

## 수냉식 수직평판 흡수기의 액막 열 및 물질전달에 관한 수치적 연구

윤정인† · Thanh-Tong Phan\* · 문춘근\* · 김은필\*\*  
(원고접수일 : 2004년 1월 15일, 심사완료일 : 2004년 3월 2일)

### Numerical Study on Simultaneous Heat and Mass Transfer in a Falling Film of Water-Cooled Vertical Plate Absorber

Jung-In Yoon† · Thanh-Tong Phan\* · Choon-Geun Moon\* · Eun-Pil Kim\*\*

**Abstract** : This paper is a study on the model of simultaneous heat and mass transfer process in the absorption of refrigerant vapor into a lithium bromide solution of water-cooled vertical plate absorber. The model can predict temperature and concentration profiles as well as the effect of Reynolds number on them. Also, the variations of the absorption heat and mass fluxes, and the heat and mass transfer coefficients have been investigated. The numerical result shows that the interface temperature and concentration decrease as film Reynolds number does. The absorption heat and mass fluxes, and the heat and mass transfer coefficients get their maximum values adjacent to the inlet solution. Analyses on a constant wall temperature condition have been also carried out to exam the reliability of the present numerical method by comparing to previous investigations.

**Key words** : Absorption heater/cooler(흡수식 냉온수기), Numerical study(수치적 연구), Heat and mass transfer(열 및 물질전달), Plate absorber(플레이트 흡수기)

#### NOMENCLATURE

C	: 농도 [wt%]	Hlatent	: 증발잠열 [kJ/kg]
cp	: 정압비열 [kJ/kgK]	Hdilution	: 희석열 [kJ/kg]
D	: 확산계수 [m <sup>2</sup> /s]	ht	: 열전달계수 [W/m <sup>2</sup> K]
g	: 중력가속도 [m/s <sup>2</sup> ]	hm	: 물질전달계수 [m/s]
H	: 엔탈피 [kJ/kg]	k	: 열전도율 [W/mK]
Habs	: 흡수열 [kJ/kg]	L	: 플레이트 높이 [m]
		m	: 질량유속 [kg/m <sup>2</sup> s]
		M	: 물질전달률 [kg/s]

† 책임저자(부경대학교 기계공학부), E-mail : yoonji@pknu.ac.kr, T : 051)620-1506

\* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

\*\* 부경대학교 기계공학부

P	: 압력 [kPa]
q	: 열유속 [ $W/m^2$ ]
Re	: 레이놀즈 수
T	: 온도 [K]
u	: x방향 속도 [m/s]
v	: y방향 속도 [m/s]
x	: 흐름방향 좌표 [m]
y	: 수직방향 좌표 [m]

### Greek letters

$\delta$	: 액막 두께 [m]
$\mu$	: 동점성계수 [Pas]
$\rho$	: 밀도 [ $kg/m^3$ ]
$\Gamma$	: 단위폭당 액 질량유량 [kg/ms]

### Subscripts

1	: 고체 LiBr
2	: $H_2O$
c	: 냉각수
f	: 액막
s	: 흡수용액
surf	: 기액계면

## 1. 서 론

흡수식 냉온수기는 대형 빌딩의 냉난방에 널리 쓰이고 있는 시스템으로 여름에 전력 피크부하를 줄여주고 지구 온난화의 주 원인인 CFC를 사용하지 않는 장점이 있다. 흡수식 냉온수기의 주요 구성품 중에서 흡수기는 시스템 전체의 효율, 크기, 제조, 시스템의 운전 비용 등에 직접적인 영향을 미치는 것으로 지금까지 많은 연구가 있어 왔지만 고진공에서 열 및 물질전달이 동시에 발생하기 때문에 흡수기에 대한 명확한 메커니즘의 정립이 미흡한 실정이다. 또한 기기의 효율을 높이고 제조 단가를 줄이며 콤팩트한 기기를 만들기 위해서 흡수식 냉온수기의 핵심 열교환기인 흡수기에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 그 한 방편

으로 기존의 셀-튜브 방식의 흡수식이 아닌 관형 흡수기를 사용한 연구가 최근 진행되고 있다.<sup>(1, 2)</sup>

관형 흡수기의 흡수과정에 대한 대부분의 수치적 연구는 수직 평판의 액막에서 증기의 흡수에 의해 일어나는 열 및 물질전달에 관한 것이었으며, 연구 결과는 온도 및 농도 분포뿐만 아니라 시스템의 압력, 용액의 온도와 온도분포 등과 같은 것이다. Grossman<sup>(3)</sup>은 경사진 평판 위에 흐르는 냉매의 액막에서 일어나는 흡수과정을 온도와 농도분포로 나타내었다. 열 및 물질전달 계수는 Nusselt 수와 Sherwood수로부터 구하였다. Wassenaar 등<sup>(4)</sup>은 물로 냉각된 수직 평판벽의 열 및 물질 전달의 액막에 대한 비정상 상태에 대하여 흡수기의 입구에서 냉각수의 온도변화에 따른 물질전달의 흡수량에 대하여 연구하였다. Kawae 등<sup>(5)</sup>은 실제 흡수기에서 많이 사용하는 작동 파라미터의 값들을 이용하여 수치해석으로 흡수 물질전달량의 작동조건에 대한 영향과 LiBr 용액의 물성치의 변화에 대하여 연구하였다. Kim 등<sup>(6)</sup>은 공기에 의해 냉각되는 수직 평판에서 LiBr 용액의 액막에 대하여 연구하였다. 평판에서 열유속은 판과 공기 사이의 열전달 계수와 냉각되는 공기온도로부터 결정하였다. Jeong 등<sup>(7)</sup>은 공냉식인 수직 평판벽의 액막에서 운동량, 열전달, 물질전달에 대한 비정상 일차원 모델을 제시하였으며 물질흡수량에 대한 작동조건의 영향을 분석하였다. 지금까지의 연구는 벽 온도가 일정하거나 평판벽이 공기도 냉각된 경우가 대부분이다. 그러나, 평판 흡수기에서 흡수과정에 대한 연구모델 중 수냉식 평판에 관한 연구들은 많지 않다.

본 연구는 수냉식 수직 평판식 흡수기에서 LiBr 용액과 냉매증기의 흡수과정 중에서 일어나는 열 및 물질전달을 수치적으로 연구하였다. 레이놀즈 수의 변화와 수직벽면을 따른 액막에 대한 온도 및 농도분포도 조사하였다. 흡수되는 열 및 물질전달의 변화를 조사하기 위하여 열 및 물질전달계수에 대하여 자세히 나타내었다. 특히, 선택한 작동조건은 실제 흡수기 냉온수기에서 사용되어지는 값들로 정하였다.

## 2. 해석 모델과 지배방정식

본 연구의 흡수과정 대상이 되는 수치해석 영역을 Figure 1로 나타내었다. LiBr 용액 막은 흡수제인 LiBr과 냉매인 H<sub>2</sub>O로 구성되어 있다. 용액 막은 일정 압력에서 냉매증기와 접촉하고 있으며, 입구 ( $x=0$ )에서 용액은 냉매의 수증기압과 다른 일정 온도 및 농도에 해당하는 수증기압이다. 이 압력 차이의 결과로 물질전달이 용액과 증기의 경계에서 일어난다. 경계에서 흡수되는 냉매증기는 액막 안으로 확산된다. 이때 흡수과정의 결과로 열이 발생한다<sup>[8]</sup>. 경계에서 전달되는 흡수열은 수직 판의 안쪽인 막으로 전달되며 이는 냉각수에 의해 냉각된다.

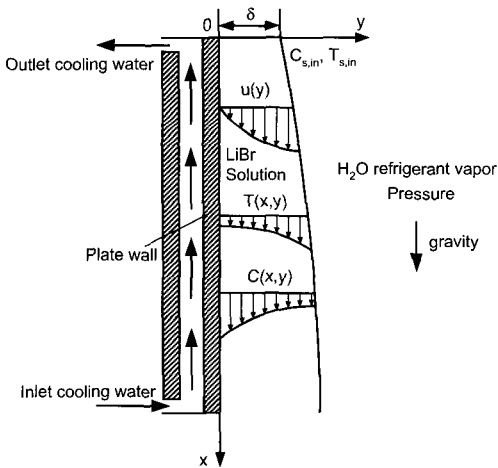


Fig. 1 Schematic diagram of the absorption process in a vertical plate absorber cooled by water

이러한 흡수메카니즘의 모델링에 사용된 지배방정식을 구성하는데 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 액막의 유동은 완전 발달된 층류이다.
- (2) 용액은 뉴턴유체이다.
- (3) 단위 시간당 흡수되는 증기량은 용액의 질량 유동비에 비하여 매우 작다. 그러므로 수용액의 막 두께와 평균 유동속도는 일정하다고 가정하였다.
- (4) 경계에서 증기에 의해 용액에 작용하는 전단력은 없다.

- (5) 증기의 상태에서 열전달은 없다.
- (6) 시스템 압력은 일정하다.
- (7) 경계는 열역학 평형상태이다.
- (8) 평판의 열저항은 무시한다.
- (9) 냉각수는 액막 흐름의 반대 방향으로 흐르고 온도 변화는 선형으로 변한다

다음의 방정식들은 시스템에서 열 및 물질전달에 동시에 사용된다. 막레이놀즈 수는 다음과 같다.

$$Re_f = \frac{4\Gamma}{\mu} \quad (1)$$

작은 레이놀즈 수 ( $Re_f < 20$ )에서 수직 평판을 흐르는 층류 막의 두께는 일정하다. 막 두께는 다음 방정식으로 계산된다<sup>[9]</sup>.

$$\delta = \left( \frac{3\Gamma\mu}{\rho^2 g} \right)^{1/3} \quad (2)$$

막 두께가 일정하기 때문에 벽에 수직인 유속 성분은 무시하고 ( $v=0$ ), Figure 1에서 나타낸 u속도 분포는 다음과 같이 표현된다<sup>[8]</sup>.

$$u(y) = \frac{3}{2} u_{mean} \left[ 2 \left( \frac{y}{\delta} \right) - \left( \frac{y}{\delta} \right)^2 \right] \quad (3)$$

여기서  $u_{mean}$ 는 다음 방정식에 의하여 결정되는 평균 유속이다.

$$u_{mean} = \frac{\Gamma}{\rho\delta} \quad (4)$$

직교좌표계로 표현한 이차원 에너지 방정식은 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \sum_{i=1}^2 \rho D_i \frac{\partial C_i}{\partial y} H_i \right) \quad (5)$$

LiBr과 H<sub>2</sub>O 사이의 농도 C 및 물질 확산계수 D의 관계는 다음과 같다.

$$C_1 = 1 - C_2 = C \quad D_1 = D_2 = D \quad (6)$$

액체에 대한 온도에 대한 엔탈피는 선형적이며 다음과 같이 표현된다<sup>[10]</sup>.

$$H_i = c_{pi}T \quad (7)$$

여기서  $c_{pi}$ 는 정압비열이다.

식(6)과 식(7)을 식(5)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} T + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) \frac{D(c_{p1} - c_{p2})}{c_p} \quad (8)$$

흡착 막에서 전달은 열확산 방정식으로 표현된다<sup>(3)</sup>.

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (9)$$

경계조건은 다음과 같이 적용하였다. 용액 입구에서 온도 및 농도는 일정하다.

$$T = T_{s,in} \quad C = C_{s,in} \quad \text{at} \quad x = 0 \quad (10)$$

용액출구에서는 2차 경계조건을 주었다.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad \text{at} \quad x = L \quad (11)$$

평면벽에서는 점착조건을 사용하였으며 액막의 온도는 벽면의 온도를 사용하였다.

$$u = 0 \quad T = T_{wall} \quad \frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad \text{at} \quad y = 0 \quad (12a)$$

평면벽은 물로 냉각되며, 가정 (8)과 (9)에 의하여, 입구로부터 x위치에서의 온도는 다음과 같이 구하였다.

$$T_{wall} = T_{c,in} + \left( \frac{L-x}{L} \right) (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (12b)$$

여기서  $T_{c,in}$ 와  $T_{c,out}$ 은 각각 냉각수의 입구와 출구의 온도이다.

액과 기체의 경계에서, 농도분포에 대한 해  $C_{surf}$ 는 경계에서 평형상태의 냉매용액 온도와 농도에 의하여 다음과 같이 결정된다<sup>(11)</sup>.

$$C_{surf} = C_{surf}(T_{surf}, P) \quad \text{at} \quad y = \delta \quad (13a)$$

경계에서 흡수되는 냉매 질량유량과 총 물질전달량은 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{m}_{surf} = -\rho D \left( \frac{\partial C}{\partial y} \right)_{y=\delta} \quad (13b)$$

$$M_{surf} = \int_0^L \dot{m}_{surf}(x) dx \quad (13c)$$

경계에서 생성되는 흡수 열유속은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{q}_{surf} &= k \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=\delta} - (c_{p2} - c_{p1}) T \rho D \left( \frac{\partial C}{\partial y} \right)_{y=\delta} \\ &= H_{abs} \dot{m}_{surf} \end{aligned} \quad (13d)$$

여기서  $H_{abs}$ 는 단위 질량당 흡수열로 다음과 같이 표현된다.

$$H_{abs} = H_{latent} + H_{dilution} \quad (13e)$$

### 3. 수치해석 방법

본 연구에서의 계산영역은 Figure 1에 나타나 있다. 유한체적법을 이용한 지배방정식의 이산화는 Patankar<sup>(12)</sup>가 제시한 방법을 적용하였다. 지배방정식을 이산화하는데 벽법칙을 사용하였으며, 이산화한 방정식은 TDMA(Tri-Diagonal Matrix Algorithm)를 적용하였다. 격자는  $302 \times 32$ 로 정하였다. 본 연구에서 사용한 흐름도는 Figure 2에 자세히 나타내었다. 먼저, 용액의 농도와 온도의 초기값을 가정하였다. 다음으로 경계에서 용액의 농도와 온도를 계산하였다. 흡수과정에서 열 및 물질전달에 대하여 물질확산방정식과 에너지방정식을 풀었다. 각 반복마다 수렴된 해는 타 연구자들의 기존 연구결과들을 참고하여 다음과 같은 기준으로 정하였다<sup>(13)</sup>.

$$\text{MAX} \left| \frac{\Phi_i - \Phi_{i-1}}{\Phi_i} \right| \leq 10^{-5} \quad (14)$$

여기서  $i$ 는 반복회수이며  $\Phi$ 는 일반 종속변수이며, 본 논문에서는 용액의 온도와 농도이다.

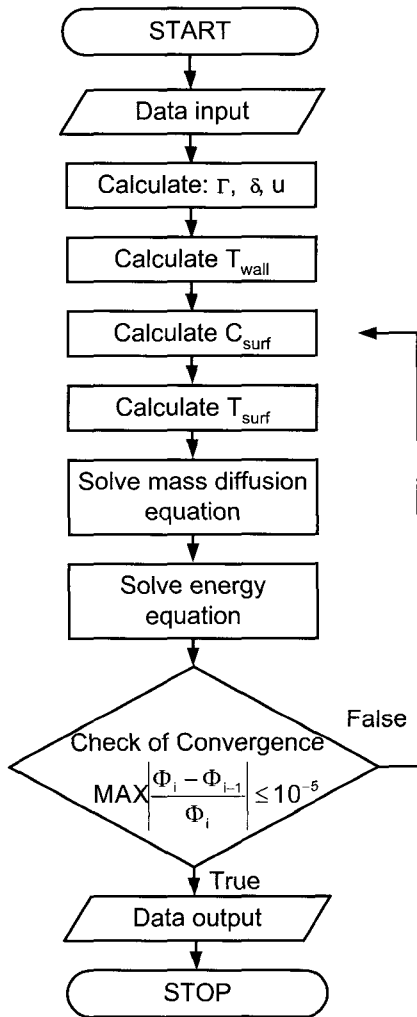


Fig. 2 Flow chart of the present numerical analysis of a plate type absorber

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구결과와 신뢰성을 확보하기 위하여 기존의 연구결과와 비교하였다. Figure 3에서 평판벽을 따라서 경계 온도 및 농도 분포를 Table 1에

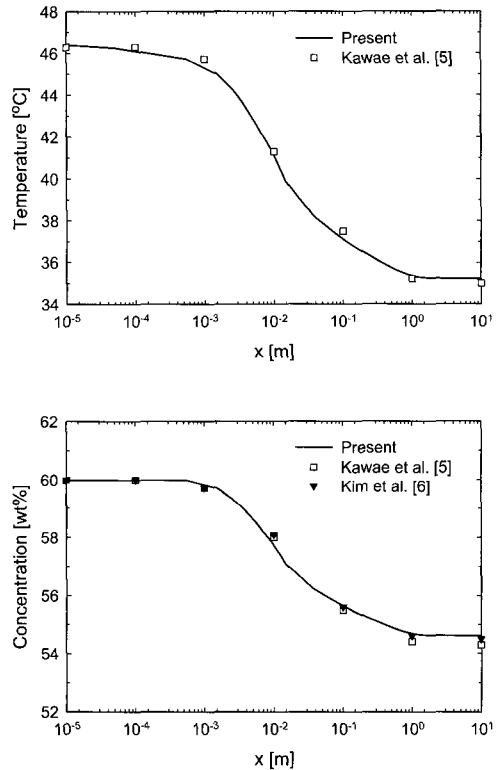


Fig. 3 Comparison of a temperature and a concentration at an interface by the present study with previous investigations

Table 1 Operating condition of plate absorber

Parameters	Values	
	For Comparison [5,6]	Present study
Plate height L [m]	10	1
System pressure P [kPa]	1	1
Inlet solution temperature T <sub>s,in</sub> [°C]	46.5	46
Inlet solution concentration C <sub>s,in</sub> [wt%]	60	60.2
Wall temperature T <sub>wall</sub> [°C]	35	--
Inlet cooling water temperature T <sub>c,in</sub> [°C]	--	32
Outlet cooling water temperature T <sub>c,out</sub> [°C]	--	36
Film thickness δ [mm]	0.2	0.2197
Film Reynolds number Re <sub>f</sub> [--]	10.6	14
Film mass flow rate Γ [kg/ms]	0.0142	0.0187

표시한 조건에서 Kawae 등<sup>[5]</sup> 과 Kim 등<sup>[6]</sup>과 비교하였는데 그림에서 알 수 있듯이 경계 온도 및 농도 분포가 잘 일치하고 있다. 본 연구는 실제 흡수식 냉동기에서 사용하는 조건을 사용하였으며 입구에서는 열역학적인 평형상태이고 사용한 파라미터는 Table 1에 자세히 나타내었다.

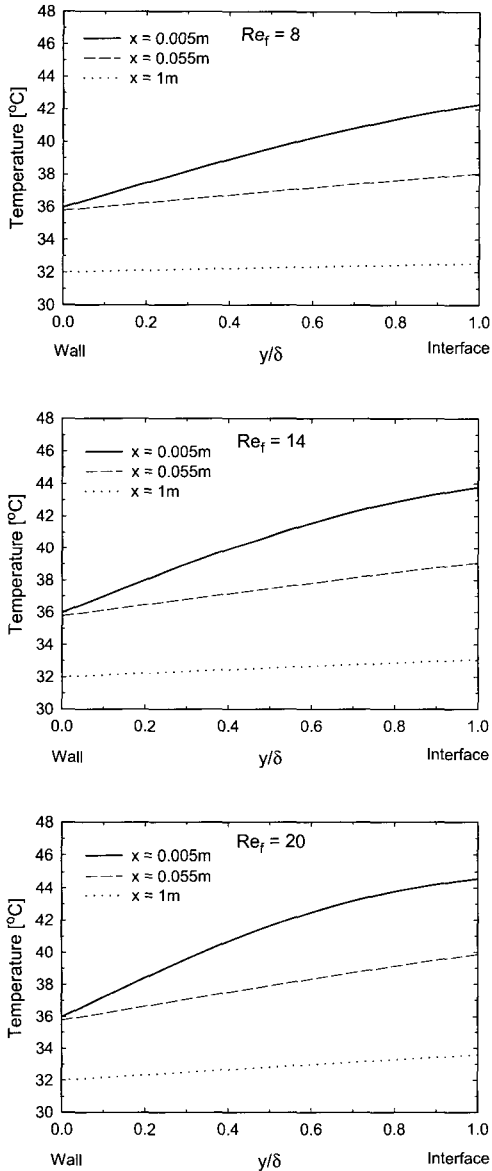


Fig. 4 Temperature profiles across the film thickness

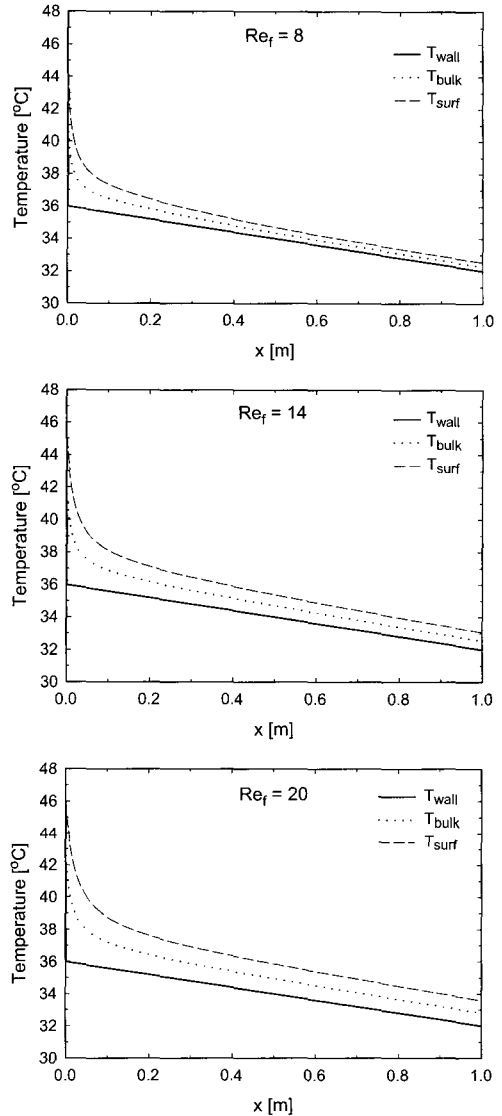


Fig. 5 Temperature profiles along the wall

Figure 4는  $x=0.005m$ ,  $x=0.055m$ ,  $x=1m$ 에 서 막레이놀즈 수를 변화시킬 때 단면의 온도분포를 타나낸 것이다. 가로축은 관의 수직방향 무차원 거리인데  $y/d=0$ 은  $y/d=1$ 은 액-증기의 경계이다. 온도분포는 경계에서 가장 높고 벽에서 가장 낮다. 이는 경계에서 흡수되는 흡수열에 액막을 통하여 평면벽까지 전달되기 때문이다. 막레이놀즈 수가 낮은 경우에는 액막의 두께가 작아지는 경향이 있다. 이 경우에 액막의 열저장도 작아지므로 경계와 벽 사이의 온도차는 감소하고 있다.

Figure 5는 막레이놀즈수를 변화시킬 때 벽을 따라서 변화하는 온도를 나타내었다. 경계온도는 입구부근에서 변화가 크게 일어나고 수직방향의 거리가 증가함에 따라 증가폭은 감소하고 있으며, 경계와 벽 사이의 온도차도 감소하고 있다. Figure 3에서와 비슷하게 경계온도와 경계와 벽의 온도차는 막레이놀즈 수가 낮아질수록 감소하고 있다.

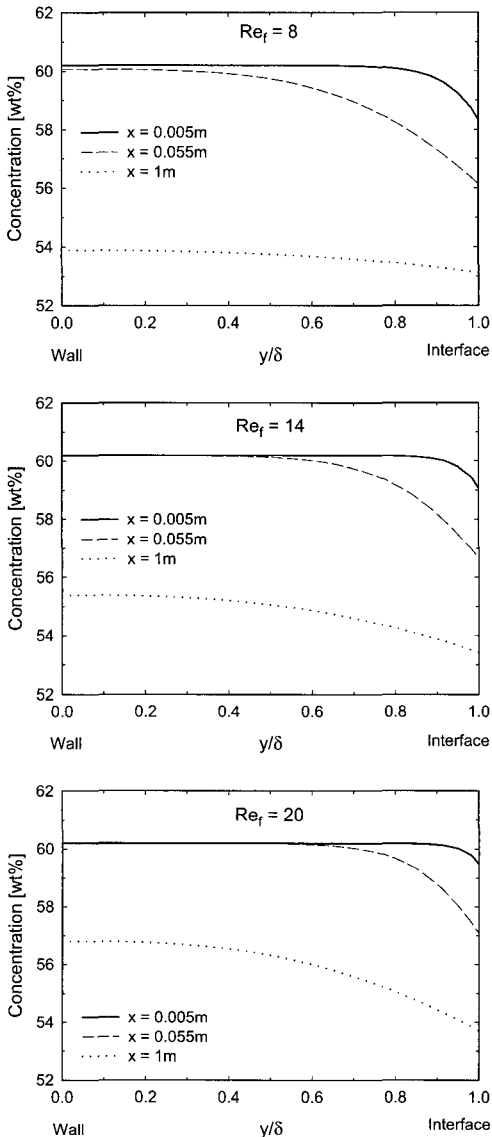


Fig. 6 Concentration profiles across the film thickness

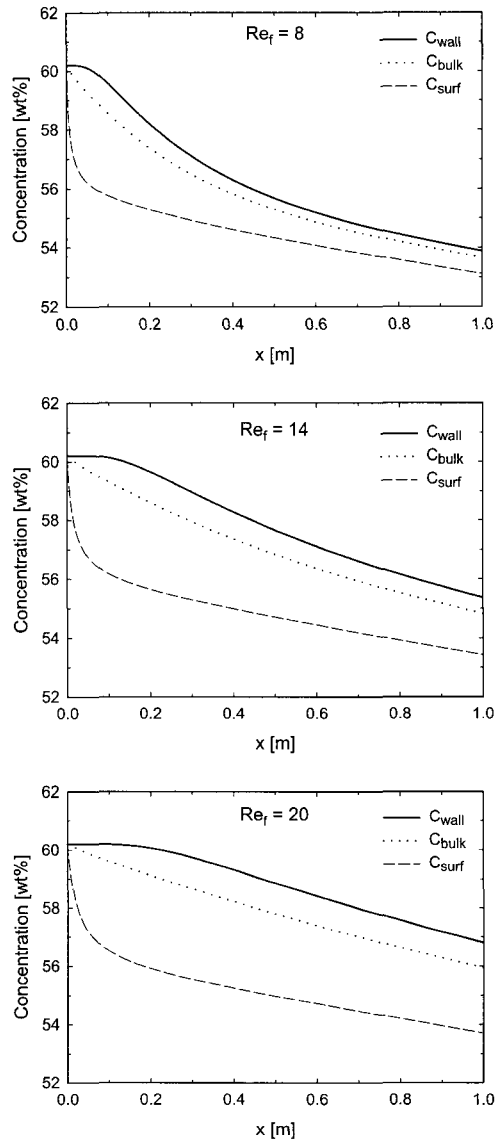


Fig. 7 Concentration profiles along the wall

Figure 6은  $x = 0.005m$ ,  $x = 0.055m$ ,  $x = 1m$ 에서 막레이놀즈 수의 변화에 따른 농도분포를 나타낸다. 농도분포는 경계에서 가장 작고, 벽에서 가장 높다. 막레이놀즈 수가 낮은 경우에는 용액의 질량유량의 감소로 인하여 흡수량도 감소하고 있으며, 경계와 벽 사이의 농도차도 감소하고 있다. 그러나, 입구에서는 냉매증기가 아직 벽에 도달하지 않았으므로 벽에서의 농도는 아직 크게 변하지 않고 있다. 그리고 벽과 경계에서의 농도차는 레

이놀즈 수가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보여 준다.

Figure 7은 막레이놀즈 수를 변화시켰을 때 벽을 따라서 나타난 농도분포의 변화이다.  $x$ 가 증가함에 따라 입구 부근에서 경계의 농도는 급격하게 감소한다. 이것은 LiBr 용액이 입구에서 정상상태의 열적학적 평형으로 가정하였기 때문이다. 이것은 냉매 증기압과 용액 표면의 수증기 분압 사이의 압력차가 추진력이 되는데 이는 입구에서 추진력이 없다는 것을 의미한다. 입구를 지나는 용액의 액막은 냉각수에 의해 냉각되기 시작하는데 이로 인해 용액 표면의 수증기 분압은 감소한다. 그 결과 증기압에 의한 추진력은 증가하고 냉매증기는 액막으로 흡수된다. 그러므로, 경계면에서 냉매 흡수 질량유량은 증가하고 용액의 농도는 감소한다. 냉각에 의해 용액 표면의 수증기 분압은 줄어들고, 흡수에 의해 용액 표면의 수증기 분압은 증가하게 되어 분압차에 의한 추진력은 최고점에 도달한 후에 다시 감소한다. 최고점의 위치에서 흡수 질량유속은 최대가 된다. 결과적으로 증기압차에 의한 추진력이 감소하고, 이는 흡수 질량유속의 감소를 가져온다. 결국 흡수질량유속과 경계에서, 농도는  $x$ 가 증가함에 따라 계속 감소한다. Figure 6과 비슷하게 막레이놀즈 수가 감소함에 따라 경계에서의 농도도 감소한다. 경계와 벽 사이의 농도차는 입구부근에서 크고 용액이 진행됨에 따라 계속 감소한다.

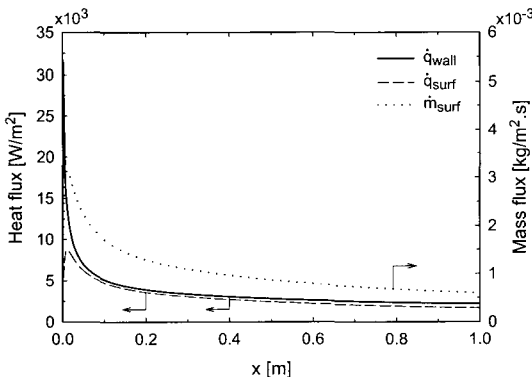


Fig. 8 Variation of local heat and mass fluxes along the wall

Figure 8은 벽을 따라서 나타나는 국소 열유속 및 물질전달 유속의 변화를 보여준다. 흡수기의 수직벽에서 국소 열유속에 관한 식은 다음에 나타내었다.

$$\dot{q}_{wall} = k \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (15)$$

경계에서 열유속 및 물질전달 유속은 입구에서 크게 증가하고 최고 값은  $x = 11.7 \times 10^{-3} m$ 에서

$$\dot{q}_{surf, max} = 8.7336 \times 10^3$$

$$W/m^2, \dot{m}_{surf, max} = 3.1499 \times 10^{-3} kg/m^2 \cdot s \text{이다.}$$

이 값에 도달한 후로는 급격하게 감소한다.  $x$ 가 증가함에 따라 열유속 및 물질전달유속은 단순 감소하는 경향을 나타내며,  $x$ 가 더욱 증가하게 되면 마침내  $\dot{q}_{surf, \infty} = \dot{m}_{surf, \infty} = 0$ 가 된다.

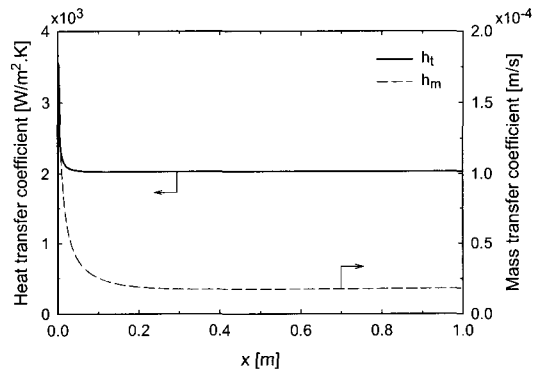


Fig. 9 Variation of local heat and mass transfer coefficients along the wall

Figure 9에서 국소 열 및 물질전달 계수를 나타내었는데 국소 열 및 물질전달계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$h_t = \frac{k \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}}{T(\delta) - T(0)} = \frac{\dot{q}_{wall}}{T_{surf} - T_{wall}} \quad (16)$$

$$h_m = \frac{-D \left( \frac{\partial C}{\partial y} \right)_{y=\delta}}{C(0) - C(\delta)} = \frac{\dot{m}_{surf}}{\rho(C_{wall} - C_{surf})} \quad (17)$$



여기서  $h_t$ 와  $h_m$ 은 국소 열전달 및 물질전달 계수이다.

열 및 물질전달 계수는 입구에 가장 작고  $x$ 가 증가함에 따라 급격하게 증가하다가 다시 감소한다. 최고값은  $x = 1.67 \times 10^{-3}m$ 에서  $h_{t, \max} = 3.5386 \times 10^3 W/m^2 \cdot K$ ,  $h_{m, \max} = 1.7527 \times 10^{-4} m/s$ 이다. 이 이후 이 계수들은 급격하게 감소하고  $x$ 가 더욱 증가하게 되면 정상상태를 유지한다. 이는 경계와 벽 사이의 질량유속과 농도차가 입구에서부터 빠르게 변하고 일정거리 이후는 감소하는 경향과 일치한다.

## 5. 결 론

수냉식 수직 판형 흡수기에서 열 및 물질전달에 대하여 연구하였다. 수치 해석의 결과를 요약하면 다음과 같다.

온도는 용액과 냉매증기의 경계에서 가장 높고 흡수기의 벽으로 갈수록 감소한다. 온도분포와 상반되게 농도는 경계에서 가장 낮고 벽에서 가장 높다. 막레놀즈 수가 낮은 경우에는 경계와 벽의 온도차가 감소한다. 경계 온도와 농도는 입구에서 빠르게 변하고 용액의 방향이 증가함에 따라 감소하며 또한 경계온도와 농도가 감소한다.

흡수열과 흡수유속은 입구에서 크게 증가하고 최고값은  $x = 11.7 \times 10^{-3}m$ 에서 각각  $\dot{q}_{surf, \max} = 8.7336 \times 10^3 W/m^2$ ,  $\dot{m}_{surf, \max} = 3.1499 \times 10^{-3} kg/m^2 \cdot s$ 이며, 이후로는 빠르게 감소하고  $x$ 가 더욱 증가하면서 천천히 0에 도달한다. 열 및 물질전달계수는 입구 부근에서 가장 높은 값을 가지며 이 값은  $x = 1.67 \times 10^{-3}m$ 에서 최고가 된다.

## 후 기

“이 논문은 2001학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음”

## 참고문헌

[1] M.M.A. Sarker, C.G. Moon, H.S. Lee

and J.I. Yoon, Heat transfer performance of plate type absorber with surfactant, International symposium on combustion engine and marine engineering 2003, 365-371

- [2] T.T. Phan, C.G. Moon, J.D. Kim and J. A numerical study on heat and mass t of vertical plate absorber, Intern symposium on combustion engine and engineering 2003, 231-239
- [3] G. Grossman, Simultaneous heat and mass transfer in film absorption under laminar flow, International Journal of Heat and Mass Transfer 26 (3) (1983) 357-371.
- [4] R.H. Wassenaar, J.I.W. Westra, Dynamic model of a film absorber with coupled heat and mass transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer 35 (1) (1992) 87-99.
- [5] N. Kawae, T. Shigechi, K. Kanemaru, T. Yamada, Water vapor absorption into laminar film flow of a lithium bromide-water solution (Influence of variable properties and inlet film thickness on the absorption mass transfer rate, Scripta Technica Inc., 1989, pp. 58-70.
- [6] S.C. Kim, M.D. Oh, J.H. Lee, A numerical study on heat and mass transfer in a falling film of vertical plate absorber cooled by air, Transaction of the KSME 19 (4) (1995) 1071-1082.
- [7] E.S. Jeong, One-dimensional model of the absorption process in an air-cooled vertical plate absorber, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration 3 (1995) 31-41.
- [8] G. Grossman, Heat and mass transfer

in film absorption, Handbook of Heat and Mass Transfer, Gulf Publishing Company, 1986, pp. 211-256.

- [9] Y.A. Çengel, Heat Transfer, A Practical Approach, The McGraw-Hill Companies Inc., 1998, pp. 8.471-8.476.
- [10] G. Grossman, Analysis of interdiffusion in film absorption, International Journal of Heat and Mass Transfer 30 (1) (1987) 205-208.
- [11] L.A. McNeely, Thermodynamic properties of aqueous solution of lithium bromide, ASHRAE Transaction 85 (1) (1979) 413-434.
- [12] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, 1980.
- [13] 김선창, 오명도, 이재현, 공랭형 수직원관 흡수기에서의 열 및 물질전달 해석, 대학기계학회논문집(B) 제20권, 제10호, pp.3293-3303, 1996

## 저 자 소 개



### 윤정인 (尹政仁)

1962년생. 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1990년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1995년 동경농공대 대학원 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 냉동공조에너지전공 부교수.



### PHAN THANH-TONG

10 Dec. 1973, 1996 BEng, Hochiminh City Univ. of Technology, VIETNAM. 2000: Lecturer at Hochiminh City Univ. of Technology, VIETNAM. 2002: MEng, Pukyong National Univ., KOREA. 2002: Graduate school, Ph.D course, Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National Univ., KOREA.



### 문춘근 (文春根)

1971년생. 1997년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업. 1999년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 냉동공조공학과 박사과정.



### 김은필 (金恩弼)

1962년생. 1987년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1991년 미국피츠버그대학 기계공학과 졸업(공학석사). 1995년 미국피츠버그대학 기계공학과 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 조교수