

界面活性劑添加에 의한 吸收溶液內的 熱 및 物質移動解析
 Numerical Analysis of Heat and Mass Transfet in the Absorbent By
 Surfactant Addition

李 東 浩* 徐 正 閔** 柏木 孝夫***
 Dong ho, Lee Jeng Youn, Seo Heo Boo, Back Mok

ABSTRACE

To better understand the phenomena inside an absorber, where heat and mass transfer coexist, this study selected the most basic absorption model from in which water vapor is absorbed on the surface of a stationary lithium bromide absorbent solution. The purpose of this study is to obtain basic knowledge of heat and mass transfer processes as affected by Marangoni convection induced by addition of surfactant. We apply a non-flowing bulk absorption model and assume that dropwise surfactant is fixed on the absorbent surface. Four governing equation-continuity, laminar monentum, energy and diffusion-are solved numerically to obtain temperature and concentraion distributions during steam absorption with Marangoni convection.. in conclusion, Sh and Nu genrally increase at the initial absorption stage.

記號說明

\bar{C} : 吸收溶液의 濃度, mole/m³

\bar{d} : 界面活性劑液滴의 直徑, m

L: 吸收溶液모델셀의 X방향代表길이, m

h_m : 物質傳達係數, m/s

\bar{H} : 吸數熱, J/mole

\bar{T} : 溶液溫度, K

D: 物質擴散係數, m²/s

g: 重力가속도, m/s²

h: 熱傳達計數, J/m²sK

\bar{t} : 시간, s

* 正會員: 東京農工大學院

** 正會員: 仁荷大學校機械工學科

*** 正會員: 東京農工大機械시스템工學科

p: 壓力, Pa
 U, V: 速度, m/s
 〈無次元〉
 C: 濃度, $(\bar{C}-\bar{C}_o)/(\bar{C}_e-\bar{C}_o)$
 H: 吸收熱, $D(\bar{C}_e-\bar{C}_o) \bar{H}(\lambda(\bar{T}_e-\bar{T}_o))$
 Gr, Gc: 溫度 및 濃度の Grashof 數, Nusselt 數, $h \frac{\bar{\delta}}{\lambda}$
 d: 界面活性劑液滴의 直徑, d/L
 Le: Lewis 數, α/D
 $g\beta(\bar{T}_e-\bar{T}_o)/\nu^2, g\gamma(\bar{C}_e-\bar{C}_o)/\nu^2$
 p: 壓力, $P_v/\rho(\nu/L)^2$
 Pr: Prandtl 數, ν/α
 Sh: Sherwood 數, $h_m \bar{\delta}/D$
 t: 시간, $\bar{t}/(L^2/\nu)$
 ρ : 密度, Kg/m³
 β, γ : 溫度 및 濃度變化에 따른 體팽창 係數

μ : 粘度, Kg/sm
 σ : 表面張力, N/m
 Sc: Schmidt 數, ν/D
 T: 溫度, $(\bar{T}-\bar{T}_o)/(\bar{T}_e-\bar{T}_o)$
 α : 熱擴散係數, m²/s
 ζ : 渦度
 ν : 動粘性係數, m²/s
 $\bar{\delta}$: 吸收溶液 層의 깊이
 〈下添字〉
 e: 平衡(equilibrium)
 o: 初期(initial)
 i: 境界(interface)
 v: 蒸氣(vapor)
 m: 平均(mean)
 w: 壁(wall)

1. 緒論

近年, 세계적으로 에너지절약에 관한 관심이 고조되고 있으며, 세계각국에서는 에너지절약機器에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다. 이러한 배경은 數次에 걸친 中東危機로 부터 비롯되었으며 에너지절약 및 化石에너지의 代替에너지에 대한 필요성의 再認識이 대두되어 原子力에너지가 각광을 받게 되었다. 그러나, 원자력設備의 安全性문제가 대두되면서 代替에너지機器 개발에 관심이 집중되고 있는 현실이며 高效率 에너지機器 개발의 불가결성을 인식하게 되었다. 그중 電氣 에너지가 아닌 熱에너지를 직접 驅動源으로 사용할 수 있는 太陽熱, 工場排水 및 地熱등의 비교적 低温, 低質의 熱源을 효율적으로 이용할 수 있는 空調설비로서 吸收式熱펌프를 들 수 있다. 이 吸收式熱펌프는, 에너지의 有效利用 측면에서 부터 에너지절감 機器중에서도 매우 주목을 받고 있으며 日本을 비롯하여 歐美先進國에서 대형건물空調 및 지역 冷暖房분야의 主流를 점하고 있다. 그 이유로서 프론係化合物(CFC)로 인한 오

존층 파괴 문제의 심각성 때문에 세계적으로 프론化合物의 사용을 금지시키는 동향이며, 따라서 吸收式熱펌프는 종래의 프론係化合物를 冷媒로 하는 電動壓縮式熱펌프의 代替기종으로 기대가 모아지고 있다. 또한, 그린에너지(Clean Energy)로서의 環境的인 장점 뿐만 아니라 에너지절감이라는 經濟的인면에서 높은 평가를 받고 있는 吸收式熱펌프는 蒸發器, 吸收器, 再生器, 凝縮器등 4종류의 주요 熱交換器로 구성되어 있으며 이 熱交換器內를 作動冷媒(H₂O)가 순환하여 低温側으로 부터 高温側으로 熱을 移動시킨다. 최근에는 高性能 傳熱管 및 각종 傳熱促進技術^{1,2)}이 개발되고 있으나 그중 吸收器가 전체의 性能을 좌우하는 주요부분으로 평가되고 있으며 吸收器內부의 현상이 熱 및 物質移動이 공존하는 복잡한 현상을 수반하는 까닭에 아직 未知의 점이 많이 남아 있다. 따라서 吸收式熱펌프의 性能을 지배하는 要因인 吸收器內의 熱 및 物質移動현상의 파악 및 개선의 先決課題로 남아있다. 종래로 부터 吸收器의 설계는 吸收器入口 및 出口에 대한 吸收溶液의 平均溫度差등을 기준으로 하는 경험적인

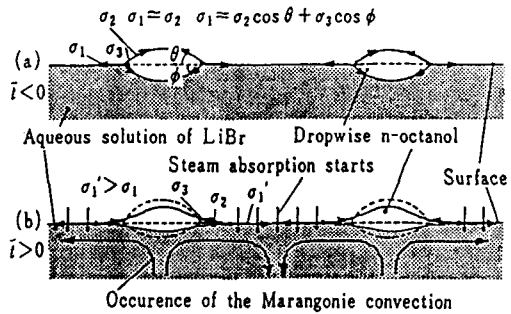
設計基準에 따라 결정되고 있다. 그러나 이 平均溫度差등은 용액내의 冷媒蒸氣가 흡수될때 방출되는 潛熱 및 希釋熱등에 의한 熱移動 및 物質移動이 공존하는 복잡한 과정을 거친 결과로서 얻어짐에 따라 吸收器내부의 현상을 충분히 파악하지 않고서는 高性能 吸收器 개발에 대한 해결책을 기대할 수 없다. 또한, 縱型吸收器의 구조로서는 충분한 物質移動面과 냉각면으로 겸비한 落下液膜式吸收器⁴⁾가 현재 많이 사용되고 있으나, 吸收液面의 波動現象⁵⁾만으로는 극소의 증기흡수에 기인한 혼합만으로 충분한 증기흡수를 동반한 냉각면으로의 熱 및 物質傳達促進效果를 기대하기는 불충분하다. 이러한 결점의 해결책으로 蒸氣吸收面의 界面攪亂이 존재하는 系로, 吸收溶液에 界面活性劑를 첨가시킴으로서 증기흡수시 발생하는 흡수용액과 界面活性劑의 表面張力差를 이용한 界面攪亂방식^{6,7)}이 吸收溶液의 혼합을 보다 현저하게 높일 수 있는 吸收促進方法으로 많이 사용되고 있다.

본 연구에는 吸收式熱펌프의 성능 향상의 일환으로서 흡수용액에 界面活性劑를 첨가시켜 발생하는 表面攪亂에 의한 마랑고니對流(Marangoni Convection)效果에 기인한 吸收溶液내부의 熱 및 物質傳達促進現象을 數值解析的方法을 통하여 흡수용액내부현상의 규명 및 吸收式熱펌프 效率向上의 指標로서 제시함을 목적으로 한다.

2. 界面活性劑첨가에 의한 界面攪亂

界面活性劑첨가시 吸收溶液表面上에서의 冷媒蒸氣가 흡수되는 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다. 氣液界面을 통하여 熱 및 物質移動이 일어나는 과정을 界面活性劑無첨가의 현상과 동일하나, 冷媒蒸氣가 吸收溶液에 흡수되면서 방출되는 冷媒蒸氣의 潛熱에 의한 溶液溫度의 상승 및 表面濃度의 저하에서 수반되는 흡수용액과 界面活性劑液滴사이의 表面張力差에 의해서 界面攪亂이 발생하는 점이 큰 차이점이다.

흡수용액(LiBr水溶液)에 飽化溶液度이상으로 界面活性劑(n-Octanol)를 첨가시켰을 경우 界面活性劑는 흡수용액에 微量으로 용해된다. 또한 界面活性劑인 n-Octanol 分子는 親有基인 長鎖알킬基와 親水基인 水酸基를 가지고 있기 때문에 흡수용액표면에 吸着되기 쉬운 성질과 微量의 첨가로 表面張力을 큰폭으로 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 실제 흡수용액표면의 界面攪亂은 界面活性劑液滴사이에서 발생한 마랑고니對流에 기인된 것으로 생각할 수 있으며 發生機構로서는 Fig.1과 같이 가정할 수 있다.



- σ_1 : Surface tension of the aqueous solution of LiBr with the molecular layer of n-octanol
- σ_1' : σ_1 just after the steam absorption starts
- σ_2 : Surface tension of n-octanol
- σ_3 : Surface tension between n-octanol and the aqueous solution of LiBr

Fig.1 Model of the mechanism generating Marangoni convection

蒸氣吸收가 개시되면 水蒸氣는 界面活性劑液滴을 제외한 용액표면에서 흡수되어 Fig.1-b에 나타난 바와 같이 液滴 주변에서 表面張力이 급격히 증대됨으로 인한 表面張力의 不均一($\sigma_1 > \sigma_2 + \sigma_3$)이 발생되어 마랑고니對流의 發生要因으로 작용하게 된다.

3. 數値解析

마랑고니對流가 蒸氣吸收促進에 미치는 영향을 熱 및 物質移動의 양측면으로 파악하기 위한 數値解析의 모델을 Fig.2에 나타내었다. 계산에 적용한 界面活性劑의 분포는 모델셀(Model Cell) 표면에 界面活性劑液滴의 1/2에 해당하는 X座標 1부터 d/L에 걸쳐 2次元모델셀표면의 35%를 점유하는 모델을 채택하였다. 蒸氣界面의 境界조건은 界面상에서 항상 熱力學的平衡상태가 존재하는 가정하에 連續, 運動量保存, 擴散의 각 방정식으로 부터 증기흡수과정에 대한 溫度, 濃度, 流線의 非定常數値解를 구하기 위하여 각방정식을 無次元化시킴과 동시에 差分化함으로써 각방정식群으로부터 증기흡수과정에 대한 無次元溫度, 無次元濃度, 渦度の 非定常분포가 계산된다.

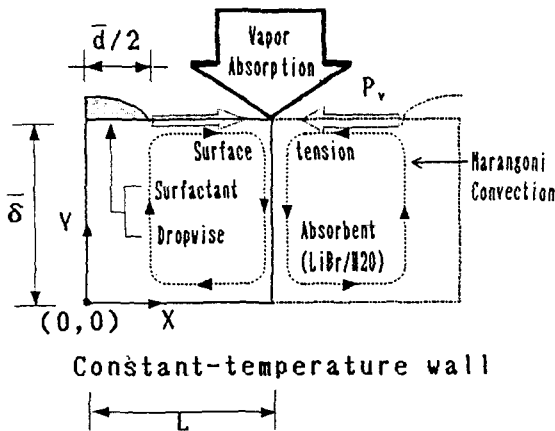


Fig.2 Marangoni convection behavior in a model cell

3.1 가정

본 계산에 적용된 가정은 다음과 같다.

(1) 氣液界面에서 氣象과 液相의 사이에는 항상 平衡상태이다.

(2) 흡수용액과 접촉하고 있는 냉각면은 初期吸收溶液과 等溫조건이다.

(3) 界面活性劑는 흡수용액에 飽和溶解度以上の 첨가濃度로 보며, 界面活性劑液滴과 흡수용액 사이의 表面長力差는 용액표면의 溫도와 濃도 변화에 관계없이 一定하다.

(5) 蒸氣相으로의 熱損失은 무시한다.

3.2 마랑고니對流의 數値計算

본 계산에서는 외부로부터의 증기흡수를 마랑고니對流 발생요인으로 고려 하였으며, 마랑고니對流 발생후에는 발생하는 對流에 의해 熱 및 物質移動이 촉진되는 점으로부터 마랑고니對流의 有效性 및 吸收促進效果를 검토하였다. 증기흡수 현상을 동반한 마랑고니對流의 數値解析에 인용된 편미분방정식은 각각 다음과 같다.

(1) 連續方程式 :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$

(2) 層流運動方程式 : (X-방향)

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)$$

(Y-방향)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial Y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} - g(1-\beta \Delta \bar{T}) \gamma \Delta \bar{C} \right)$$

(3) 에너지方程式 :

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{T}}{\partial X} + V \frac{\partial \bar{T}}{\partial Y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial Y^2} \right)$$

(4)擴散方程式:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{C}}{\partial X} + V \frac{\partial \bar{C}}{\partial Y} = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial Y^2} \right)$$

3.3 氣液平衡

氣液界面的 吸收溶液溫度 \bar{T} 및 濃度 \bar{C} 는 주어진 底力 P_v 하에서 증기 흡수와 더불어 항상 熱力學的 平衡이 만족되는 조건으로 가정하였다. 흡수용액표면상에서 증기흡수와 더불어 변화하는 溫度, 濃度の 平衡조건을 흡수용액의 初期濃度 \bar{C}_0 및 過냉각상태의 初期吸收溶液溫度 \bar{T}_0 로부터 증기가 흡수되어 飽和溫度 \bar{T}_e 및 飽和濃度 \bar{C}_e 로 변화하는 상태를 Dühring 線圖상에 표시하면 Fig.3과 같이 나타낼 수 있다. 본계산에서 증기 흡수는 흡수용액의 初期濃度 \bar{C}_0 로부터 飽和상태에 달하는 용액의 平衡濃度 C_e 까지를 농도폭으로 결정하였으며 Dühring 線圖상에 나타낸 온도 및 농도의 相關관계는 다음식으로 표시할 수 있다.

$$F(\bar{T}_0, \bar{C}_e, P_v) = 0, F(\bar{T}_e, \bar{C}_0, P_v) = 0,$$

또한 飽和壓力 P_v 에 대한 흡수용액 표면의 平衡溫度 및 平衡濃度の 관계는 $F(\bar{T}_i, \bar{C}_i, P_v) = 0$ 로 나타낼 수 있으며 初期溫度 및 濃度로부터 飽和溫度 및 飽和濃度로 변화하는 \bar{T}_i, \bar{C}_i 의 값을 얻을 수 있다.⁶⁾

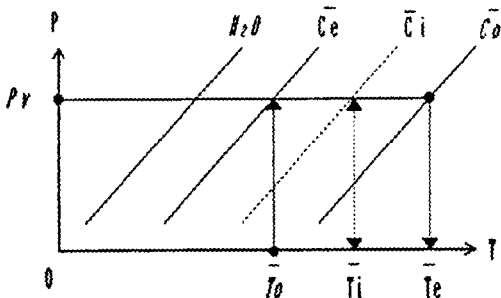


Fig.3 Concept of Dühring diagram for interface absorption on the absorbent surface

3.4 初期條件 및 境界條件

흡수표면($V = \delta$)에서의 마랑고니對流발생은 表面張力項 σ 와 流體粘性에 의한 剪斷應力項 τ 와의 조합으로 나타낼 수 있으며 界面活性劑液滴의 有無에 따라 모델셀표면에서 냉매증기가 흡수되는 自由表面과 증기흡수가 일어나지 않는 界面活性劑와 흡수용액과의 接觸界面으로 구분하여 나타낼 수 있다. 또한, 증기흡수에 따른 용액표면에서의 熱 및 物質移動을 고려하여 Fourier의 熱傳導式 및 Fick의 擴散式을 적용하였다.

한편, 본 계산에서는 一定溫度, 濃度の 無限質量溶液에 단위질량의 溶質이 溶解될때 방출하는 열로 정의되는 希釋熱은 冷媒蒸氣吸收에 의한 吸收熱에 비하여 무시할 수 있는 값으로 흡수용액표면에서의 熱의 출입량은 흡수된 냉매증기가 가지고 있는 엔탈피와 흡수용액내의 물의 부분엔탈피와의 차로 결정하였다. 氣液界面을 포함한 初期 조건 및 境界조건은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(1)初期조건:

$$\bar{i}=0: U=0, V=0, \bar{T}=\bar{T}_0, \bar{C}=\bar{C}_0.$$

(2)境界조건: $\bar{i} > 0$:

$$Y = \delta, 0 < X < \frac{d}{2}: \frac{\partial \bar{T}}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \bar{C}}{\partial Y} = 0$$

$$Y = \delta, \frac{d}{2} < X < L: \mu \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial \sigma}{\partial X}, \lambda \frac{\partial \bar{T}}{\partial Y} =$$

$$D \frac{\partial \bar{C}}{\partial Y} \cdot \bar{H}, V = 0$$

$$X = 0, L: U = 0, \frac{\partial V}{\partial X} = 0, \frac{\partial \bar{T}}{\partial X} = 0, \frac{\partial \bar{C}}{\partial X} = 0$$

$$Y = 0: U = 0, V = 0, \bar{T} = \bar{T}_w, \frac{\partial \bar{C}}{\partial Y} = 0$$

3.5 支配방정식의 無次元化

본계산에서는 모델셀의 X방향의 길이 L에 대

한 無次元數를 도입하여 각 방정식을 無次元化하였으며 계산에 이용된 無次元數는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 x &= X/L, \quad y = Y/L, \quad t = \bar{t}/(L^2/\nu), \quad \delta = \bar{\delta}/L \\
 d &= \bar{d}/L \\
 u &= U/(\nu/L), \quad v = V/(\nu/L), \quad T = (\bar{T} - \bar{T}_0)/(\bar{T}_e - \bar{T}_0) \\
 C &= (\bar{C} - \bar{C}_0)/(\bar{C} - \bar{C}_0), \quad P_r = \nu/\alpha, \quad S_c = \nu/D \\
 p &= p_w/(\rho \nu^2/L^2), \quad H = D(\bar{C} - \bar{C}_0)\bar{H}/(\lambda(\bar{T}_e - \bar{T}_0)) \\
 G_r &= g\beta \bar{\delta}^3(\bar{T}_e - \bar{T}_0)/\nu^2 \quad G_c = g\beta \bar{\delta}^3(\bar{C} - \bar{C}_0)/\nu^2
 \end{aligned}$$

無次元化한 運動量방정식의 X, Y방향성분에 대하여 Y, X를 交差微分하여 X방향의 運動量방정식을 기준으로 감산하여 溫度 $\zeta = \partial U/\partial V \cdot \partial V/\partial X$ 를 도입함으로써 連續의 式을 자동적으로 만족하는 溫度方程式(Vorticity transport equation)이 얻어진다. 각 無次元化된 에너지, 擴散, 溫度 방정식은 前進시간, 中心差分(FTCS: Forward Time and Central Space finite difference) 法을 사용하여 差分化하고 각 방정식으로 부터 溫度, 溫度, 濃度の 解를 가우스소거법(Gaussian elimination)을 이용하여 收斂판정조건이 계산시간간격 $t = 10^4$ 에 대해 溫度, 溫度, 濃度の 각각 解가 반복계산前後값에 대하여 0.1%以內的 값이 만족되게 하였다. 따라서 初期조건 및 境界조건에 대하여 差分化된 각 방정식을 동시에 계산함으로써 熱 및 物質傳達을 동반한 非定常無次元溫度, 濃度分布의 계산결과가 얻어진다. Fig.4는 본계산의 계산흐름도이다.

3.6 計算條件

본 계산에 적용된 흡수용액(H₂O/LiBr)의 物性置⁹⁾는 ASHRAE의 데이터를 참고로 하였으며, 계산상의 초기벽면온도 T_w 및 흡수용액의 初期온도 $T_0 = 313K$, 平衡온도 $T_e = 325K$, 실험부의 壓力 $P_w = 1733.2P_a$, 흡수용액의 初期농도 $C_0 = 60\text{mass}\%$, 흡수용액의 平衡농도 $C_e = 52\text{mass}\%$ 및 $Le = 0.01$ 을 계산조건으로 채택하였다.

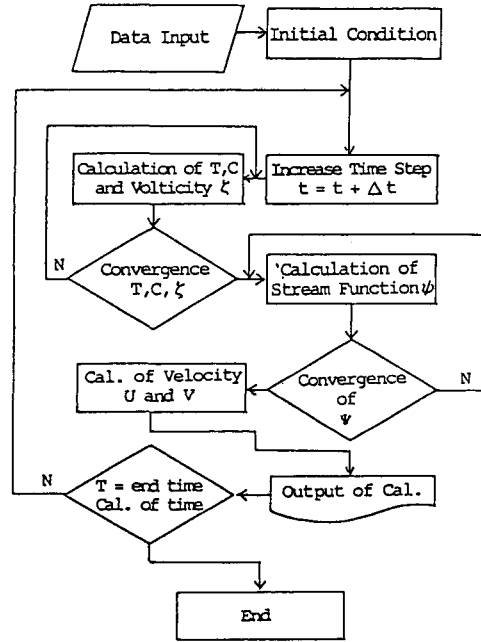


Fig.4 Flow chart

4. 結果

4.1 마랑고니對流의 거동

증기흡수에 따른 흡수용액으로의 熱 및 物質傳達을 파악하기 위하여 界面活性劑無첨가시와 첨가시의 흡수용액의 溫度 및 濃度分布를 각각 계산함으로써 계면활성제첨가의 有用性 및 蒸氣吸收促進效果를 비교 검토하였다.

우선, 흡수용액표면에서 마랑고니대류가 발생되지 않는 界面活性劑無첨가조건에 대한 數值解釋 ($\Delta \sigma = 0$)으로부터 얻어진 等溫度線 및 等濃度線을 Fig.5에 나타내었다. 흡수표면에 界面活性劑無첨가로 界面攪亂이 발생하지 않는 系에 대한 溫度, 濃度分布의 결과로 부터 증기흡수에 따른 熱 및 物質移動은 흡수표면으로 부터 擴散支配로 나타나는 것을 알 수 있다.

한편, 界面活性劑를 첨가했을때 흡수용액과 界

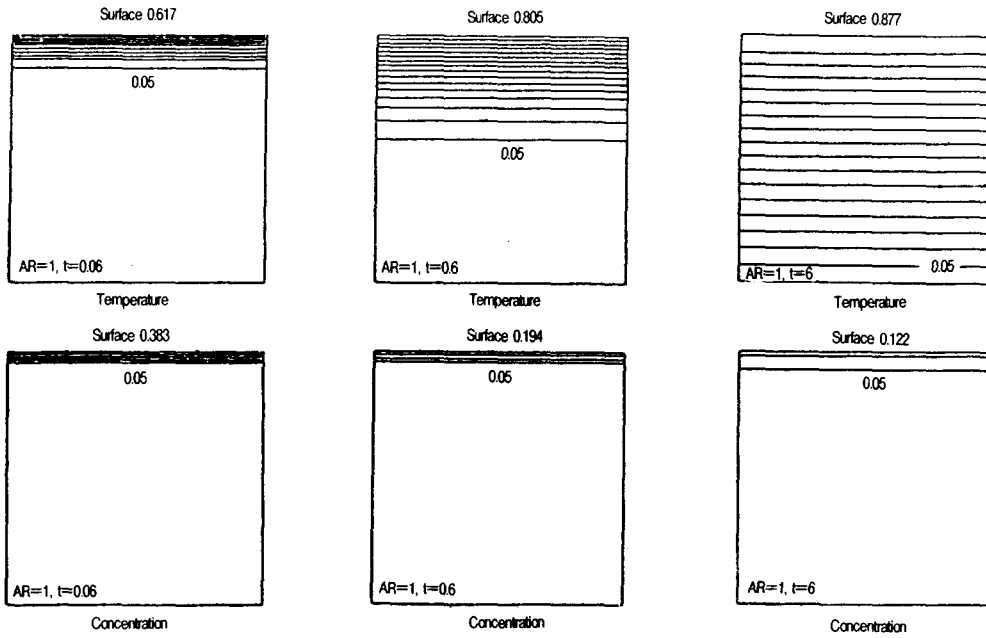
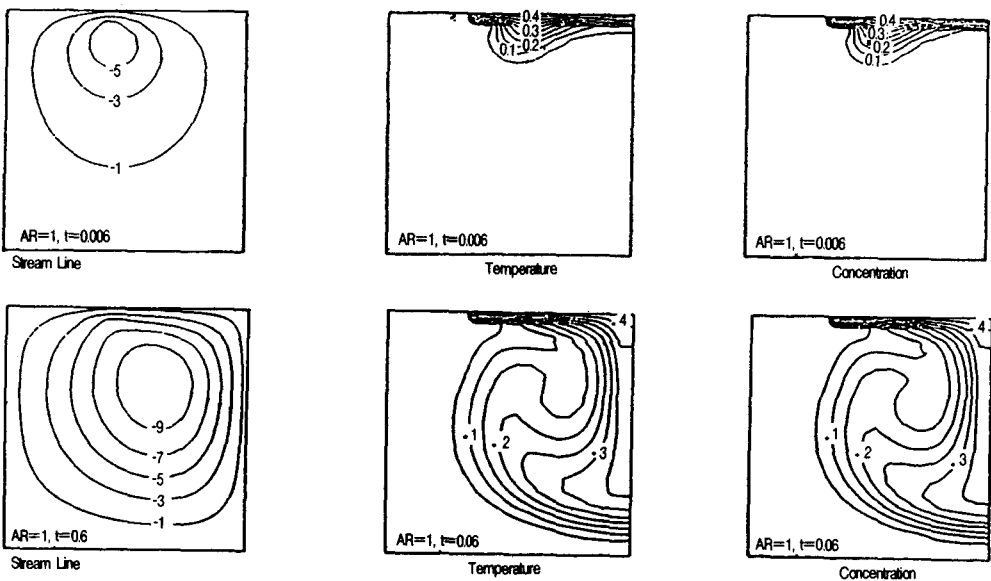


Fig.5 Temperature and concentration distributions with no occurrence of interface turbulence (no surfactant addition)



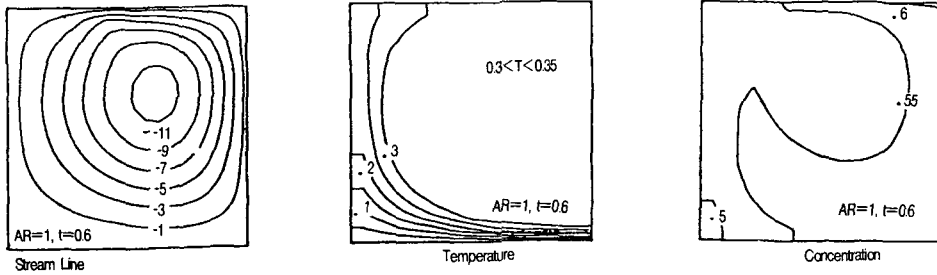


Fig.6 Dimensionless stream line, temperature and concentration distributions as function of the dimensionless time t for $Le=0.01$ and $AR=1$

면활성제액방간의 表面張力의 差 ($\Delta \sigma = 0.02 \times 10^{-3} \text{N/m}$)로 인하여 발생하는 마랑고니對流가 熱 및 物質移動促進에 미치는 영향을 파악하기 위하여 溫度, 無次元溫度, 無次元濃度解의 計算結果를 증기흡수시간에 따른 용액깊이방향의 流線, 等濃度線 및 等溫度線을 Fig.6에 나타내었다. 각 분포는 증기흡수개시 직후부터 시간의 경과에 따라 全吸收溶液으로 熱 및 物質移動이 확대되어감을 알 수 있으며, 表面張力의 不均衡에 기인한 마랑고니對流效果에 의하여 흡수용액표면으로부터 냉각면으로 熱 및 物質移動이 과급적으로 일어남을 알 수 있다.

또한, 시간의 경과에 따라 蒸氣吸收熱로 인한 용액내부의 온도상승은 마랑고니對流에 의해 溫度境界層이 냉각면까지 도달되어 용액내부의 溫度를 저하시키게 된다. 마랑고니對流에 의한 냉각효과는 흡수용액표면의 溫度를 저하시킴으로서 표면의 飽和壓力를 저하시키게 되고 결과적으로 증기흡수의 촉진을 꾀하게 된다. 그러나, 界面活性劑無첨가의 경우는 흡수표면으로부터 냉각면으로 熱傳達이 界面活性劑첨가에 비하여 현저하게 늦어짐을 알 수 있으며, 동일시간에 대한 증기흡수측면으로부터 界面活性劑의 첨가에 의한 物質傳達促進의 有用性을 쉽게 이해할 수 있다.

4.3 吸收溶液溫度 및 濃度の 시간적 변화

界面活性劑첨가시의 용액내부의 無次元溫度 및 無次元濃度の 시간적변화를 흡수개시로부터 無次元시간 $t=10$ 까지의 溶液表面平均溫度, 溶液內部平均溫度, 溶液表面平均濃度 및 溶液內部平均濃度を Fig.7에 나타내었다. 또한, 界面活性劑無첨가시의 溶液表面平均溫度, 溶液內部平均溫度, 溶液表面平均濃度 및 溶液內部平均溫度를 흡수개시로부터 無次元시간 $t=100$ 까지의 결과를 Fig.8에 나타내었다. 각각의 計算結果로부터 界面活性劑첨가시(Fig.7)의 無次元시간 $t < 10$ 에 있어서 表面平均溫度는 마랑고니對流의 영향으로 等溫壁溫度로 접근함에 따라 효과적으로 증기흡수율을 냉각면으로 이동시킴과 동시에 흡수용액 내부 평균온도의 저하로부터 증기흡수에 기인한 表面濃度증가가 일어남으로 알 수 있다. 그러나 界面活性劑無첨가시(Fig.8)의 $t < 10$ 경우, 表面平均溫度는 飽和溫度부근까지 상승함에 따라 表面平均濃度の 급격한 감소를 나타내며, $10 < t < 100$ 구간에서도 界面活性劑첨가시에 나타난 溶液內部平均濃度の 증가현상은 현저히 작은 것을 알 수 있다.

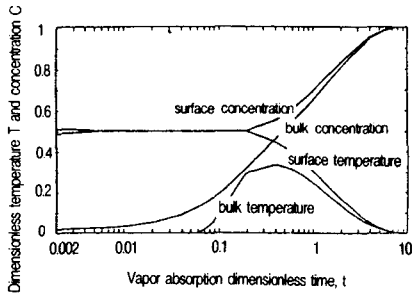


Fig.7 Temperatures and concentrations change along time for surface and bulk of model cell(result by the fixation of surfactant dropwise on the absorbent solution)

4.4 마랑고니對流에 의한 熱 및 物質移動特性

마랑고니對流발생에 기인한 흡수용액내부로의 物質移動 및 냉각면으로의 열전달을 파악하기 위하여, 증기흡수에 의한 氣液界面으로 부터 흡수용액으로의 物質傳達特性은 無次元化된 Sh數로 흡수용액으로부터 等温냉각벽면으로의 熱傳達特性은 無次元化된 Nu數로 나타내어 평가하였다.

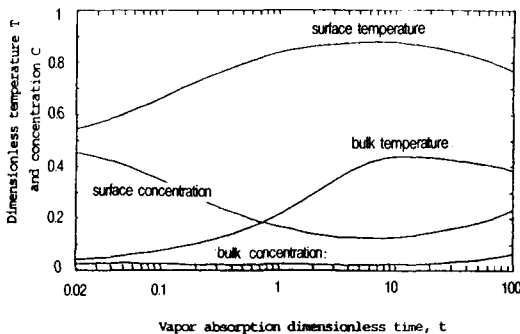


Fig.8 Temperatures and concentrations changes along time for surface and bulk of model cell (result by the surfactant non-adding condition)

$$Sh = h_m \bar{\delta} D (\partial C / \partial y)_{y=\delta} / (C_s - C_m)$$

$$Nu = h \bar{\delta} \lambda = (\partial T / \partial y)_{y=0} / T_m$$

흡수시간 $t < 10$ 에 대해 계산된 흡수표면의 Sh數 및 냉각면으로의 Nu數의 시간적변화를 Fig.9에 나타내었다. 계산결과로 알 수 있는 바와 같이 蒸氣吸收初期에 있어서 Sh수는 큰값을 나타내며 Nu수의 값은 마랑고니對流가 냉각면에 영향을 미치기 시작하는 시점에서 부터 값이 존재함을 알 수 있다.

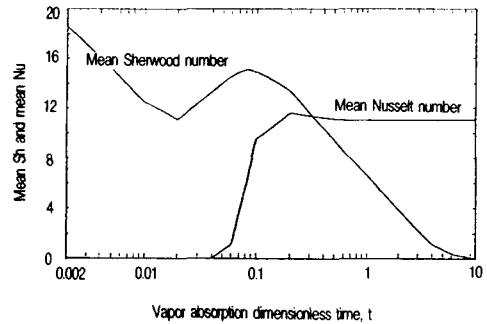


Fig.9 Mean Sherwood number and mean Nusselt number changes along dimensionless absorption time for $Le=0.01$

5. 結論

吸收式熱펌프의 성능 향상의 방안으로 界面活性劑 첨가시 表面攪亂작용에 따른 마랑고니對流에 의한 흡수용액내부의 熱 및 物質傳達促進現狀을 數值解析을 통하여 界面活性劑첨가시와 界面活性劑無첨가시에 따른 흡수용액내부의 温度 및 濃度分布를 비교함과 동시에 마랑고니對流에 의한 熱 및 物質移動을 無次元化한 Sh數 및 Nu數로 평가하여 界面攪亂效果의 현상 및 有效性에 대하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1)界面活性劑를 첨가하므로써 表面張力의 不均衡에 기인한 마랑고니對流效果에 의하여 흡수용액표면으로 부터 냉각면으로 熱 및 物質移動이 급속히 일어남을 알 수 있다.
- (2)蒸氣吸收促進은, 마랑고니對流에 의한 용액내부의 냉각효과로 흡수용액표면의 온도를 저하시킴으로 인한 표면의 飽和壓力이 저하함에 기인한다
- (3)蒸氣吸收初期에 있어서 Sh數 및 Nu數는 큰값을 나타내며 시간의 경과에 따라 감소하는 경향이 있다.
- (4)久島大資, “傾斜平板流下液膜の吸收特性”, 平成2年度日本冷凍協會講演論文集
- (5)Seban, R.A., “Wave effects on transport to falling laminar liquid films, J.Heat. Transf. Vol 100, pp 143-147, 1978
- (6)Takao Kashiwagi, “Basic mechanism of absorption heat and mass transfer enhancement by the Marangoni effect”, 1EA, Vol.6 No.4, pp.2-6, 1988
- (7)Takao Kashiwagi, “Marangoni effect in the process of steam absorption into the falling film of the aqueous solution of LiBr”, the 1st KSME-JSME Thermal and Fluid Engineering Conference, Seoul, Korea, Vol.1, pp. 205-210, 1988
- (8)Grossman, G., “Simultaneous heat and mass transfer in film absorption under laminar flow”, Int. J.Heat & Mass Transfer, Vol. 26 No.3, pp.357-371
- (9)Lowell, A.McNeely, “Thermodynamic properties of aqueous solution of Lithium bromide”, ASHRAE ph-79-3, No.3, pp.413-434

참 고 문 헌

- (1)大内富久, “垂直管の管内吸收熱傳達”, 第21空氣調和冷凍連合論文集, pp. 105-108, 1987
- (2)井上修行, “吸收冷凍機の吸收器について(第3報)”, 第21空氣調和冷凍連合講演論文集, pp. 85-88, 1987
- (3)西山教之, “垂直管内吸收器の傳熱面形狀の影響”, 平成2年度日本冷凍協會講演論文集