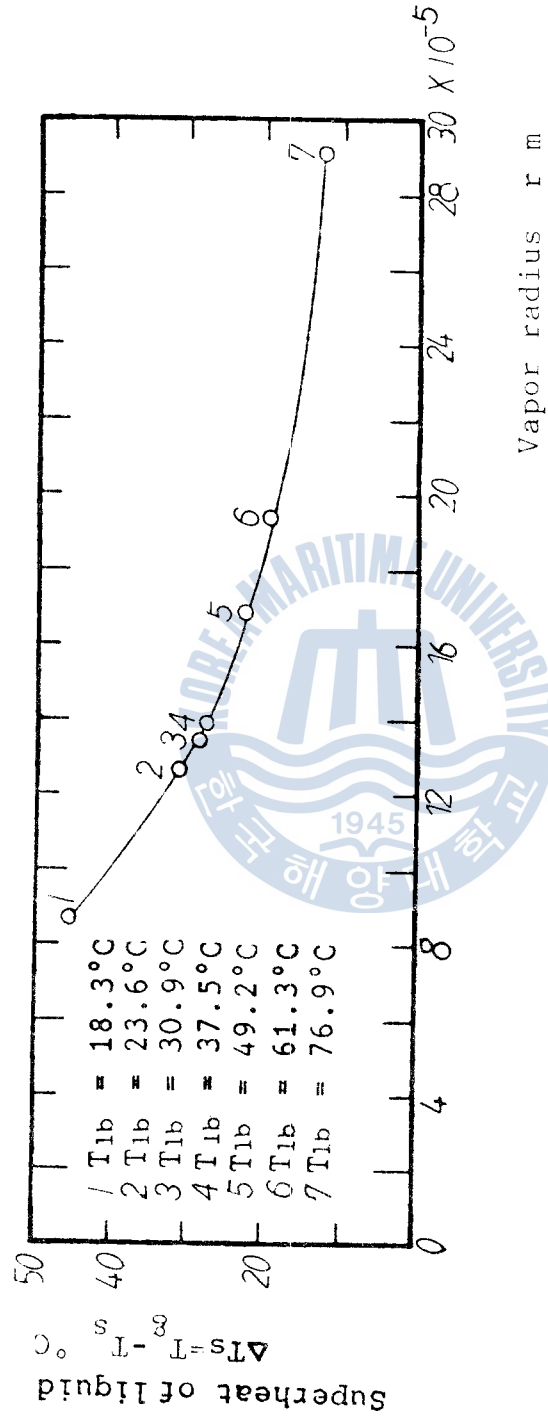


Fig. 4.13 Superheat of liquid versus vapor radius

4.4 한계열유속에 관한 고찰

청정한 전열면의 풀비등에 관한 Kutateladze⁽²⁰⁾ 식은 다음과 같다.

$$\frac{h_1}{k_s} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_s}{\gamma_s - \gamma_g}} = 7.0 \times 10^{-4} P_{rs}^{-0.36} \left[\frac{q}{H_{sg} \gamma_g a_s} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_s}{\gamma_s - \gamma_g}} \right]^{0.7} \cdot \left[\frac{p}{\sqrt{\gamma_s(\gamma_s - \gamma_g)}} \right]^{0.7} \quad (4.16)$$

식(4.16)에 표 4.1의 물성치를 대입하여 구한 한계열유속, 전열면 과열도를 실험치와 비교한 그림이 Fig. 4.14이다.

실험에서 구한 한계열유속 범위는 $(2.144 \sim 3.666) \times 10^6$ kcal/m²h 이다. Fig. 4.14에서 실험의 결과와 식(4.16)의 결과는 어느 정도 차이가 나는데, 이는 Kutateladze의 실험식은 포화비등 조건에서 구하였으며 본 실험의 조건은 아냉각비등이기 때문에 차이가 나는 것으로 생각되어진다.

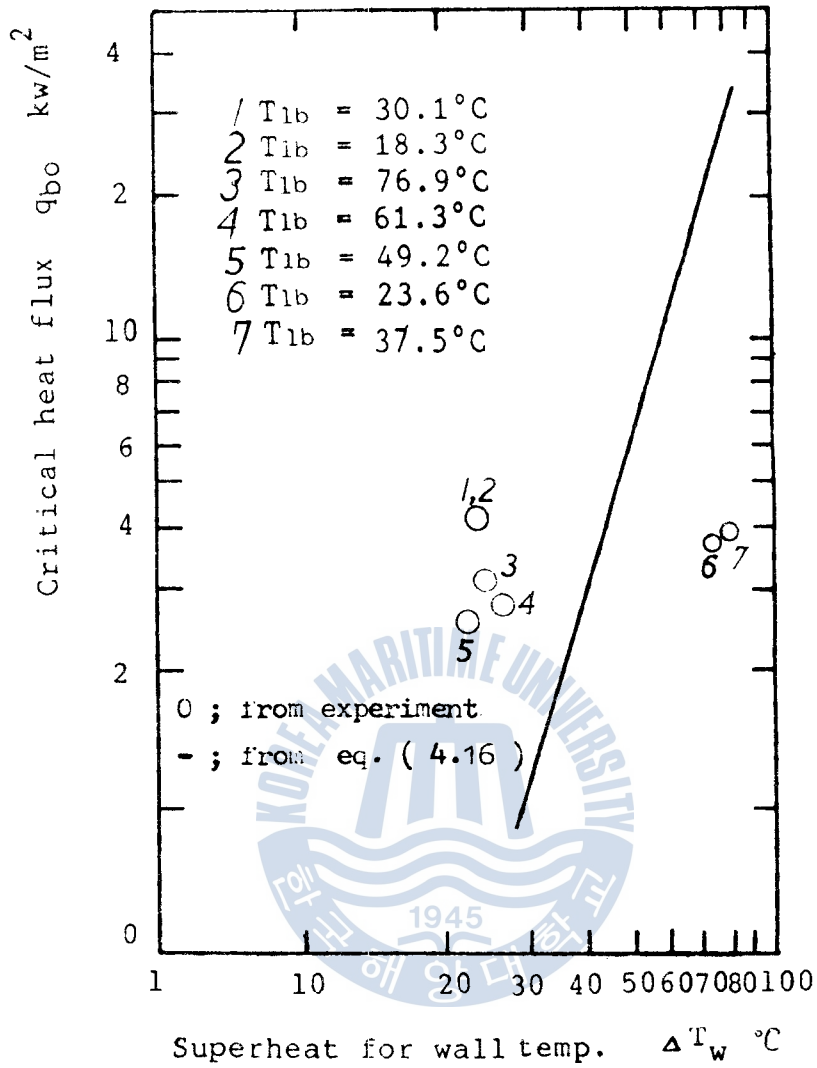
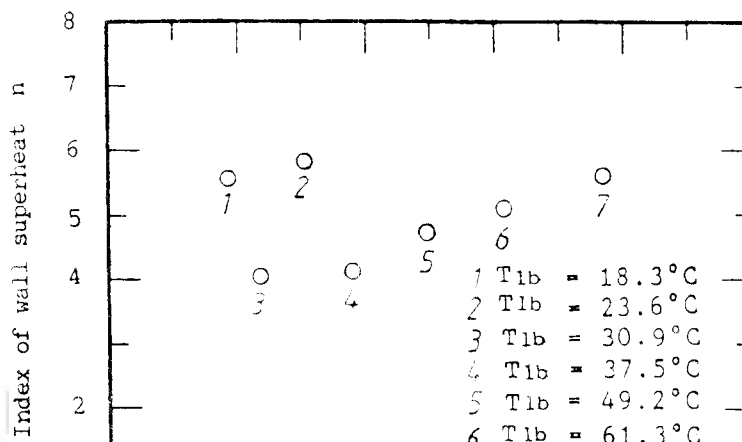


Fig. 4.14 Critical heat flux versus superheat of wall



4.5 핵비등곡선에 관한 고찰

열유속과 전열면과열도는 다음과 같은 관계에 있다.

$$q = m\Delta T_w^n \quad (4.17)$$

여기서 q 는 실험에서 구한 열유속, $\Delta T_w = T_w - T_s$ 는 전열면 과열도로서 T_w 는 실험에서 구한 전열면 온도, T_s 는 포화수 온도이다.

식(4.17)에 상용 Log를 취한후 최소자승법으로 처리하여 각 액혼 평균온도에서 n 값을 구하여 Fig.4.15 및 Table 4.2에 나타냈다. 본 연구에서 n 의 범위는 (4.070 ~ 5.821) 사이에 있음을 알 수 있었다.

위의 실험결과와 대표적인 타 연구실험과 비교하면 다음과 같다. Nishigawa⁽⁹⁾는 직경 100 mm의 수평전열면에 있어서 물의 실험에서 얻은 결과를 다음 식으로 표시하였다.

$$q = 2.421\Delta T_w^{3.00} \quad (4.18)$$

Jens 및 Lottes⁽¹⁰⁾는 물의 아냉각상태에 관한 실험결과로서 다음식으로 표시하였다.

$$q = 2.335\Delta T_w^{4.00} \quad (4.19)$$

T. Ueda⁽¹¹⁾는 전기가열하는 원주의 외측을 자유낙하하는 상태의 물의 실험에서 다음 식을 제시하였다.

$$q = 0.086\Delta T_w^{5.00} \quad (4.20)$$

결과와 비교적 알 일지하는 것일 할 T Ueda, Jens 및 Lottes, 아냉각비등상태로서 실험조건이 유사하기 때문이라고 생각된다.

물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

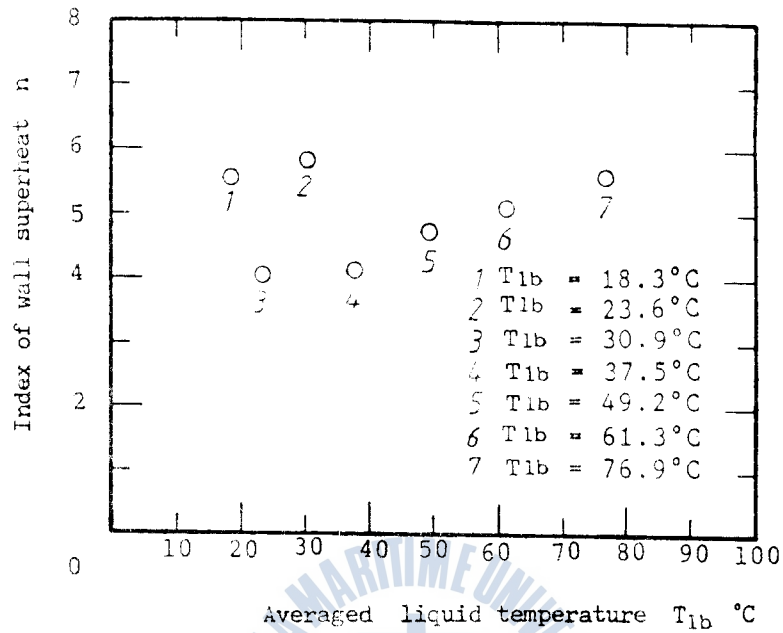


Fig. 4.15 Index of wall superheat versus averaged liquid temperature

No.	Averaged liquid temp. T_{1b} (°C)	Index of wall superheat n
1	18.3	5.576
2	23.6	4.070
3	30.1	5.821
4	37.5	4.106
5	49.2	4.735
6	61.3	5.126
7	76.9	5.603

Table 4.2 Index of wall superheat

대표적인 실험식중 식(4.19)는 액 혼합 평균온도 23.6°C 에서 얻은 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있는데, 이는 실험조건이 아빙각비등상태로서 실험조건이 유사하기 때문이라고 생각된다.



물 沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

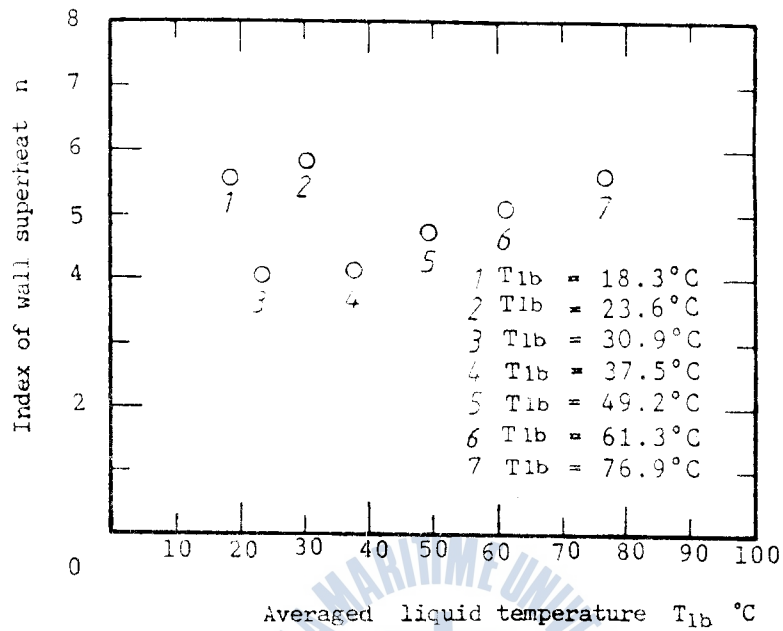


Fig. 4.15 Index of wall superheat versus averaged liquid temperature

No.	Averaged liquid temp. $T_{1b} (^{\circ}\text{C})$	Index of wall superheat n
1	18.3	5.576
2	23.6	4.070
3	30.1	5.821
4	37.5	4.106
5	49.2	4.735
6	61.3	5.126
7	76.9	5.603

Table 4.2 Index of wall superheat

대표적인 실험식중 식(4.19)는 액혼합 평균온도 23.6°C 에서 얻은 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있는데, 이는 실험조건이 아냉각비등상태로서 실험조건이 유사하기 때문이라고 생각된다.



參 考 文 獻

1. A.E. Bergles and W.M. Rohsenow : The determination of forced convection surface boiling heat transfer, Trans, ASME Ser. C, J. Heat Transfer, Vol.86, pp.365~372(1964)
2. E.J. Davis and G.H. Anderson : Nucleate boiling in forced Convection flow, AIChE Journal Vol.12, pp.774~780(1966)
3. W.M. Rohsenow and J.P. Hartnett : Hand book of Heat Transfer, Mcgraw-Hill Book Co. New York (1973)
4. P.Griffith :Nucleation and Bubble Formation in Boiling, Proc. Instn. Mech. Engrs. Pt3c., pp.93~100(1965)
5. P. Saha and N.zuber : Point of Net Vapor void Fraction in Subcooled Boiling, 5th Int. Heat Transfer conf. B4.7, pp.175~179(1976)
6. 최감석 : 소결금속 (STS계) 면의 핵비등열전달에 관한 연구, 인하대학 대학원 석사학위논문, pp.1~23(1980)
7. 정대인 : 표면 거칠기의 변화에 따른 핵비등열전달의 특성에 관한 연구, 한국해양대학 대학원 석사학위논문, pp.1~15 (1983)
8. W. Nakayama, T. Daikoku, H. Kuwahara, T. Nakajima : Dynamic Model of Enhanced Boiling Heat Transfer, Vol. 102, No.3 (1980)
9. 西川, 山繕 : Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.1, pp.219~220(1960)
10. W.H. Jens and P.A. Lottes : Analysis of Heat Transfer, Burn-Out, Pressure Drop and Density Data for High Pressure

제 5 장 결 론

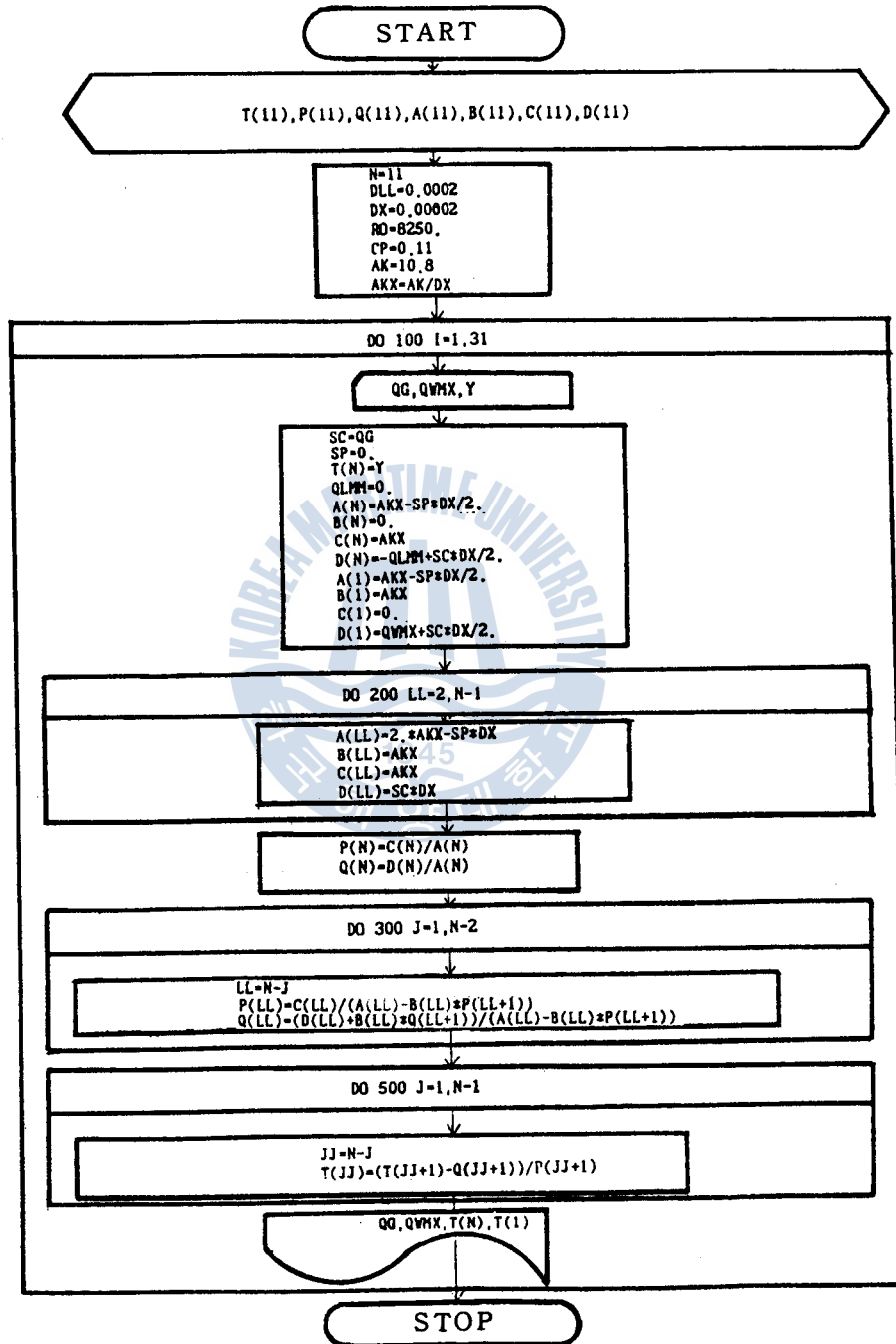
플비등에 있어서 액체온도가 핵비등특성에 미치는 영향에 관한 연구에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 액 혼합 평균온도는 아냉각비등에 있어 자연대류의 영역에는 영향을 미치나 비등개시 후에는 중대한 영향을 끼치지 않음을 알았다.
2. 액 혼합 평균온도가 증가할수록 액의 과열도는 감소하며 기포의 반경은 증가함을 알았다.
3. 물의 아냉각비등에 있어서 한계열유속의 범위는 (2.144~3.666) $\times 10^6$ kcal/m²h 이었다.
4. $q = m \Delta T_w^n$ 으로 표시될 경우 n의 범위는 (4.070~5.821) 이었다.

본 연구에서는 액체온도가 핵비등특성에 미치는 영향에 관한 연구를 하였으나 비등영역을 확장하여 천이영역, 막비등 영역에 대해서도 앞으로 많은 연구가 있어야 된다고 생각된다.

- Water, USAEC Rept. ANL-4627(1951)
11. T. Ueda, M. Inoue and S. Nagatome : Critical Heat Flux and Droplet Entrainment Rate of Falling Liquid Films with Boiling, 제 16 회 일본전열 심포지움 Vol. 16, B115, pp.214~216(1974)
 12. S.V. Patankar : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill Book Company, England, pp.31~53(1980)
 13. 박이동 : 유체역학, 보성문화사, 서울, pp.25~30(1986)
 14. 최인규, 서정일 : 공업열역학, 동명사, 서울, pp.339~347(1981)
 15. P.Griffith and J.D. Wallis : The role of surface conditions in nucleate boiling, Chem. Eng. Prog. Ser. No.30, 56 (1960)
 16. Y.Y.Hsu and R.W. Graham : An analytical and experimental studies of the thermal boundary layer and ebullition cycle in nucleate boiling. NASA TN-D 594(1961)
 17. Y.Y.Hsu : On the size range of active nucleation cavities on a heating surface, Trans, ASME, Ser. C, 84, pp.207~216(1962)
 18. W.M. Rohsenow : Status and problems in boiling and condensation heat transfer, progress in Heat and Mass Transfer, 6, Pergamon Press, pp.1~44(1972)
 19. E.A. Faber and R.L. Scoriah : Heat Transfer to Water Boiling Under Pressure, Trans, ASME 79, pp.369~384(1948)
 20. 일본기계학회 : 전열공학자료, 명선사, 동경, pp.55~58 (1964)

Appendix A ; Flowchart and program



공沸騰에 있어서 液體溫度가 核沸騰特性에 미치는 영향에 關한 研究

```

C    TEMPERATURE OF OUTER SURFACE(T(L)=23.6'C)
      DIMENSION T(11),P(11),Q(11),A(11),B(11),C(11),D(11)
      N=11
      DLL=0.0002
      DX=0.00002
      RO=8250.
      CP=0.11
      AK=10.8
      AKX=AK/DX
      DO 100 I=1,31
      READ*,QG,QWMX,Y
      SC=QG
      SP=0.
      T(N)=Y
      QLMM=0.
      A(N)=AKX-SP*DX/2.
      B(N)=0.
      C(N)=AKX
      D(N)=-QLMM+SC*DX/2.
      A(1)=AKX-SP*DX/2.
      B(1)=AKX
      C(1)=0.
      D(1)=QWMX+SC*DX/2.
      DO 200 LL=2,N-1
      A(LL)=2.*AKX-SP*DX
      B(LL)=AKX
      C(LL)=AKX
      D(LL)=SC*DX
200  CONTINUE
      P(N)=C(N)/A(N)
      Q(N)=D(N)/A(N)
      DO 300 J=1,N-2
      LL=N-J
      P(LL)=C(LL)/(A(LL)-B(LL)*P(LL+1))
      Q(LL)=(D(LL)+B(LL)*Q(LL+1))/(A(LL)-B(LL)*P(LL+1))
300  CONTINUE
      DO 500 J=1,N-1
      JJ=N-J
      T(JJ)=(T(JJ+1)-Q(JJ+1))/P(JJ+1)
500  CONTINUE
      WRITE(6,600)QG,QWMX,T(N),T(1)
600  FORMAT(/,5X,'QG=',E10.4,3X,'QWMX=',E10.4,3X,
*      'T(N)=' ,E10.4,3X,'T(1)=' ,E10.4)
100  CONTINUE
      STOP
      END

```



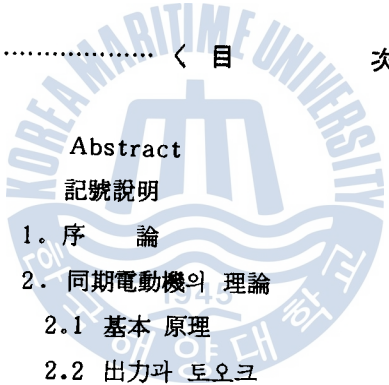
마이크로프로세서와 INVERTER에 의한 同期電動機의 驅動에 관한 研究

A Study on the Synchronous Motor Drives Using
Microprocessor and Inverter

金 炳 瑄

Byeong-Seon Kim

〈 目 次 〉



Abstract
記號說明

1. 序 論
2. 同期電動機의 理論
 - 2.1 基本 原理
 - 2.2 出力과 토크
3. 系統의 構成 및 制御方式
 - 3.1 系統의 構成
 - 3.2 制御方法
 - 3.3 하드웨어의 構成
 - 3.4 소프트웨어의 構成
4. 實驗 및 結果
 - 4.1 實驗裝置
 - 4.2 實驗結果
5. 結 論

參考文獻