

直接接觸式 蒸 發 器 *

任 將 淳 **

1. 緒 言

傳熱壁를 通하지 않고 高溫側의 物質을 低溫側의 物質에 直接 接觸시켜 熱을 傳達하고 이것에 의하여 低溫側 物質을 蒸發시키는 裝置 즉 直接接觸式 蒸發器라고 불리는 裝置로는 物質의 熱力學의 狀態, 成分, 種類 및 蒸發器의 用途, 規模 等에 따르는 여러가지 型式을 생각할 수 있다.

예를들면 物質의 相에 대한 것만 봐도 高溫 物質로 氣體, 液體, 氣液混合體, 固氣混合體 等의 경우가 있고 더욱 極端인 것을 든다면 高溫 融體塊가 있다.

한편 低溫側의 경우는 純粹한 液體 以外에도 氣液混合體, 固體 Pellet, 固液混合體 等의 경우가 있을 것이다.

여기서는 上記中 特히 兩接觸物質이 初期에 液相인 液-液直接接觸式 蒸發器 (D. S. G)를 들어 그 特性, 要件, 現象過程 等에 관한 개요를 말하기로 한다.

그러나 D. S. G.는 아직 研究開發 및 調查 단계에 있고, 蒸發器로서의 確立된 特性 Data 等이 없기 때문에 記述하는 바가 概念的으로 편중된 점이 있음을 미리 말하고 싶다.

2. D. S. G 의 特徵과 問題點

D. S. G. 에는 크게 나누면 다음과 같은 利用 方式이 있다.

- ① 蒸發에 의한 濃縮 또는 分離
- ② 發生蒸氣利用

a. D. S. G 外部에서의 利用

① 蒸氣 Cycle (軸일 또는 發電 등)

㉠ Process 蒸氣供給(化學原材料 또는 熱源 등)

b. D. S. G 内部에서의 利用

① 加速 또는 驅動(液體金屬 MHD 또는 氣泡 Pump 등)

㉠ 反應促進(蒸氣-液流動層 등)

Energy 有効利用의 觀點에서는 ②a ①의 分野가 가장 有力視되며 이 D. S. G.는 종래의 間接式蒸發器에 비해 固體傳熱壁를 없애는 것이므로

① 境界膜熱抵抗과 오염에 의한 熱抵抗, 그리고 壁內熱抵抗의 消失 또는 減少

② 微粒化에 의한 傳熱面 增大 등의 效果에 의해 設備를 少型化, 構造를 간단화 할수 있고 따라서

① 製造 Cost 의 低減

② 保守管理 Cost 의 低減

③ 蒸發器 效率向上 등을 기대할 수 있다.

한편 問題點으로는 다음과 같은 點이 지적되고 있다.

① 1次系(高溫物質측)와 2次系(蒸發측)가 壓力的으로 連結되기 때문에 全體的인 壓力 Balance 를 고려한 設計가 必要하다. (이에 따라 昇壓 Pump 나 耐壓胴 등이 必要한 可能性이 생긴다.)

② 1次系와 2次系의 物質이 連結되어 경우에 따라서는 成分의 分離設備를 必要로 한다.

③ 격렬한 蒸氣爆發이나 流動不安定性 等을 피할수 있는 충분한 研究와 對策을 必要로 한다.

* 秋山 守, 機械의 研究, Vol. 31, No. 1, 1979.

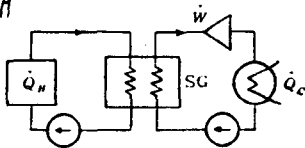
** 正會員, 漢陽工大 機械工學科

D. S. G. 에서는 容器內 各部의 現象의 相互作用을 傳熱壁에 의하여 遮斷할수 없기 때문에 微視的인 觀點에서의 特性解折은 間接式的 경우에 比해 매우 복잡하게 될것이 豫상되며 研究對象으로도 매우 흥미있는 것이 된다.

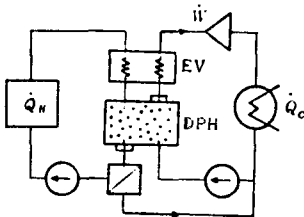
또한 豫熱部와 蒸發部와를 一體化한 上記 D. S. G. 에 있는 中間단계로서 그림 1(b)와 같이 豫熱部와 蒸發部를 分離하여 前者의 直接式(D. P. H) 을 採擇하고 蒸發部(EV)는 그대로 間接式으로 하는 方法도 있다.

낮은 溫度差의 熱 Energy 를 利用하는 경우와 같이 低沸騰點有機媒體나 Cycle 作動物質이 되는 경우에서는 有機媒體의 單相流 熱傳達特性이 낮기때문에 큰 豫熱部體積이 必要하지만 D. P. H는 이點을 많이 改良해 주는 點에서 注目되고 있다.

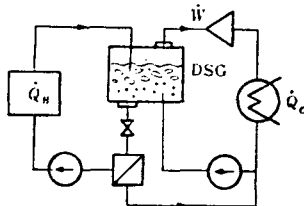
①-A



(a) 間接式豫熱+間接式蒸氣發生



(b) 直接式豫熱+間接式蒸氣發生



(c) 直接式豫熱+直接式蒸氣發生

그림 1. 間接式蒸氣發生方式에서 直接式蒸氣發生으로 (a → b → c)

3. D. S. G 의 基本型

제일 간단한 D. S. G 는 그림 2와 같이 1次系 出入口와 2次系 出入口 즉 合計 4個의 구멍을 갖인 容器이다.

兩流體는 많건 적건간에 서로 混合, 溶解하기 때문에 그림 2와 같이 各各 純粹物質로 容器에 供給된 경우 出口에서는 組成 및 濃도가 다른 것이 된다. 系가 完全한 密閉 Cycle 이라면 濃도는 平衡에 到達해 出入口에서 變化는 일어나지 않는다.

一次系의 例로서, 一般的인 地熱利用 에서는 濃度非平衡過程으로 되고 廢熱利用에서는 密閉 Cycle 로서 濃度平衡過程이라고 할수 있다.

純粹한 2次液體가 \dot{m}_c 의 比率로 流入하면 出口에서는 1次液體側으로의 移動量 $-\alpha \dot{m}_c$ 와 1次液體에서의 移動量 $\alpha_H \dot{m}_H$ 와를 \dot{m}_c 에 더한 $(1 - \alpha_c) \dot{m}_c + \alpha_H \dot{m}_H$ 만큼 流出하는 것이 된다.

$(1 - \alpha_c) \dot{m}_c$ 는 대개 完全히 過熱 또는 飽和 蒸氣이지만 兩液體의 接觸條件이나 D. S. G의 높이 등에 따라서는 部分的으로 未蒸發狀態의 一次液體가 있을 때도 있다.

$\alpha_H \dot{m}_H$ 는 주로 一次流體蒸氣分壓과 Entrainment에 의한 Carry over에 의한 것이며 좀더 詳述한다면 2次流體로의 溶解에 의한 영향이 여기에 包含된다. 兩液의 溶解度가 낮을 때는 蒸氣分壓은 溫度에 對應하는 各各의 純粹物質의 飽和壓力과 같아지며 어느 정도의 溶解度일 때는 現想的인 경우 RAOULT의 法則에 따른다.

실제로는 D. S. G의 性能向上을 위하여 目標에 따른 Hardware의 研究 및 적당한 操作條件 等の 選擇이 必要할 것이다.

이들을 表 1에 要約하여 表示했다. 構造 等の 具體的인 案은 여러가지를 생각할 수 있지만 어떤 方法으로 무엇이 最適인가는 아직 이를 論議할 단계까지는 研究가 進行되지 않았다고 사료된다.

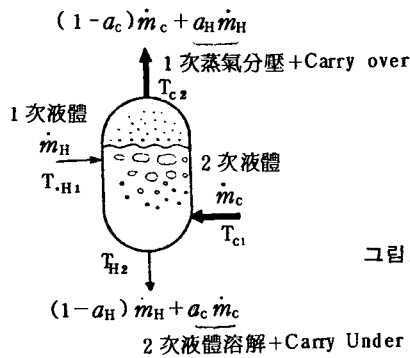


그림 2. 直接接觸式 蒸發器
(濃度非平衡過程)

〈表 1〉 直接 接觸式蒸發器의 性能向上 等에 關係서 고려해야 할, 혹은 고려할 수 있는 要素의 例

目 標	hardware	操 作 條 件 等
○ 二液의 列期微粒化나 混合促進에 의한 高傳熱面積의 實現	○ 高速注入機構 ○ 人工的 列期微粒化 混合機構	○ 可能하면 높은 注入壓力 및 高流速을 選擇
○ 二液의 微粒化나 混合進行에 의한 傳熱面積의 加一層 增大	○ 攪拌機構	○ 自動的 微粒化 및 混合을 위한 溫度 및 流動條件의 選擇
○ 다른 液體나 蒸氣로의 Carry over 의 低減	○ 氣液分離機構 ○ 蒸氣乾燥機構	○ 蒸氣 Dome 空間을 넓은 設計 및 操作
○ Carryunder 防止	○ 底部液槽機構	○ 氣液速度에 대해서 여유를 준 下降 速度의 選擇
○ 異常壓力이나 振動發生 防止와 安全對策	○ 安全放出機構	○ 격렬한 蒸氣爆發이 생기지 않는 領域의 選擇
○ 經濟性의 向上	○ 動的機器의 採用을 적극회피	○ 流路에 있어서 壓力上昇등을 極少化

4. D. S. G에 있어서 現象過程과 그特性 • 沸騰을 시작한다.

(1) 單純化시킨 現象 Sequence

어떤 速度를 가지고 2次液體가 D.S.G에 注入된다고 할때 그것이 過熱蒸氣로 될때까지의 過程을 模型의으로 表示하면 그림 3과 같이 된다.

噴流는 먼저 1次液體와 液-液直接接觸을 하고 이 過程에서 噴流의 表面層이 過熱되면 Subcool

噴流의 安定性이 낮을때는 噴流가 崩壞해서 처음부터 沸騰이 시작될 때도 있을 것이다.

그러나 어떤든 간에, 어떤點에서 噴流는 崩壞하여 液滴이 分散하고 이때 다시一時的으로 液-液接觸이 行해진다. 이리하여 液滴의 表面부터 核沸騰 또는 膜沸騰이 시작되어 蒸氣體積은 차차 增大하고 곧 蒸發해야하는 液體가 없어지므로 蒸氣의 過熱이 시작된다. 過熱蒸氣는 自由界

面부터 離脫하여 Entrainment 와 같이 流出한다. 이와같은 一連의 過程에 따르는 容器內의 높이方向의 溫度分布를 定性的으로 表示하면 그림 3 과 같다.

앞서 말한바와 같이 실제로는 2次側 未蒸發 液體가 殘存流出하는 것도 있고 또 D.S.G 의 構造(多段化나 表1 과 같은 方案)나 1次側을 Nozzle 注入하는 것 등, 그림 3에 나타나지 않는 過程이 있지만 우선 以下에서는 그림 3에 따라 各現象過程의 特性에 關하여 說明하겠다.

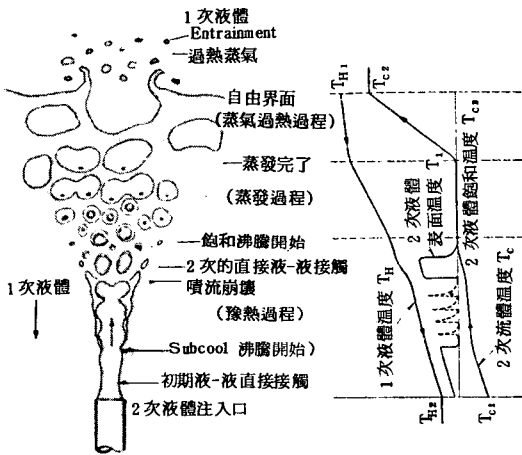


그림 3. 直接接觸式 蒸發器內의 流動傳熱過程 一部와 溫度分布의 例를 表示하는 概念圖.

(2) 初期微粒化

2次液體의 注入方法에는 Nozzle 에 의한 注入이나 위(上部)로 부터의 滴下 등을 생각할수 있지만 이러한 注入液이 가지는 運動量의 一部는 液이 滴狀으로 分散하기 때문에 界面 Energy로 消費된다.

D.S.G 에서는 말한것도 없지만 兩液의 接觸面積을 增大시키는 것이 큰 目的이기 때문에 初期의 微粒化를 實現하는 것이 重要하며 이러한 觀點에서 一般적으로는 Nozzle 에 의한 注入方式이 使用될 것이다.

液-液系에 있어서 噴流나 液塊의 崩壞에 대해서는 많은 研究가 있으며 崩壞開始條件의

Parameter 로는 Weber 數 ($W = \rho_H D U^2 / \sigma$)가 使用되고 그 임계값은 10 ~ 20 程度라고 報告되고 있다. (2)

崩壞에 의해서 생긴 液滴의 크기는 W가 增加함에 따라 減少하고 있다.

各種液體에 대한 安定한 噴流의 길이나 微粒分散學動에 關한 實驗的인 研究結果가 發表되고 있으며 注入速度 및 Nozzle 치수 등과 關聯된 Data 가 收集되고 있다.

(3) 液-液非定常傳熱

接觸後 短時間內의 熱移動量이나 兩液 界面溫度를 求하기 위하여는 非定常 傳熱計算이 行해진다. 一般적으로 短時間內의 現象이므로 對流에 의한것을 무시하여 非定常 熱傳導 問題로서 푼다.

Fourier 熱傳導式의 解로서 初期溫度가 各各 T_H, T_C 인 兩液(半無限體로 가정)의 界面溫度 T_1 은 다음식과 같이 求해진다. (3)

$$T_1 = \frac{T_H \sqrt{k_H \rho_H C_{PH}} + T_C \sqrt{k_C \rho_C C_{PC}}}{\sqrt{k_C \rho_C C_{PC}} + \sqrt{k_H \rho_H C_{PH}}}$$

실제로는 液塊의 熱容量이 有限이므로 T_1 은 時間에 따라 上昇하지만 短時間內에서는 界面溫度가 一定하다고 보아도 좋다.

Fourier 의 式에서 溫度差를 갖는 物體가 接觸한 순간의 熱流束은 發散하지만 時間으로 積分하면 타당한 값이 얻어진다.

接觸순간에 있어서는 物理적으로 熱傳播速度의 有限性을 고려한 다음과 같은 雙曲線型的 non-Fourier 型의 式이 適用된다.

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T$$

여기서 c 는 波動傳播速度(대체로 音速으로 代用), a 는 熱擴散係數이다. 이 式의 解에 (4)에 따르면 순간의 T_1 은 Fourier 의 解보다 높은 값을 갖는다. 그러나 그 時間은 예를들면 10^{-10} s 정도의 短時間內를 말하는 것이기 때문에 熱移動量의 評價에 關해서 事實상 影響이 없다고 생각해도 좋다.

4. 沸騰

液-液系에 있어서 沸騰開始條件은 固體面上的 沸騰과는 달라 豫測하기가 어려운 問題이다.

흔들림이 없으며 發泡核이 부족한 狀況에서 的 接觸에서는 소위 自發核生成溫度까지 液溫이 過熱돼야만 發泡가 시작한다.

이 自發核生成溫度 T_{SN} 에는 液體內部에서의 物質核生成溫度 T_{HN} 과 液-液界面에서의 非物質核生成溫度 T_{HEN} 이 있으며 $T_{HN} \geq T_{HEN}$ 의 關係가 있다.

T_{HN} 은 現實的 時間感覺中에서 均質液體內的 發泡가 시작되는 下限溫度이다. 다시 말하면 均質液體內에서는 統計論的인 흔들림에 의한 豫備核(embryo)의 生成과 이것에 대한 液體分子의 충돌이 반복되며, 그 豫備核內에서 周圍의 壓力에 對抗하여 그 自身이 成長할수 있을만한 크기에 到達한 氣泡核이 單位時間 單位 體積內에 얼마나 存在하는가를 計算해 보면 그림 4와 같이 된다.

여기서 보면 어떤 溫度에서 急격히 核生成率이 增加하는 點이 있으며 T_{HN} 은 이 急격한 上昇點의 液溫을 말한다.

熱力學的으로 보면 T_{HN} 은 液體의 熱力學的 過熱限界이고 PV線圖를 $V_{AN} D_{ER} W_{AALS}$ 式으로 表示하면 T_1 은 $0.844 T_C$ (T_C 는 임계온도) BERTHELOT 式에 의하면 $0.919 T_C$ 로 된다.⁽⁵⁾

實驗結果는 이 兩者 사이에 位置하는 것이 알려져 있지만 溶解 gas를 包含한 液體에서는 T_1 , T_{SN} 보다 높다.⁽⁶⁾

흐트러짐이나 界面張力이 作用하고 또 不純物이 發泡核으로 되는 系의 界面에서의 非均質核生成溫度 T_{HEN} 은 물론 T_{HN} 보다 낮지만 T_{HEN} 을 (Model에 의한 理論計算은 可能하지만) 豫測하는 것은 매우 곤란하며 狀況에 따라 경험적으로 파악할수 밖에 없다.

2次液體 周圍에 생긴 蒸氣는 兩液의 溫度條件에 따라 安定 혹은 不安定하게 增大해 간다.

1次液體에서 蒸氣塊로의 傳熱은 같은 體積을

갖는 固體球 또는 液體球의 對流傳熱整理式에 따른다고 하지만 形狀의 영향등에 대한 補正이 行해지고 있다.

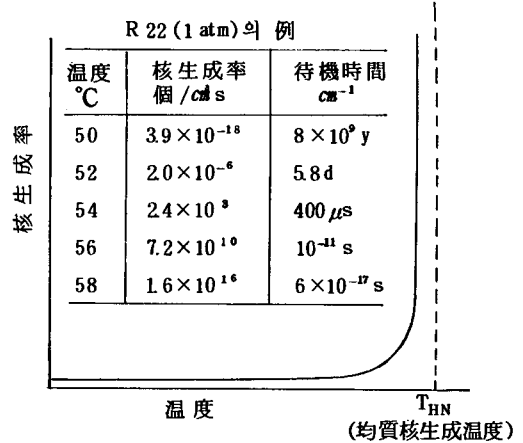


그림 4. 溫度에 따른 核生成率의 急격한 變化

2次液體가 蒸氣塊속에 完全히 密閉되어 있다 든가, 또는 界面에 殘存한다고 생각함에 따라 (蒸氣塊中에서 무거운 液滴은 밑에 피어서 液膜이 된다고 하는 것이 自然的인지도 모른다) 傳熱計算 Model 은 다르지만 蒸氣抵抗을 무시하면 結果는 큰 차가 없다고 생각된다.

蒸氣泡로의 熱傳達係數값은 物質의 種類나 流速, 壓力 등에 따라 變하지만, 예를들면 水中을 25 cm/sec 로 上昇하는 지름 3.6 mm 의 Pentane 蒸氣液滴에서 溫度差가 3.8°C 의 경우 넓은 Quality 범위에서 熱通過率換算으로 약 3 ~ 5 kw/m²K 의 값이 얻어졌다.⁽⁷⁾ 熱通過率만 으로 比較하면 이값은 有機媒體를 使用하는 蒸發器의 값보다 적어도 數倍以上 크고 따라서 直接式이 얼마나 有望한가를 表示하고 있다.

液滴上昇經路의 Quality (蒸氣質量/2次液體質量) 가 增大하는 傾向等,^{(8), (9)} 蒸發舉動 一連의 追跡이 行해지고 있지만 여러가지 條件下에서 자세한 特性을 광범위하게 알기 위하여는 앞으로 이에 관한 實驗이 많이 行해질것이 要望된다.

다음으로 沸騰에 따라 일어날지도 모르는 2次的인 微粒化, 混合促進에 관하여 記述한다.

Leidenfrost 現象實驗으로부터 안 것이지만 傳熱面溫度를 安定한 蒸氣膜을 維持할수 있는溫度以下로 내리면 液滴은 急히 격렬하게 움직여 금방 튀어 나간다. 이것은 沸騰에서 말하면 遷移沸騰에 해당하며, 液滴의 沸騰에 있어서도 初期接觸溫度差를 徐徐히 上昇시키면 격렬한 沸騰이라고 부르는 現象이 일어나 開放容器的 경우 등에서는 液體가 날아 나가며, 아마도 이는 遷移沸騰에 基因한 結果일 것이다.

이와같이 初期溫度條件을 적당히 選擇할수 있다면 初期混合에 더하여 沸騰을 利用한 2次的 微粒化 및 混合의 效果를 最大限 活用할수 있을 것이며 따라서 問題가 되는 것은 溫度條件과 微粒化와의 關係를 파악하는 것이다.

非凝固性 液體의 微粒化 舉動을 觀測하기는 매우 어렵지만 溶融金屬을 水中에 滴下시키는 實驗 등에서 平均粒徑(예 들들면 약 200 μm) 이나 粒徑 Spectrum 의 몇개는 求해지고 있으므로 어느 정도의 추측은 가능하다.

2次的 微粒化를 最大로 進行시키기 위하여 完만한 蒸氣爆發을 活用하는 方法도 있다. 元來 蒸氣爆發은 衝擊波를 同伴하는 격렬한 熱反應으로 安全上 이의 發生을 避해야 할 것이지만 氣相의 介在, 拘束力의 除去, 接觸溫度差의 減少 등을 通해서 完만한 蒸氣爆發, 즉 높은 壓力波를 同伴하지 않는 微粒化 및 蒸發過程까지 약하게 할수있다.

蒸氣爆發의 研究는 産業安全과 關聯하여 現在 世界各國에서 進行되고 있으며^(10, 11, 12) 完만한 蒸氣爆發의 制御法에 關하여도 머지않은 장래에 할수 있게 되리라고 期待된다.

또한 격렬한 蒸氣爆發이 發生되기위한 初期接觸溫度條件으로서 두가지의 說이 있는데 그 하나는 界面溫度 T_i 이 均質核生成溫度 T_{HN} 에 到達하는 것이 必要하다는 主張이며 다른 하나는 衝擊波가 外的인 亂動을 받으면 $T_i < T_{HN}$ 이라도 蒸氣爆發은 일어난다고 하는 것이다.

(5) 物質移動

液-液 또는 氣-液의 溶解度에 關하여는 平

衡溶解度⁽¹³⁾가 하나의 기준이 되지만 D.S.G와 같은 流動過程에서는 接觸面積 및 接觸時間을 고려한 動的評價가 必要하다.

따라서 沸騰過程 등의 Model 이 D.S.G에 關하여 確立되어 있지 않고있는 現在에는 物質移動에 대해서도 解折的인 取扱은 곤란하다.

Freon 등은 물에 相當한 量이 溶解하며 물 또한 그들에 어느 程度 溶解한다. (文獻에 의하면 25°C, 1 atm 의 R113을 例로들면 물에 對해 質量比로 약 2×10^{-4} , 같은 條件에서 R11에 對하여는 약 1×10^{-3} 溶解하고 逆으로 물은 R113, R11에 對해서 약 1×10^{-4} 溶解한다) 接觸이 短時間이라도 D.S.G에서는 接觸面積이 크고 壓力도 높은 것이 많아서 얼마만큼의 量의 溶解는 불가피한 것으로 생각되며 그러므로 必要에 따라서는 이를 分離해 야하는 것이 實際的이다.

그림 1에서 소개한 D.P.H 의 研究⁽¹⁴⁾에 의하면 非沸騰 Isobutane (30°C)과 물(40~80°C)을 8~14 ata 의 容器內에서 接觸시킬때 물出口에서의 數百 ppm 의 Isobutane 濃도가 實測되었다. 이 값은 接觸時間을 數초~數십초 사이로 變化시켜도 현저하게 變化하지 않는 것 같이 보인다.

Carry over 나 Carry under 에 관해서는 더욱 취급된 예가 적으며 이것은 開發단계로서 Mockup 試驗에 의하여 調查하는 것이 빠른 것 같다.

(6) D.S.G 特性評價 Model 에 關하여

Micro 한 現象過程을 解折하는 立場과 實際的인 開發과는 그림 5와 같은 關係가 있다고 생각된다. Micro 한 知識은 小數의 變數나 實用式으로 구성되는 Macro Model 形으로 變形해 가지 않으면 않되지만 D.S.G 의 素過程의 連鎖는 要約하여 分析하면 그림 5의 왼쪽의 4 各형내의 화살표와 같이 쫓아서 進行해야 되고 그중의 支配的要素 및 經路의 選別은 간단하지 않다.

D.S.G 中에서 現象過程의 몇몇을 追跡 調查

하고 있는 筆者가 보는바에 의하면 D.S.G.의 特性評價는 무엇인가 너무 어려운 問題로 생각 되지만 그러나 Macro 한 立場에서 容器를 짜고 實驗을 行한다면 意外로 단순한 것이 될지도 모 른다.

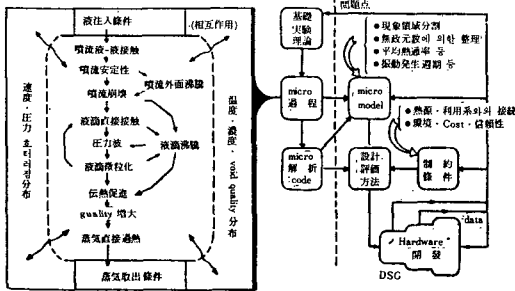


그림 5. 直接接觸式 蒸發器內의 現象素過程 (micro過程)의 連鎖 및 macro model의 位置

5. 直接接觸式 蒸發器의 應用

여기서 다시 시야를 넓혀서 D.S.G.에 국한 하지 않고 앞에서 말했은 一般의인 意味에서의 直接接觸式 蒸發器에 대해 開發된 研究狀況의 一部를 소개해 보겠다.

(1) 蒸氣 Cycle 用 D.S.G

그림 6.에 表示한 1例는 地熱水量的 有効利用을 예측하기 위하여 2次物質의 蒸氣를 氣泡 Pump의 驅動體로서 活用한다고 하는 提案 (15)으로서 D.S.G를 氣泡 Pump (이것도 D.S.G.의 一種이다)와 組合시킨 것이다.

이 방식에 의하여 押上 Pump를 使用하지 않아도 中~低溫의 地熱水를 吸出할수 있다고 하고 있다.

(2) 淡水製造

LNG 冷熱源을 利用하여 海水에서 얼음을 製造하여 淡水를 얻으려고 하는 것이며 LNG의 蒸發과 淡水製造의 두 目的을 갖는 방식이다.

操作條件等的 點으로부터 LNG와 海水사이 에 冷媒系를 준비하고 LNG - 冷媒 사이는 間

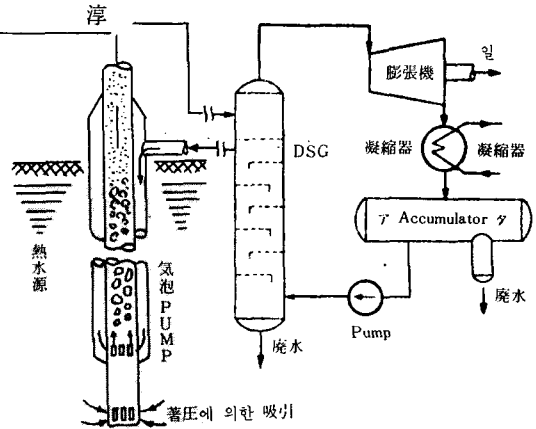


그림 6. 地熱水量 有効利用을 위한 直接接觸形 binary cycle의 構成例 (15)

接式 蒸發器, 冷媒 - 海水사이는 D.S.G.式的 結晶缶 使用을 생각할수 있다. 이에 關하여는 Pentane 等に 의한 基礎研究가 行해져 技術의 基礎가 많이 굳어지고 있다. (7, 16)

(3) MHD 用 流體加速

水流中으로 Nozzle 로부터 R-113을 注入함에 의해 沸騰에 의한 加速特性이 상세하게 조사 되었다. (9) 이 研究에 있어서는 또한 噴流의 安定性, 微粒化, 液滴蒸發, 傳熱 等の 基礎項目에 關해서 깊은 考察이 加해지고 있고, 蒸氣 Cycle 用 D.S.G.의 現象過程의 理解에 참고가 될 점이 많다.

5. 後 記

液 - 液 直接接觸式 蒸發器에 對해서 現象過程을 中心으로 생각되는 대로 記述하였지만 蒸發器 開發의 實用的인 見地에서의 重要的 技術的인 Data를 혹시 알지 못하고 넘어갔는지 모르며 따라서 本解説은 蒸發器라고 하는 것 보다 오히려 直接接觸現象의 要約으로 봤으면 한다.

또한 直接接觸傳熱의 一般의 解説이나 美國에서의 研究結果가 文獻 (17, 18)에 보여준다.

어쨌든 Energy 有効利用에 있어서 直接接觸式 傳熱設備의 必要性은 더욱 높아진다고 생각되며 따라서 이 方面의 많은 研究가 期待되는 바이다.

References

- 1) V. G. LEVICH : Physico - chemical Hydrodynamics Prentice Hall (1962)
- 2) A. W. CRONENBERG, R. BENZ : NUREG /CR - 0245, TREE - 1242 (1978)
- 3) H. S. CARSLAW, J. C. JAEGER : Conduction of Heat in Solids, Oxford (1946)
- 4) M. S. KAZIMI, C. A. ERDMAN : J. Heat Transfer, NOV. (1975) p 615
- 5) M. BI. ANDER, J. L. KATZ : AICHE J. 21 - 5 (1975) p 833
- 6) Y. MORI et al : Int. J. Heat Mass Transfer 20 (1977) p 41
- 7) S. SIDEMAN, G. HIRSCH : Israel J. Technology 2 - 2 (1964) p 234
- 8) 谷吉郎外 : 第 12 回 日本傳熱 Symposium 講演
- 9) 禁 康夫外 : 日本機械學會論文集 41-349 (1975) p 2691, p 2700 42-361 (1976) p 2892
- 10) 秋山 守, 近藤駿介 : 原子力工業 22-9 (1976) p 33
- 11) R. E. HENRY et al. : Proc. 3rd Specialist Meeting on SFI in Fast Reactors (1976)
- 12) M. TAGAWA, M. AKIYAMA : 2nd Meeting of CSNI Group of Expert on Science of FIC and of Vapor Explosions (1977)
- 13) 日本化學會, 化學便覽, 丸善 (1975)
- 14) 岩淵牧男外 : 三菱重工技報 15-3 (1978) p 49
- 15) I. SHEINBAUM : Proc. 12th IECEC (1977) p 798
- 16) 長島義悟 : 化學工學 40-4 (1976) p 191
- 17) J. R. FAR : AICHE Symposium Series, 68-118 (1972) p 1
- 18) I. SHEINBAUM, Geothermal Energy 3-8 (1975)