

熱傳達の 促進技術(Ⅱ)

Techniques of Heat Transfer Enhancement

徐 正 閔*
Jeong Yun Seo

1. 亂流促進體

A. E. Bergles¹⁾에 의하면 일반적으로 相變化를 동반하는 熱傳達現象에 비해서 熱傳達係數가 낮은 單相流에 대한 熱傳達の 促進法(여기서 熱傳達の 促進이란 對象으로 하는 傳熱系에 어떤 裝置의 方法을 사용하여 어떤 拘束條件下에서 熱傳達係數를 증대시키는 것을 뜻한다)을 다음과 같이 분류하였다.

- (I) Rough heated surface
- (II) Displaced promoters
- (III) Vortex generators
- (IV) Heated-surface vibrator
- (V) Fluid vibrator
- (VI) Electrostatic field generator

이 중에서 (I)~(III)은 系外部로부터 動力 등의 補助에너지를 공급할 필요가 없는 受動的 方法에 속하며, (IV)~(VI)는 外部로부터 補助에너지의 공급이 필요한 能動的 方法에 속한다. 여기서는 受動的 方法에 의한 單相流의 熱傳達 促進法에 관해서 기술하기로 한다.

受動的 方法에서 亂流促進體(turbulence promoter)란 흐름에 攪亂을 일으키게 하므로서 傳熱促進을 도모할 目的으로 傳熱面 附近에 설치하는 작은 物體(이것은 반드시 傳熱面에 접하고 있는 것은 아니다)를 말한다.

亂流促進體로서는 각종 形狀, 形式이 提案되고 있는데, Nunner²⁾以後의 研究에 의하면 設置하는 突起形狀과 寸數, 配置(pitch와 높이의 비나 主流에 대한 傾斜度), 流路形狀등을 parameter로 하여 각종 流速에 대해서 實驗을 실시하였다. 여기서는 그 一例로서 그림 1과 같이 平板傳熱面 근방에 1개의 円柱를 둘 때 平板을 따라 發達하는 亂流境界層을 생각하기로 한다.³⁾

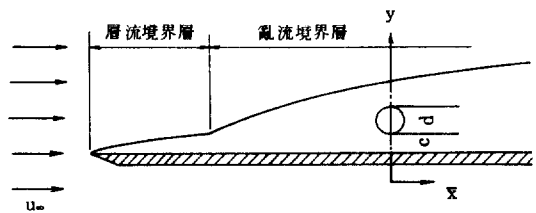


그림 1. 平板을 따라 形成되는 境界層中에 있는 円柱

이 境界層內에 圖示된 바와같이 二次元 円柱를 둔 경우의 流動樣相은 c/d (틈새와 円柱 직경의 비, 이후 틈새비라 칭함)의 변화에 따라 그림 2와 같이 나타난다.

平板近傍에 1개의 円柱를 둘 때의 平板上의 局部熱傳達係數 h 를, 円柱를 두지 않을 때의 同一한 位置에서의 그 값 h_0 에 대한 比로 나타낼 때, 無次元 座標 \bar{x}/d 에 대한 變化는

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學 機械工學科

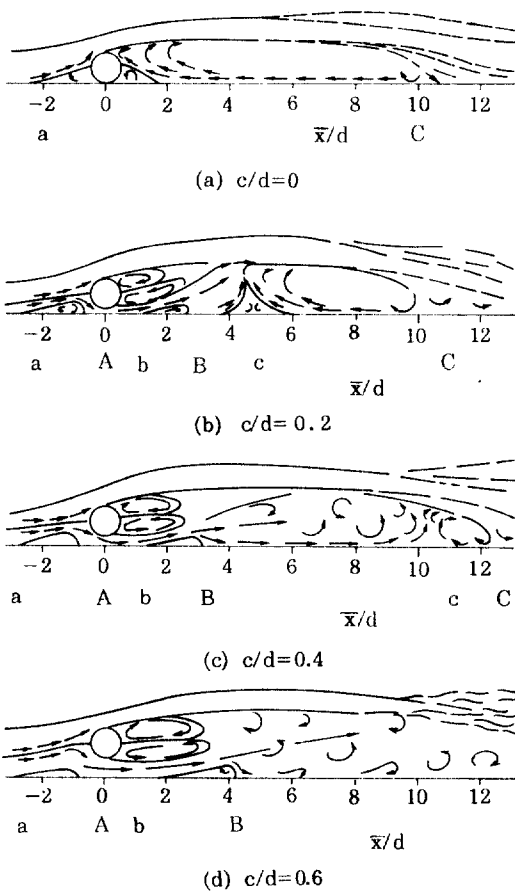
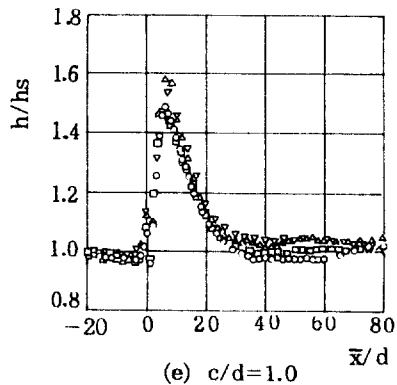
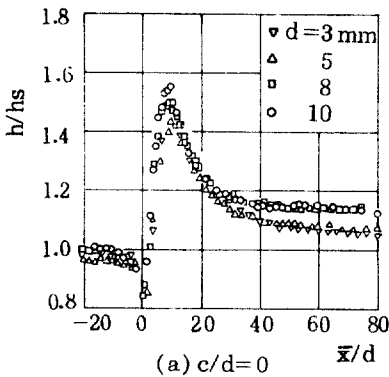
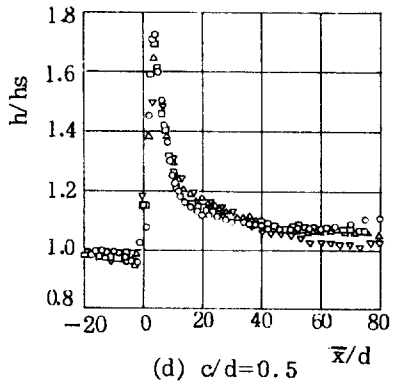
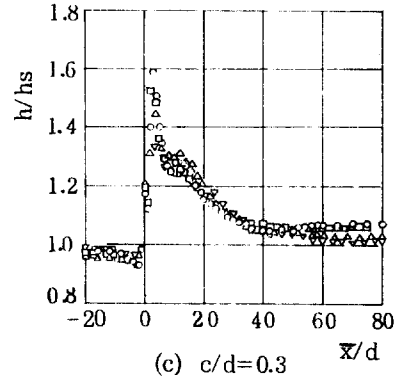
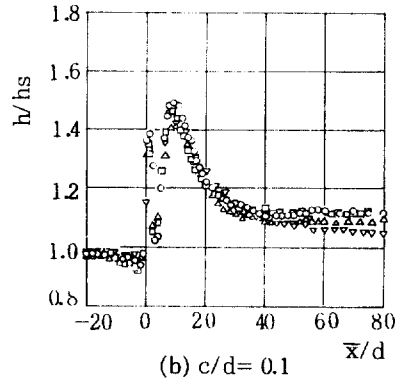


그림 2. 円柱近傍의 흐름의 pattern

그림 3 (a)~(f)와 같다. 여기서 \bar{x} 는 円柱상 입位置로부터의 흐름方向의 距離이다 (그림 1 參照). 各 그림에는 일정한 틈새비 c/d 에 대해서 直徑이 變換 때의 結果를 정리하였다.



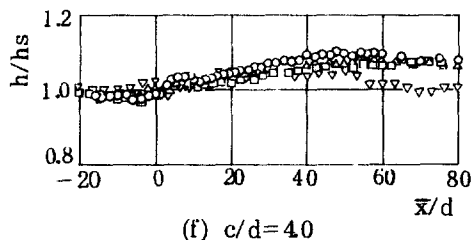


그림 3. 局部熱傳達係數 分布(円柱)

이 表示에 의한 熱傳達係數 分布는 $c/d = 0 \sim 4.0$ 까지의 모든 틈새비에 대해서, 틈새비 c/d 가 같은 경우에는 각각 直徑과 관계없이 서로 近似한 分布形率을 나타내고 있다.

그러나 틈새비가 變化할 때 이들의 熱傳達係數 分布에서의 極大 혹은 極小의 數나 位置의 變遷 등에서 分明한 바와같이 그 分布形狀은 현저하게 變한다(그림 4 參照)

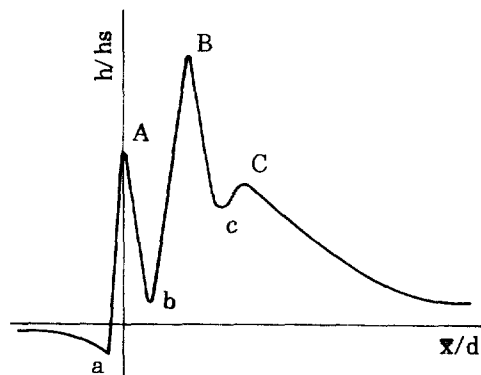


그림 4. 熱傳達係數 分布의 極大와 極小

즉 이와같은 系에서는 틈새비 c/d 가 重要한 parameter임을 알 수 있다.

그림 4는 熱傳達係數의 向上이라는 觀點에서 틈새비의 範圍($c/d \leq 1.0$)에서 가장 많은 極大나 極小가 관측된 경우의 熱傳達係數 分布 [예를 들면 그림 3(c)]를 圖示적으로 표시한 것이다.

그림 4에서와 같이 極大는 上流側에서부터 順序에 따라 A, B, C 極小를 a, b, c로 표시하기로 한다.

그림 2(a)~(d)는 油膜法 및 알미늄粉末浮遊法에 의한 흐름의 觀察結果에 따른 円柱近傍에서의 흐름의 樣相을 그린 것이다. 이 그림

의 下段에 적은 A, B, C 나 a, b, c는 前述한 熱傳達係數 分布에서의 極大나 極小의 位置를 나타낸다.

各 極大 및 極小의 位置와 flow pattern 間에는 다음과 같은 關聯性이 있음을 알 수 있다.

- (I) 極小 a는 円柱直前의 平板上에 생기는 剝離過流의 剝離位置에 대응하며
- (II) 極大 A는 円柱直下에 있으며, 틈새에서의 흐름의 加速과 관계된다.
- (III) 極小 b는 틈새를 지나는 흐름(以後 틈새流라고 부르기로 한다)이 平板에서 剝離하는 位置에 거의 對應하고 있다.
- (IV) 틈새를 둔 경우의 特徵인 極大 B는 틈새流가 平板上에서 剝離한 후 再附着하는 位置와 거의 對應한다.

틈새의 增大와 더불어 이 剝離過流는 下流로 이동해 간다. 그리고 極小 b의 位置는 円柱背後에 形成되는 雙過流의 中心 가까이 있는데 대해서, 極大 B의 位置는 흐름의 混合이 심한 雙過流의 後端部에 대응하는 點도 注目된다.

極大 C는 円柱가 壁面에 附着된 $c/d = 0$ 의 경우 [그림 3(a)]에 볼 수 있는 極大에 대응하는 것이며, 틈새가 比較的 좁은 경우에만 存在하며 틈새비 $c/d = 0.5$ 에서는 찾아볼 수 없다. 그림 2(a)에 의하면 $c/d = 0$ 인 경우의 極大는 円柱上面에서 생기는 自由流線이 平板壁에 도달하는 位置와 거의 一致한다. 이 自由流線에 의해서 円柱의 後方에 形成되는 큰 過流는 틈새의 증가와 더불어 下流로 밀려가서 작아지며, $c/d = 0.6$ [그림 2(d)]에서는 消滅된다.

熱傳達係數 分布에서의 極大 C는 이 自由流線이 平板에 到達 혹은 近接하는 位置近傍에 나타난다.

그리고, 極小 c는 이 큰 過流의 逆流와 壁面에 再附着한 틈새流와 衝突하는 位置와 거의 對應하고 있다. 결국 그림 2에서 알 수 있는 바와같이 円柱는 流動場에 대하여

- (I) $c/d = 0$ 의 경우, 表面에 附加된 粗度로서 作用하며, 壁表面에 附着한 몇 개의 過流를 生成하며, 境界層을 攪亂시킨다.

(II) $c/d \neq 0$ 의 경우

- a) 円柱後方에 wake 를 만들고, 境界層을 攪亂시킨다.
- b) 壁表面에서 보다 떨어진 位置를 흐르는 流體를 円柱下方으로 유도하므로서 境界層을 混合시킨다.
- c) 円柱下方으로 流體를 加速시킨다.

의 效果를 나타내고 있다. 이들의 效果에 의해 熱傳達係數 h 는 同一流速, 同一位置의 平板上에서의 亂流熱傳達係數 h_s 에 비해서 그림 3과 같이 增大한다.

熱傳達係數는 壁面近傍의 흐름 뿐만 아니라 円柱의 後流의 흐름의 性質이나 溫度境界層에도 依存하므로 流動場과의 關聯性은 그렇게 單純하지는 않지만 前述한 熱傳達係數分布에서의 極大나 極小의 分類 및 flow pattern 과의 對應은 이 複雜한 現象을 解明하는데 有用하다고 생각된다.

以上에서는 外部흐름에 대해서 생각했는데, 이러한 境界層의 亂流效果는 管内流 등의 内部흐름에 대해서도 적용된다. 内部흐름에 대해서는 前述한 效果외에 後述하는 twisted tape 를 插入하므로서 旋回流의 效果가 期待된다. 廣義의 亂流促進體에는 이것도 포함시킨다.

亂流促進體의 性能, 특히 内部流에서의 性能을 생각할 때 注意해야 할 必要事項이 있다. 그것은 亂流促進體의 設置에 의한 摩擦係數 f 의 增大라는 點이다.

流路內의 流體의 流動에 따른 摩擦係數는 다음 式으로 定義된다.

$$f = \frac{D}{4l} \frac{\Delta P}{(\rho U_m^2 / 2)} \quad (1)$$

亂流促進體를 設置한 경우, 예를 들면 그림 3과 같이 同一流速에서 비교하면 熱傳達係數가 높아지는 것은 확실하지만 同時에 流動에 따라 壓力損失 ΔP 도 增大한다. 壓力損失이 ΔP 인 流路에서 流量 G 의 流體를 流動시키는데 필요한 pump 動力 E 는

$$E = \Delta P \cdot G \propto f \cdot U_m^3 \quad (2)$$

이다.

따라서 亂流促進體를 갖는 流路를 流體가 通過하는데 필요한 pump 動力은 平滑流路(同一流速)의 그것에 비하여 增大하게 되며 진정한 의미에서 熱傳達이 促進되고 있는지의 如否는 쉽게 판단하기는 곤란하다. 따라서 熱傳達係數의 增大의 程度를 어떤 拘束條件下에서 比較할 필요가 생긴다. 예를 들면 平滑流路和 亂流促進體를 갖는 流路의 熱傳達係數를 同一한 流束으로 比較하는 것이 아니라 pump 動力이 一定하다는 拘束條件下에서 比較한다.

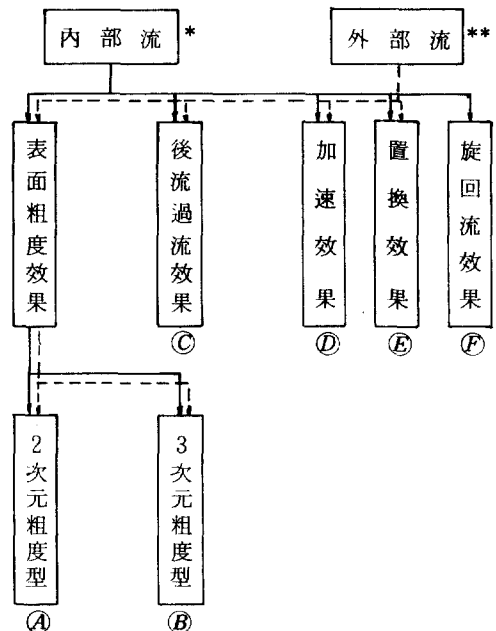
이것을 性能評價라고 한다. 따라서 亂流促進體를 갖는 傳熱面을 平滑한 基準傳熱面과 比較할 경우, 어떤 拘束條件(B)下에서의 兩者의 熱傳達係數比 η

$$\eta = \left[\frac{h_t(u_t)}{h_s(u_s)} \right]_B$$

(一般的으로는 $u_t \neq u_s, u_t < u_s$) (3)

가 1을 넘는 領域에서만이 亂流促進體에 의한 熱傳達의 促進이 實現된다는 點에 注意할 필

表 1. 亂流促進體의 分類



(註) * 熱傳達係數, 摩擦係數가 問題가 된다.
 ** 熱傳達係數만이 問題가 된다.

요가 있다.

2. 亂流促進體의 分類

그림 2 와 관련시켜서 기술한 바와같이 亂流 促進體에서 期待할 수 있는 몇가지 效果가 있다. 이 效果를 分類하면 다음과 같이 정리된다. 물론 이들 效果를 組合한 複合型 促進體도 있다.

前述한 그림 2 의 促進體는 $c/d \neq 0$ 의 경우 表 1 의 ㉔㉕㉖의 效果를 합한 것이 되며, 또한 後述하는 바와같이 ㉗ 및 ㉘의 效果를 갖는 것도 있다.

本論에서는 주로 從來부터 가장 研究例가 많은 ㉔, ㉘에 대해서 記述하기로 한다. 다만 主研究 範圍는 亂流熱傳達의 促進에서 Re 의 主要對象 範圍는 $Re > 5 \times 10^3$ 이다.

[다음號에 계속]

參 考 文 獻

1. Bergles, A. E.: Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf., Vol. 6, 89(1978).
2. Nunner, W., VDI-Forschung sheft, 455, Ser. B, 22. (1956).
3. 藤田 外 2人, 日本機械學會論文集(B), 47卷 414號, pp. 317 ~ 325 (1981).