

|||||||  
講座  
|||||||

## 衝突水噴流 冷却法の體系化(Ⅲ)

崔 國 光\* 徐 正 閔\*\*

### Systematization of Cooling Method : Impinging Water Jet(Ⅲ)

Choi Gug Gwang\* Seo Jeong Yun\*\*

#### 7. 實驗裝置의 構成方法

衝突水噴流에 의한 熱傳達은 從來의 對流熱傳達보다 훨씬 큰 傳達效果를 얻을 수 있다는 觀點에서 工業的 應用價値가 크다고 할 수 있다. 이러한 傳熱效果를 實驗的으로 究明하기 위해서는 適切한 實驗裝置의 構成과 實驗條件에 따라 그 效果가 달라질 것으로 생각된다. 우선 衝突水噴流에 의한 熱傳達現象을 單相熱傳達의 경우와 二相熱傳達(沸騰熱傳達)로 區分하여 그 實驗裝置의 例에 따라 그 特性을 記述하고자 한다.

##### 1) 單相熱傳達의 경우

水噴流의 方向은 下向 및 上向, 그리고 水平 方向으로 大別되며, 여기서는 下向의 경우를 그림.1에 例示하였다.<sup>15)</sup> 약 30 m의 水頭를 갖는 水槽의 물은 Cock ①로 流量이 調節되며 고 무호스②를 지나 整流部③으로 간다. ④는 空氣의 混入을 막기위한 밸브이며 물은 ⑤의 壓力 탭에서 Broudon 壓力計⑥으로 유도된다. ⑦은 熱傳達係數 또는 壓力測定用平板이며 水平-垂直 方向으로 移動이 可能하다. 노즐-平板間 距離는 平板을 누에선반식으로 하여 變化시킬 수 있

다. ⑧는 마노메타이며 全壓 및 靜壓을 測定하여 그 差인 動壓으로 衝突速度를 구하게 된다.

그리고 噴流의 方向을 上向으로 할때는 노즐을 容器의 底部에 設置하면 되고, 水頭를 利用할 수 없는 경우에는 펌프를 設置하여 強制壓送하며, 노즐出口速度 및 流量은 送水管部에 오리피스 및 마노메타를 設置하여 測定한다. 均一流速의 噴流를 얻기 위해서는 縮流防止를 위해 노즐直徑의 3倍되는 平行部를 두어야 한다. 衝突板上에서의 全壓 및 靜壓測定을 從來에는 水柱直管 또는 마노메타를 利用하여 測定했지만 壓力變換器를 써서 Recorder에 記錄하므로써 더 正確한 壓力을 測定할 수 있다. 衝突板上의 液膜噴流領域에서의 液膜두께 測定은 보통 觸針法으로 하게 된다. 즉 마이크로메타에 가는 黃銅製針을 붙이고 平板과 바늘 사이에 電壓을 걸어 바늘과 液의 接觸을 오실로스코프로 檢知한다. 液膜이 上下 요동할 때는 바늘과 液의 接觸時間이 50%인 液膜을 平均두께로 잡는다.<sup>16)</sup> 傳熱面을 構成하는 方法은 stainless foil 또는 白金 foil을 베이크라이트板에 附着하고 foil裏面に 熱電對를 熔着시켜 Digital thermometer 또는 potentiometer로 測定하게 되는데, 이때 傳熱面의 加熱方法은 通電加熱하여 等熱流束條件으로 하는 方法이 많이

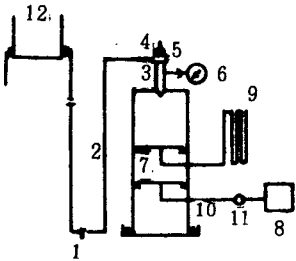
\* 正會員, 仁川大學 機械工學科

\*\* 正會員, 仁荷大學 機械工學科

利用되고 있으며 試片의 두께가 아주 얇을 경우에는裏面의 溫度를 表面의 溫度로 取扱할 수 있지만 比較的 두꺼울 경우는(80 μm以上) 有限差分法에 의해서 다음式으로 表面溫度를 구하게 된다.

$$T_w = T_o - \frac{1}{2} q\delta/k$$

여기서  $T_w$  : 試片表面溫度,  $T_o$  : 試片裏面溫度,  $q$  : 熱流束,  $k$  : 熱傳導率,  $\delta$  : 試片두께이다. 이때 試片에 가한 熱流束은 試片의 兩端의 電位差와 slidac으로 調整되는 電流計에 나타난 암페어에 의해 구한다. 傳熱面裏面에서의 防水 및 斷熱을 하기 위해서는 보통 베크라이트板에 試



- 1. Cock
- 2. Rubber house
- 3. Steel pipe
- 4. Valve
- 5. Pressure tap
- 6. Bourdon pressure gauge
- 7. Plate
- 8. Digital voltmeter
- 9. Manometer
- 10. Thermocouple
- 11. Ice junction
- 12. Head tank

그림 1. 下向水噴流 熱傳達實驗裝置

片을 接着시키지만 테프론으로 코팅하고 에폭시樹脂로 전체를 굳히는 方法도 利用된다.<sup>17)</sup>

그러나 傳熱面을 銅블럭과 같은 金屬圓柱로 할 경우에는 그 圓柱의 軸方向으로 몇 개의 熱電對를 埋入하여 豫備實驗을 통해 각點에서의 溫度分布와 그 金屬의 熱傳導率을 利用하여 表面溫度를 外插法으로 구하는 方法이 利用되고 있으며 또한 이 경우의 加熱方法은 金屬圓柱에 heater (板狀 heater 또는 coil heater)을 埋入하여 加熱하는 方法과 steam에 의한 加熱法, gas burner를 利用한 加熱法 等を 들 수 있다.<sup>18)</sup>

또한 水噴流을 鑛業과 掘鑿産業分野(excava-

ting industry) 및 tunneling에 適用하기 위한 實驗으로는 凝固狀態의 媒介物을 掘鑿할 때 필요한 媒介物의 熱傳達特性을 究明하는 實驗을 들 수 있다. 즉 이때는 노즐에서 垂直上向으로 水噴流가 cylindrical ice block에 衝突할 때 얼음이 녹는 量을 實驗으로 檢討하게 된다. 그 얼음샘플을 保持하기 위한 容器는 透明合成樹脂管(lucite tube)이며 한끝에는 알루미늄 disc를 매달고 그 disc中央에 고리로 load cell에 샘플을 매달은 狀態에서 水噴流를 衝突시키는데 이 물供給 line에 thermistor를 設置하여 噴流의 溫度를 測定하며 load cell은 샘플의 重量減少를 測定하는 裝置로 그 出力이 recorder에 記錄된다. 熔融速度(melting rate)은 重量減少曲線의 傾斜를 測定하여 chart recorder로부터 구하는데 重量減少-時間曲線은 線形的이라는 報告가 되고 있으며<sup>19)</sup> 熱傳達係數는 다음式과 같다.

$$h = M\lambda_f / (T_w - T_i)$$

여기서  $\lambda_f$  : 용해잠열,  $T_w, T_i$  : 水噴流 및 얼음온도,  $M$  : 熔融流束 ( $g/cm \cdot s$ )이다. 그 結果는  $N_u = 0.88 Re^{0.94} Pr$ 로 表示된다.

$Re = dV\rho/\mu$ 에서  $V = \sqrt{V_o^2 - 2g(z + \frac{1}{2}s)}$ 이며  $V_o$ 는 噴流速度,  $z$ 는 노즐-初期얼음表面間 距離,  $s$ 는 샘플의 두께이다.

### 2) 二相熱傳達의 경우

그림 2는 核沸騰實驗을 위한 裝置의 一例이다.<sup>20)</sup> 이 裝置는 大別하여 溫水循環系統, 加熱系統, 計測主要部の 3主要部로 構成되어 있으며 이들에 附隨하여 噴流速度, 噴流溫度, 加熱面溫度測定裝置가 있다. 加熱面으로의 液體供給은 노즐⑨에서 流出하는 噴流를 利用하고 加熱탱크④(電氣加熱器, 溫度自動調節器가 달린 加熱器, 熱交換器 等이 內藏됨)에서 供給되는 液體를 高低壓渦流펌프⑤⑥에서 加壓하여 水溫調節加熱器⑦에서 水溫을 調節한 후 노즐에서 噴출시킨다. 그림 3은 上向加熱面의 경우 沸騰容器를 中心으로 하는 實驗裝置主要部이다. 重力의 影響을 檢討하기

위해서는 加熱面方向을 下向으로 變換시킬 수 있게 하던 된다. 沸騰容器中央에 銅 block ③이 設置되어 있고 그 下半部에는 電氣加熱器⑩(板狀 加熱器埋入)을 內藏한다. 銅 block 上半部의 中心軸上에는 몇개의 C - A熱電對를 埋入하여 溫度分布를 測定함으로써 加熱面表面溫度  $T_w$  및 平均熱流束  $q$ 를 算出한다. 이때  $q$ 를 구하기 위해 必要한 銅 block의 熱傳導率을 決定하기 위해서는, 高熱流束의 pool核沸騰狀態에서 加熱面으로부터 蒸氣를 收集하고 그 蒸發潛熱로부터 구해지는 傳熱量 및 銅 block 內의 溫度分布로부터 熱傳導率을 決定한다.

噴流노즐에서 流出하는 液體流量  $G_0$ 는 壓力計 ⑤에 의해 計測하고 따라서 噴流速度를 決定할 수 있다. 그러나 傳熱面을 stainless foil로 할 경우는 熱流束  $q$ 를 그림2의 ⑬의 AC電壓計와 電流計에 의해 電氣入力로 구한다.

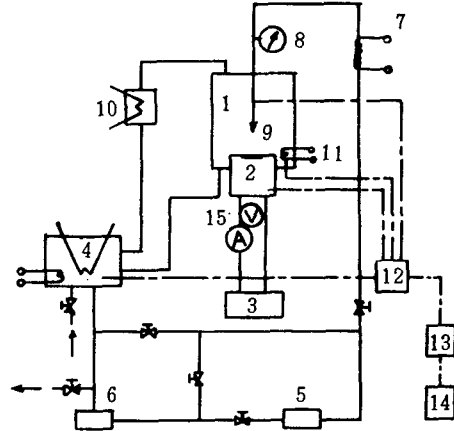
核沸騰實驗時 burnout 點에 대해서는 stainless foil을 傳熱面으로 할 경우, 燒損切斷될 때의 熱流束을 burnout 熱流束으로 취하는데 이 경우는 實驗마다 새로운 試片을 使用해야 한다.

그러나 銅 block을 傳熱面으로 할 경우는 傳熱面の 汚損狀態와 段階의 入力上昇法(正常加熱法에 의함)에서 傳熱面溫度가 急上昇하는 點을 잡아 burnout 熱流束으로 하되 熱電對의 信號를

recoder에 出力시켜 놓고 急激한 溫度上昇 ( $\geq 10^\circ\text{C}/\text{S}$ )이 開始되는 點의 熱流束으로 취한다.<sup>21)</sup>

一般의 衝突水噴流에 의한 核沸騰熱傳達實驗은 正常加熱法에 의해 遂行되지만 沸騰領域中 遷移沸騰領域에서는 傳熱面溫度 增加에 따라 熱流束이 減少하는 特性이 있으므로 非正常加熱法이 주로 利用되고 있다. 衝突水噴流에 의한 遷移 및 膜沸騰의 熱傳達實驗裝置의 一例는 그림 4에 나타냈다.<sup>22)</sup> head tank ②의 冷却水는 飽和蒸氣를 直接 注入하여 所定溫度까지 加熱하여 攪拌用 펌프③으로 탱크內 液體의 溫度를 均一化한다. 冷却水는 노즐⑨에서 噴出되어 傳熱面 ⑪에 衝突하며, 노즐과 傳熱面사이에는 shutter ⑩에

의해 噴流가 噴出中에도 傳熱面과는 遮斷될 수 있게 한다. 流量은 오리피스⑤에서 구하고 噴流

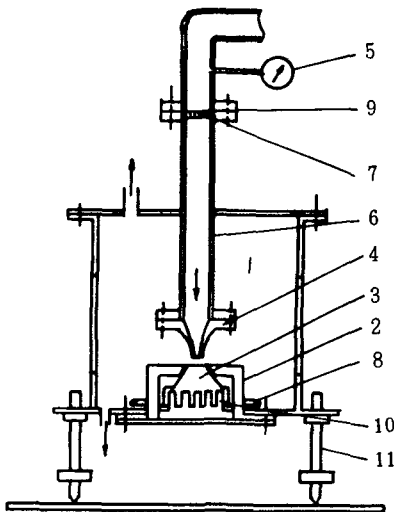


1. Boiling vessel
2. Heated surface
3. Transformer
4. Heating and subcooling apparatus
5. High pressure pump
6. Low pressure pump
7. Temperature regulator
8. Pressure gauge
9. Nozzle
10. Condenser
11. Auxilliary heater
12. Ice box
13. Self-registering thermometer
14. Digital volt meter
15. AC meter

그림 2. 水噴流 熱傳達의 核沸騰 實驗裝置

衝突速度는 stagnation point에서 靜壓을 測定하여 베르누이式으로 구한다. 傳熱試驗片⑪은 stainless 銅板(두께 2 mm)이고 slidac ⑬와 Transformer ⑬에 의해 直接 通電加熱한다. 試片裏面에는 熱電對를 spark 熔接하여 起電力을 直流增幅器⑭를 통해 電磁 오실로그래프⑮에서 記錄한다. 實驗方法은 冷却水溫度와 噴流流動이 正常狀態로 되었을 때 試片에 通電加熱하여 試片溫度가 膜沸騰에 相當하는 溫度(여기서는  $1,000 \sim 1,200^\circ\text{C}$ )까지 上昇하면 加熱을 停止하고 同時에 shutter를 열어 噴流를 衝突시켜서 冷却開始로부터 試片의 溫度가 冷却水溫度와 同一하게 될

때까지 遂行하여 오실로그래프에서 時間에 따른 溫度變化를 測定하여 溫度-時間曲線을 구하게 된다. 이때 各時刻에서의 試片表面溫度 및 熱流束은 熱傳導 基本方程式에 따라 有限差分法으로 구할 수 있다. head tank 內的 冷却水加熱은 投入式 heater 를 탱크內에 設置하여 행하며 溫度 실로스코프로 檢知한다. 液膜이 上下 요동할때는 바늘과 液의 接觸時間이 50%인 液膜을 平均두께로 잡는다.<sup>16)</sup> 傳熱面을 構成하는 方法은 stainless foil 또는 白金 foil 을 베크라이트板에 附着하고 foil 裏面에 熱電對를 熔着시켜 Digital thermometer 또는 potentiometer 로 測定하게 되는데, 이때 傳熱面의 加熱方法은 通電壓加熱하여 等熱流束條件으로 하는 方法이 많이 利用되고 있으며 試片의 두께가 아주 얇을

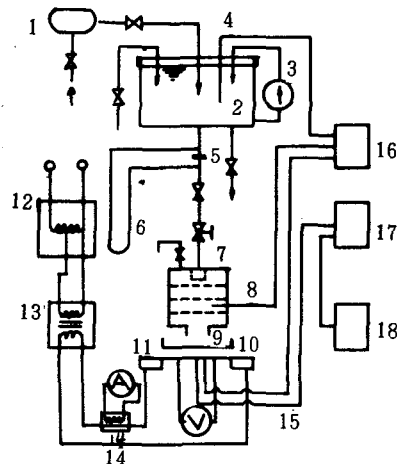


- 1. Boiling vessel
- 2. Heating equipment
- 3. Copper block
- 4. Nozzle
- 5. Pressure gauge
- 6. Feed pipe
- 7. Filter
- 8. Auxilliary heater
- 9. C-A Thermocouple
- 10. Electric heater
- 11. Hight adjustment screw

그림 3. 上向加熱面의 實驗裝置

경우에는 裏面의 溫度를 表面의 溫度로 取扱할 수 있지만 比較的 두꺼울 경우(80 μm以上) 有限差分法에 의해서 다음式으로 表面溫度를 구하게 된다.

-時間曲線은 pen-recorder 에 의해 計測하게 된다. 傳熱面의 加熱을 銅 block 으로 할 경우에는 heater 및 gas burner 에 의해 加熱할 수 있으며 傳熱面을 알루미늄製로 할 경우<sup>23)</sup>에는 試片과 同一한 크기의 電氣加熱板과 壓着시켜 熱傳導에 의해 加熱하는 方法이 利用된다. 非正常加熱法을 利用하여 冷却할 경우에는 溫度變化가 急激하게 일어나므로 熱電對의 應答性지연으로 인한 誤差가 생기므로 最近에는 正常加熱法에 의한 沸騰全領域의 熱傳達實驗方法이 考案되고 있다.<sup>24)</sup>



- 1. Boiler
- 2. Head tank
- 3. Pump
- 4. Thermocouple
- 5. Orifice
- 6. Manometer
- 7. Calming chamber
- 8. Thermocouple
- 9. Nozzle
- 10. Shutter
- 11. Test plate
- 12. Auto-Transformer
- 13. Transformer
- 14. Current transformer
- 15. Thermocouple
- 16. Potentiometer
- 17. DC amplifier
- 18. UV oscilloscope

그림 4. 衝突水噴流에 의한 遷移 및 膜沸騰 實驗裝置

國內에서는 衝突水噴流에 의한 核-遷移-膜沸騰領域에 걸친 熱傳達實驗이 仁荷大 熱工學實驗室에서 進行되고 있으며 補助水を 利用한 上向噴流에서 單一水噴流에 비해 높은 熱傳達效果를 얻고 있다.<sup>25)</sup>

8. 構成要素 및 條件의 影響

1) 노즐形象: 노즐의 形象은 2次元噴流의 4角形노즐과 軸對稱噴流의 圓形노즐로 크게 區分할 수 있고, 또한 空氣噴流에서는 噴流板에 오리피스구멍을 여러개 뚫어 노즐의 役割을 하는 경우도 있다. 圓形노즐에서는 노즐出口速度分布가 flat type과 parabolic type인 경우에 따라서 傳熱效果가 달라지며, 前者는 stanton數( $h/\rho C_p V_o$ )의 分布가 r方向으로 扁平한 뿐 아니라 全體의 衝突板에 걸쳐 熱傳達이 작게 나타난다. 이 영향은 前者보다 後者가 stagnation point에서 더 큰 運動量의 結果라고 報告되고 있다.<sup>26)</sup> 또한 圓形噴流의 stanton數는 二次元噴流의 경우보다 낮게 나타난다.<sup>27)</sup>

2) 노즐-傳熱面間 距離: stagnation point에서의 傳熱效果를 最大로 하는 노즐-傳熱面間距離는 노즐直徑의 7~8倍인 距離이며<sup>28)29)</sup>, 10倍以上에서는 stagnation point에서 傳熱效果가 가장 크고 半徑方向 距離에 따라 減少하지만, 10倍미만에서는 半徑方向 距離가 노즐直徑의 0.45~0.5倍인 位置에서 熱傳達係數의 最大值를 갖는다.<sup>30)31)</sup>

3) 傳熱面의 傾斜: 噴流과 衝突板의 角度가 垂直이 아닌 傾斜角度를 갖는 경우에 物質傳達係數의 最大點은 stagnation point에서 傾斜面上方쪽에 存在하고, 傾斜度를 增加시키면 그 位置는 上方向으로 移動한다. 平均物質 및 熱傳達係數는 衝突板의 傾斜를 크게 할수록 減少하며 局所物質 및 熱傳達係數는 物質傳達의 最大點을 基準으로 할 때 傾斜面 上方쪽이 傾斜面 下方쪽보다

減少率이 크게 나타난다.<sup>32)</sup>

4) 썰기형 傳熱面: 썰기頂角이 180°인 경우는 stagnation point의 熱傳達係數가  $H/B = 8 \sim 10$  부근(B:노즐폭)에서 最大이고 頂角 120°인 경우도 마찬가지이다. 그러나 頂角 60°인 경우는 stagnation point 近傍에서는 熱傳達係數의 最高值가 明白하게 나타나지 않는다. 一般的으로 頂角이 增加함에 따라 썰기表面의 速度境界層外線의 速度變化는 작게 나타나고, 頂角을 180°, 120°, 60°로 할때 頂角이 클수록 熱傳達係數가 크게 나타난다.<sup>33)</sup>

5) 傳熱面條件: 傳熱面이 等熱流束條件과 等溫條件에 따라 stagnation point領域에서의 局所熱傳達係數는 一致하지만  $H/B \leq 0.25$ 는 等溫條件인 경우에 熱傳達係數의 最大值가 stagnation point로부터 노즐幅(B)의 1/2 지점에서 나타나고 等熱流束條件인 경우는 等溫條件보다 下流側으로 移動한다.<sup>17)</sup> 또한 傳熱面의 粗도가 클수록 熱傳達效果는 增大하며, 이것은 渦動의 發生促進으로 인한 亂流增大效果때문인 것으로 볼 수 있다.

6) 노즐直徑의 크기: 半徑方向 熱傳達分布는 노즐直徑이 커짐에 따라 半徑方向에 따른 減少傾向이 완만하여, 同一한 R<sub>o</sub>數에서는 노즐徑이 작을수록 stagnation point의 局所冷却效果는 크지만<sup>18)</sup> 同一한 體積流量條件에서는 노즐徑이 클수록 冷却效果가 크다.<sup>34)</sup> 그러나 burnout 熱流束에는 노즐直徑의 크기가 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다.<sup>20)35)</sup>

7) 水噴流의 可視化

① 水素氣泡法<sup>36)</sup>: 原理는 물의 電氣分解에 基礎를 두고 있으며 흐름에 영향을 주지 않은 程度의 細線(constantan)이 陰極에 相當하고, 마찬가지로 水中에 設置한 銅板(陰極) 사이에 適當한 直流電壓을 걸어 陰極細線에서 發生하는 水素氣泡를 tracer로 利用한다. 또 周期的인 直流 puls 狀 電壓을 加하면 可視化에 의한 速度分布의 概算等 定略的인 測定이 可能하다.

② 染料<sup>36)</sup>: 染料(黑色잉크 등)을 圓形노즐直後에 圓筒狀의 가는 흡을 파고 染料를 低流速流로 흡에서 圓筒上으로 흘리므로서 自由噴流部의 노즐近傍에서 混合層의 舉動, 즉 큰 scale의 規則的인 渦輪의 生成, 合體, 崩壞 정도 및 軸對稱噴流의 初期領域에 衝突板을 設置한 경우의 stagnation 領域의 舉動 등을 追跡할 수 있다.

③ 表面浮遊法<sup>37)</sup>: 10  $\mu\text{m}^{\circ}$  程度の 알루미늄粉末을 tracer로 하여 그 流動狀態의 舉動을 觀察할 수 있으며 특히 凹凸面上에서의 流動構造 및 渦流의 發生現狀을 그 粉末의 流跡을 통해 考察할 수 있는 可視化方法이다.

④ laser doppler anemometer<sup>38)</sup>: 浮力的으로 中立인 球形 polystyrene 粒子를 水中에 뿌리고 laser beam을 利用하여 粒子에서 흩어진 빛이 photomultiplier의 出力을 통해 測定點에서의 平均速度를 計算할 수 있다.

이외에 空氣噴流에서는 smoke wire를 利用하는 方法이 쓰여지고 있다.

8) 熱流束의 增減에 의한 變化: 衝突液噴流의 核沸騰領域에서 傳熱面에 正常加熱法에 의해 熱流束을 段階的으로 上昇시키면서 實驗하는 경우의 沸騰曲線( $q - \Delta T_{sat}$  線圖上)과, 熱流束을 Burnout 點 바로 前에서부터 減少시키면서 實驗하는 경우의 沸騰曲線을 比較하면 소위 hysteresis 現狀이 나타난다. 前者의 경우는 沸騰을 開始하면 壁面過熱도가 急低下하여 部分核沸騰域으로 옮겨가고 그후 發達한 核沸騰域에 도달하게 된다. 後者の 경우 前者와 같은 傾向으로 發達한 核沸騰域에 도달하지만 熱流束 上昇時에 沸騰을 開始한 熱流束에서는 單相流로 移行하지 않고 그대로 沸騰을 계속하여 沸騰開始點 熱流束曲線과 交叉하는 부근에서 氣泡發生이 보이지 않게 된다.<sup>39)</sup>

9) 正常加熱과 非正常加熱: 加熱面에 熱流束을 가하는 方法은 正常加熱法(8)項 參照)과 非正常加熱法(所定の 高熱流束을 가한 후 加熱을 中止함과 同時에 水噴流를 衝突시켜 傳熱面의 溫

度-時間曲線에 의한  $q - \Delta T_{sat}$ 를 구하면 遷移 및 膜沸騰域의 特性을 實現시킬 수 있음)으로 나눌 수 있으며, 이들 加熱法에 따라서 행해진 實驗結果는 核沸騰領域에서 同一한 熱流束에 대하여 傳熱面過熱도는 差異를 나타내는데 前者는 後者에 비해 20°C 程度 낮게 나타나는 結果가 報告되고 있다.<sup>22)</sup>

10) 熱傳達 增進方法: 熱傳達效果를 增大시킬 수 있는 方法은 여러가지가 있겠지만 實驗裝置 構成面에서 보면 大略 다음과 같이 分類할 수 있다. ① 여러개의 orifice 구멍을 갖는 噴流板을 利用하는 方法, ② 噴流角度變化에 따르는 部分冷却效果의 增大方法, ③ 傳熱面에 돌기附着(roughness)에 의한 熱傳達의 增大方法, ④ 噴流群에 의한 方法, ⑤ 노즐과 傳熱面 사이에 多孔板 또는 screen을 設置하여 亂流促進에 의한 熱傳達效果의 增大方法, ⑥ 粒子層을 利用하는 方法, ⑦ 補助水를 利用하는 方法<sup>40,41)</sup> 등을 들 수 있다. (다음호에 계속)

## 參 考 文 獻

15. 平田, 森岡, 衝突水噴流의 熱傳達에 關する 研究, 日本機械學會論文集, 42卷, 352號, pp.236-243, 1976.
16. 石谷, 中西, 水野, 今村, 衝突圓形水噴流にする 熱傳達(射流液膜의 二つの, 干涉域의 流動と 傳熱), 日本機械學會論文集, 42卷, 357號, pp.1502-1510, 1976.
17. 稻田, 宮阪, 泉亮, 二次元水噴流と 一樣熱流束平板間의 層流 熱傳達에 關する 研究, 日本機械學會論文集(B編), 47卷, 44號, pp.336-343, 1981.
18. Shiro Nagai, Totomu Kawai, Kaoru Taniguchi, On the Cooling by a Water Jet, JSME, Vol.21, No.104, pp.310-315, 1955.
19. Yin-Chao Yen, Anthony Zehnder, Melting Heat Transfer with Water Jet, Int. J.

- Heat Mass Transfer, Vol.16, pp.219-223, 1973.
20. M. Monde, Y. Katto, Burnout in a High Heat-Flex Boling System with an Impinging Jet, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.21, pp.295-305, 1978.
21. 勝田, 黒瀬, 液膜の沸騰熱傳達に 關する 研究(第2報, 核沸騰限界熱流束に ついて), 日本機械學會論文集, 47 卷, 421 號, pp.1849-1860, 1981.
22. 中西, 石谷, 越智, 森田, 二次元水噴流に する 高温度の 冷却, 日本機械學會論文集(B 編), 46 卷, 401 號, pp.714-724, 1980.
23. M. Lamvik, B. A. Iden, Heat Transfer Coefficient by Water Jets Impinging on a Hot Surface, proc.7th Int. Heat Transf. conf. München, Vol.3, Fc64, pp.369-375, 1982.
24. 伊藤, 高田, 中鳥, 北村, 白石, 高温面の 水冷却に 關する研究(第1報, 試験装置の 製作 および 動作特性), 第22回, 日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp.100-102, 1985.
25. 嚴基讚, 徐正閔, 衝突水噴流의 遷移 및 膜沸騰熱傳達에 關한 研究, 空氣調和・冷凍工學, 第14卷, 第2號, pp.87-97, 1985.
26. N.R. Saad, W.J.M. Douglas, A.S. Mujumder, Prediction of Heat Transfer under an Axisymmetric Laminar Impinging Jet, Ind. Eng. Chem. Fundam, Vol. 16, No.1, pp.148-154, 1977.
27. A.F. Mills, S.Kim, F.Leiniger, S.Ofer, A. Pesaran, Heat and Mass Transport in Turbulent Liquid Jet, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.25, No.6, pp.889-897, 1982.
28. Peter Hrycak, Heat Transfer from a Row of Impinging Jets to a Concave Cylindrical Surfaces, Int, J, Heat Mass Transfer, Vol.24, pp.407-419, 1981.
29. Robert Gardon and J. Cahit Akfirat, The Role of Turbulence in Determining the Heat Transfer Characteristics of Impinging Jets, Int. J. Heat-Mass Transfer, Vol.8 : pp.1261-1272, 1965.
30. B.N.Pamadi, I.A. Belov, A Note on the Heat Transfer Characteristics of Circular Impinging Jet, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.23, pp.783-787, 1980.
31. C.J. Hoogendoorn, The Effect of Turbulence on Heat Transfer at a Stagnation point, Int, J, Heat Mass Transfer, Vol. 20, pp.1333-1338, 1977.
32. E.M. Sparrow, B.J. Lovell, Heat Transfer Characteristics of an Obliquely Impinging Circular Jet, Journal of Heat Trans ASME, Vol.102, pp.202-209, 1980.
33. 洪永杓, 平田, 西脇, 鳥居, 噴流に する熱傳達(第4報), 第6回日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp.193-196, 1969.
34. 嚴基讚, 徐正閔, 衝突水噴流에 의한 熱傳達促進에 關한 研究(노즐直徑의 영향), 仁荷大 産業科學技術研究所論文集, 第12輯, pp.11-19, 1984.
35. 門出, 甲藤, 衝突噴流沸騰系の パーンアウトの研究(第2報, パーンアウト熱流束の 無次元整理), 日本機械學會論文集, 43 卷, 373 號, pp.3408-3416, 1977.
36. 横堀誠一, 衝突噴流の よどみ領域における 亂流輸送機構に 關する 研究, 日本東京大學 博士學位論文, 1979.
37. 車指永, 笠木, 平田, 牧野, 波形面に 衝突する 二次元噴流, 第21回 日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp.94-96, 1984.
38. A.D. Garrd, M.A. Patrick, The Velocity Field Produced by a Submerged Jet

- Directed Upward at a Free Surface, Int, J, Heat Mass Transfer, Vol. 26, No. 7, pp. 1029-1036, 1983.
39. 日野, 植田, サブクール沸騰流における傳熱および流動特性について(第1報 沸騰特性), 日本機械學會論文集(B編), 50卷, 458號, pp. 2401-2408, 1984.
40. 崔國光, 上向衝突水噴流의 熱傳達에 關한 實驗的 研究, 慶熙大學校 博士學位論文, 1981.
41. 嚴基讚, 徐正閔, 衝突水噴流에 의한 熱傳達 促進에 關한 研究, 大韓機械學會論文集, 第6卷, 第4號, pp. 301-307, 1982.