

熱傳達 促進技術(1)

Techniques of heat transfer enhancement

徐 正 閔*
Jeong Yun Seo

1. 緒 論

熱에너지의 有效利用과 關聯되는 諸技術中에서 熱交換技術은 가장 重要한 것중의 하나로 생각된다. 近年 世界의 에너지 情勢의 緊박성과 關聯되어 熱에너지 利用裝置, 특히 熱交換裝置의 性能向上에 대한 要求는 날로 高調되고 있으며 이 要求에 應하기 위한 가장 有效한 方策의 하나로서 熱傳達 促進技術의 發展에 注力해야 함은 當然한 趨勢라고 생각된다.

여기서 熱交換器의 高性能化란, 첫째로 熱傳達 性能의 向上, 둘째로 熱傳達 性能向上의 結果로서 小形化·輕量化, 세째 耐久性 및 保守性의 向上, 네째 價格의 低減 등에 있다고 말할 수 있을 것이다. 勿論 熱交換器라 해도 種차만별하다. 즉 傳熱面 材料의 耐久性·耐蝕性에 대한 要求가 優先하는 경우도 있을 것이며, 裝置의 保守·點檢의 容易性이 重要한 경우도 있을 것이다. 그러나 이와같이 각 경우의 條件에 대해서는 個個의 具體的 경우에 맞추어 생각할 수 밖에 없다. 本稿에서는 前述한 熱交換技術의 高度化에 관한 4가지중, 지금까지 發表된 여러 方法中에서 어느程度 技術的으로 確立된 것과 學問的으로 關心을 끄는 첫째項이 熱傳達性能의 向上에 대해서 가장 必要度가 높다고 생각되는 對流 熱交換技術을 對象으로 하여 性能向上을 위한 中心技

術인 熱傳達促進技術의 基本的인 方法과 研究開發의 動向에 대해 앞으로 數회에 걸쳐서 記述하고자 한다.

2. 熱傳達促進의 基本的 方法

流體(高溫流體 또는 低溫流體)와 傳熱面間에서 單位時間當 熱移動量을 增加시키기 위한 技術을 熱傳達促進(heat transfer enhancement)이라고 한다. 다 아는바와 같이 熱移動이라는 物理的 過程은 매우 單純한 法則에 따라 支配되고 있으며 熱傳達促進技術이라고 해서 특별한 施策의 餘地가 있는것은 아니다. 즉 서로 熱交換을 하는 두 流體(高溫 및 低溫)가 있으며, 그 溫度差가 ΔT , 傳熱面積이 A , 熱貫流係數가 U 일때 單位時間當 移動(交換)熱量 Q 는 다음式으로 表示된다.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

熱傳達促進이란 式(1)의 Q 를 增大시키는 手段일 따름이다. 따라서 다음의 각각의 因子를 크게 하기위한 方法에 대해서 생각해 보기로 한다.

2-1 溫度差 ΔT 의 增大

만일 高溫物體의 溫度를 빨리 降下시키고자 할때는, 冷却用流體의 溫度는 可能的 限 낮을

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學 機械工學科

수록 좋다는 것은 自明한 일이다. 그러나 熱交換裝置의 傳熱面에서의 ΔT 는 이미 주어지거나 정해지는 경우가 많으며 또 熱에너지 有效利用의 立場에서 볼때 ΔT 는 작아야 한다. 그러나 傳熱面の 兩側을 흐르는 流體間的 熱交換과 같은 경우라도 ΔT 의 內容을 吟味하여 그 構成을 바꾸어 줌으로서 ΔT 를 有效하게 利用할 수 있다.

예를들면 傳熱面材料로서 熱傳導率이 큰것을 使用하고 그 두께를 얇게 하면 固體壁內에서의 溫度降下에 소요되는 量을 熱交換에 有效하게 利用할 수 있다. 이것의 極限인 경우의 하나가 傳熱壁을 갖지않는 直接接觸式 熱交換裝置(direct contact heat exchanger)의 경우이며 이 방식이 현재 새 形式의 熱交換方式으로서 研究開發이 進行되고 있다. 熱傳達促進을 위한 경우에도 고려의 여지는 충분히 있다.

2-2 傳熱面積 A의 增大

傳熱面に 여러가지 加工을 하여 有效面積을 넓혀서 移動熱量의 增大를 圖謀하는 方法은 熱傳達 促進技術로서 오래전부터 利用되어 왔다. 擴大面(extended surface)이라고 하는 總稱도 바로 이것을 가리키며 鰭을 갖는 面(fin surface)은 그 代表的인 것이라고 할 수 있다. 그리고 鰭을 갖는 面에서는 鰭效率(fin efficiency) ϵ 이라는 重要한 量이 있다는 것도 이미 다 알고 있는데 그 定義는 放熱鰭의 경우 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{\text{鰭全體로부터의 實際 放熱量}}{\text{鰭全體가 鰭底面의 溫度와 같다 고 假定한 경우의 放熱量}} \dots (2)$$

鰭이 붙은 傳熱面에서는 鰭에 의한 面積增加가 그대로 熱移動量 增大에 공헌하는 것은 아니며 鰭效率이 1보다 작아지는 量만큼 寄與率이 떨어진다는 것을 고려해야 한다.

이제 鰭을 갖는 傳熱面에서 鰭表面의 面積을 A_f , 鰭을 갖지 않은 部分의 面積을 A_b , 鰭을 전부 除外시킨 경우의 傳熱面의 面積을 A_0 라고 하면 모든面에서 熱傳達係數가 均一하다

고 假定할때

$$\frac{\text{鰭을 갖는面에서의 傳熱量}}{\text{鰭이 없는面에서의 傳熱量}} = \frac{A_b + \epsilon A_f}{A_0} \dots (3)$$

가 된다. 鰭效率은 鰭의 形狀, 材料의 熱傳導率 및 鰭表面과 流體間的 熱傳達係數에 따라 變한다. 특히 鰭效率은 材料의 熱傳導率이 낮을수록 떨어지므로 낮은 熱傳導率을 갖는 材料로, 熱流動方向으로 높이가 높은 鰭을 만든다고 해도 有效하지는 못하다. 最近 研究開發된 鰭面에는 面積擴大以外の 效果를 기대한 것들이 있는데 이것들에 대해서는 後述하기로 한다.

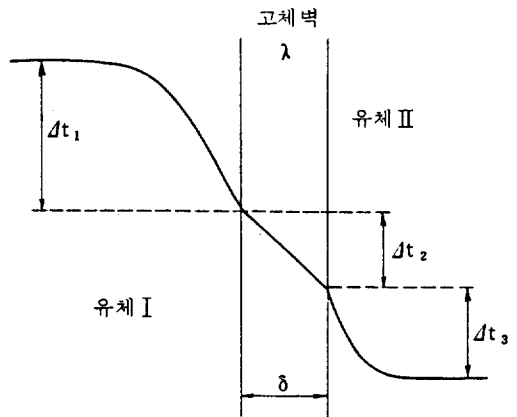


그림 1. 熱交換機構

2-3 熱貫流係數 K의 增大

좁은 意味에서의 熱傳達促進은 熱貫流係數의 增大를 도모하는데 있다고 생각할 수 있다. 그림 1과 같은 傳熱壁을 사이에 두고 2種類의 流體가 熱交換을 할때는 熱貫流係數 K는 다음式으로 表示된다.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{11}} \dots (4)$$

다만 α_1 및 α_{11} 는 流體 I 및 流體 II와 傳熱壁表面의 熱傳達係數, λ 는 傳熱壁材料의 熱傳導率, δ 는 傳熱壁의 두께이다. 따라서 K를 增大시키기 위해서는 傳熱壁의 두表面에서의

熱傳達係數 α_1 및 α_{11} 를 크게 해야 하는데 다만 좁은 意味에서의 熱傳達促進을 거론한다면 熱傳達係數의 增進에 있다고 할 수 있다. 여기서 注意해야 할것은 式(4)의 右邊의 各 熱抵抗을 거의 同一한 정도로 작게 하지 않으면 K 의 增大效果는 크게 기대할 수 없다는 點이다. 따라서 熱傳達促進을 有效하게 實現하기 위해서는 되도록이면 α_1 , α_2 , λ 는 크게 하고 δ 는 작게 해야 한다.

3. 熱傳達 促進技術의 種類

3-1 Bergles에 의한 分類

1978 年에 개최된 第6回 國際傳熱會議의 基調講演에서 Bergles⁽¹⁾는 1861 年以後에 發表된 熱傳達 促進方法에 관한 文獻數의 年次의 變化를 제시하고 最近 20 年間에 그 數가 急增하고 있는 事實에 注目케 하였다. Bergles는 이 講演에서 지금까지 提案된 熱傳達 促進技術을 다음의 3 種類로 分類하였다.

(1) 能動的 方法(active technique)

外部로부터 動力投入이 必要한 方法이며 流體 혹은 傳熱面에 振動을 加하는 方法, 靜電場의 利用등이 이에 相當한다.

(2) 受動的 方法(passive technique)

外部로부터의 動力投入을 必要로 하지않는 方法이며, 예를들면 擴大面이나 人工的 粗面의 使用, 圓管內에 twisted tape 등을 挿入하여 旋回流를 發生시키는 方法, 表面加工, 流體에 添加物을 混入시키는 方法등이 이에 속한다.

(3) 復合的 方法(combined technique)

(1)(2) 方法을 併用하는 方法이다.

에너지節約이라는 立場에서 볼때는 外部로부터의 補助를 필요로 하지않는 (2)의 方法으로 熱傳達促進을 도모하는 것이 바람직하다는 것은 두말할 필요도 없다. 그러나 技術의 進展과 더불어 事情은 약간 달라지고 있다. 그리고 좀 오래된 data 이긴 하지만 Webb⁽²⁾에 의하면 強制對流熱傳達에서 文獻에 나타난 促

進技術은 그의 約 80%가 위의 方法중에서 (2)에 속하며, 이중에서도 粗面이나 擴大面을 사용하는 것이 壓到的으로 많다.

3-2 熱傳達係數 向上策의 要點

一般的으로 熱傳達係數의 向上을 實現하기 위한 主要한 方法은 다음의 두경우로 歸着된다. (1) 溫度境界層의 두께를 얇게 하고 (그림 2 參照), (2) 傳熱面近傍의 流體를 교체하는데 있다고 생각된다(그림 3 參照).

예를들면 그림 4에서 平板上의 平均熱傳達係數는 板의 앞가장 자리에서부터 발달하는 溫度境界層이 下流로 갈수록 점차 두꺼워지기 때

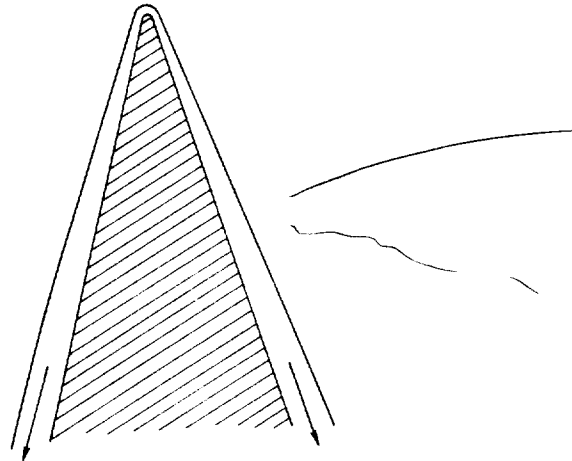


그림 2. 境界層 두께의 減少에 의한 熱傳達促進

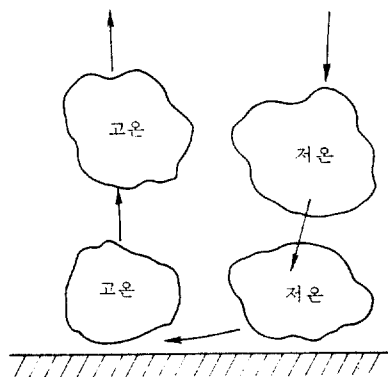


그림 3. 流體塊 置換에 의한 熱傳達 促進

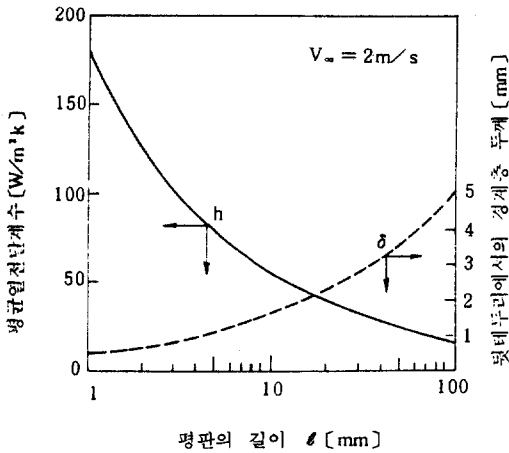


그림 4. 平板上的 熱傳達係數와 境界層 두께

문에 떨어진다. 반대로 溫度境界層 두께가 零에 가까운 앞가장자리 부근에서의 熱傳達은 매우 良好하다. 이 原理를 利用한것이 앞으로 설명될 各種 interrupted fin이다.

溫度境界層의 두께를 항상 작게 유지하는것이 곤란한 경우에는 흐름을 旋回시키거나 剝離·再附着을 이용하거나 흐름에 攪亂을 일으키게 하여 그림 3 과 같이 傳熱面近傍의 流體를 교체시키는 方法이 사용된다. 傳熱面이란 溫度가 서로 다른 主流의 流體塊가 傳熱面에 接觸함으로써 熱傳達이 促進된다. 이 方法은 어떤 意味에서는 能動의 方法의 變形이라고도 볼 수 있다. 그것은 流體의 교체로 傳熱面上的의 境界層의 時間平均의 혹은 面積平均의인 두께가 감소한다고 생각되기 때문이다.

4. 對流熱傳達 促進技術의 例

4-1 單相對流傳熱의 경우

(1) 擴大傳熱面

對流熱傳達의 促進을 위해서 오래전부터 實用化되고 있는 擴大傳熱面은 특히 空氣와 같이 熱傳達特性이 떨어지는 流體를 사용하여 熱交換을 해야하는 경우에 使用된다. 혹은 圓이 달린面의 使用를 들 수 있다. 最近에는 加工技術의 進歩와 利用目的의 多樣化에 따라 特殊形態의 擴大傳熱面이 製作되게 되었다. 또한 단

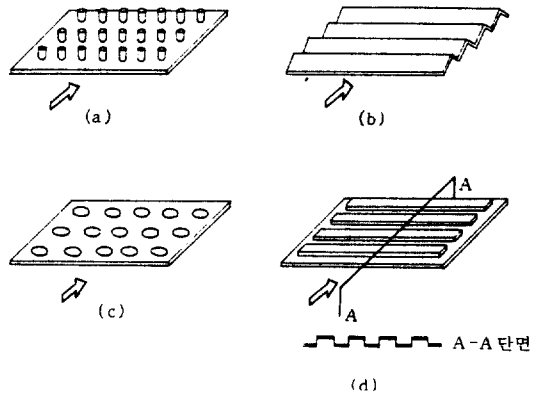


그림 5. 各種 fin面 (화살표는 흐름의 방향을 나타낸다)

지 傳熱面積을 增大시킬뿐만 아니라 圓表面上에 形成되는 溫度境界層의 두께를 얇게 하거나 攪亂케 함으로서 熱傳達係數의 擴大를 도모하는 등 二重·三重的 效果를 노리는 研究가 進展되고 있다.

그림 5 에는 그와같은 構想을 몇가지 例示한 것이다. 이밖에도 많은 考案이 發表되고 있는데 그것들에 대해서는 Shah⁽³⁾에 의한 解說등을 參考하기 바란다. 그림 5 에서 (a)는 圓위에 다시 pin fin을 세운 것이며 圓面積의 再擴大와 핀後流에서의 亂流의 發生에 의한 熱傳達係數의 增大를 노린 것이다. (b)는 圓面을 波面으로 한것이며, 이것도 약간의 面積擴大의 效果와 波形流路內에서의 흐름의 剝離에 의한 熱傳達係數의 向上을 도모한 것이다. (c)는 圓平板에 다수의 圓形구멍을 뚫은 것이며, (d)는 圓平板에 等間隙으로 面의 一部分이 교대로 凹凸部를 갖도록한 Strip fin이다. 이 Strip fin은 다음에 言及될 interrupted fin의 一種이기도 하다. 또 (c)(d)의 傳熱面을 不連續的인 部分으로 分割함으로써 圓面上에 발달하는 境界層이 下流로 감에 따라 그 두께가 증대하는 것을 阻止하며 傳熱抵抗을 減少시키고 동시에 分割된 一片의 傳熱面으로부터 흐름이 剝離하는 경우에 생기는 亂流에 의해서 熱傳達係數를 增大시키게 된다. 이미 앞에서 言及한 바와 같이 平板上的 對流熱傳達에서는 境界層이

발달하기 시작하는 앞가장자리 附近의 熱傳達係數가 매우 크므로 앞가장자리 부근에서 일어나는 熱傳達 狀態를, 傳熱面上的 여러곳에서 實現시킬 수 있으면 平均熱傳達係數의 向上이 達成될 것이다. 따라서 이를 위해서는 傳熱面을 흐름 方向으로 分割하고 境界層의 發達을 中斷시키면 된다. 이러한 意味에서 그림 5(c), (d)나 이에 속하는 分割斷面形은 interrupted fin 이라고 한다.

4-2 interrupted fin

그림 6(a) 와 같이, 흐름속에 놓여 있으며 流體와 다른 溫度를 갖는 表面上에는 速度 및 溫度의 境界層이 發達한다. 이와같은 경우의

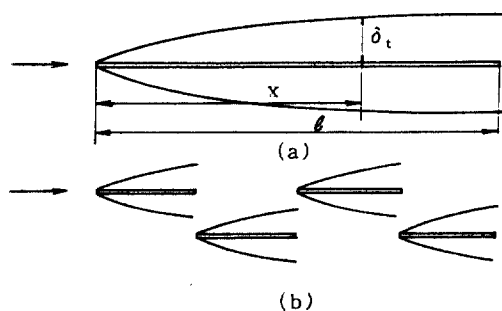


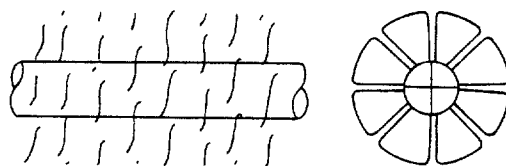
그림 6. Interrupted fin의 原理

熱傳達은 溫度境界層의 두께 δ_t 에 지배되는데 흐름이 層流의 경우에는 δ_t 는 傳熱面 先端으로부터의 距離 x 의 平方根에 比例하여 增大하므로 局部熱傳達係數 h_x 는 x 의 平方根에 逆比例하여 감소하며 또 傳熱面 全體의 平均熱傳達係數 h_m 도 傳熱面길이 l 의 平方根에 逆比例한다. 즉,

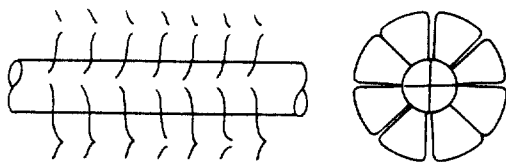
$$h_x \propto x^{-1/2}, h_m \propto l^{-1/2} \dots\dots\dots (3)$$

이 原理를 이용한것이 interrupted fin이다.

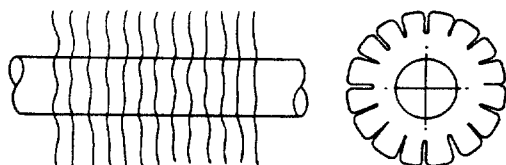
그림 6(b)와 같이 傳熱面을 겹치지 않도록 周期的으로 놓은 offset fin은 이 경우의 典型的인 fin이 되며 이와같은 fin에서는 傳熱面上에 形成되는 境界層의 發達이 途中에서 中斷되기 때문에 全體적으로 높은 熱傳達係數를 얻



나선모양의 fin이 잘린됨을 갖는 경우



圓板모양의 fin이 잘린됨을 갖는 경우



나선모양의 fin이 부분적으로 잘린됨을 갖는 경우

그림 7. Interrupted fin을 갖는 管의 例

게 된다.

그림 7은 interrupted fin이 달린 管의 例를 표시한다. 그리고 이와같은 傳熱面에서 한개의 fin片을 지난 흐름이 그대로 다음 fin片에 닿으면 境界層中斷의 效果가 減殺되는 것을 고려하여 fin의 面을 흐름에 대해서 약간 경사지게 하는 方法이 적용되는 경우가 많다. 이와같은 fin片의 配置에 의한 傳熱性能의 變化에 대해서는 最近 鈴木⁽⁴⁾에 의한 計算結果가 報告되고 있다. 그림 8⁽⁶⁾에 표시된 바와같은 Corrugated louvered fin은 실제로 사용되고 있는 이 種類의 傳熱面의 代表的인 例이다. Corrugated louvered fin은 近年 自動車用 radiator의 放熱面에 사용되고 있는데 이 開發에 의해서 現在의 自動車用 라디에이터의 容積當 重量은 20年前에 비해서 約 4分の 1로 줄었다고 한다.

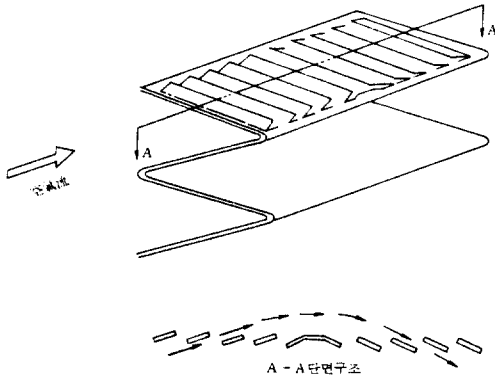


그림 8. Louvered fin

interrupted fin의 성능 예측을 실제 傳熱面에서 실시하는데에는 상당한 어려움이 따른다. 그림 5(d)의 Strip fin을 예로들면 傳熱面的 中間위치에 있는 한장의 Strip fin斷片에서의 傳熱은 上流쪽에 있는 다른 斷片을 지나온 흐름의 영향을 받으므로 單一平板에 대해서 얻은 知識을 그대로 適用할 수는 없다.

Cur-sparrow⁽⁶⁾는 흐름과 平行한 同一平面上에 간격을 두고 놓인 두장의 平板에서의 흐름과 傳熱에 대해서 測定을 하여 두번째 平板에서의 傳熱은 첫번째의 平板에서 발달한 速度 및 溫度分布의 영향과 첫번째의 平板後

端에서 생기는 後流의 영향을 같이 받기 때문에 平板의 두께, 두장의 平板間의 間隔, 흐름의 레이놀즈數 등의 組合에 의해서 相異한 結果가 생긴다는 것을 밝혔다. 實際의 熱交換器用 傳熱面에서는 流路나 傳熱面의 形狀 및 흐름의 양상이 한층더 複雜한 것이 되므로 實際機器試驗과 근사한 形態의 性能豫測試驗은 꼭 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Bergles, A.E. : Proc. 6th Int. Heat Transfer Conference, Vol. 6. 89.(1978).
2. Webb, R.L. : Development in Heat Exchanger Technology-I (ed by Chisholm, D), Applied Science Publishers(1980), 179.
3. Shah, R.K. : Heat Exchangers : Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design(ed. by Kakac .S. et al.) Hemisphere Publishing Co., 28.(1981)
4. 鈴木, 太田 : 自動車技術, 32-8. 758(1978)
5. 藤掛 : 日本機械學會誌, 81-714(1978), 426.
6. Cur.N. and Sparrow, E.M., Int. J. Heat Mass Transfer, 21(1978), 1069.