

충전물의 혼합점 사이의 거리에 관한 연구

강태협 · 주동표

아주대학교 공과대학 화학공학과
(1989년 12월 14일 접수, 1990년 4월 17일 채택)

A Study on the Distance between Two Adjacent Mixing Points of Packing Materials

Tae Hyup Kang and Dong Pyo Ju

Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Ajou University
(Received 14 December 1989; accepted 17 April 1990)

요 약

물질전달계수의 충전물의 크기에 대한 의존도를 명확히 하기 위한 기초자료를 수집하고 아울러 기왕에 고안한 바 있는 충전탑 내 유동현상 모사장치의 모사성능을 확인하기 위하여 내경 15 cm 및 높이 135 cm 인 충전탑을 사용하여 ethylformate-acetone 용액을 전환류 조건하에 증류하였다. 정상상태에서 실측된 액상 조성의 profile 은 이론적인 profile 과 잘 부합하였으며 이로부터 크기가 10.1, 15.18 및 19.40 mm 인 ceramic Raschig ring 의 인접한 두 혼합점 사이의 거리를 결정하였고 물질전달에 대한 현상론적 연구에 본 모사장치가 유용함을 확인하였다. 혼합점 사이의 거리는 충전물의 크기에 따라 증가하였으며 이들 사이의 정량적인 관계식을 도출하였다.

Abstract—Distillation experiments for binary system ethylformate-acetone were carried out using a 15 cm I.D. and 135 cm height packed column under total reflux condition. Comparing experimental and calculated concentration profiles of liquid phase, distances between two adjacent mixing points of 10.1, 15.18 and 19.40 mm ceramic Raschig rings were determined. The distance was increased according to the increasing dimension of packings and an empirical correlation between them was proposed. The experimental results also convinced of the utility of the model column which simulates the flow phenomena in an industrial packed column, proposed in previous article, for phenomenological study of mass transfer.

1. 서 론

기·액 및 액·액계의 분리장치로 널리 사용되고 있는 충전탑은 복잡한 탑내의 유동현상과 불확실한 물질 전달면적 및 정확한 물질전달계수의 추정이 용이하지 않음으로 인하여 그 유용성에도 불구하고 해석에 문제점이 있어 왔다. 충전탑내의 물질전달계수는 시행하는

조작의 종류, 계의 물성, 유량을 포함한 조작조건 및 충전물의 재질, 형태 및 크기 등에 따라 값이 달라지는 것으로 알려져 있으며 값을 추정할 수 있는 많은 연구 결과가 보고되어 있다[1-8]. 물질전달계수에 영향을 미치는 여러 인자 가운데에서 특히 충전물의 크기의 영향을 기존의 연구 결과를 토대로 하여 검토할 때 충전물의 크기(길이)가 증가하면 물질전달계수의 값이 감소하

는 정성적인 관계는 일치되나 이들 사이의 정량적 관계는 연구자에 따라 상당한 차이가 존재함을 알 수 있다. 이러한 현상은 주로 조작조건의 상이함과 아울러 탑내 유동현상에 대한 해석의 어려움 때문인 것으로 판단되나 충전물 위를 흐르는 액상의 유동거동에 대한 고찰을 통하여 물질전달계수에 대한 충전물의 크기의 영향을 보다 정확하게 기술할 수 있으리라 생각된다.

주[9]는 공업적인 충전탑내의 액상의 유동현상을 laminar 흐름과 액의 혼합이 반복하여 일어나는 현상으로 간주하고 물질전달계수를 충전물의 크기와 상관시킬 경우 충전물의 nominal diameter 보다도 물질전달 속도와 직접 관련되는 인접한 두 혼합점 사이의 거리를 사용하는 것이 더 합리적이라 생각하였다. 이에 따라 그는 laminar 흐름과 액의 혼합을 번갈아 일으키면서 또한 혼합점 사이의 거리를 임의로 조절할 수 있는 특수 형태의 충전물을 사용한 충전탑내 유동현상의 모사장치를 고안하고 ethylformate-acetone 계의 총괄 물질전달계수와 혼합점 사이의 거리에 대하여 정량적인 관계식을 도출하였다. 그는 물질전달계수의 값이 충전물의 혼합점 사이의 길이가 증가됨에 따라 감소해가는 거동을 penetration theory 를 적용하여 설명함으로써 실험결과를 이론적으로 뒷받침하고 공업적 충전물에 대하여도 이와 같은 방법이 적용 가능함을 보고한 바 있으나 이러한 결과를 random packing 된 공업적 충전물에 실제로 응용하기 위하여서는 여러 가지 형태와 크기의 충전물들에 대해 인접한 두 혼합점 사이의 거리가 선행적으로 실측되어야만 한다.

본 연구는 이러한 관점에 따라 여러 가지 충전물 중 우선 ceramic Raschig ring 의 혼합점 사이의 거리를 추정함으로써 물질전달계수와 충전물의 크기 사이의 보다 명확한 관계를 밝히기 위한 기초자료를 수집하고 아울러 기왕에 고안된 충전탑 모사장치로부터 얻어낸 물질전달계수와 혼합점 사이의 거리에 관한 실험식을 실제의 충전탑에 적용하여 봄으로써 충전탑내 유동현상에 대한 본 모사장치의 모사성능을 시험하고자 시도된 것이다. 이러한 연구결과가 여러 가지 크기 및 형태의 충전물에 대하여 수집된 경우 물질전달계수의 충전물의 크기에 대한 의존도가 보다 명백해질 수 있음은 물론 물질전달 현상에 관한 이해를 증진시켜 물질전달계수의 값을 현재보다 더 정확하게 추정하는데 기여할 수 있으리라 여겨진다. 본 연구의 경우 Raschig ring 의 혼합점 사이의 거리는 내경 15cm, 충전높이 135cm 인 회분식 증류탑을 이용하여 ethylformate-acetone 용액에 대한 전환류 조건하의 증류 실험을 하고 실측한 정

상상태 때의 액상 조성의 profile 과 이론적으로 계산한 profile 을 비교하여 추정하였다.

2. 이 론

2-1. 액상의 유동현상과 물질전달계수

충전물의 크기와 물질전달계수의 값이 정성적으로 반비례하는 현상은 액상의 유동거동에 대한 고찰을 통하여 설명할 수 있다. 충전물의 표면을 증류로 흐르는 액상은 충전물과 충전물의 접점(혼합점)에서 혼합이 된 뒤 다음 혼합점에 당도할 때까지 증류흐름을 계속한다고 생각할 수 있다. 이 때 인접한 두 혼합점 사이의 거리가 길어질수록 액면의 활성이 감소될 것이므로 물질전달속도가 둔화되어 물질전달계수는 작아질 것이며 또한 혼합점 사이의 거리는 충전물의 크기가 커질수록 증가될 것으로 예측된다. 주[9]는 액상의 혼합과 증류흐름을 번갈아 일으키면서 아울러 두 혼합점 사이의 거리를 임의로 변화시킬 수 있는 모델 장치를 고안하고 이로부터 ethylformate-acetone 계의 총괄 물질전달계수와 충전물의 혼합점 사이의 거리에 관하여 다음과 같은 관계식을 보고하였다.

$$K_c = 0.01A \left(\frac{G}{S_\epsilon} \right)^{0.53} \left(\frac{L}{S_a} \right)^{0.11} \quad (1)$$

$$l = 0.3480 - 0.5134A + 0.4942(A^2 - 1.2577A + 0.3955)^{0.5} \quad (2)$$

본 연구의 경우 충전물의 혼합점 사이의 거리는 실측한 정상상태에서의 액상조성의 profile 과 이론적인 profile 을 비교하여 결정하였는데 이론적 profile 은 물질전달계수의 크기에 따라 달라질 것이므로 식 (1)의 상수 A 를 임의로 변화시켜 계산한 여러 가지 profile 가운데서 실측한 profile 과 가장 잘 일치하는 profile 을 찾아내어 이 때의 A 를 식 (2)에 대입하여 결정하였다.

2-2. 충전증류탑의 모델방정식

충전탑을 이용하여 증류조작을 할 경우 탑내의 위치 변화에 따른 조성의 profile 은 실험조건 및 계의 특성에 따라 결정된다. 본 실험의 경우 물질수지로부터 액상 및 기상에 대한 두 개의 편미분 방정식을 얻었으며 이들을 유한차분법으로 해석하여 시간과 위치에 따른 이론적인 조성의 profile 을 구하였다.

2-2-1. 물질수지

충전탑 내에 높이가 Δz 인 충전구간을 Fig.1 과 같이

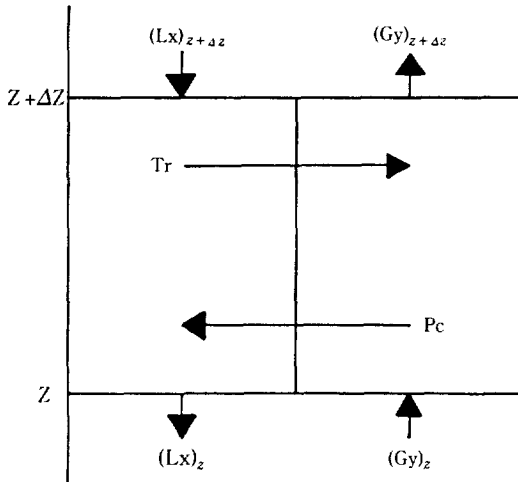


Fig. 1. Material balance for ethylformate.

생각하자. 접촉하고 있는 기상과 액상에 대한 고휘발성 성분인 ethylformate의 물질수지는 시간 Δt 사이에 각 상에 대한 유입량(I), 유출량(O), 증류에 따른 물질전달량(Tr), 조작온도와 실온과의 차이에 따른 벽면으로의 열손실에 의한 응축량(Pc) 및 체류량의 변화량(R)을 고려하여 세울 수 있다. 열손실이 있을 경우 증기의 응축이 일어나므로 증기의 응축속도(P)는 증류탑 단위 높이에 대해 다음과 같이 계산하였다.

$$P = \frac{(G)_z - (G)_{z+\Delta z}}{\Delta z} \quad (3)$$

액상에 대한 시간 Δt 사이의 물질수지는 다음과 같이 표시된다.

$$I - O + Pc - Tr - R = 0 \quad (4)$$

여기서

$$I = (Lx)_{z+\Delta z} \Delta t$$

$$O = (Lx)_z \Delta t$$

$$Pc = \frac{Py}{\alpha - (\alpha - 1)y} \Delta z \Delta t$$

$$Tr = K_c a S (y^* - y) \Delta z \Delta t$$

$$R = \Delta (Hx) \Delta z$$

이들을 대입하고 $\Delta t \rightarrow 0, \Delta z \rightarrow 0$ 인 극한을 취하면 다음 식을 얻는다.

$$\frac{\partial (Hx)}{\partial t} = \frac{\partial (Lx)}{\partial z} - K_c a S (y^* - y) + \frac{Py}{\alpha - (\alpha - 1)y} \quad (5)$$

한편 기상에 대한 물질수지 관계는 다음과 같다.

$$I - O + Tr - Pc - R = 0 \quad (6)$$

여기서

$$I = (Gy)_z \Delta t$$

$$O = (Gy)_{z+\Delta z} \Delta t$$

$$R = \Delta (Hy) \Delta z$$

가 되므로 다음 식을 얻는다

$$\frac{\partial (hy)}{\partial t} = - \frac{\partial (Gy)}{\partial z} + K_c a S (y^* - y) - \frac{Py}{\alpha - (\alpha - 1)y} \quad (7)$$

2-2-2. 모델방정식을 풀기 위한 가정들

2-2-2-1. 상대휘발도

Ethylformate-acetone 계의 평형 데이터[10]를 보면 실험한 조성구간($x=0.1-0.4$)에서는 상대휘발도가 거의 일정하므로 이 구간의 평균치를 다음과 같이 취하고 상수로 간주하였다.

$$\alpha = 1.1507 = \text{constant} \quad (8)$$

2-2-2-2. 열손실에 의한 기상의 응축속도

벽면에서의 열손실에 따른 증기의 응축속도는 reboiler에 가해준 열량(Q_b)과 응축기에서 제거한 열량(Q_c)의 차를 계의 증발잠열($3.017 \times 10^4 \text{ kJ/kgmol}$)로 나누어 계산할 수 있으며 이로부터 단위 층전 높이 당의 기상의 응축속도(P)를 식(3)에 따라 계산하되 탑 상하부의 조작온도차가 0.5°C 미만이므로 단위높이 당의 응축속도는 위치에 관계없이 일정한 것으로 간주하였다. 이러한 가정은 실험한 조성의 profile과 계산된 profile이 잘 부합하는 것으로 보아 별 무리가 없는 것으로 생각되었다.

2-2-2-3. 초기조성

전환류로 증류조작을 할 경우 응축기에서 응축된 증기가 탑 상부로 환류되기 전까지는 정상적인 조작으로 보기 어려우므로 식(5)와 (7)을 풀기 위한 시간의 기점은 증류물의 첫 방울이 탑 상부로 환류되는 순간으로 하였으며 이 때 탑내에 존재하는 두 상의 조성은 어느 위치에서나 동일하며 reboiler 속의 시료의 초기조성과 평형인 조성으로 가정하였다.

$$y(z, 0) = x(z, 0) = \frac{\alpha x_B(0)}{1 + (\alpha - 1)x_B(0)} \quad (9)$$

2-2-2-4. 탑 상부의 조성

전환류 조건하의 조작이므로 탑 상부에서의 두 상의 조성은 항상 동일하다.

$$x(Z, t) = y(Z, t) \quad (10)$$

2-2-2-5. 탑 하부의 조성

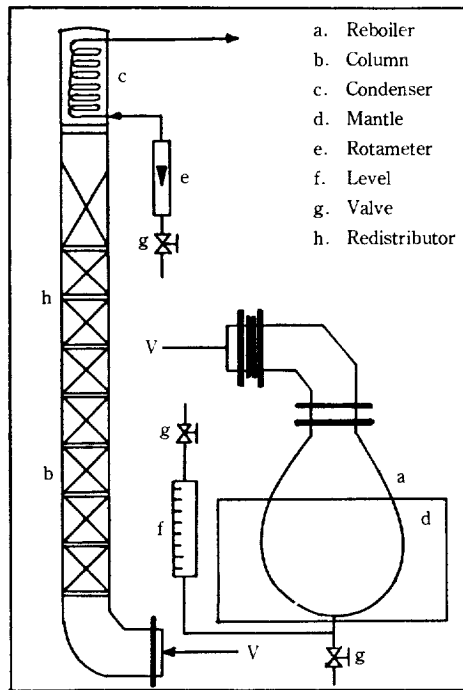


Fig. 2. Schematic diagram of equipment.

임의 시각 t 때 탑 하부 ($z=0$)로 도입되는 증기의 조성은 그 순간에 reboiler에 존재하는 용액의 조성과의 평형인 조성으로 간주하였다.

$$y(0, t) = \frac{\alpha x_B(t)}{1 + (\alpha - 1)x_B(t)} \quad (11)$$

2-2-2-6. 증기의 체류량

탑내의 증기상의 체류량은 액상 체류량에 비하여 대단히 적으므로 무시하였다.

$$h=0 \quad (12)$$

3. 실험

3-1. 실험장치

Fig. 2에 실험장치의 개략도를 나타내었다. 장치는 Union Corning의 Q.V.F. Pyrex glass distillation column으로 구조는 탑과 reboiler, 응축기, redistributor 및 충전물로 대별할 수 있다. 탑은 내경이 15 cm이며 높이가 15 cm인 column element 7개와 30 cm 높이의 element 한 개를 직렬 연결하여 충전 높이를 135 cm로 하였고 액상의 재분산을 위하여 각 element 사이에는 높이 1.5 cm인 stainless steel로

Table 1. Characteristics of Raschig rings

Nominal diameter (10^3m)	10.10	15.18	19.40
Length (10^3m)	10.20	15.17	20.02
O.D. (10^3m)	10.00	15.19	18.78
I.D. (10^3m)	7.04	11.15	15.20
Specific area (m^2/m^3)	554.9	350.4	272.1
Packing density ($10^{-5}/\text{m}^3$)	8.875	2.463	1.169
Void fraction (-)	0.6414	0.6877	0.7767

된 doughnut 형태의 redistributor를 설치하였다. 각 redistributor에는 한 쪽 끝을 작은 유리병에 연결한 내경 1 mm의 금속 tube를 설치하여 액상과 기상의 시료를 채취할 수 있도록 하였다. Redistributor 바닥에 고인 용액은 tube를 통해 유리병 속으로 흘러 나왔으며 기상 시료는 redistributor 윗쪽 공간의 증기가 Tube를 통과하면서 탑 안팎의 온도차로 인하여 응축, 액상으로 유리병 속에 수집되었다. Reboiler는 용량이 100l인 Pyrex glass vessel로서 최대 가열 용량 6 kw인 mantle형 가열기가 부착되어 있고 표면을 유리 섬유로 잘 피복하여 열손실을 방지하였다. 응축기는 내경 15 cm, 길이 84 cm 및 전열면적 1.5m^2 로서 표면을 피복하여 단열시켰고 냉각수의 유량과 온도변화를 측정하였다. 충전물로는 크기가 다른 세 종류의 ceramic Raschig ring을 제작하여 사용하였으며 이들의 특성을 Table 1에 수록하였다.

3-2. 실험 방법

시료로는 ethylformate-acetone 이성분 용액을 사용하였다. Reboiler에 조성 및 양을 측정된 혼합용액을 넣고 electric mantle를 작동시켜 가열하되 thermo-controller를 이용하여 증기의 boilup rate($0.67\text{--}1.05 \times 10^{-2} \text{kgmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)를 조절하였다. 전환류 조건하에 실험을 수행하였으며 탑 상부의 조성이 더 이상 변하지 않을 때까지 기다린 다음 redistributor에 설치한 시료채취 장치를 이용하여 lcc 이하의 기상 및 액상 시료를 수집, 분석하였다. 시료의 분석에는 Yanaco G 180 gas chromatograph를 사용하였고 벽면으로의 열손실량을 추정하기 위하여 냉각수의 유량과 온도변화도 아울러 실측하였다. 전환류 조작조건으로부터 예측할 수 있는 바와 마찬가지로 실측한 정상상태 때의 두 상의 조성은 분석오차를 감안할 때 사실상 동일한 값이라 생각할 수 있었으므로 이론적인 profile과의 비교에는 액상 조성의 profile을 사용하였다.

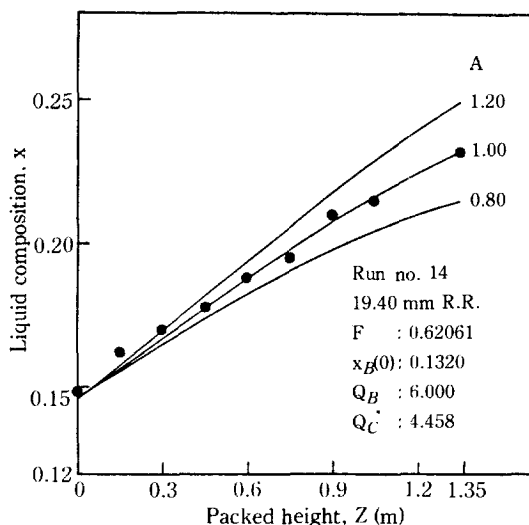


Fig. 3. Influence of constant A on liquid compositions and comparison of experimental and calculated profiles.

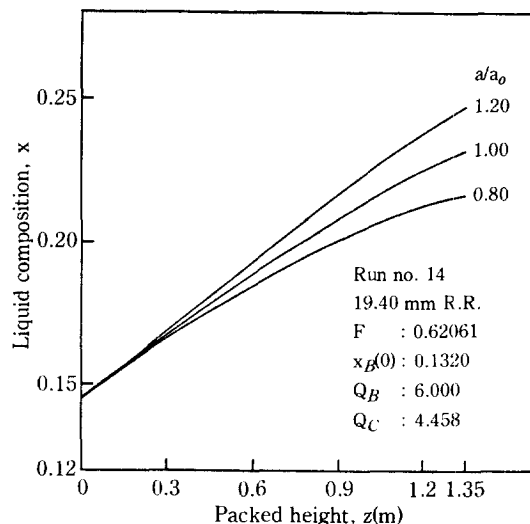


Fig. 4. Influence of effective area on liquid compositions.

4. 결과 및 검토

4-1. 조성의 profile에 미치는 인자들의 영향

모델방정식 (5)와 (7)을 연립시켜 풀게 되면 두 상의 조성 y 와 x 가 위치 및 시간의 함수로 계산된다. 해를 구하는데 관련되는 인자들의 $H, h, G, L, K_c, a, P, \alpha$ 및 S 의 아홉 가지나 G, L 및 P 는 조작조건으로부터 값이 결정되며 S 는 장치의 특성치이고 α 는 상수이며 h 는 무시하기로 하였으므로 결국 이론적인 profile에 영향을 미치는 인자로는 H, a 및 K_c 의 세 가지가 남게 된다. 물질전달계수는 실험식 (1)을 사용하였고 유효전달면적 a 및 액상 체류량 H 는 문헌에 보고된 식들을 이용하여 값을 추정하였으나 이 식들은 오차를 포함하고 있으므로 이러한 오차가 이론적인 조성에 미치는 영향을 조사하여 보았다.

4-1-1. 물질전달계수

물질전달계수의 크기는 충전물의 두 혼합점 사이의 거리의 함수인 상수 A 의 값에 따라 변화하므로 정상상태 때의 조성의 profile도 A 의 값에 따라 달라지게 된다. Fig. 3에 $A=1.0$ 일 때를 기준으로 하여 A 값을 $\pm 20\%$ 변화시킬 때 얻어지는 액상 조성의 profile들을 도시하였으며 이와 같은 A 의 변화는 탑 상부의 조성을 7.4%씩 증감시키는 것으로 판명되었다.

4-1-2. 유효전달면적

충전물의 유효전달면적 추정에는 Puranik와 Vo-

gelpohl의 식[11]을 사용하였다. 이 식은 신뢰도가 $\pm 20\%$ 로 보고되고 있으므로 부정확한 유효전달면적의 사용으로 일어날 수 있는 이론적인 profile의 변화 범위를 조사하여 보았다. Fig. 4는 Puranik 등의 방법을 적용했을 때와 이 값을 각각 20% 증감시켜 계산한 정상상태의 액상 조성 profile들을 예시한 것으로서 탑 상부의 조성은 기준치에 비하여 6.7%씩 증감되는 것으로 나타났다.

4-1-3. 액체 체류량

액체의 체류량은 정적 체류량(static holdup)과 동적 체류량(dynamic holdup)의 합으로 표시된다. 이론적인 profile의 계산을 위하여 전자의 경우는 Shulmann 등[1]의 방법을, 후자의 경우는 Buchanan [12]이 제안한 식을 이용하여 값을 추정하였다. 부정확한 체류량의 사용으로 인하여 생길 수 있는 액상 조성의 변화를 알아보기 위하여 Fig. 5에 이들 방법을 사용하여 계산한 체류량을 30% 및 60% 증가시켰을 때의 탑 상부 액상조성의 변화를 시간의 함수로 나타내었다. 이에 의하면 체류량의 크기는 정상상태에 도달할 때까지의 증류시간에만 영향을 줄 뿐 비정상상태를 지난 정상상태 때의 조성에는 무관함을 알 수 있으며 이러한 현상은 모델방정식 (5)로부터도 예견할 수 있다. 정상상태에 도달되는 시간은 체류량의 증가에 따라 길어지나 이론적으로 15분 내외 정도이며 이 시간은 실측치 (20-25분)와 비슷하였다.

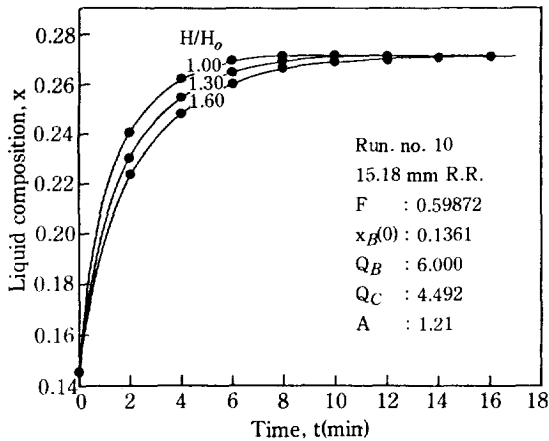


Fig. 5. Influence of liquid holdup.

Table 2. Mean deviation between experimental and calculated compositions for different values of A (Run No. 14)

Experimental conditions		
Nominal diameter of packings, d	(10 ² m)	1.940
Initial charge of mixture in reboiler, (kgmol)		0.62061
Ethylformate composition of initial charge		0.1320
Reboiler duty, Q _B	(Kw)	6.0000
Condenser duty, Q _C	(Kw)	4.4580
Heat loss from column wall	(Kw)	1.5420
A	10 ² l (m)	Mean deviation (%)
0.80	2.183	4.115
0.90	1.993	2.303
0.95	1.897	1.668
0.96	1.878	1.543
0.97	1.859	1.436
0.98	1.840	1.378
0.99	1.821	1.320
1.00	1.802	1.291
1.01	1.782	1.367
1.02	1.763	1.456
1.03	1.744	1.544
1.04	1.725	1.633
1.05	1.706	1.775
1.10	1.610	2.473
1.20	1.419	3.797

4-2. Raschig ring의 혼합점 사이의 거리

크기가 다른 세 종류의 ceramic Raschig ring을 사용하여 실측한 정상상태 때의 액상 조성 profile을 이론적인 profile과 비교하였다. 이론적인 profile은 식

Table 3. Comparison of experimental and calculated liquid composition (Run No. 14)

Position (i)	z(m)	x _{im}	x _{ic}	Deviation (%)
1	0	0.1487	0.1457	2.025
2	0.15	0.1621	0.1563	3.688
3	0.30	0.1702	0.1671	1.876
4	0.45	0.1779	0.1778	0.057
5	0.60	0.1882	0.1884	0.086
6	0.75	0.1948	0.1986	1.900
7	0.90	0.2103	0.2082	0.989
8	1.05	0.2151	0.2172	0.956
9	1.35	0.2321	0.2322	0.039
Mean				1.291

(1)의 상수 A 값에 따라 달라지게 되므로 A를 임의로 변화시켜 얻은 각 profile에 대하여 실측치와 이론치 간의 평균편차를 다음과 같이 계산하고

$$C = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \frac{|(x_{im} - x_{ic})|}{x_{ic}} \quad (13)$$

편차가 최소가 되는 profile을 선정한 다음 이 때 사용한 A 값을 식 (2)에 대입하여 혼합점 사이의 거리를 알아내었다. 이러한 과정을 보이는 한 예로 A 값의 변화에 따라 얻게 되는 이론치와 실측치 사이의 평균편차를 Table 2에 수록하였고 Table 3에 평균편차가 최소인 경우 (A=1.0)의 이론적인 profile을 실측한 profile과 비교하였으며 또한 이 결과를 Fig.3에 나타내었다. Table 2와 3 및 Fig.3에서 보는 바와 같이 실측치와 이론치들은 서로 잘 부합되었으며 이는 물질전달계수를 충전물의 혼합점 사이의 거리의 함수로 표현한 식 (1)의 타당성과 함께 이 식의 획득에 사용되었던 충전탑내의 유동현상을 재현하기 위한 모사장치의 모사성능이 양호함을 보여주는 것으로서 충전탑내의 물질전달에 대한 현상론적 연구에 이와 같은 장치가 이용 가능함을 시사해 주는 것으로 생각된다.

세 가지 ceramic Raschig ring의 혼합점 사이의 거리는 Fig.6에 도시한 바와 같이 ring의 nominal diameter에 따라 증가하였으며 본 실험에 사용한 충전물의 경우 이들 사이의 정량적인 관계는

$$l = 1.17d - 4.17 \times 10^{-3} \quad (14)$$

로 표현되었다. 혼합점 사이의 거리는 ring의 nominal diameter보다 5-25% 정도 짧은 것으로 나타났다. 그러나 이론적인 profile의 계산에 사용한 물질전달계수와 유효전달면적에 대한 실험식들의 신뢰도로 인하

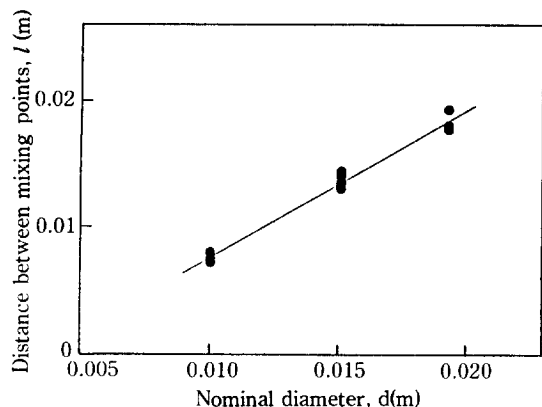


Fig. 6. Distance between mixing points vs. nominal diameter of packings.

여 이론적인 조성이 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 추가적인 고찰이 필요하리라 보며 물질전달계수가 충전물의 혼합점 사이의 거리에 반비례하고 본 연구의 Raschig ring의 경우처럼 nominal diameter와 혼합점 사이의 거리에 대한 정량화가 가능하므로 이러한 데이터가 다양한 충전물에 대하여 수집될 경우 물질전달계수와 충전물의 크기 사이의 보다 확실한 관계를 추정할 수 있으리라 생각된다.

5. 결 론

물질전달계수의 충전물의 크기에 대한 의존도를 알아보기 위한 기초 자료를 수집하고 동시에 공업적인 충전탑내의 유동현상을 모사할 목적으로 기왕에 고안한 바 있는 장치의 모사성능을 확인하기 위하여 내경 15 cm, 높이 135 cm인 충전탑내에 크기가 10.1, 15.18 및 19.40 mm인 세 종류의 ceramic Raschig ring을 충전하고 전환류 조건하에 ethylformate-acetone 용액에 대한 회분식 증류 실험을 행하였다. 정상상태 때의 액상 조성의 profile을 실측하고 이를 이론적으로 추정한 profile과 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실측한 profile과 이론적인 profile이 잘 부합하는 것으로 보아 모사장치가 충전탑내의 유동현상을 잘 재현하며 물질전달 현상의 해석에 유용함을 확인하였고 또한 물질전달계수가 충전물의 혼합점 사이의 거리의 함수로 표현될 수 있음을 알았다.

2. Raschig ring의 혼합점 사이의 거리는 ring의 nominal diameter에 따라 증가되며 본 연구에 사용된 ring의 경우 이들 사이의 정량적 관계는 다음과 같다.

$$l = 1.17d - 4.17 \times 10^{-3}$$

3. 물질전달계수가 충전물의 혼합점 사이의 거리에 반비례하고 공업적 충전물의 인접한 혼합점 사이의 거리 추정이 가능하므로 본 연구에서와 같은 데이터가 여러 가지 충전물에 대하여 수집될 경우 물질전달계수와 충전물의 크기 사이의 보다 확실한 정량화가 가능하리라 생각된다.

NOMENCLATURE

- a : effective area of packings [m^2/m^3]
- a_o : effective area calculated by Puranik's method [m^2/m^3]
- A : constant (-)
- C : mean deviation between experimental and calculated compositions [-]
- d : nominal diameter of packings [m]
- F : initial charge in reboiler [kgmol]
- G : flow rate of vapor phase [kgmol/s]
- h : vapor holdup per unit packed height [kgmol/m]
- H : Liquid holdup per unit packed height [kgmol/m]
- H_o : liquid holdup calculated by eqn. (4) & (5) [kgmol/m]
- K_G : overall mass transfer coefficient [kgmol/ m^2s]
- l : distance between two adjacent mixing points of packings [m]
- L : flow rate of liquid phase [kgmol/s]
- P : rate of condensation of vapor per unit packed height [kgmol/ms]
- Q_B : reboiler duty [kw]
- Q_c : condenser duty [kw]
- S : cross-sectional area of column [m^2]
- t : time [s]
- x : mole fraction of ethylformate in liquid phase [-]
- x_B : mole fraction of ethylformate in reboiler [-]
- y : mole fraction of ethylformate in vapor phase [-]
- y^* : mole fraction of ethylformate in equilibrium with x [-]
- z : packed height [m]
- Z : total packed height or top position of column [m]

Greek Letters

- α : relative volatility [-]
- ϵ : void fraction of packings [-]

Subscripts

- c : calculated
i : position of column; 1 denotes bottom, 9 top
m : measured

REFERENCES

1. Shulmann, H.L., Ullich, C.F., Proulx, A.Z. and Zimmerman, J.O.: *AIChE J.*, **1**, 253 (1955).
2. Onda, K., Takeuchi, H. and Okumoto, Y.: *J. of Chem. Eng. (Japan)*, **1**, 56 (1968).
3. Laurent, A. and Charpentier, J.C.: *Chem. Eng. J.*, **8**, 85 (1974).
4. Honorat, A. and Sandall, O.C.: *Chem. Eng. Sci.*, **33**, 635 (1978).
5. Steiner, L., Barendreght, H.P. and Hartland, S.: *Chem. Eng. Sci.*, **33**, 255 (1978).
6. Sherwood, T.K. and Holloway, F.A.L.: *Trans. AIChE J.*, **36**, 39 (1940).
7. Yoshida, F. and Koyanagi, T.: *AIChE J.*, **8**, 309 (1962).
8. Zech, Z.B. and Mersmann, A.B.: 3rd Int. Symp. on Distillation, London, 2.5/39 (1979).
9. Ju, D.P.: *HWAHAK KONGHAK*, **21**(2), 71 (1983).
10. Bablich, et. al.: *Zhur. Prikl. Khim.*, **44**(8), 1827 (1974).
11. Puranik, S. and Vogelpohl, A.: *Chem. Eng. Sci.*, **29**, 501 (1974).
12. Buchanan, J.: *I & EC Fund.*, **8**, 503 (1969).