การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร

ในคอลัมน์ลักษณะของเหลวด้วยของเหลวแบบพ่นกระจาย

นางสาวจารุณี ไกรแก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526

ISBN 974-561-832-2

011296

Measurements of Mass Transfer Coefficients in a Liquid-Liquid Spray Column

Miss Jarunee Kraikaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบพ่นกระจาย
โดย	นางสาวจารุณี ไกรแก้ว
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ
อาจารย์ที่ปรึกษา (ร่วม)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุณยาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจฉี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบพ่นกระจาย
ชื่อ	นางสาวจารุณี ไกรแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ
อาจารย์ที่ปรึกษา (ร่วม)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2525

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (k) เป็นสัมประสิทธิ์ตัวสำคัญที่ใช้ในการออกแบบคอลัมน์ (column) สกัดของเหลวหรือขยายขนาดคอลัมน์จากแบบทดลอง ในการออกแบบแนวใหม่นิยมใช้เป็นแบบจำลองดิฟิวชั่น (Diffusion Model) ในแบบจำลองนี้ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารอยู่ในรูปของจำนวนหน่วยส่งผ่าน (NTU) และยังมีพารามิเตอร์ (parameter) อีก 2 ตัว คือ เบอร์เพเคลต (peclet number) ในเฟสกระจาย (dispersed phase) และเบอร์เพเคลตในเฟสหลัก (continuous phase) เบอร์เพเคลตทั้งสองนี้แสดงถึงอิทธิพลของการไหลย้อนกลับในเฟสทั้งสอง

งานวิจัยนี้ได้เน้นการวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในรูปของจำนวนหน่วยส่งผ่าน (NTU) โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นตลอดความยาวของคอลัมน์กับแบบจำลองคณิตศาสตร์ดิฟิวชั่น โดยที่ความเข้มข้นตลอดความยาวของคอลัมน์เป็นความเข้มข้นที่วัดได้จริงในคอลัมน์สกัดของเหลว วิธีการเปรียบเทียบตัวเลขความเข้มข้นที่วัดได้จริงกับแบบจำลองคณิตศาสตร์เรียกว่า ออปติไมเซชัน (optimization) งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบการสกัดของเหลวที่มีเส้นอีควิลิเบรียม (equilibrium) เป็นเส้นโค้ง ซึ่งเป็นระบบที่มักเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมทั่วไป ได้ทำการทดลองวัดความเข้มข้นในเฟสทั้งสองประมาณ 6 จุดตลอดความสูงของคอลัมน์ โดยเลือกใช้คอลัมน์แบบสเปรย์ (Spray Column) เป็นเครื่องมือทดลอง และใช้ระบบน้ำ - ไอโอดีน - น้ำมันก๊าด ค่าที่ได้นำมาทำการออปติไมส์ (optimize) หา NTU ที่เหมาะสม

โดยใช้ค่าเบอร์เพเคลตของเฟล่หลัก ซึ่งเลือกจากค่าคำนวณที่หาได้จากเอกสารต่าง ๆ ผลที่ได้เปรียบเทียบระหว่างกรณีใช้ค่าความเข้มข้นตามระยะความสูงทั้ง 6 จุด และใช้เพียง 2 จุดเข้าออก เพื่อดูว่าจะสามารถประหยัดเวลาในการหาค่า NTU ที่แน่นอนได้หรือไม่ นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบ NTU ในกรณีเส้นอีควิลีเบรียมเป็นเส้นตรง และเส้นโค้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Measurements of Mass Transfer Coefficients in a Liquid - Liquid Spray Column
Name	Miss Jarunee Kraikaew
Thesis Advisor	Assistant Professor Woraphat Arthayukti
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Lursuang Mekasut
Department	Chemical Technology
Academic Year	1982

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

Mass transfer coefficients are important parameters for column design and column scale up from pilot plant data. A modern and well known approach for designing columns is the diffusion model which contains a mass transfer coefficient in the form of a transfer unit parameter as well as another two parameters called peclet numbers, one for each phase. The transfer unit parameter relates to rates of mass transfer and the peclet number relate to the effect of backmixing in the liquid-liquid extraction column.

This study deals with the measurement of mass transfer coefficients in the form of a number of transfer unit using an optimization between experimental concentration profiles along the column and concentration profiles generated from the model. In this study a non-linear equilibrium curves system was selected for study. This system was chosen because most industrial applications deal with non-linear equilibrium systems. The system used here was water-iodine - kerosene and the liquid-liquid extraction column used was a 40 millimeters in diameter, spray column. A 6 points concentration profile was used with Iodine as solute. An optimization method was used to compute the NTU parameter in both phases making

use of predetermined peclet numbers for the continuous phases obtained from the literature and assuming piston flow in the dispersed phase. The NTU obtained based on experimental measurement along the column was compared to an NTU obtained using only experimental measurements at the top and bottom of the column to investigate the need to measure the entire profile in order to obtain an accurate value of NTU for experimental time saving procedures in future columns. Furthermore, NTU values between cases of approximated linear equilibrium line and non-linear equilibrium curve were compared to test the sensivity of a linear curve approximated from a non-equilibrium curve.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ ที่ได้ช่วยเหลือแนะนำอย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและการปฏิบัติในการวิจัย ตลอดจนทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองเคมี และกองอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ใช้สถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต แห่งภาควิชาเคมีเทคนิค ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ

พร้อมกันนี้ขอขอบคุณ ดร. กรรติกา ศิริเล่นา ดร. มนูญ อร่ามรัตน์ คุณเยาวน์ รอดทองคำ คุณดำรงค์ ปานจินดา และคุณพลยุ่ม ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือเป็นอย่างดีสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณแม่และน้อง ๆ ตลอดจนเพื่อนทุก ๆ คน สำหรับความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1
2. แนวทฤษฎี 5
   - 2.1 คอลัมน์แบบสเปรย์ (Spray Column) 5
   - 2.2 แบบจำลองดิฟฟิวชั่น (Diffusion Model) 6
   - 2.3 การหาจำนวนหน่วยส่งผ่าน (Number of Transfer Unit) และเบอร์เพเคลต (Peclet Number) 8
3. การทดลอง 15
   - 3.1 เครื่องมือ 15
   - 3.2 ระบบที่ใช้ในการทดลอง 19
   - 3.3 วิธีวิเคราะห์ 19
   - 3.4 วิธีทดลอง 20
4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง 23
   - 4.1 เส้นอีควิลิเบรียม (Equilibrium Curve) 23
   - 4.2 เบอร์เพเคลต (Peclet Number) 24
   - 4.3 จำนวนหน่วยส่งผ่าน 30
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 61
   - 5.1 สรุปผลการวิจัย 61
   - 5.2 ข้อเสนอแนะ 62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

เอกสารอ้างอิง 63

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ 65

ภาคผนวก 67

ก. ผลการทดลองและกราฟ 67

ข. ผลการคำนวณแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในเฟส (phase) ทั้งสอง 88

ค. วิธีของ Mecklenburgh & Hartland 102

ง. การแก้สมการแบบจำลองดิฟิวชั่น กรณีเส้นอีควีลีเบรียมเป็นเส้นโค้ง 105

จ. แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....108
สำหรับแก้สมการแบบจำลองดิฟิวชั่น กรณีเส้นอีควีลีเบรียมเป็นเส้นโค้ง

ฉ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณความเข้มข้นของไอโอดีน.....111
ในเฟสทั้งสอง

ประวัติ.....115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ 15
2. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของระบบที่ใช้..... 19
3. การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำมันก๊าด(Y) ระหว่าง ค่าทดลองและค่าคำนวณที่อีควิลิเบรียม 23
4. ผลการคำนวณเบอร์เพเคลต ..... 24 (ใช้ค่า E_c จากสมการของ Vermeulen และคณะ)
5. ผลการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด ..... 27 (สมการของ de Chazal & Ryan เปรียบเทียบกับLaddha และคณะ)
6. ผลการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด ..... 27 (ความเร็วของเฟสกระจายอยู่ในช่วงเจ็ท)
7. ผลการคำนวณเบอร์เพเคลต (ใช้ค่า E_c จากสมการของ..... Zheleznyak & Landau) 27
8. ผลการคำนวณ NTU_x และ P_{e_x} ..... 29 (วิธีของ Mecklenburgh & Hartland)
9. ผลการคำนวณเบอร์เพเคลตซึ่งได้จากสามวิธี 30
10. ผลการคำนวณ $\in_1$ และ $\in_2$ ที่ R_x ต่าง ๆ กัน 32
11. ผลการคำนวณ $NTU_x(R_x)$ โดยวิธีออปติไมเซชัน(optimization) 35
12. ผลการคำนวณ $\in$ เมื่อเปลี่ยนแปลง P_{e_x} และ R_x 37
13.1. การเปรียบเทียบ NTU กรณีเส้นอีควิลิเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง 38
13.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่าง Y ที่อีควิลิเบรียม กับ X ก่อนสกัดระหว่างกรณีเส้นอีควิลิเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง 39
14. การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของNTU_x ที่คำนวณได้ กับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ Y ที่อีควิลิเบรียมที่ X ก่อนสกัดต่าง ๆ กันระหว่างกรณีเส้นอีควิลิเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง 39

ตารางที่ หน้า

15. ความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับอัตราส่วนของอัตราการไหล.....60
ในเฟล่ทั้งล่อง กรณีเส้นอีควิลิเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง
16. การกระจายความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำและน้ำมันก๊าด.....67
ที่อีควิลิเบรียม
17. ความจุของคอลัมน์.....67
18. ค่าแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟล่ทั้งล่อง.....67
เมื่อใช้ความสูง 5 ช่วง (Δz= 20 ซม.)ที่เงื่อนไขต่างๆกัน
19. ค่าแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟล่ทั้งล่องเมื่อใช้.....84
ความสูง 10 ช่วง (Δz= 0.1 เมตร)ที่เงื่อนไขต่างๆกัน
20. ความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในเฟล่ทั้งล่อง.....88
ตลอดความยาวของคอลัมน์ที่เงื่อนไขต่างๆกัน
21. เมตริกส์(matrix)ที่ล้อดคล้องกับสมการ ง.7, ง.8 และ.....106
ง.13 ถึง ง.16 สำหรับ n=10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1. ผลของการไหลย้อนกลับต่อค่าแนวความเข้มข้นของเฟสทั้งสอง..... 4
ในคอลัมน์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไหลสวนทางกัน

2.. แบบแผนการทำงานของคอลัมน์แบบสเปรย์.....4

3. การเกิดปรากฏการณ์ไหลย้อนกลับในคอลัมน์สกัดของเหลวด้วย.....7
ของเหลวแบบไหลสวนทางกัน

4. การไหลแบบปิสตันดิฟิวชั่น (piston diffusion) ในเฟสทั้งสอง...7

5. การเปรียบเทียบของสัมประสิทธิ์การไหลย้อนกลับในเฟสหลัก (E_c)..12

6. แผนภูมิระบบคอลัมน์แบบสเปรย์.....16

7,8. ภาพถ่ายของคอลัมน์แบบสเปรย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....17

9. ที่เก็บตัวอย่าง.....18

10. แผ่นกระจาย (distributor).....18

11. เส้นอีควีลีเบรียมของระบบน้ำ-ไอโอดีน-น้ำมันก๊าด.....22

12. ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x ที่เงื่อนไขต่างๆกัน.....40

13. ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_2 กับ R_x ที่เงื่อนไขต่างๆกัน.....43

14. การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีน.....46
ในเฟสทั้งสอง กับค่าทดลองที่เงื่อนไขต่างๆกัน

15.1. ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ F_x = 10 ลิตร/ชม. , ...58
F_y = 30 ลิตร/ชม. และ R_x=9

15.2. ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 และ ϵ_2 กับ R_x เมื่อ F_x= 10 ลิตร/ชม. .58
F_y= 30 ลิตร/ชม. และ Pe_x= 0.5

16. การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีน.....59
ในชั้นน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ Pe_x ต่างๆกัน เมื่อ
F_x = 10 ลิตร/ชม. , F_y = 30 ลิตร/ชม. และ R_x = 9

17. ความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับอัตราส่วนของอัตราการไหลในเฟสทั้งสอง 60

18. แนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟสทั้งสองจากการทดลอง.....72
ที่เงื่อนไขต่างๆกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย