

# 鉛直上向 四角衝突水噴流의 포화비등 열전달에 관한 연구

## A Study on Saturated Boiling Heat Transfer in Upward Rectangular Impinging Water Jet System

李 鍾 洙,\* 嚴 基 讚,\*\* 徐 正 閔\*\*\*  
 J. S. Lee, K. C. Ohm, J. Y. Seo

Key Words: Impinging water jet (충돌수분류), Nucleate boiling (핵비등), Impinging half width (충돌반치폭), Subcooling number (미포수화), Boiling number (비등수)

### ABSTRACT

The purpose of this investigation was to characterize nucleate boiling and burn-out heat flux for rectangular free jet with saturated water impinging perpendicularly and upward against a flat uniform heat flux surface. Heat flux measured for Reynolds number based on rectangular nozzle width and for aspect ratio.

The result of nucleate boiling heat transfer was presented nondimensional experimental equation including Nusselt, Boiling, Subcooling, Reynolds and Weber number. The effect of aspect ratio of heated surface in the burn-out heat flux had not appeared distinctly. But for the same aspect ratio, burn-out heat flux increased linearly with increment of nozzle exit velocity.

기 호 설 명			
$B_h$	: 衝突半值幅 [mm]	$q$	: 熱流束 [W/m <sup>2</sup> ]
$B$	: 노즐出口幅 [mm]	$V_o$	: 노즐出口速度 [m/s]
$H$	: 노즐-傳熱面間 距離 [mm]	$T_{sat}$	: 飽和溫度 [°C]
$L$	: 노즐길이 [mm]	$\sigma$	: 表面張力 [N/m]
$\ell$	: 傳熱面の 길이 [mm]	$\rho_v, \rho_l$	: 氣·液의 密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
$P_s$	: 停滯點에서의 壓力 [N/m <sup>2</sup> ]	$b$	: 傳熱面の 幅 [mm]
		$h$	: 熱傳達係數 [W/m <sup>2</sup> ·°C]
		$L_h$	: 蒸發의 潛熱 [J/kg]

\* 仁荷大學校 大學院

\*\* 仁荷工業專門大學 機械設計科

\*\*\* 仁荷大學校 機械工學科

$P$	: 壓力	[N/m <sup>2</sup> ]
$P_{\infty}$	: 大氣壓	[N/m <sup>2</sup> ]
$V_i$	: 衝突速度	[m/s]
$\Delta T_{sat}$	: 過熱度	[°C]
$x$	: 노즐 길이 方向의 距離	[mm]
$y$	: 노즐 幅 方向의 길이	[mm]
$\nu$	: 動粘性 係數	[m <sup>2</sup> /s]

$Ar = b/\ell$	: Aspect ratio
$Bo = q/(L_h \rho_v V_o)$	: Boiling number
$Re = V_o \ell/\nu$	: Reynolds number
$Nu = q\ell/(\kappa \Delta T_{sat})$	: Nusselt number
$We = \rho_v \ell V_o^2/\sigma$	: Weber number
$N_{sub} = (\rho_l - \rho_v)/\rho_v$	: Subcooling number

## 1. 序 論

노즐로부터 噴出되는 높은 速度에너지를 지닌 噴流를 物體에 衝突시킬 때, 衝突噴流는 流體制御가 容易하고 비교적 간단한 裝置로 높은 熱傳達 效果를 얻을 수 있기 때문에 工業적으로 金屬의 냉각, 직물, 제지, 유리공업, 材料의 精密절삭 및 鍊磨, 컴퓨터 산업, V/STOL 항공기 등 傳熱作用의 應用範圍는 廣範圍하다.

이러한 衝突噴流가 構成하고 있는 流動場의 構造의 樣相은 Fig.1과 같이 3개 領域 ①自由噴流 領域과 ②停滯點을 包含하는 衝突噴流 領域 ③壁面 噴流領域으로 區分된다.<sup>1,2)</sup> 이와 같은 衝突噴流系에서 媒體에 의해서 傳熱面이 冷却될 때 傳熱機構로서는, 傳熱面上에서 相變化가 없는 單相 強制對流의 衝突噴流 熱傳達과 沸騰現象을 同伴하는 強制對流의 衝突噴流 沸騰熱傳達로 大別된다.

그런데 衝突噴流 強制對流 沸騰領域의 熱傳達을 支配하는 因子로서는, 噴流速度, 未飽和度, 流量, 加熱面 크기, 加熱面の 姿勢, 液膜의 두께, 液體속에 飽和된 氣飽量, 傳熱面의 表面溫度 및 汚染度, 壓力, 熱流束, 分液液과 傳熱面과의 親和力 등이 있다. 戶田三郎<sup>3)</sup> 등의 研究에 의하면 噴流沸騰은 通常의 強制對

流沸騰과 같이 非沸騰(強制對流) 領域 및 初期沸騰領域 및 核沸騰領域이 存在한다고 報告한 바 있으며 A. E Bergles<sup>4)</sup>, M. A. Roch<sup>5)</sup>, 巖<sup>6)</sup> 등은 發達된 核沸騰領域에서는 噴流速度, 流量, 未飽和度, 加熱面の 크기, 加熱面の 姿勢, 液膜두께는 核沸騰曲線에 明確한 影響을 나타내고 있지 않다고 報告되었다. 甲藤等<sup>7,8)</sup>은 衝突噴流 核沸騰曲線은 그 系를 푸을 沸騰化 했을 때 나타나는 푸을沸騰 曲線의 延長線위에 存在한다고 報告하고 있다.

반면 鳥飼欣等<sup>9)</sup>은 沸騰液과 傳熱面과의 親和性이 缺如되어 있는 強制對流水平噴流 沸騰系에서 傳熱面上的의 噴流速度의 影響을 考察한 結果, 傳熱面の 過熱度の 上昇과 함께 熱流束은 單純한 增加傾向을 나타내며, 또한 未飽和度の 影響은 未飽和도가 크게 되며 流速의 影響은 작아진다고 보고 있다. 이제까지의 研究結果와 달리 傳熱面上的의 噴流速度가 增加할 수록 熱傳達現象이 增加되어 噴流速度의 影響을 明確히 나타내고 있다.

限界 熱流束에 關한 研究에서, Monde - Katto<sup>8)</sup>는 研究報告에서 Burn-out 熱流束은 同一한 噴流速度에서 노즐直徑이나 噴流流量의 變化에 따라 약간의 影響을 받는다고 하였으며 또 Katto-Shimizu<sup>10)</sup>에 의하면 비교적 낮은 壓力下에서는 噴流速度의 增加에 따라 Burn-out 熱流束이 증가하지만 높은 壓力下에서는 噴流速度에 無關係한 것으로 나타내고 있다. 또한 M. Monde 등<sup>8)</sup>도 沸騰系의 Burn-out 熱流束을 支配하는 基本的인 無次元式을 We 數, Re 數, 氣-液間의 比重, 粘性比, 重力項으로 提示하고 있으며, 強制對流速度, 粘性力, 加熱面 크기의 항을 제외시킴으로서 通常의 pool 沸騰의 burn-out 熱流束을 나타낼 수 있는 포괄적인 無次元式을 提示하고 있다.

이상은 軸對稱 圓形노즐에 의한 일련의 연구<sup>5,6,7,8,10)</sup>로서 분류의 유동해석상 1차원 유동으로 취급하고 있는 데 대하여 본 연구에서는 분류가 2차원 유동 특성을 갖는 경우로서 四角노즐에 의한 水噴流가 鉛直 上向으로 水平傳熱面에 衝突할 때의 傳熱面의 形狀比, 노

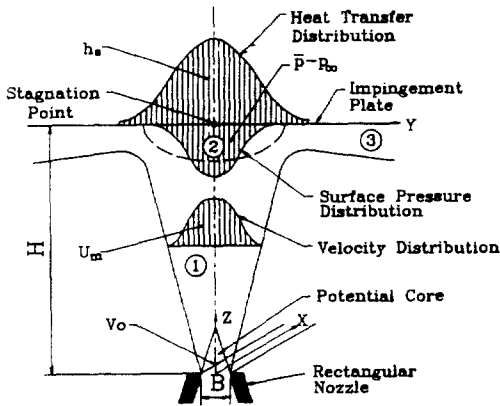


Fig.1 Impingement configuration and coordinate system.

출구 속도의 영향이 핵沸騰 및 burn-out 現象에 미치는 傳熱特性을 究明하고자 한다.

## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

### 2.1 實驗裝置

本 實驗을 위한 裝置의 概略圖는 Fig.2 와 같으며 冷却液은 水道물을 사용하였다. 加熱水槽 ①의 물은 히터 ②(3kW×3)에 의해 飽和溫度까지 加熱되어 Fu-jet 밸브 ③을 通過한 後 飽和水供給用 高壓펌프 ④(5HP, 揚水量 0.15m<sup>3</sup>/min)에 의해 送出된다. 送出된 물은 오리피스 ⑥과 마노미터 ⑤에서 一定한 速度로 調整한 後 四角노즐 ⑦에서 噴出되며, 실험에 사용된 노즐⑦의 形狀은 Fig. 3과 같으며, 노즐의 設計에 있어서는 노즐 出口에서 速度分布의 均一性和 노즐 內壁에서 剝離의 防止<sup>1)</sup>를 고려하여 노즐 出口의 폭과 길이는 3×20, 縮流比가 5, 노즐 內壁의 形狀은 사인(sine) 曲線形의 長方形으로 製作하였다. 이 때 傳熱面과 노즐사이에 shutter ⑩를 設置하여 노즐로부터 噴出噴流가 飽和溫度가 될때까지 噴流가 傳熱面에 衝突하는 것을 遮斷하고 20~30 分間 循環시킨다.

노즐-傳熱面間 距離는 噴流가 노즐의 出口 形狀을 유지하는 성질, 즉 自己 保存性이 良好한 60mm(H/B=20)로 하였으며, 噴流가 一定速度에서 飽和溫度에 도달하면 shutter

를 除去하여 傳熱面에 水噴流를 衝突시켰다. 傳熱面에 衝突한 물은 回收槽 ⑪에서 다시 加熱水槽 ①로 循環할 수 있도록 溫水循環펌프 ⑫(出力 200W, 1/4HP, 揚程 7m, 10.800 l/h) 2臺를 設置하였다. 물의 溫度는 加熱水槽 ①에 熱電對 ⑬(C-C, 70 μmφ)를 設置하여 電子式溫度計 ⑭(digital thermometer)에서 究하였으며, 全 配管 및 加熱水槽는 熱損失을 最大限 防止하기 위해 유리솜(glasswool)로 保溫하였다.

### 2.2 壓力計測

衝突噴流飽和沸騰系에서 噴流의 壓力分布 特性을 究明하기 위하여 衝突板을 노즐-傳熱面間 距離가 60mm인 位置에 設置하고, 노즐 出口速度가 0.4, 5.1, 6.2, 7.3, 8.4, 9.5m/s인 경우에 대하여 壓力 트랜스듀서(PT-3.000, 0~1 kgf/cm<sup>2</sup>)를 利用하여 Fig.1에서 정한 座標系의 x, y 方向, 즉 노즐의 길이 및 폭 方向으로 全壓 및 靜壓을 測定하였다.

### 2.3 噴流沸騰實驗

衝突噴流飽和沸騰 實驗에서는 Fig.4와 같은 加熱裝置에 形狀比(b/l)가 1/3~5/3 인 傳熱面(두께 100 μm, SUS 304)에 整流器를 使用하여 直流電源을 通電加熱하였다. 熱流束은 점진적으로 增加되어 非沸騰領域에서 核沸騰領域을 거쳐 burn-out 熱流束까지 等熱流束條件으로 가열하였다. 이 때 傳熱面의 溫度는 裏面에 附着한 熱電對(K-type, 50 μmφ)를 利用하여 펜레코더(GRAPHTEC CORP, MC6715, JAPAN)에 記錄하고, 傳熱面에 가해지는 熱流束은 直流電位差計로 測定한 試片의 固有 抵抗으로 다음 式에 따라 산출하였다.

$$q = I^2 R / A = V^2 / (A \times R) \quad (\text{W/m}^2) \dots\dots (1)$$

여기서 A : 傳熱面의 表面積 [m<sup>2</sup>]

I : 電 流 [A]

V : 電 壓 [V]

R : 抵 抗 [Ω]

이다.

傳熱面의 表面溫度는 測定된 試片裏面의 溫

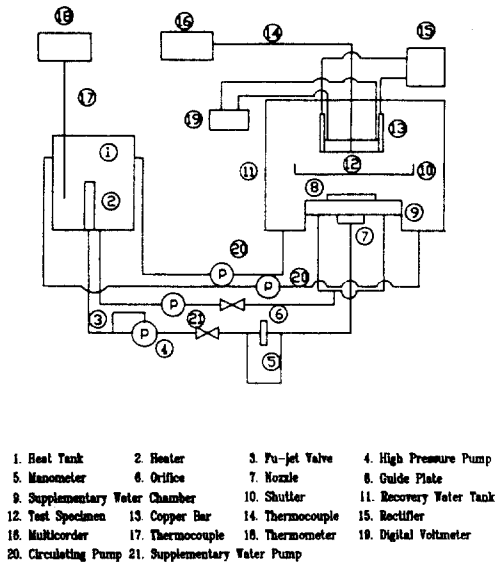


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus .

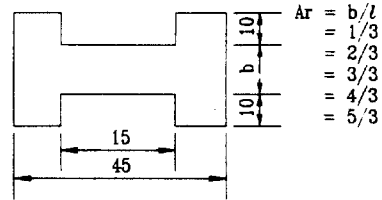
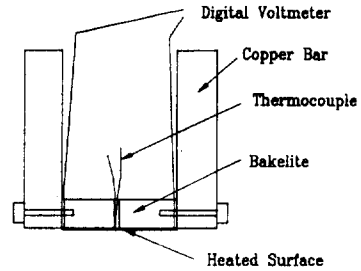


Fig.4 Heating apparatus of impinging water jet system.

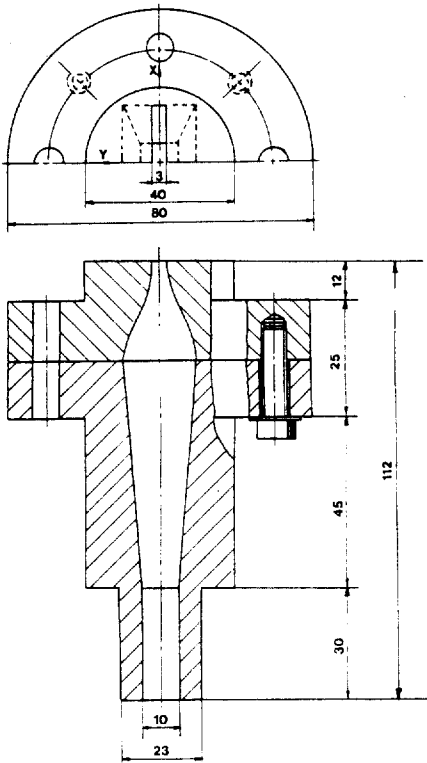


Fig.3 Rectangular nozzle drawings .

도로부터 다음 식에 의해 計算되었다.

$$T_w = T_o - \frac{1}{2} \frac{q}{k} \delta \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서    : 傳熱面 表面溫度 [°C]
- : 傳熱面 裏面溫度 [°C]
- : 傳熱面の 두께 [m]
- : 傳熱面の 熱傳導率 [W/m·°C]

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 壓力分布

鉛直上向四角衝突水噴流의 壓力分布 特性은 노즐-전열면간 거리가 60mm인 위치에 충돌판을 설치하여 노즐 出口速度가 4.0m/s ~ 9.5m/s인 범위에서 衝突되는 噴流의 全壓 및 靜壓을 측정하였다. 이 때 衝突板위의 停滯點으로부터 靜壓이 零이되는 위치까지의 거리를 衝突半值幅으로 했을 때, 本 實驗의 速度範圍에서 x 方向의 衝突幅은 노즐길이(L)의 1.35倍, 傳熱面 長이의 1.7倍가 되며, 또한 y 方向의 衝突幅은 노즐幅의 2倍로 측정되었다.

Fig. 5는 노즐 幅方向에 대한 無次元 靜壓 分布을 나타낸 것으로서 停滯點으로부터 거리를 충돌반치폭으로 無次元 했을 때 그 分布式은 다음과 같다.

$$\frac{P - P_\infty}{P_s - P_\infty} = 1 - 1.3539 (y/B_h)^2 \dots\dots\dots (3)$$

衝突板에서 衝突速度는 全壓과 靜壓의 差를 구하여 계산하였을 때 노즐 길이 방향의 無次元 衝突거리에 대한 無次元 衝突速度는 Fig. 6과 같은 分布을 나타내고 있다. 停滯點 부근에서는 비교적 均일한 衝突速度를 나타내고 있으나 自由噴流가 外氣와 混合이 이루어지는 噴流外周의 混合領域에 의한 衝突速

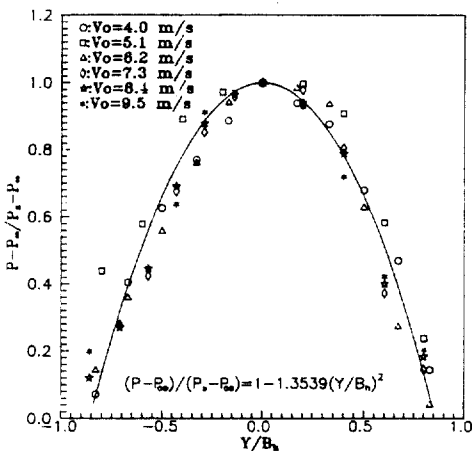


Fig.5 Static pressure distribution.

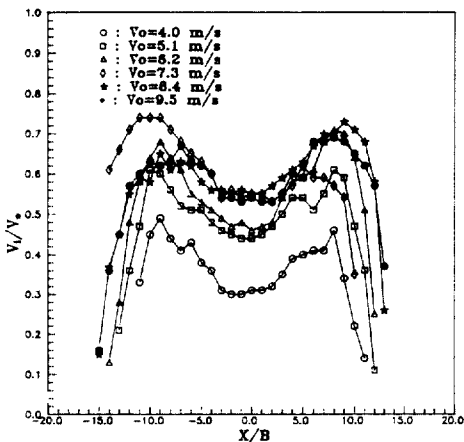


Fig.6 Impinging velocity distribution.

度 分布는 衝突噴流의 速度가 급속히 감소하고 있다.

停滯點領域에서 外周領域까지 衝突噴流速度가 增加하는 경향은 噴流가 衝突한 後의 壁面噴流의 速度성분과 衝突되는 自由噴流의 速度성분이 合成으로 作用하기 때문에 增加하는 경향을 나타내고 있다고 생각된다.

### 3.2 沸騰實驗 結果

鉛直上向衝突噴流 飽和沸騰實驗에서 노즐 出口速度와 形狀比가 飽和沸騰에 미치는 影響을 Fig.7, Fig.8에 나타내었다. Fig.7은 傳熱面의 形狀比가  $Ar=2/3$  일 때 傳熱面의 表面過熱度와 熱流束의 關係를 각 노즐 出口速度의 경우에 대하여 나타낸 것으로서, 이 때 衝突噴流 沸騰曲線에서 非沸騰領域의 直선과 核沸騰領域의 直선과의 交點인 沸騰開始溫度는  $6\sim 8^\circ\text{C}$ 로서 安川幸雄<sup>3)</sup>의 研究結果와 一致하고 있다. 그러나 噴流速度는 잘 발달된 核沸騰領域에서는 影響이 크게 미치지 않는다는 연구결과<sup>4,5,6)</sup>와는 달리, 본 研究에서는 噴流速度의 增加와 함께 核沸騰領域에서 熱流束이 增加된다는 鳥飼歌 等<sup>9)</sup>의 研究結果와 一致하는 경향을 나타내고 있는 데, 이러한 현상은 流體實驗에서 나타난 바와 같이 衝突領域이 전열면 길이의 1.7 배이라는 점을 감안할 때 傳熱面 전체가 衝突領域內에 속하게 되고, 또한 본 실험의 噴流速度 범위가 이제까지의 研究報告<sup>6,7,8,9)</sup> 보다는 비교적 높은 噴流速度 範圍 때문에 傳熱面에서 발생하는 기포가 정체가 없이 밀려나가게 되므로 強制對流와 같은 效力으로 인하여 열유속이 增大된 것으로 본다. 또한 傳熱面 위에서 發生氣泡의 傳熱面 附着部의 건조면은 어느 순간에는 건조 상태에 있어도 발생기포의 운동에 의해 다음 순간에는 飽和水에 의해서 冷却된다. 氣泡에 의한 건조시간은 噴流速度가 增加하면 할수록 상대적으로 짧아져서 噴流速度가 增加되면 熱流束은 증대된다고 본다.

Fig.8은 噴流速度가  $V_0=3.0\text{m/s}$  일 때의 形狀比의 影響을 나타낸 것으로서 形狀比는 核沸騰 曲線 구배에 큰 影響을 미치지 않고 있다.

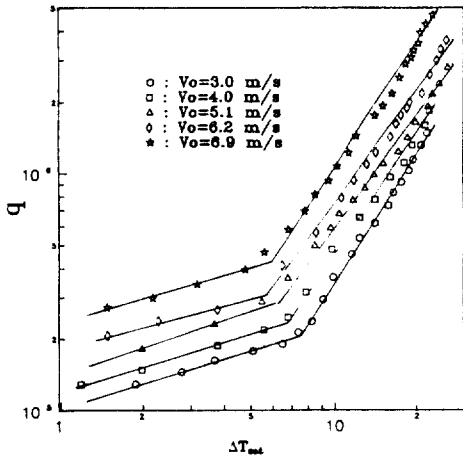


Fig.7 Effect of velocity on boiling curve. (Aspect ratio is 2/3.)

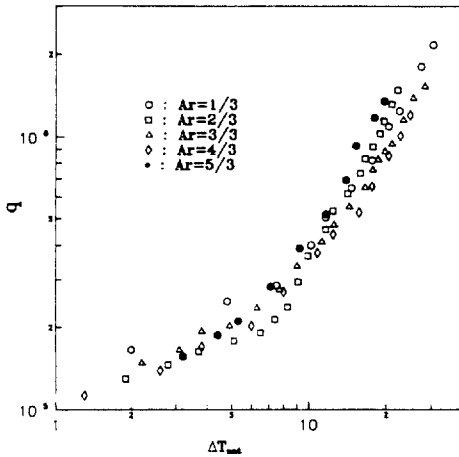


Fig.8 Effect of aspect ratio on boiling curve. (Nozzle exit velocity is 3.0m/s)

일반적으로 핵沸騰 曲線의 熱流束은  $q \propto \Delta T^n$ 에 比例하며, Fig.9는 傳熱面의 形狀比  $Ar = 5/3$  일 때, 速度에 대하여 핵沸騰 曲線의 指數  $n$ 은 1.15~1.64의 값이 된다. 衝突噴流飽和沸騰의 熱傳達을 支配하는 物理量으로는 壁面過熱度( $\Delta T_{sat}$ ), 氣泡發生速度( $q/\rho_v L_h$ ), 熱流束( $q$ ), 流體의 熱傳導率( $\kappa$ ), 表面張力( $\sigma$ ), 流體의 動粘性계수( $\nu$ ), 氣·液의 密度( $\rho_v, \rho_l$ ), 傳熱面의 幅과 길이( $b, \ell$ ), 노즐 出口速度( $V_0$ )이며,  $\pi$ 定理에 따라서 6개의 無次元 項이 얻어진다.

$$\approx f\left(\frac{qL}{k\Delta T_{sat}}, \frac{q/(\rho_v L_h)}{V_0}, \frac{\sigma}{\rho \ell V_0^2}, \frac{\nu}{\ell V_0}, \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}, \frac{b}{\ell}\right) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 第1項은 Nu數, 第2項은 Bo數, 第3項은 逆 We數, 第4項은 Re數, 第5項은 Subcooling數, 第6項은 形狀比이다. 따라서 本 實驗條件에서 無次元數는 다음과 같은 衝突噴流飽和沸騰熱傳達의 無次元 函數式의 表現이 可能하다.

$$Nu = f[(Bo \times N_{sub}), (Re/We), (b/\ell)] \dots\dots\dots (5)$$

여기서 Bo數와  $N_{sub}$ 數와의 곱과 Nusselt數에 대한 關係는 모든 形狀比에 대하여 Fig. 10과 같으므로, 다음과 같은 無次元式으로 표시된다.

$$Nu \propto (Bo \times N_{sub})^m \dots\dots\dots (6)$$

여기서 모든 傳熱面의 形狀比에 대하여 ( $Bo \times N_{sub}$ )의 平均指數는 0.25乘에 比例하므로 Eq. (6)는 다음과 같이 표시된다.

$$Nu \propto (Bo \times N_{sub})^{0.25} \dots\dots\dots (7)$$

또한 노즐출구속도와 포화액의 표면장력에 대한 영향 즉 逆 We와 Re數의 곱이 Nu數에 미치는 影響은, 형상비  $Ar = 4/3$ 인 경우에 Fig. 11에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$Ar = 4/3 \text{ 일 때 } Nu \cdot (Bo \times N_{sub})^{-0.25} = 0.939557E9 \times (Re/We)^{-1.30} \dots\dots (8)$$

이 선도에서 선상의 I표시는 평균값에 대한 편차를 나타내는 범위를 나타낸다. 나머지 형상비에 대하여 같은 방법으로 구한 결과 다음과 같은 무차원식으로 표시되었다.

$$Ar = 1/3 : Nu \cdot (Bo \times N_{sub})^{-0.25} = 0.469427E7 \times (Re/We)^{-0.83} \dots (9)$$

$$2/3 : Nu \cdot (Bo \times N_{sub})^{-0.25} = 0.220525E9 \times (Re/We)^{-1.17} \dots (10)$$

$$3/3 : Nu \cdot (Bo \times N_{sub})^{-0.25} = 0.206233E9 \times (Re/We)^{-1.16} \dots (11)$$

$$5/3 : Nu \cdot (Bo \times N_{sub})^{-0.25} = 0.168022E9 \times (Re/We)^{-1.13} \dots (12)$$

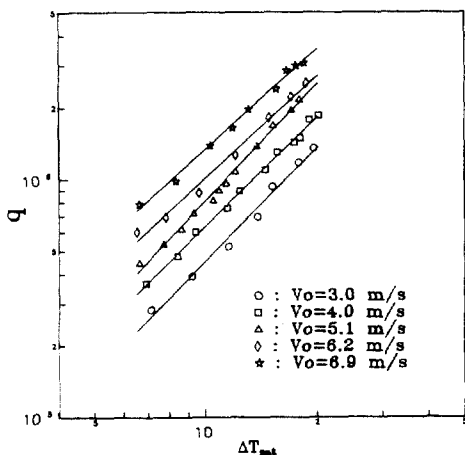


Fig.9 Saturated nucleate boiling curve. (Aspect ratio is 5/3.)

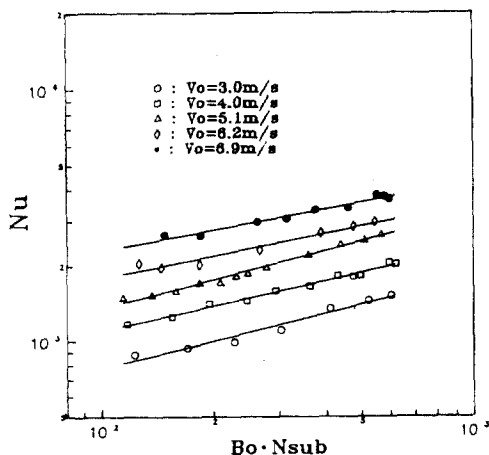


Fig.10 Relations between Bo, Nsub and Nu number. (Aspect ratio is 5/3.)

Eq.(8)~(12)에 나타난 바와 같이 (Re/We) 數의 指數는 Ar = 1/3을 제외하고는 傳熱面의 形狀比가 核沸騰曲線에 큰 영향을 미치지 않는 값(1.13~1.3)이라는 것을 알 수 있다. 모든 形狀比에 대하여 Bo, N<sub>sub</sub>, Re, We 數의 영향을 나타내기 위하여 形狀比에 상관없이 縱軸에서 Nu · (Bo × N<sub>sub</sub>)<sup>-0.25</sup>의 값을, 橫軸에는 Re/We의 값을 나타내면 Fig.12와 같이 나타난다.

$$Nu = 0.220525 E 9 \times (Bo \cdot N_{sub})^{0.25} \cdot (Re/We)^{-1.12} \dots (13)$$

위의 결과 식 Eq.(13)식은 본 實驗條件에서 모든 Bo, N<sub>sub</sub>, Re, We 數의 관계를 잘 나타내는 無次元 實驗式을 나타내고 있다. 또 이 實驗式의 相關係數를 구한 결과 -0.94로서 曲線 맞춤(curve fitting)의 信賴度는 98%이다.

Burn-out 熱流束은 Fig.13에 나타난 바와 같이 동일한 形狀比에 대하여 流束이 增加함에 따라 단순히 增加하는 傾向을 나타내고 있으며, burn-out 熱流束은 다음의 관계식이 성립한다.

$$q_{BO} \propto (V_o/b)^n \dots (14)$$

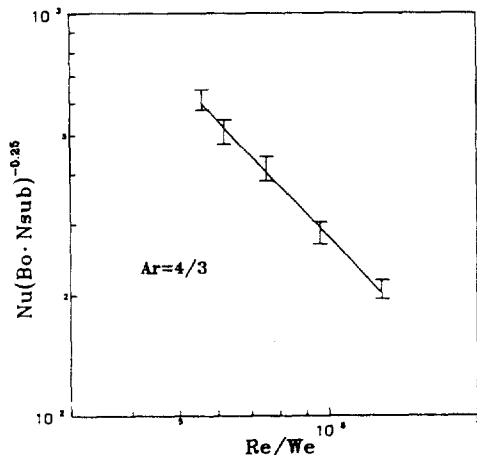


Fig.11 Relations between Bo, Nsub, We, Re and Nu number. (Aspect ratio is 4/3.)

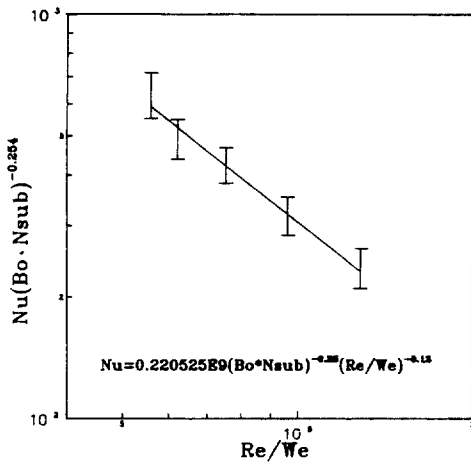


Fig.12 Dimensionless correlation of all the aspect ratio.

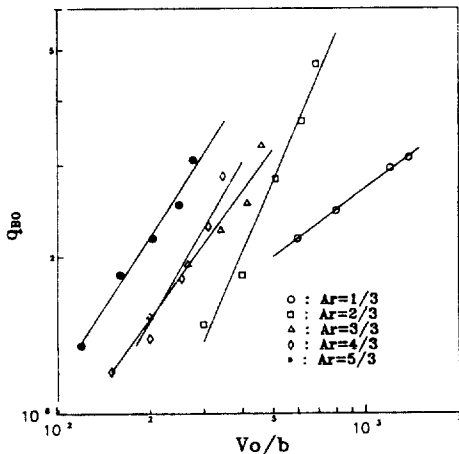


Fig.13 Relation between Burn-out heat flux and nozzle exit velocity.

Fig.13에서 나타난 바와 같이  $V_0$ 의 지수 0.43 ~ 1.39 값을 가지며 Gunther<sup>13)</sup>는 가열면의 크기와 관계없이  $V_0$ 의 0.5 승에 비례한다는 결과를 얻고 있는데 대하여 본 실험에서는 이와는 달리 지수의 값은 이보다 큰 값을 나타내고 있다.

#### 4. 結 論

本 연구는 노즐 傳熱面間-거리가 60mm 이고 노즐出口 速度가 3.0 ~ 9.5m/s의 범위에서 四角噴流를 이용하여 鉛直上向으로 長方形

傳熱面에 衝突시켰을 때 噴流의 流動場內 壓力分布 및 飽和沸騰熱傳達의 特性을 實驗的으로 규명한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 노즐 軸방향의 靜壓分布를 停滯點의 靜壓으로 無次元化하였을 때 靜壓分布式은 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{P - P_\infty}{P_s - P_\infty} = 1 - 1.3539(y/B_h)^2$$

(2) 衝突板에서 노즐길이 方向의 衝突速度를 全壓과 靜壓의 차로 나타내었을 때 幾何學的 停滯點 附近에서부터 衝突速度가 增加後 급격히 減少하는 傾向이 나타난다.

(3) 核沸騰領域에서는 열전달계수가 원형노즐의 경우와 같이 傳熱面의 形狀比의 影響을 뚜렷하게 받지 않지만, 원형노즐에서 影響이 없는 것으로 나타난 노즐출구속도의 影響이 사각노즐에서는 나타나고 있으며, 熱流束에 관한 無次元 實驗式은 다음과 같이 정리된다.

$$Nu = 0.220525 E 9 \times (Bo \cdot N_{sub})^{0.25} (Re/We)^{-1.12}$$

(4) Burn-out 熱流束은 동일한 形狀比에서는 단순히 噴流速度가 커짐에 따라 增加하고 있으며, 동일한 속도조건에서의 형상比의 影響은 명확하게 나타나지 않는다.

#### 參 考 文 獻

- Miyazaki H. and Silberman, E. 1972, "Flow and heat transfer on a flat plate normal to a two-dimensional laminar jet issuing from a nozzle of finite height", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, pp. 2097-2107.
- Kunio K. 1990, "Impingement heat transfer augmentation due to large scale eddies", Proc. 9th Int. Heat Transfer Conf., Jerusalem, pp. 255-273.
- 戶田三郎, 內田秀雄, 1973. "蒸發沸騰



- を伴うフィルムクリンクに関する研究”, 日本機械學會論文集(第2部), 38巻, 311號, pp.1830~1837.
4. Bergles A.E. and Rohsenow, W.M. 1964, “The determination of forced convection surface boiling heat transfer”, J. of Heat Transfer, Trans. ASME, Ser. C, 86-3, pp. 365-372,
  5. Ruch M.A. and Holman, J.P. 1975, “Boiling heat transfer to a Freon-113 jet impinging upward onto a flat heated surface”, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 18, pp. 51-60.
  6. 巖基賛, 1987. “衝突水噴流系の熱傳達特性에 관한 實驗的 研究”, 仁荷大學校 大學院 博士學位 論文.
  7. 甲藤好郎, 門出政則, 1975. “衝突水噴流沸騰系のバツアウト機構の研究”, 日本機械學會論文集(第2部), 41巻, 342號, pp. 306~314.
  8. Monde M. and Katto, Y. 1978, “Burnout in a high heat flux boiling system with an impinging jet”, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 21, pp. 295-305.
  9. 鳥飼欣, 鈴木康一, 竹内光生, 1989. “ぬれ難い面の沸騰傳熱に関する研究(傳熱面上の流れ影響)”, 日本機械學會論文集(B編), 第55巻, 511號, pp. 770~775.
  10. Katto Y. and Shimizu, M. 1979, “Upper limit of CHF in the saturated forced convection boiling on a heated disk with a small impinging jet”, J. Heat Transfer, ASME, Ser. C, Vol. 101, pp. 265-295.
  11. Hussian, A.K.M.F. Ramjee, V. 1976, “Effects of the Axisymmetric Contraction Shape on Incompressible Turbulent Flow”, ASME J. of Fluids Engineering, pp. 58-69.
  12. 安川幸雄, 1980. “狭いぬれ難い面をおおつて單氣ぼう成長するときの沸騰熱傳達”, 日本機械學會論文集(B編), 第40巻, 401號, pp. 121~128.
  13. Gunther, F.C. 1951, “Photographic study of surface boiling heat transfer with forced convection”, Trans. ASME, Vol. 73-2, pp. 115-123.