



การศึกษากระบวนการสกัดของเหลว ที่จะเป็นประโยชน์
ต่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ

วุฒิ B.S. (Maryland), M.S. (Maryland), Docteur-Ingenieur (Toulouse)

โครงการวิจัย เลขที่ 25-1E-2521

ทุนเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยบริการ

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ ฯ

มกราคม พ.ศ. 2526



การศึกษากระบวนการสกัดของเหลว ที่จะ เป็นประโยชน์ต่อการอุตสาหกรรม
ในประเทศไทย

ของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ

วุฒิ B.S. (Maryland), M.S. (Maryland), Docteur - Ingenieur (Toulouse)

โครงการวิจัยเลขที่ 25-IE-2521

ทุน เสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

มกราคม พ.ศ. 2526

หัวข้อ เรื่อง การศึกษากระบวนการสกัดของ เหลว ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการอุตสาหกรรมใน
ประเทศไทย

ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ



บทคัดย่อ

ส่วนหนึ่งของ โครงการวิจัยนี้ได้มุ่งสำรวจสถานภาพการใช้กระบวนการ การสกัดของ
เหลวที่ใช้กันทั่วไป ในส่วนที่สองผู้วิจัยได้เสนอแนววิธีในการคำนวณขนาดของคอลัมน์สามประเภท
อันได้แก่ คอลัมน์แบบพัลส์แพค พัลส์แผ่นรุกรุม และโรเตติงดิสก์คอนแทกเตอร์ ผู้วิจัยได้เสนอ
สมการความจุสูงสุดที่สามารถนำมาหา เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ได้ และได้เสนอสมการและ
กราฟที่สามารถใช้หาสัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับในคอลัมน์ทั้งสามประเภท และได้เสนอแนววิธี
ในการจัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ เพื่อนำตัวเลขสัมประสิทธิ์
การผสมย้อนกลับ และตัวเลขสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารมาใช้คำนวณประสิทธิภาพของคอลัมน์
และในที่สุดเพื่อคำนวณความสูงของคอลัมน์

ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติการ เบี่ยงตัวของวัสดุภายในคอลัมน์ และพบว่ามมีอิทธิพลต่อ
ประสิทธิภาพของคอลัมน์

ในการนำผลการทดลองวัดความจุสูงสุดในคอลัมน์บางประเภทเพื่อ เปรียบเทียบกับ
สมการต่าง ๆ พบว่า ในส่วนของผลการทดลองที่ได้นำมาใช้ความจุสูงสุดที่หาได้ไม่สอดคล้อง
กับสมการ

จากการศึกษาระบบ H.E.T.P. พบว่าต้องใช้ความระมัดระวังมากในการใช้-
เพราะ อาจจะทำให้ความสูงของคอลัมน์ที่ไม่เพียงพอแก่งานที่ต้องทำ

TITLE LIQUID EXTRACTION STUDIES WITH PARTICULAR REFERENCE
 TO INDUSTRIAL APPLICATIONS IN THAILAND

NAME DR. WORAPHAT ARTHAYUKTI, ASSISTANT PROFESSOR

ABSTRACT

The first part of the report surveys liquid - liquid extraction processes that are known to exist. The second part of the report concerns the calculation of three types of liquid extraction columns, namely the pulsed packed column, the pulsed perforated plate column and the rotating disk column. Flooding data correlations and backmixing data correlations found in the literature are presented. A methodology of height scale up of extraction columns is presented based on measurements of mass transfer coefficients of a pilot column based on the diffusion model.

Inner column material wettability was found to influence column efficiencies. Comparisons of experimental flooding data did not match the published data for many experiments. Finally a study of the H.E.T.P. calculation method indicated that H.E.T.P. tends to give erroneous column height requirements but the method should not be discarded.

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
รายการตาราง	ช
รายการภาพประกอบ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ณ

บทที่

1. บทนำ	1
2. สํารวจกระบวนการสกัดของ เหลวด้วยของ เหลวที่น่าสนใจ	3
3. การศึกษาอิทธิพลของการ เบียดคั่วภายในคอลัมน์สกัดของ เหลว	10
3.1 คำนำ	10
3.2 การทดลอง เรื่องอิทธิพลของการ เบียดคั่วของ วัสดุภายในคอลัมน์	
แบบพัลส์แพค	12
3.2.1 คอลัมน์แบบพัลส์แพคและระบบที่ใช้ พร้อมทั้งสภาวะ	
การทำงาน	13
3.2.2 ผลการทดลองและข้อสังเกต	14
3.3 สรุปและวิจารณ์	15
4. แนวความคิดในการสร้างคอลัมน์สกัดของ เหลวประเภท RDC ประเภท	
พัลส์แผ่นรูพรุน ประเภทพัลส์แพค	18
4.1 คำนำ	18
4.2 การกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์	24
4.2.1 คำนำ	25

4.2.2	ข้อมูลความจุสูงสุด (FLOODING CORRELATIONS)	26
4.2.2.1	ความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบแพค	30
4.2.2.2	ความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แพค ...	33
4.2.2.3	ความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปดหน้า	35
4.2.2.4	ความจุสูงสุดในโรเตติงคิสต์คอนแทกเตอร์ (RDC)	36
4.2.3	เปรียบเทียบสมการและผลการทดลองหาความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แพค	37
4.2.3.1	คำนวณ	37
4.2.3.2	การเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองกับสมการ	37
4.2.4	เปรียบเทียบสมการและผลการทดลองหาความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปดหน้า	38
4.3	การกำหนดความสูงของคอลัมน์	39
4.3.1	คำนวณ	39
4.3.2	หลักการของ H.E.T.P.	40
4.3.2.1	การทดลองหา H.E.T.P. โดยไมเคิล คีฟวสัน	43
4.3.2.2	ผลสรุป	44
4.3.3	หลักการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร (HTUXNTU APPROACH)	47
4.3.4	หลักการของคีฟวสันไมเคิล	50
4.3.4.1	ข้อมูลเรื่องประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารของคอลัมน์สกัดของเหลวโดยสังเขป ..	51
4.3.4.2	การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ	59

4.3.5	การทดลองวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารใน คอลัมน์แบบสเปรย์ที่ไฮลค์อับสูง	61
5.	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	63
ภาคผนวก		
ก.	ผลการทดลองการศึกษาอิทธิพลของการ เบียดค้ำภายในคอลัมน์แบบ พัลส์แพค	64
ข.	ข้อมูลพื้นฐานในการ เปรียบ เทียบข้อมูลความสูงที่สุดของคอลัมน์แบบ พัลส์แพค	75
ค.	ข้อมูลการทดลองความสูงที่สุดของคอลัมน์สกัดของ เหวแบบพัลส์ แผ่นรูพรุน ขนาด 70 ม.ม.	86
ง.	การหา H.E.T.P. จากโมเดลคิวิวชัน	92
จ.	โมเดลการถ่ายเทมวลสารแบบคิวิวชัน สำหรับคอลัมน์สกัดของ เหว	95
ฉ.	การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์แบบสเปรย์	107
บรรณานุกรม	119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขที่	จพ
๑๓	๑๓ 15
เลขทะเบียน	๐๐๒๓๐๑
วัน, เดือน, ปี	๓๐ กค ๖๘

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการสำรวจกระบวนการสกัดของเหลวที่น่าสนใจ	7
4.1 การคำนวณ H.E.T.P. โดยอาศัยโมเดลทิวชัน	45

ภาคผนวก ก

1 การทดลองหาความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์แพค	66
2 ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรซิงแบบพลาสติก ขนาด ½ นิ้ว	69
3 ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรซิงแบบเหล็ก ไร้สนิมขนาด ½ นิ้ว	72

ภาคผนวก จ

1 เมตริกส์ที่สอดคล้องกับสมการ 26, 27, 29 สำหรับ $N = 10$..	106
---	-----

ภาคผนวก ฉ

1 ความเข้มข้นของมวลสารตลอดความยาวของคอลัมน์	110
2 การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเคอร์ ในคอลัมน์แบบสเปร์ย์ ...	113
3 ผลการคำนวณเบอร์เพเคลด	113
4 ผลการออกแบบไฮส ทา R_x	114

รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
4.1 เครื่องสักดของ เหวลมแบบไม่ใช้พลังงานกลมา เพิ่มอัตราการสักด ...	19
4.2 เครื่องสักดของ เหวลมแบบใช้พลังงานกลเพิ่มอัตราการสักด	19
4.3 คอลัมน์สักดของ เหวลมสามประเภทที่นิยมใช้	23
4.4 ระบบทำให้เกิดพัลส์สองระบบ	25
4.5 แผ่นขา เบิลคัย	41
4.6 แสดงถึงอีควิลีเบรียมสเตตจ์	41
4.7 คอลัมน์แบบแพค	41
4.8 กราฟอธิบายหลักการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร	49
4.9 กราฟสำหรับ ϕ_1	53
4.10 กราฟสำหรับ ϕ_2	53
4.11 สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับของ เฟสหยด	54
4.12 เมอร์เทเคลดในเฟสหลัก สำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพค	55
4.13 เมอร์เทเคลดในเฟสหยด สำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพค	55
4.14 สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับในเฟสหลัก ในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปด	56
4.15 สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับในเฟสหยด ในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปด	56

ภาคผนวก ก

1 โครงสร้าง คอลัมน์สักดของ เหวลมแบบพัลส์แพค	65
2 เส้นความสูงสูงสุดสำหรับแพคกิงสองชนิด	65
3 ประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์แพค (ใช้แหวนหลาสดิกขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว)	67
4 ประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์แพค (ใช้แหวนเหล็กไร้สนิมขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว)	67
5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์แพค ใช้แหวนแรชชิงต่างวัสดุ (แหวนขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว)	68

ภาพที่

หน้า

ภาคผนวก ข

- 1 ผลการเปรียบเทียบความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์แพค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้ว ใช้แหวนแรชชิงขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว 85

ภาคผนวก ค

- 1 ข้อมูลความจุสูงสุดของคอลัมน์แผ่นรูปพรุนขนาด 70 มม. 90
- 2 เปรียบเทียบข้อมูลความจุสูงสุดของคอลัมน์แผ่นรูปพรุนกับสมการทั่วไป 90

ภาคผนวก ง

- 1 ความเข้มข้นของมวลสารในคอลัมน์ 93
- 2 การหา H.E.T.P. 93

ภาคผนวก จ

- 1 ความเข้มข้นของมวลสารในคอลัมน์สกัดของเหลว 99
- 2 ปรากฏการณ์การหดย้อนกลับภายในเครื่องสกัดของเหลว 99
- 3 การไหลแบบตรงกระบอกผสมคิวิวชัน 99
- 4 คอลัมน์สกัดของเหลว และค่าความเข้มข้นของสารเหลว 99
- 5 อธิบายสมดุลยัวมวลสาร สำหรับเฟส y ตอน $Z = 0$ 97
- 6 อธิบายสมดุลยัวมวลสาร สำหรับเฟส y ตอน $Z = 1$ 96

ภาคผนวก ฉ

- 1 คอลัมน์แบบสเปรย์ 108
- 2 ที่เก็บตัวอย่าง 108
- 3 เส้นอิควิวลิเบรียมสำหรับ I_2-H_2O - น้ำมันกัด 109
- 4 ผลการวิเคราะห์หา R_x ในสภาวะการทำงานต่าง ๆ 118

ภาพที่

หน้า

ภาคผนวก ฉ (ต่อ)

- 5 เปรียบเทียบระหว่างเส้นความเข้มข้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และเส้นที่ได้จากโมเดลทิวชัน สำหรับสภาวะการทำงาน $G_y = 22.5$ ลิตร/ชม., $G_x = 10$ ลิตร/ชม. 118



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์

A	แอมพลิจูดของพัลส์,
A_t	พื้นที่ตัดของคอลัมน์
a	เนื้อที่เปียกของแพคกิง
C_o	สัมประสิทธิ์ของออริฟิส (เท่ากับ ๐.๖)
C_i	ความเข้มข้นใน เฟส i
D_i	สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับใน เฟส i
d_T	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของคอลัมน์
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแพคกิง
$d_{v.s.}$	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของซอเดอร์
d_o	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของออริฟิส
d_r	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของดิสก์
d_s	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแทวนสเตเตอร์
d_h	เส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแผ่นรูพรุน
E_i	สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับใน เฟส i
F_i	ความเร็วเพอร์มิเชียล
f	ความถี่ของพัลส์
H	ความสูงของคอมพาร์ทเมนต์
G_i	อัตราการไหลของเฟส i
h	ความสูงของคอมพาร์ทเมนต์ในคอลัมน์แบบไรเดติงดิสก์
J_i	อัตราการไหลของมวลสาร : คือพื้นที่ตัด
$K_{oi} \cdot a$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (ในรูปของเฟส i)

L	ความยาวของคอลัมน์
ℓ	ระยะระหว่างแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม
m	อีคิววีลี เบรียมคอนสแตนต์ ($m^2 = 1/m$)
m_h	เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่เป็นรูในแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม
N	รอบค่อนาที
P_i, Pe_i	เบอร์เพเคลต ($= F_i L / D_i$)
R_i	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร $(\frac{K_{ox} \cdot a \cdot l}{v_x (1-\phi)}, \frac{K_{oy} \cdot a \cdot l}{v_y \phi}, R_y = R_x \frac{G_x}{G_y})$
S	เนื้อที่บนแหวนต่อปริมาตรของตัวแหวน
S	เปอร์เซ็นต์เนื้อที่ว่างบนแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม
U_i	ความเร็วซูเปอร์ฟิเชี่ยล
u_i	ความเร็วจริง
V_i	ความเร็วซูเปอร์ฟิเชี่ยล
V_0	ความเร็วแก๊สแรกเคอร์ริสติค
v_i	ความเร็วจริง
X, x	ความเข้มข้นของเฟสที่หนักกว่า
Y, y	ความเข้มข้นของเฟสที่เบากว่า
Z, z	ความยาวของคอลัมน์
ρ	ความหนาแน่น กรัม/ซม ³
ϵ	ส่วนของคอลัมน์ที่อยู่ระหว่างแพคกิง
γ, σ	แรงดึงอินเตอร์เฟเชี่ยล กรัม/วินาที ²
μ_j, η_j	ความหนืด กรัม/วินาที-ซม

๑๒๔

เปอร์เซ็นต์ของเฟสที่อยู่ในรูปหยด

vj

ความหนืดคีนอมาติก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (LIQUID-LIQUID EXTRACTION) เป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วยที่สำคัญอันหนึ่งในสาขาวิศวกรรมเคมี จะพบปฏิบัติการเฉพาะหน่วยแบบนี้บ่อยที่สุดในอุตสาหกรรมสามประเภทอันได้แก่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีคัล อุตสาหกรรมสกัดโลหะจากแร่ และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ นอกจากนี้ อาจจะมีการใช้การสกัดของเหลวในอุตสาหกรรมยาบ้าง ในอุตสาหกรรมเคมีบ้าง สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีคัลซึ่งประเทศไทยจะพัฒนาในอนาคต เทคโนโลยีที่ทั้งหมดคงจะประมูลมาจากต่างประเทศ ทนทางที่นักเทคโนโลยีไทยจะเข้าไปมีบทบาทออกแบระบบสกัดของเหลวคงมีน้อย และถึงแม้จะมีโอกาสคำนวณออกแบบ ยังคงขาดประสบการณ์อยู่ อย่างไรก็ตามวิศวกรไทยควรรู้วิธีการออกแบบ เครื่องที่เป็นองค์ประกอบของโรงงานเหล่านี้

สำหรับอุตสาหกรรมสกัดโลหะจากแร่ ซึ่งเป็นขั้นตอนภายหลังการทำให้แร่บริสุทธิ์ขั้นแรกโดยวิธีการของเหมืองแร่ หรือสำหรับอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ความหวังที่นักเทคโนโลยีไทยจะเข้ามามีบทบาทพัฒนาขึ้นด้วยตนเองยังมีมากอยู่ หากจะเจาะจงหัวข้อที่จะสามารถพัฒนาขึ้นในประเทศไทย อาจจะไปถึงกระบวนการสกัดทองแดง กระบวนการสกัดดีบุกโดยกรรมวิธีทางเคมี กระบวนการสกัดสารออร์แกนิคและสารยูเรเนียมซึ่งเป็นวัสดุนิวเคลียร์ทั้งคู่ สาเหตุที่คิดว่านักเทคโนโลยีไทยอาจจะมีโอกาสในการพัฒนากระบวนการสกัดสารเหล่านี้ในอนาคตได้ มีเหตุผลประการ กล่าวคือถึงแม้ว่าทราบกันดีว่าแร่ดังกล่าวมีอยู่ในประเทศไทย แต่ไม่มีข้อมูลอย่างแน่ชัดว่ามีเท่าไร มีมากหรือน้อยเพียงใด ฉะนั้นที่จะให้มีการลงทุนขนาดใหญ่จากต่างประเทศคงเป็นไปได้ไม่ได้ในขนาดนี้ จึงเป็นการเปิดโอกาสให้มีการวิจัยเรื่องกระบวนการผลิตธาตุเหล่านี้ตามหน่วยราชการต่าง ๆ ประการที่สองคือคนไทยคงจะไม่ชอบให้ชาวต่างประเทศมา มีบทบาทในการผลิตและค้าขายทรัพยากรที่มีราคาสูงมาก เช่น แร่ธาตุของไทยและโดยเฉพาะจำนวนพวกโลหะราคาสูง จึงกล่าวได้ว่าความพยายามที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมสกัดโลหะจากแร่เหล่านี้ในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะทำได้และมีความจำเป็นที่นักเทคโนโลยีไทยจะต้องสามารถทำได้ด้วยตนเอง

ปัจจุบันนี้มีหน่วยราชการหน่วยหนึ่งคือสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ซึ่งกำลังศึกษาวิจัยการสกัดสารออร์แกนิคและสาร

ยูเรเนียมจากแร่สองแหล่ง การศึกษาวิจัยดังกล่าวกระทำอยู่ในขั้นห้องปฏิบัติการขนาดปานกลาง (PILOT PLANT) ซึ่งตลอดเวลาดังแต่คิดตั้งห้องปฏิบัติการดังกล่าวข้าพเจ้าได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสกัดของ เหลลด้วยของ เหลล ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของกระบวนการสกัดสารอ-เรียมและยูเรเนียมจากแร่ธรรมชาติ เมื่อข้าพเจ้าได้รับทุนวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้าพเจ้าได้ตั้งวัตถุประสงค์ 4 ข้อด้วยกัน อันได้แก่ การศึกษาว่ากระบวนการสกัดของ เหลลใดจะเป็นประโยชน์แก่ประเทศไทย ข้อที่สองได้แก่การรวบรวมความรู้ด้านการสกัดของ เหลล เพื่อ เสนอวิธีการคำนวณและวิธีการออกแบบ เครื่องต่าง ๆ ที่จะ เป็นประโยชน์ ข้อที่สามคือค้นคว้าวิธีใหม่ในการกำหนดขนาดของ เครื่อง และข้อที่สี่คือคิดตั้ง เครื่องสกัดของ เหลลจำนวน 1 ชุด ในภาควิชาวิศวกรรม เคมี เพื่อประโยชน์ของนิสิต แต่ทั้งนี้แนวทางที่ได้ยึดปฏิบัติคือการศึกษาวิจัยที่มุ่งตอบสนองการออกแบบ เครื่องสกัดของ เหลลในโครงการของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งได้แก่การออกแบบ เครื่องขนาดปานกลางสำหรับห้องปฏิบัติการที่สำนักงานนั้น และค้นคว้าวิธีคำนวณขนาด เครื่องใหญ่หากจะมีการสร้างโรงงานสกัดอ-เรียมและยูเรเนียมที่ใหญ่ในอนาคต ดังนั้นรายงานฉบับนี้ได้พยายามตอบสนองวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ แต่ได้เน้นแนวปฏิบัติแนวทางหนึ่งซึ่งมุ่งตอบปัญหาบางประการ ทั้งนี้และทั้งนั้นข้าพเจ้าได้ทำการค้นคว้าดังกล่าวโดยเน้นการวิจัยเพื่อได้ซึ่งความรู้ใหม่ บางทีเนื้อหาที่เสนอไว้ค่อนข้างแคบในสาระ บางทีเนื้อหากว้างมาก ทั้งนี้เพราะข้าพเจ้ามุ่งตอบสนองวัตถุประสงค์ที่กว้าง บางทีเนื้อหาแคบมาก ทั้งนี้เช่นเดียวกัน เพราะมุ่งตอบสนองวัตถุประสงค์ที่แคบ อันที่จริงแล้วสาเหตุที่ข้าพเจ้าตั้งประเด็นศึกษาที่กว้างบ้างแคบบ้าง เพราะต้องการวิจัย เพื่อได้มาซึ่งความรู้ที่จะช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจเทคโนโลยีของกระบวนการสกัดของ เหลลด้วยของ เหลลได้ดียิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำรวจกระบวนการสกัดของ เหวลด้วยของ เหวลที่น่าสนใจ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ากระบวนการสกัดของ เหวลด้วยของ เหวลใช้กันมากในอุตสาหกรรมสามประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีคัล อุตสาหกรรมสกัดโลหะจากแร่ธรรมชาติ และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ในอุตสาหกรรมอื่น การใช้กระบวนการดังกล่าวมีอยู่บ้างแต่อาจจะไม่มาก เท่าอุตสาหกรรมสามประเภทที่ได้กล่าวถึง

นักวิจัยทั่วโลกสนใจกระบวนการสกัดของ เหวลมาก งานวิจัยด้านนี้มีมาก แต่กระบวนการหลายอันที่กล่าวถึงยังไม่ได้ใช้ขึ้นอุตสาหกรรม ภายหลังวิกฤตการณ์น้ำมันมีความสนใจมากยิ่งขึ้นที่จะพยายามใช้กระบวนการคิสติ เลชั่นน้อยลง เพราะ เปลืองพลังงานมาก จึงมีการคิดที่จะใช้ เครื่องสกัดของ เหวลมาแยกสารแทน เพราะ เหตุว่าการสกัดของ เหวลด้วยของ เหวลอาศัยคุณสมบัติทางเคมี ไม่ต้องใช้พลังงาน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือการผลิตกรดอะซิติกบริสุทธิ์ ซึ่งดั้งเดิมอาศัยกระบวนการคิสติ เลชั่น บัดนี้มีความคิดใหม่ที่จะใช้กระบวนการสกัดของ เหวลสกัดกรดอะซิติกให้เข้ามาอยู่ในสารอินทรีย์ เหวล เสร็จแล้วจึงใช้กระบวนการคิสติ-เลชั่น ทั้งนี้การประหยัดพลังงานจะเกิดขึ้นในขั้นคิสติ เลชั่น

ข้าพเจ้าได้ทำการสำรวจ เอกสาร เพื่อตรวจสอบคว้ามี่กระบวนการสกัดของ เหวลประเภทใดบ้างในโลก บ่อยครั้งจะพบว่าบทความทางวิชาการที่พิมพ์ เผยแพร่มีก็จะอ้างถึงงานวิจัย บางทีเกิดความไม่แน่ใจว่ากระบวนการที่อ้างถึงใช้กันอยู่เชิงพาณิชย์หรือ เปล่า บางครั้งมีความรู้สึกว่่าสำหรับกระบวนการที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมทางบริษัทผู้ใช้กระบวนการดังกล่าวไม่ตีพิมพ์ผลงาน อย่างไรก็ตามข้าพเจ้าได้พยายามสำรวจการใช้กระบวนการสกัดของ เหวลด้วยของ เหวลแบบกว้าง ๆ โดยอาศัยหนังสือและวารสารต่าง ๆ เพื่อมองเห็นภาพกว้าง

ต่อไปนี้จะขอลำดับกระบวนการที่วารสารต่าง ๆ ได้เคยอ้างถึงในตารางดังต่อไปนี้ในช่องที่เขียนไว้ว่า CONTINUOUS PHASE ตามไปด้วย SOLUTE และ DISPERSED PHASE หมายถึงสาร เหวลหลัก ตามไปด้วยสารละลายที่ต้องการสกัด และสาร เหวลตัวที่สองที่อยู่ในรูปหยด อนึ่งกระบวนการสกัดของ เหวลด้วยของ เหวลมุ่งจะถ่ายเทสารละลาย

จากสาร เหลวที่หนึ่งไปยังสาร เหลวที่สอง

กระบวนการที่กล่าวถึงนี้เป็นกระบวนการทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่ในประเทศตะวันตก บางกระบวนการที่ได้กล่าวถึง เป็นกระบวนการขั้นทดลองในห้องปฏิบัติการ เท่านั้น อีกหลาย กระบวนการไม่ได้นำมาลง เพราะสารละลายที่อ้างถึงอยู่ในรายชื่อแล้ว เพียงแค่ว่าสาร เหลว ตัวใดตัวหนึ่งไม่ เหมือนกันและคงจะมีกระบวนการอีกหลายกระบวนการที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรม แต่ไม่ได้บันทึกลงในรายงานนี้ เนื่องจากไม่พบ เอกสารที่อ้างถึง

ในการพิจารณาความ เหมาะสมในการใช้ระบบสกัดของ เหลว ควรคำนึงถึงปัจจัย หลายประการ แนวหนึ่งที่สามารถนำมาพิจารณาความ เหมาะสมในการใช้ระบบสกัดของ เหลว คือสำรวจทรัพยากรของประเทศชาติ และงานพัฒนาทางอุตสาหกรรมที่อาจจะใช้กระบวนการ ดังกล่าว จึงได้นำทรัพยากรบางอันที่ประเทศไทยมีและสนใจที่จะพัฒนา มา เป็นหลักในการ พิจารณาความ เหมาะสมของระบบสกัดของ เหลวในการ เข้ามามีส่วน เกี่ยวข้องในทางที่จะนำ ประโยชน์มาสู่ประเทศชาติ ต่อไปนี้จะขอ เสนอกระบวนการที่น่าสนใจบางกระบวนการสำหรับ ประเทศไทย ตามที่ได้สามารถติดตาม

1. กระบวนการสกัดสารยูเรเนียมและสารธอ เรียมในประเทศไทย

จากการพูดคุยกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับ โครงการสกัดสารยูเรเนียมและสารธอ เรียมที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน สามารถสรุปได้ว่าประเทศไทยมีแหล่ง แร่ยูเรเนียมและแหล่งแร่ธอ เรียมภายในประเทศโดยไม่ต้องส่งเสีย ปัญหาที่มีอยู่ว่ายังไม่ทราบ อย่างแน่ชัดว่าปริมาณแร่ดังกล่าวมีมาก เพียงใด และหากจะตั้งโรงงานสกัด ควรตั้งโรงงาน ขนาดใด สำหรับแหล่งแร่ที่กำลังพูดถึงนี้มีอยู่สองแหล่งที่น่าสนใจคือ แหล่งแร่ยูเรเนียมกับ ธอ เรียม เรียกว่า MONAZITE ในภาคใต้ของประเทศไทยซึ่งมี ThO_2 อยู่ราว 20% และ U_3O_8 ระหว่าง 0.24 ถึง 0.79% อีกแหล่งหนึ่งคืออำเภอกูเวียง จังหวัดขอนแก่นมีเปอร์ เซนต์ยูเรเนียม 0.24%

กระบวนการในการสกัดสารทั้งสองจากแร่บริสุทธิ์เม็ดยาวพอสมควร ในช่วงหนึ่ง ในกระบวนการดังกล่าวต้องอาศัยระบบการสกัดของ เหลว ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายเทมวลสารที่ เป็นเกลือของสารยูเรเนียม เข้ามายู่ในสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยน้ำมันกัดผสมด้วย TBP (TRIBUTYL PHOSPHATE) ทั้งนี้การใช้ระบบการสกัดของ เหลวก็เพื่อแยกเกลือของสาร

ยูเรเนียม (หรือธอเรียม) จากสารเจือปนอื่น ๆ จุดดังกล่าวนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการทั้งหมดและอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่รับผิดชอบงานประเภทนี้ นิยมใช้เครื่องสกัดของเหลวแบบท่อ จึงมีความสำคัญที่จะต้องรู้จักออกแบบสร้างเครื่องสกัดดังกล่าว อนึ่ง การเลือกสกัดสารตัวใดกระทำได้โดยเปลี่ยนสภาพต่าง ๆ ของสารเหลว ดังเช่น ปริมาณ TBP ในสารอินทรีย์หรือ เปลี่ยนปริมาณน้ำกรดในน้ำ

ประเด็นสำคัญคือความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องสกัดของเหลวแบบท่อในการสกัดสารทั้งสองแบบไม่ว่าจะเป็นโรงงานสกัดแบบเล็กหรือโรงงานสกัดขนาดใหญ่ ในบางประเทศ เช่น ประเทศออสเตรเลีย นิยมใช้เครื่อง MIXER - SETTLER มากกว่าเครื่องสกัดแบบท่อจะเป็นเพราะเหตุใดไม่ทราบ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าเกือบทุกประเทศที่มีอุตสาหกรรมประเภทนี้ นิยมใช้เครื่องสกัดแบบท่อล้วน ๆ ซึ่งข้าพเจ้าได้เคยไปเห็นมาที่ประเทศอินเดีย

2. กระบวนการสกัดทองแดงในประเทศไทย

เป็นที่ทราบกันว่าในประเทศไทยมีแร่ทองแดงในปริมาณที่ไม่ต่ำกว่า 10 ล้านตัน มีทองแดงอยู่ 2% มีนิเคิลและปลาตินัมเจือปนอยู่ในแร่ด้วย สำหรับปลาตินัมทราบว่ามีประมาณ 0.05% ปริมาณทองแดง 2% ซึ่งน้อยเกินไปที่จะใช้กระบวนการสกัดที่ใช้กันอยู่ตามปรกติ แต่การใช้การย่อยแร่ด้วยกรดและการสกัดทองแดงด้วยกระบวนการสกัดของเหลวโดยใช้สาร EXTRACTANT จำพวก LIX ของบริษัท GENERAL MILLS อาจจะน่าสนใจมากและเป็นแนวทางที่คณะวิจัยของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรมกำลังดำเนินการวิจัยอยู่

3. กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวอื่นที่เหมาะสมแก่ประเทศไทย

คณะวิจัยบางคณะได้แสดงความสนใจที่จะวิจัยการสกัด TiO_2 จาก ILMENITE และ BA จาก BARITE ซึ่งในขบวนการเหล่านี้มีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการสกัดของเหลว แต่โครงการวิจัยเหล่านี้ยังคงอยู่ในขั้นแผนวิจัยเท่านั้นเอง กระบวนการที่อาจจะน่าสนใจศึกษาสำหรับอนาคตคือการผลิต GLACIAL ACETIC ACID โดยใช้การสกัดของเหลวเพื่อลดพลังงานที่ต้องใช้ในการกลั่นน้ำออก ปัจจุบันนี้การผลิตแอลกอฮอล์เป็นหัวข้อที่มีผู้สนใจจำนวนมาก มีหลายอันหนึ่งของการผลิตแอลกอฮอล์คือพลังงานที่ต้องใช้เพื่อกลั่นแอลกอฮอล์ให้ได้ความบริสุทธิ์ที่ต้องการ คงจะเป็นประโยชน์มากหากนักวิจัยผู้ใดสามารถค้นพบสารอินทรีย์ที่สามารถแยกแอลกอฮอล์จาก



น้ำในปริมาณที่เหมาะสม งานวิจัยในทิศทางนี้อาจจะสามารถทำให้เกิดการผลิตแอลกอฮอล์ในราคาที่ถูกลงได้ อีกกระบวนการที่น่าสนใจ คือการสกัดสาร BROMINE จากนาเกลือในประเทศไทย โดยอาศัย BROMINATED HYDROCARBON ได้เคยพบงานวิจัยด้านการสกัดดีบุกโดยใช้ระบบสกัดของเหลวแต่เป็นเพียงงานวิจัยเท่านั้น ไม่ปรากฏว่าประเทศไทยได้นำระบบสกัดของเหลวเอาไปใช้เป็นอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตดีบุกรายสำคัญของโลก ระบบเหล่านี้น่าจะได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยภายในประเทศ

มีขบวนการหนึ่งซึ่งกำลังได้รับความนิยม และน่าสนใจมากสำหรับประเทศไทยคือการสกัดสารมีค่าจากวัสดุที่มาจากสัตว์หรือพืช กล่าวคือขบวนการที่ใช้ CO_2 เหลว (หรือ SUPERCRITICAL) เป็นสารเหลวเป็นหยด และน้ำเป็นสารเหลวหลักสามารถแยกสารมีค่า เช่น สารที่ทำให้เกิดรสชาติจากผลไม้ เช่น ส้ม หรือแอปเปิล หรือจากเมล็ดกาแฟหรือสมุนไพร ซึ่ง CO_2 ดังกล่าวนี้อาจมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสกัดสารมีค่าเหล่านี้ ปัญหาที่มีอยู่ในขบวนการเหล่านี้ต้องให้ความดันตั้งแต่ 5 บรรยากาศ จนถึง 73 บรรยากาศ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สูง อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้กำลังได้รับความนิยมทั่วโลก (21, 22)

พื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าและแสวงหาระบบการสกัดของเหลวที่จะเป็นประโยชน์แก่ประเทศไทยต้องพยายามมองดูปัญหาที่มีอยู่ในประเทศ เสร็จแล้วทำการทดลองเพิ่มเติมในห้องปฏิบัติการ เคมี เพื่อตรวจสอบสมมุติฐาน จึงจะสร้างและทดลองเครื่องสกัดของเหลวแบบจำลองขึ้นมา วัตถุประสงค์ของบทนี้มีไว้ที่จะหากระบวนการในการสกัดของเหลวที่เหมาะสมเพียงแต่สำรวจดูว่าในประเทศอื่นทำอะไรกันบ้าง และสำหรับประเทศไทยแนวโน้มน่าจะเป็นอย่างไรบ้าง

ในตารางที่หนึ่งได้เสนอผลการสำรวจ กระบวนการสกัดของเหลวที่น่าสนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ผลการสำรวจกระบวนการสกัดของเหลวที่น่าสนใจ

CONTINUOUS PHASE (สารเหลวหลัก)	SOLUTE (ตัวถูกละลาย)	DISPERSED PHASE (สารเหลวเป็นหยด)	REFERENCE (เอกสารอ้างอิง)
H ₂ O	PHENOL	ISOPROPYL ETHER	1, 2
	PHENOL	BENZENE	1, 3
	BENZOIC ACID	TOLUENE	3
	BENZOIC ACID	BENZENE	
	ACETIC ACID	BENZENE	3
	ACETIC ACID	CHLOROBENZENE	
	ACETIC ACID	MIK	4, 6
	ACETIC ACID	CCL ₄	7, 8
	ACETIC ACID	ETHYL ACETATE	3
	PHENOL	DI-ISOPROPYL ETHER	
	1,1,2 TRICHLOROETHANE	ACETONE	4
	BORIC ACID	ISOAMYL ALCOHOL	
	ACETIC ACID	ISOPROPYL ETHER	3
	ACETONE	TOLUENE	5
	MIK	TOLUENE	5
	O-NITROPHENAL	CCL ₄	9, 10
CHLORIDE SOLUTIONS	COPPER(II), IRON(III)	LIX 64N, KEROSENE (CHRISTIE P.G., ET AL.)	11, SEVERAL PAPERS IN 12, 13
NICKEL AND COBALT SULFATE SOLN.	NICKEL(II), COBALT(II)	LIX REAGENTS + ATERTIARY CARBOXYLIC ACID + ASULPHONIC ACID (NYMAN BB. AND HUMMELSTEDT L.)	11, SEVERAL PAPERS IN 12, 13
CHLORIDE SOLN.	COPPER(II), IRON(III)	KELEX 100(ASHLAND CHEM. CO.) (LAKSHMANAN V.I. ET AL)	11

SEA WATER CONCENTRATE	MAGNESIUM CHLORIDE	ALIQAT-336+ACID-810 (HANSON C. AND MURTHY S.L.N.)	11
SULPHATE AND CHLORIDE SOLNS.	CADMIUM(II), ZINC(II)	KELEX 100(LUSKSHMANAN V.I., LOWSON G.J.)	11
METALLURGICAL WASTES	NICKEL, COBALT	AMINES EXTRACTANTS (AD 381, ASHLAND CHEM.CO.) (BOZEC C. ET AL (11), BOUBOULIS C.J. (12)	
CHLORIDE AND PERCHLORIDE SOLNS.	SILVER(I), MERCURY(II)	MACROCYCLIC LIGANDS (SERDIC' D.)	11
	PLATINUM AND PLATINUM GROUP METALS	PROCESS SHOULD BE STUDIED FROM THE ORIGINAL REFERENCE (EDWARDS R.I.)	12
AQUEOUS SILVER SOLNS	SILVER(I)	TRILAURYLAMINE, O-XYLENE (DJIET HAY LIEM, MENDEL ZANGEN)	12
HCL SOLUTIONS	IRON(III), GOLD(III)	ISOPROPYL ETHER, BENZENE (MALKOVIC D, BRANICA M.,)	12
AQUEOUS SOLUTIONS	MgCl ₂ , MgBr ₂	BUTANOL(J.E.GOI)	12
LEACH SOLUTIONS	VANADIUM(IV)	PHOSPHORIC ACID, TBP (OTTERTUN H., STRANDELL E.)	12
LEACH SOLUTIONS	URANIUM, THORIUM PLUTONIUM	VARIOUS SYSTEMS AVAILABLE	REFERENCES IN 11, 12, 13
BTX	PETROCHEMICAL AROMATIC	TETRAETHYLENE GLYCOL (SOMEKH G. S. 13)	
C ₄ HYDROCARBONS	BUTADIENE	METHOXYPROPRIONITRILE	14
STRAIGHT RUN DISTILLATES	BURNING KEROSENES	SO ₂	15

NAPHTHAS	C ₅ -C ₈ AROMATICS	SULFOLANE	16, 17, 18
PETROLEUM TARS	NAPHTHALENE	HF	19
HYDROCHLORIC ACID SOLN	TIN, INDIUM	TBP	(GOLINSKI M. 13)
HCL SOLUTIONS	GALLIUM, ZINC	AMINOPHOSPHORIC ACID	(HERAK M. J., JAGODIC V. 13)
WATER	AMMONIA	BUTYLENE	3
SALT SOLUTIONS	RARE EARTH METALS	VARIOUS SOLVENTS	20
LEACH SOLUTIONS	HYDROCHLORIC ACID	C ₄ , C ₅ ALCOHOLS	20
SEA WATER	WATER (DESALINATION)	AMINES	20
OIL	SULPHOLANE	VARIOUS SYSTEMS	20
		AVAILABLE	
PETROLEUM FRACTIONS	MERCAPTANS	CAUSTIC SODA	20
SULPHIC ACID	ALKALOIDS	ALKALOIDS IN SOLVENT	20
SOLUTION			
WATER	ANIMAL AND/OR	CO ₂ LIQUID	
	VEGETABLE MATERIAL	(OR SUPERCRITICAL)	21, 22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การศึกษาอิทธิพลของการ เบียดตัวภายในคอลัมน์สีกัดของ เหลว

ในการออกแบบสร้างคอลัมน์สีกัดของ เหลว ให้สำนักงานพลังงานปรมาณู เพื่อสันติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ได้ทำการออกแบบคอลัมน์สีกัดของ เหลว
แบบแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม ใช้ระบบพัลส์เพื่อให้เกิดการเขย่าภายในคอลัมน์ การตัดสินใจออกแบบสร้าง
คอลัมน์แบบนี้ เพราะเหตุว่าประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบนี้ถือว่าสูงมาก สามารถหาคอลัมน์ที่มีประสิทธิ-
ภาพในการสีกัดของ เหลวที่สูงกว่านี้ได้ยาก เป็นสาเหตุให้โครงการนิวเคลียร์ของประเทศต่างๆ
ที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เยอรมัน อินเดีย สหภาพโซเวียต และประเทศ
อื่นๆ บางประเทศ ใช้เครื่องสีกัดของ เหลวแบบนี้ทั้งนั้น

ในระหว่างการออกแบบสร้างคอลัมน์แบบแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยมใช้ระบบพัลส์ดังกล่าว มีข้อสงสัย
ในการออกแบบข้อหนึ่ง คือ ในการสร้างแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยมสำหรับคอลัมน์ขนาด 5 ซม. มีรูปทรงแปดเหลี่ยม
ขนาด 2 ซม. จำนวนกว่า 100 รู จะใช้วัสดุอะไรในการสร้าง ผลที่สุดได้ตัดสินใจเลือกใช้สารพลาสติก
เทฟลอนแทนที่จะใช้เหล็กไร้สนิม การตัดสินใจเช่นนั้นมิได้มีเหตุผลอยู่สองประการคือ ได้สันนิษฐาน
คุณสมบัติการ เบียดตัวของแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยมมีอิทธิพลต่อขนาดของหยดที่ไหลผ่านและคาดว่า เนื่องด้วยสารที่เป็น
หยดในคอลัมน์ดังกล่าว เป็นสารอินทรีย์ การใช้แผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยมจะเป็นสารเทฟลอนจะทำให้ขนาดของหยดเล็ก
ลง ทำให้เนื้อที่ถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น อันนี้เป็นเพียง
การคาดหมายเท่านั้นเอง และไม่ทราบว่า จะถูกต้องหรือเปล่า ประการที่สอง การตัดสินใจเลือก
สาร เทฟลอนทำแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยมมีสาเหตุที่ว่า เทฟลอน เป็นวัสดุอ่อน ง่ายต่อการตัด การกลึง การเจาะ
ดังนั้นจึงได้คิดว่าการศึกษาอิทธิพลของการ เบียดตัวภายในคอลัมน์ เป็น เรื่องที่สำคัญ เรื่องหนึ่ง

ต่อไปนี้จะได้เสนอผลการทดลองในประเด็นที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยจำกัดงานวิจัย
ที่อิทธิพลของการ เบียดตัวของวัสดุภายในคอลัมน์แบบพัลส์สีกัด เนื่องจากอิทธิพลของการ เบียดตัวจะ
เห็นได้ชัดกว่าในคอลัมน์แบบนี้

3.1 คำนำ

การสับผสมระหว่างสาร เหลวที่เป็นหยดกับผิววัสดุแข็งต่างๆ ชนิด มีลักษณะแตกต่างกัน
มาก สุดแล้วแต่สาร เหลวจะเป็นสารอินทรีย์หรือน้ำ และสุดแล้วแต่ว่าวัสดุจะเป็นแก้วหรือพลาสติก

ดังนั้น เนื้อวัสดุภายในคอลัมน์สกัดของ เหลวอาจจะมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะของกลุ่มหยดภายในคอลัมน์ หากเป็นเช่นนั้นจริง การกำหนดเนื้อวัสดุภายในคอลัมน์สามารถกำหนดขนาดของหยดได้ ในเมื่อขนาดของหยดย่อมกำหนดเนื้อที่บนผิวหยดซึ่งใช้ถ่ายเทมวลสาร อาจจะสามารถสรุปได้ว่าการเลือกเนื้อวัสดุภายในคอลัมน์ สามารถเปลี่ยนประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารได้

อิทธิพลของคุณสมบัติการ เบียดตัวของวัสดุภายในคอลัมน์ มีคนอื่นศึกษามาแล้วในคอลัมน์แบบพัลส์แพ็ค (25) การทดลองดังกล่าว เป็นการถ่าย เทกรด เบนโซอิกจากน้ำไปยังธออลิวินที่อยู่ในรูปหยด มีการใช้เร ชิงริงขนาดต่างๆ และวัสดุสองชนิดคือ หนึ่ง เซรามิก และ สอง พอลิเอธิลีน ทำให้คิดว่าในกรณีที่สารอินทรีย์อยู่ในรูปหยดและมีการถ่าย เทมวลสารจากน้ำไปยังสารอินทรีย์ โดยที่วัสดุภายในคอลัมน์ประกอบด้วยวัสดุประเภทไฮโดรโฟบิก ในกรณีนั้นอาจจะสมมติได้ว่าประสิทธิภาพในการสกัดของคอลัมน์คงจะน้อยกว่ากรณีที่ใช้วัสดุที่มีลักษณะไฮโดรโฟบิกน้อยกว่า ดังนั้น อันนี้ เป็นข้อสมมติฐานหลักที่งานวิจัยในส่วนนี้ของ โครงการวิจัยใหญ่ต้องการพิสูจน์

ในการพิสูจน์ข้อดังกล่าว สามารถเลือกใช้แนวต่างๆ กันได้ สำหรับแนวที่หนึ่งคือ เปลี่ยนระบบ เช่น จากระบบน้ำ-กรด เบนโซอิก-ธออลิวิน (25) เป็นสารเคมีตัวอื่น ซึ่งในการเลือกแนวที่หนึ่งดังกล่าวผลที่จะได้ เป็นลักษณะ QUALITATIVE ถ้าหากผลออกมาไม่เหมือนข้อสมมติฐาน เดิมแสดงว่าข้อสมมติฐานไม่ถูกต้อง ถ้าหากผลออกมาเหมือนข้อสมมติฐาน เดิมแสดงว่าข้อสมมติฐานอาจจะถูก แต่การทดลอง เพียงสองระบบยังไม่อาจจะยืนยันได้อย่างแน่นอน เห็นแต่อาจจะสร้างความมั่นใจแก่ผู้ออกแบบคอลัมน์ที่ต้องการผลการค้นคว้า เข้าไปใช้เลย แต่ในงานวิจัยเรื่องปฏิบัติการ เฉพาะหน่วยใน เชิงพื้นฐาน การพิสูจน์ข้อสมมติฐานดังกล่าวโดยวิธี เปรียบ เทียบสองระบบดังกล่าวยังไม่เพียงพอ สำหรับแนวที่สอง การพิสูจน์สมมติฐานที่ได้เอ่ยถึงคือการที่จะค้นหาพื้นที่การถ่าย เทมวลสารในคอลัมน์ที่สร้างด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติการ เบียดตัวต่างกัน และในเวลาเดียวกันอาจจะค้นคว้าถึงอิทธิพลของทิศทางการถ่าย เทมวลสารด้วย แต่สำหรับแนวที่สองนี้ วิธีการคำนวณพื้นที่ถ่าย เทมวลสารมีอยู่สองวิธีหลัก คือ หนึ่งวิธีการถ่ายภาพหยดซึ่งในบางกรณีถ่ายภาพไม่ได้ (เช่น ในกรณีของคอลัมน์แบบแพค) และในกรณีที่ถ่ายภาพได้ (เช่น ในกรณีของคอลัมน์ที่โปร่ง) การถ่ายและนับขนาดของหยดรวมทั้งหาปริมาณของสาร เหลวทั้งหมดในคอลัมน์เป็นงานที่เสียเวลามาก วิธีที่สองคือวิธีที่อาศัยการถ่าย เทมวลสารแบบ เกิดปฏิกิริยาเคมีใน เฟสใด เฟสหนึ่ง เพื่อมิให้มีการต่อต้านการถ่าย เทมวลสารใน เฟสนั้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากในระหว่างกลุ่มที่วิจัย เรื่องการสกัดของเหลว สรุปว่าแนวการค้นคว้าที่สองเป็นแนววิจัยที่ช้าและยาก เกินไปสำหรับคำตอบที่ต้องการทราบ นอกเหนือจากสองแนวที่ได้กล่าวมานี้ อาจจะมีแนวอื่นที่เป็นลักษณะการ SIMULATE อิทธิพลของวัสดุ

ชนิดต่างๆ ในสถานะที่ไม่ใช่คอสมัน เช่น อาจจะเป็นถึงกวน เป็นต้น แต่สำหรับแนวประเภทที่สาม ผู้วิจัยไม่ได้พิจารณาทำ แต่เห็นว่าเป็นหัวข้อวิจัยพื้นฐานสำหรับ เรื่องปฏิบัติการ เฉพาะหน่วยที่น่าสนใจ เพื่อประโยชน์ในการได้ความรู้ความ เข้าใจใน เรื่องไฮโดรโคนามิกส์มากกว่า

เมื่อได้ทำการพิสูจน์ข้อสมมติฐานที่กล่าวมาแล้ว ประโยชน์ที่มีแบ่งได้สองอย่าง คือ หนึ่ง ผู้ที่สนใจงานวิจัยพื้นฐานจะต้องอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ดังกล่าวในลักษณะไมโคร เพื่อประโยชน์ในการนำความรู้ที่ได้ไปใช้กับปฏิบัติการ เฉพาะหน่วยอื่นๆ ประโยชน์อย่างที่สองคือสำหรับวิศวกรผู้สร้างคอสมันส์กักของเหลวจะได้มีความมั่นใจ เช่นว่าแกนที่จะใช้เหล็ก ไร์ สนิมในส่วนต่างๆ ของคอสมันส์จะสามารถใช้วัสดุที่มีแฟคเตอร์การ เบียดตัวที่สูงกว่าเช่น แก้วมีแฟคเตอร์ -1.66 หากใช้ระบบที่มีสารอินทรีย์ เป็นหยดและทิศทางการถ่าย เทมวลสารไปยังสารอินทรีย์สามารถบอกได้ว่าหากเลือกใช้พอลิ เอธิลีนซึ่งมีแฟคเตอร์การ เบียดตัว $+1.65$ พื้นที่การถ่าย เทมวลสารในคอสมันส์จะไม่ค่อยลง และมีแนวโน้มจะสูงขึ้น ดังนั้นวิศวกรจะพอทราบอิทธิพลของวัสดุต่างๆ ต่อประสิทธิภาพรวมของคอสมันส์ ในลักษณะ QUALITATIVE ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบมาก

3.2 การทดลองเรื่องอิทธิพลของการ เบียดตัวของวัสดุภายในคอสมันส์แบบพัลส์แฟค

วัตถุประสงค์เดิมของผู้วิจัยในการศึกษาอิทธิพลของการ เบียดตัวของวัสดุภายในคอสมันส์กักของเหลว เกิดจากความจำเป็นที่ต้องออกแบบ เครื่องสกักของเหลวแบบพัลส์ เบอร์เฟอร์ เคค-เพลท (หรือพัลส์แผ่นรูพรุน) ในการสร้างแผ่นรูพรุน เพื่อบรรจุในท่อ เหล็ก ไร์ สนิมแบบมีตะเข็บ (เนื่องด้วยกรรมวิธีในการผลิตท่อบังคับให้มีตะเข็บ) การทำแผ่นรูพรุน เป็นเหล็ก ไร์ สนิมที่พอดีกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อทำได้ยาก เพราะต้องเผื่อตะเข็บ จึงได้ตัดสินใจใช้แผ่นรูพรุนแบบเพฟลอน เพราะ เป็นวัสดุที่มีความอ่อนพอที่จะเข้าไปในท่อแบบมีตะเข็บได้ การเลือกวัสดุพลาสติกมี เหตุผลอยู่สองประการ คือ หนึ่งแผ่นรูพรุนแบบพลาสติกจัดทำได้ง่ายกว่าและการบรรจุในท่อยาวสะดวกกว่า และประการที่สอง ผู้วิจัยคาดว่าสำหรับกรณีการสกักสารเหลวแบบที่ต้องการ (คือการถ่ายเท URANYL NITRATE และ THORIUM NITRATE จากกรดไนตริกไปยังสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปหยด) การใช้แผ่นรูพรุนพลาสติกยังจะเป็นคุณสมบัติที่ประสิทธิภาพการถ่าย เทมวลสาร ซึ่งข้อสมมติสุดท้ายนี้ เป็นข้อสมมติที่คิดขึ้นมาเองจากการอ่านผลงานของนักวิจัยผู้อื่น ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักในการทำการทดลองในครั้งนี้ คือต้องการพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าวที่ได้คิดไว้

ถึงแม้ว่า เครื่องสกักของเหลวแบบพัลส์แผ่นรูพรุนหรือแบบโร เคดิงดิสก์คอนแทกเตอร์ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาอิทธิพลการ เบียดตัวของวัสดุภายในคอสมันส์โดย

ใช้เครื่องสกัดของเหลวแบบพัลส์แพค โดยมีเหตุผลดังนี้คือ เนื่องด้วยเนื้อที่สัมผัสระหว่างวัสดุกับสารเหลวสูงมากในคอลัมน์ประเภทนี้ สามารถมองเห็นอิทธิพลของตัววัสดุได้ง่ายกว่าและน่าที่จะสามารถนำผลการเปรียบเทียบดังกล่าวไปขยายคือคอลัมน์แบบอื่นได้ในลักษณะ QUALITATIVE อันเป็นผลที่ต้องการในการทดลองเรื่องนี้

3.2.1 คอลัมน์แบบพัลส์แพคและระบบที่ใช้พร้อมทั้งสภาวะการทำงาน

คอลัมน์สกัดของเหลวที่เลือกใช้ในการทดลองในคราวนี้มีแสดงไว้ในรูปที่ 1 (ภาคผนวก ก) และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ยาว	4 ฟุต
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	2 นิ้ว
วัสดุที่เป็นตัวคอลัมน์	แก้ว
แพกกิง	แหวนแรชิก (RASCHIG RING)
วัสดุที่ใช้ทำแพกกิง	พลาสติกและเหล็ก ไร้สนิม (อย่างละ 630 ชิ้น)
ขนาดของแพกกิง	$\frac{1}{2}$ นิ้ว (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในวัดได้ $\frac{31}{127}$ นิ้ว)
ระบบพัลส์	ใช้ระบบพัลส์แบบลม เข้าออก (PNEUMATIC PULSES)
ความถี่ของพัลส์ (FREQUENCY)	$f = 15-85.7$ พัลส์ต่อนาที
แอมพลิจูดของพัลส์ (AMPLITUDE)	$A = 1.0-4.0$ ซ.ม.
อัตราการเขย่า ($f \times A$)	$A \times f = 0.3-6.0$ ซ.ม./วินาที
ระบบที่ใช้	การสกัดไอโอดีนจากน้ำไปยังคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (ซึ่งอยู่ในรูปหยด)
อัตราการไหลของน้ำไอโอดีน	12.6 ลิตร/ซ.ม.
อัตราการไหลของคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (สารอินทรีย์)	0.5, 1.0, 2.0 ลิตร/ซ.ม.
ความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำ	ประมาณ 270 mg/l (เติม KI ด้วย)

ในส่วนหนึ่งของโครงการทดลองที่ทำได้หาประสิทธิภาพในการถ่ายเทไอโอดีนจากน้ำไปยังสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปหยด โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารอินทรีย์และเปลี่ยนอัตราการเขย่าสารเหลวในคอลัมน์ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแพคกิงสองชนิด คือชนิดพลาสติกและชนิดเหล็กไร้สนิม ในอันดับรองลงมาได้ทำการหาความจุสูงสุดของคอลัมน์ โดยเปลี่ยนแพคกิง เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุที่ใช้ เป็นแพคกิงคือไฮโดรโคណามิกส์ของคอลัมน์

วิธีการดำเนินการงานทดลองเพื่อหาความจุสูงสุดของคอลัมน์ (FLOODING LIMIT)

สรุปได้ดังนี้

(1) เติมน้ำเต็มคอลัมน์ เสร็จแล้วเปิดท่อสารอินทรีย์ให้ไหลเบาๆ ลงคอลัมน์ เป็นหยด (คาร์บอนเตตราคลอไรด์มีความหนาแน่น 1.59 กรัม/ซม^3) โดยในการหาความจุสูงสุดของคอลัมน์ไม่จำเป็นต้องมีการถ่ายเทมวลสาร เพราะคาดกันว่าอิทธิพลการถ่ายเทมวลสารคมีน้อยต่อความจุสูงสุด

(2) เปิดเครื่องเขย่า (เครื่องพัลส์) โดยความถี่และความดันลมให้ในจุดที่ต้องการ (แอมพลิจูดขึ้นอยู่กับความดันลม)

(3) ตั้งอัตราการไหลของน้ำให้เท่ากับ 12.6 ลิตร/ชม. และค่อย ๆ เพิ่มอัตราการไหลของสารอินทรีย์ จนกระทั่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าว่าสารอินทรีย์ไม่สามารถไหลผ่านเครื่องได้ จุดนี้เรียกว่าจุดความจุสูงสุดของคอลัมน์ (COLUMN FLOODING)

วิธีการดำเนินการงานทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของคอลัมน์ สรุปได้ดังนี้

(1) เติมน้ำผสมไอโอดีนลงในคอลัมน์ เสร็จแล้วเปิดวาล์วสารอินทรีย์ให้ไหลเบาๆ ลงคอลัมน์ เป็นหยด และเปิดเครื่องเขย่าตามที่ต้องการ

(2) ตั้งอัตราการไหลของสาร เหลวทั้งสอง เฟสตามที่ต้องการและปล่อยให้เครื่องเดินไประยะหนึ่ง

(3) เก็บตัวอย่างน้ำไอโอดีนตรงทางเข้า (ด้านล่าง) และทางออก (ด้านบน) และวัดความเข้มข้นของไอโอดีนโดยวิธีไตเตรชันกับ SODIUM THIOSULFATE เสร็จแล้วบันทึกผลการทดลอง เป็นประสิทธิภาพในการสกัดไอโอดีนจากน้ำ : $(Y_{in} - Y_{out})/Y_{in}$ ในการวัดประสิทธิภาพดังที่ได้อธิบายมา ผู้ทำการทดลองควรมีความมั่นใจว่าปริมาณมวลสารที่ออกจากเฟสน้ำคือ

$(Y_{in} - Y_{out})G_{H_2O}$ เท่ากับ $X_{out}G_{CCl_4}$ การตรวจแบบนี้ควรทำเพียงพอให้เกิดความมั่นใจว่ามวลสารไม่หายไปไหน ซึ่งจะแสดงว่าวิธีการดำเนินการทดลองมีความสมบูรณ์ถูกต้อง

3.2.2 ผลการทดลองและข้อสังเกต

ผลการทดลองเพื่อหาความจุสูงสุดของคอลัมน์แสดงไว้ในรูป 2 และตารางที่ 1

(ภาคผนวก ก) รูปที่ 2 (ภาคผนวก ก) เป็นวิธีการแสดงกราฟความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์ ในแกนนอนหมายถึงอัตราความเร็วของการเขย่า ($A \times f$) เป็นหน่วย ซม./วินาที เหตุที่ใช้ $A \times f$ มาจากการยอมรับว่าในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทต่างๆ เป็นหารามีเตอร์ที่สามารถแปรความปั่นป่วนภายในคอลัมน์ได้ อันหมายความว่าค่าการได้มาซึ่ง Af จะเป็น A เล็ก f ใหญ่ หรือ A ใหญ่

f เล็ก ไม่มีความสำคัญ ในแกนตั้งหมายถึงอัตราการไหลรวมสำหรับทั้งเฟสน้ำและสารอินทรีย์ คือ $G_C + G_D$ มีหน่วยเป็น ลิตร/ชม.

วัตถุประสงค์หลักในการหาความจุสูงสุดของคอลัมน์ คือ เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของการใช้วัสดุของแพคกิ้งที่แตกต่างกัน จากรูปที่ 2 (ภาคผนวก ก) เห็นได้ชัดว่าการเลือกวัสดุต่างๆ กันในแพคกิ้งทำให้ความจุสูงสุดของคอลัมน์เปลี่ยนได้ ในการทดลองในคราวนี้พบว่าแพคกิ้งเป็นพลาสติกมีความจุสูงสุดที่มากกว่าแพคกิ้งแบบ เหล็กไรสนิม ซึ่งมีความหมายว่าหากเปลี่ยนวัสดุภายในคอลัมน์จากเหล็กไรสนิม เป็นพลาสติก ไม่น่าจะต้องห่วงวิตกว่าสารเหลวจะสามารถไหลผ่านได้น้อยกว่า ในแง่ของวิศวกรผู้สร้างคอลัมน์ ข้อนี้มีความสำคัญอยู่ ข้อสังเกตข้อที่สองที่บอกได้จากรูปที่ 2 (ภาคผนวก ก) ได้แก่การที่เส้นความจุสูงสุดมิได้เป็น เส้นหนึ่ง เดียวสำหรับการทดลอง ไม่ว่าจะเป็นการทดลองที่ใช้พลาสติกหรือเหล็กไรสนิม จะเห็นได้จากรูปที่ 2 ว่าในกรณีค่า Af เท่ากับ 3.0 ชม./วินาที ความจุสูงสุดในกรณี $A = 2$ ชม. $f = 1.5$ HZ และ $A = 4$ ชม. $f = 0.75$ HZ แตกต่างกันมาก คือจาก $G_C + G_D$ เท่ากับประมาณ 19 ลิตร/ชม. ซึ่งแสดงว่าสำหรับการวัดความจุสูงสุด การใช้ $A \times f$ เป็นพารามิเตอร์รวมอาจจะไม่ถูกต้องนัก แต่ข้อสรุปดังกล่าวไม่ตรงกับข้อสังเกตของนักวิจัยผู้อื่น⁽²⁵⁾ ซึ่งเขาเหล่านั้นพบว่า $A \times f$ เป็นพารามิเตอร์รวมที่เหมาะสม สำหรับการทดลองกับคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน การใช้ $A \times f$ เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง

สำหรับข้อสังเกตจากการทดลองในคราวนี้ว่า พารามิเตอร์ $A \times f$ ไม่สามารถทำให้เส้นความจุสูงสุดเป็นเส้นเดียวได้ บอกได้จากภาพที่ 2 (ภาคผนวก ก) ว่าถ้าหากใช้แอมพลิจูดของพัลส์ค่า เช่น 2 ชม. เป็นต้น ความจุของคอลัมน์ยิ่งสูงขึ้น แต่ผู้วิจัยยังไม่สามารถอธิบายว่าเพราะเหตุใดการใช้ $A \times f$ จึงมีผลออกมาแบบนี้ ทั้งๆ ที่ผู้วิจัยท่านอื่นมิได้พบสิ่งแบบนี้

ผลการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของคอลัมน์ในการสกัดไอโอดีนจากน้ำไปยังคาร์บอน-เตตราคลอไรด์ แสดงไว้ในภาพที่ 3, 4, 5 และตารางที่ 2 และ 3 (ภาคผนวก ก)

ข้อสังเกตจากรูปที่ 3 และ 4 มีอยู่สามข้อ ข้อที่หนึ่ง เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ $A \times f$ สามารถทำให้เส้นประสิทธิภาพเป็นเส้นเดียวได้ ทั้งๆ ที่ค่า A และ f มีค่าทั้งสูงและต่ำ ซึ่งข้อสังเกตนี้เป็นไปตามที่คาดหมายไว้ เพราะเมื่อเขย่าแรงขึ้น พื้นที่ถ่ายเทมวลสารย่อมสูงขึ้นไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดมวลสารสูงขึ้นไปด้วย ในรูปที่ 4 (ภาคผนวก ก) และสำหรับ $G_D = 0.5$ ลิตร/ชม. พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทไอโอดีนลดลงเมื่ออัตราการพัลส์เกิน 4.5 ชม./วินาที ปรากฏการณ์นี้แสดงว่าการผสมย้อนกลับ (BACKMIXING) ของสารเหลวทั้งสอง เฟสทำให้ลดประสิทธิภาพทั้งๆ ที่พื้นที่ถ่ายเทมวลสารขยายตัวออกไป ปรากฏการณ์นี้พบกันอยู่ในเครื่องสกัดของเหลวประเภทพัลส์ จึงไม่เป็น เรื่องที่ผิดปกติอะไร ข้อสังเกตข้อที่สามได้แก่การที่ประสิทธิภาพของคอลัมน์เพิ่มขึ้น เมื่อมีการ

เพิ่ม G_d ซึ่งข้อสังเกตข้อนี้ เป็นที่เข้าใจกันได้ง่าย ทำให้การสักร้อยมัตขึ้น หาก G_d สูงเกินไป จะได้ประสิทธิภาพ 100% แต่ไม่เกิดประโยชน์สำหรับงานค้นคว้านี้ เพราะไม่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้ ประสิทธิภาพต่ำเกินไปก็ เช่นเดียวกัน ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบอะไรได้

ในรูปที่ 5 (ภาคผนวก ก) ได้แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทไอโอดีน โดยใช้แท่งสองชนิด ปรากฏว่าแท่งที่เป็นพลาสติกทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์ดีกว่าแท่งที่เป็นเหล็กไร้สนิม เฉพาะสำหรับการทดลองที่ได้เลือกเสนอในรูปที่ 5 (ภาคผนวก ก) พบว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทไอโอดีนเพิ่มขึ้นจาก 69% เป็น 85% ซึ่งเป็นการแตกต่างที่มาก นียบทความของ SOBOTIC AND HIMMELBLAU⁽²⁶⁾ และบทความของ JACKSON⁽²⁵⁾ ซึ่งพบปรากฏการณ์เช่นนี้ ผู้วิจัยในบทความแรกได้ทำการถ่ายเทกรดอะซิติกจากคีโตนไปยังน้ำซึ่งอยู่ในรูปหยด โดยใช้คอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุนเป็นพอลิเอธิลีน ซึ่งข้อมูลของเขาสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ ผู้วิจัยในบทความที่สอง ทำการถ่ายเทกรดเบนโซอิกจากน้ำไปยังคอลิวอินซึ่งอยู่ในรูปหยด โดยใช้คอลัมน์แบบพัลส์แผ่นใช้แท่งแบบพอลิเอธิลีนและแบบคินเฟาไม่เคลือบ ซึ่งข้อสรุปของเขาสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ได้ทำมาในโครงการนี้

3.3 สรุปและวิจารณ์

ข้อสรุปจากการศึกษาอิทธิพลการ เบียดตัวของแท่งกึ่งในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่น สามารถเสนอเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- 1) การ เปลี่ยนวัสดุแท่งกึ่งจาก เหล็ก ไร้สนิม เป็นพลาสติก ไม่ทำให้ระดับความ จสูงสูดน้อยลง ผลปรากฏว่าระดับความสูงสูดยังสูงขึ้นไปอีก เมื่อใช้แท่งกึ่งที่เป็นพลาสติก ความแตกต่างในระดับความสูงสูด (FLOODING LEVELS) เมื่อใช้วัสดุต่างกัน ยากที่จะอธิบายจากงานทดลองที่ทำเพียงเท่านี้ แต่ความรู้สึกของผู้วิจัยคือ เมื่อมีการใช้แท่งกึ่งที่มีคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก (หยดน้ำไม่เกาะ) ทำให้การเสียดสี (FRICTION) ในการไหลผ่านน้อยลง ดังนั้นน่าจะ เป็นไปได้ที่ว่า เมื่อการเสียดสีน้อยลงปริมาณไหลผ่านสูงขึ้น
- 2) การ เปลี่ยนวัสดุแท่งกึ่งจาก เหล็ก ไร้สนิม เป็นพลาสติก ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทไอโอดีนจากน้ำไปยังหยดคาร์บอนเตตราคลอไรด์ดีขึ้น เป็นอย่างมาก ซึ่งข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาด้านอิทธิพลของคุณสมบัติการ เบียดตัวในคอลัมน์สกัดของเหลว จากผลการทดลองในครั้งนี้ รวมถึงผลการทดลองของนักวิจัยอื่น คือ SOBOTIC AND HIMMELBLAU⁽²⁶⁾ และ JACKSON⁽²⁵⁾ อาจสรุปได้ว่า หากทำการสกัดโดยใช้คอลัมน์แบบพัลส์ จะเป็นพัลส์แท่งกึ่ง หรือพัลส์แผ่นรูพรุนก็ได้ ถ้าหากสารอินทรีย์เป็นสาร เหวดที่อยู่ในรูปหยดควรใช้วัสดุภายในคอลัมน์ที่มีคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก (หยดน้ำไม่เกาะ) จึงจะได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แต่ในกรณีที่มีน้ำอยู่ในรูปหยดไม้อาจจะ

สามารถบอกได้จากงานทดลองในครั้งนี่ว่าหากใช้วัสดุภายในคอลัมน์ที่มีคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก จะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ดังนั้นผลการทดลองในครั้งนี้อย่างเดียวก็ให้ข้อมูลว่าหากสารอินทรีย์เป็นหยดก็ควรใช้วัสดุไฮโดรโฟบิก

ข้อสรุปของการทดลองในครั้งนี่ยังไม่อาจจะตอบคำถามว่าการเพิ่มประสิทธิภาพเกิดขึ้นอย่างไร เหตุผลที่สมมติได้มีอยู่มาก เช่น วัสดุไฮโดรโฟบิกทำให้หยดสารอินทรีย์เล็กลง วัสดุไฮโดรโฟบิกทำให้ผิววัสดุถูกสารอินทรีย์เคลือบเป็นฟิล์มทำให้เนื้อที่ถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น วัสดุไฮโดรโฟบิกทำให้เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในคอลัมน์ทั้งหมด (HOLDUP) สูงกว่าปกติ หรือวัสดุไฮโดรโฟบิกทำให้การสมยอมกลับสำหรับ เฟสใด เฟสหนึ่ง หรือสำหรับทั้งสองเฟส น้อยลงทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์ดีขึ้น คำถามเหล่านี้ยังไม่มีผู้ใดสามารถตอบได้เวลานี้ แต่ผลดังกล่าว เน้นความสำคัญของอิทธิพลการเปียกตัวของวัสดุ หากจะศึกษาเรื่องนี้เพิ่มเติม การทดลองที่ควรทำต่อไปคือหาขนาดหยดโดยวิธีการถ่ายภาพ โดยใช้คอลัมน์แบบแผ่นรูพรุน เพื่อศึกษาดูว่าใช้แผ่นรูพรุนที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติการเปียกตัวต่างกัน จะทำให้เกิดหยดที่มีลักษณะเหมือนกันหรือ เปล่า ซึ่งในคอลัมน์แบบพัลส์แพคทำไม่ได้ เพราะแพคกิ้งทำให้ถ่ายภาพไม่ได้

๑) ในการวัดความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์ในการทดลองในคราวนี้ ได้พบว่าพารามิเตอร์ $A \times f$ ไม่สามารถให้เส้นความจุสูงสุดเป็นเส้นเดียวได้ อันหมายความว่าอิทธิพลของแอมพลิจูดของพัลส์และอิทธิพลของความถี่ของพัลส์ ต่างมีอิทธิพลที่ต่างกันต่อระดับความจุสูงสุดของคอลัมน์ ซึ่งไม่ตรงกับข้อสังเกตของนักวิจัยผู้อื่น แต่เนื่องจากตามปกติ เครื่องสก็ดของเหลวจะทำงานในเขตที่ผลบวกของอัตราการใช้ของ เฟสทั้งสองจะอยู่ต่ำกว่าอัตราการใช้ที่จะทำให้เกิดซีคความจุสูงสุด (FLOODING POINT) ดังนั้นประโยชน์ในการศึกษาประเด็นดังกล่าวนี้มีอยู่ไม่มาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

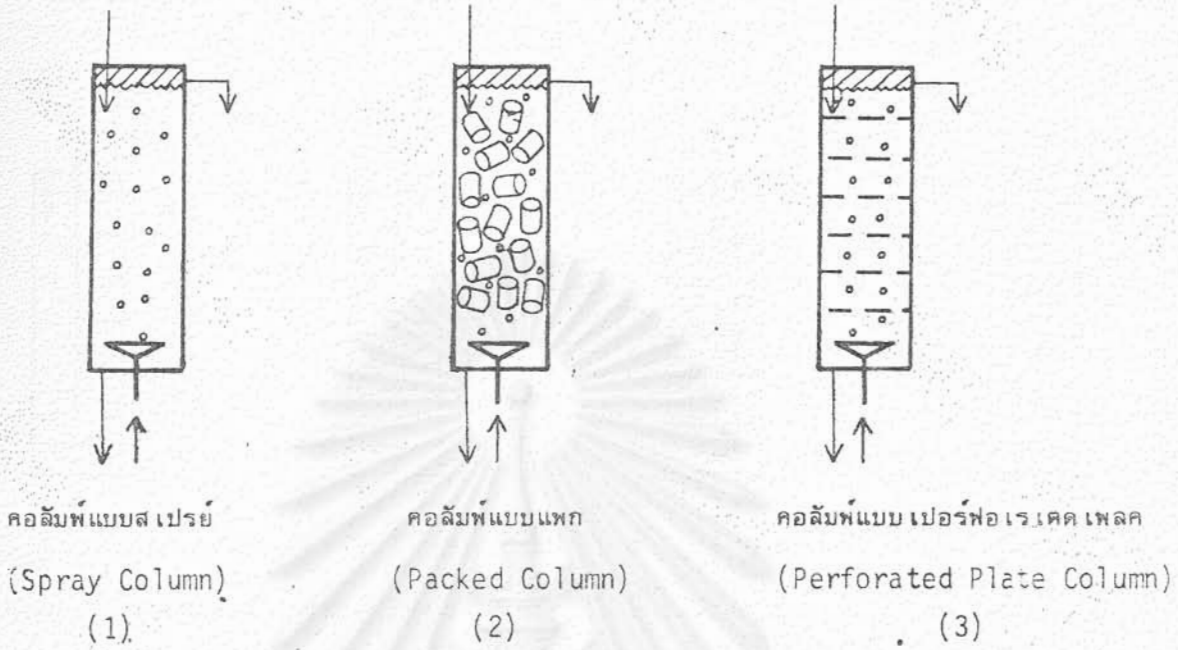
แนวความคิดในการสร้างคอลัมน์สกัดของ เหวลประเภท RDC, ประเภทพัลส์แผ่นรูนประเภทพัลสแพค

4.1 คำนำ

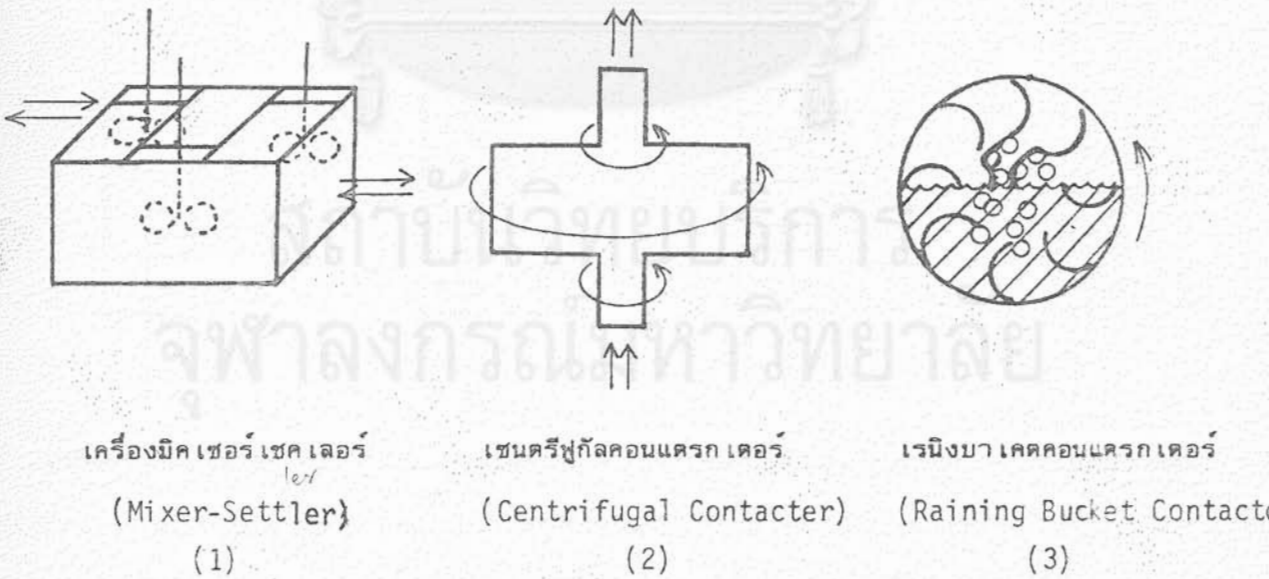
การออกแบบสร้างคอลัมน์สกัดของ เหวลด้วยของ เหวล ต้องคำนึงถึงแพคเตอร์สำคัญสามข้อ แพคเตอร์แรกได้แก่ประเภทของคอลัมน์ วัสดุที่ใช้ในการสร้าง และรายละเอียดภายในเครื่อง แพคเตอร์ที่สองได้แก่การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการจุสูงสุดของคอลัมน์ แพคเตอร์ที่สามได้แก่การคำนวณความสูงของคอลัมน์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการสกัดสาร เหวลที่ต้องการ

ในการเลือกประเภทของคอลัมน์ที่จะใช้ ไม่มีวิธีการที่ตายตัวแน่ชัด เครื่องสกัดของ เหวลด้วยของ เหวล โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1, 4.2

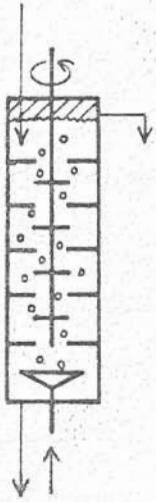
ในการเลือกใช้ เครื่องที่เหมาะสมแก่งานสกัดของ เหวลที่ต้องการ ต้องคำนึงถึงสารทั้งสามประเภทที่จะนำมาใช้ และเศรษฐกิจของระบบทั้งหมด บางทีสำหรับ เฟสทั้งสองที่ต้องการทำให้เข้าหากันเพื่อสกัดสาร เหวลที่ต้องการจาก เฟสหนึ่งถึง เฟสสอง จะพบว่าถ้า เฟสทั้งสองอยู่ร่วมกันนานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติ ดังนั้นในกรณีเช่นนี้อาจจะพิจารณาเลือก เซนตริฟูกัลคอนแทกเตอร์ เพราะเวลาที่ใช้ในการสกัดสั้นมาก แต่ทั้งนี้จะต้องมาคำนึงถึงราคาเครื่องและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า บางทีเฟสตัวหนึ่งมีความหนืดสูง เช่น ยางมะตอย เป็นต้น มีเครื่องประเภทเดียวที่ทำให้เฟสหนึ่งกับเฟสสองผสมกันได้คือ เครื่องประเภทเร็นิงมาเคตคอนแทกเตอร์ บางทีอาจจะพบว่าเฟสบางตัว เมื่ออยู่ในรูปหยดเล็ก ๆ การทำให้รวมเข้าอยู่ในเฟสเดียว (COALESCENCE) กระทำได้ยาก ดังนั้นการใช้พลังงานกล จะเป็นในรูปแบบหมุน (ROTATION) หรือในรูปของการเขย่า (PULSATION) จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ ในกรณีที่ระยะเวลาการผสมตัวระหว่างสองเฟสไม่มีปัญหา และการรวมตัวเข้ามาอยู่ในเฟสเดียวของหยดที่เล็กไม่มีปัญหา เช่นเดียวกัน เราจะพบว่า การเลือกคอลัมน์ไม่มีปัญหา ดังนั้นในกรณีปรกติเราอาจจะใช้ เครื่องสกัดของ เหวลเบอร์ 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 ที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ได้ เครื่องสกัดของ เหวลเบอร์ 1, 2 และ 3 ในรูปที่ 4.1 มีประสิทธิภาพในการสกัดของ เหวลต่ำ เพราะการที่ไม่ได้เติมพลังงานกลทำให้มีหยดขนาดใหญ่ ทำให้พื้นที่การถ่ายเทมวลสารน้อย และอัตราการ



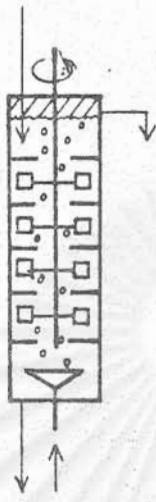
รูป 4-1 เครื่องสกัดของเหลวแบบไม่ใช้พลังงานกลมาเพิ่มอัตราการสกัด



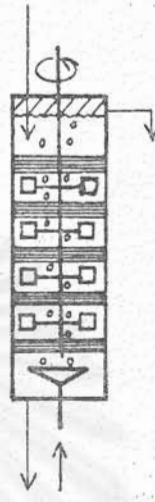
รูป 4-2 เครื่องสกัดของเหลวแบบใช้พลังงานกลเพิ่มอัตราการสกัด



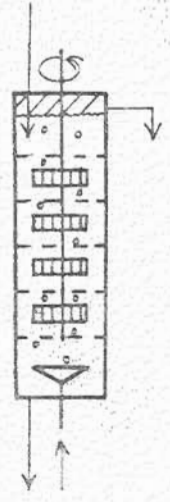
โรเทติงดิสก์คอนแทรกเตอร์



โอลด์ชูร์ซตันคอลัมน์



ชัย เบล์คคอลัมน์



คอลัมน์แบบคูนิ

(Rotating Disc Contactor) (Oldshue-Rushton Column) (Scheibel Column) (Kühni Column)

RDC

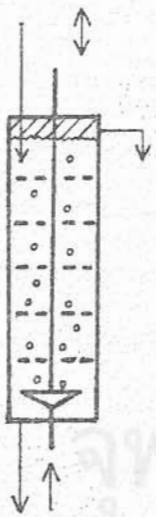
Column)

(4)

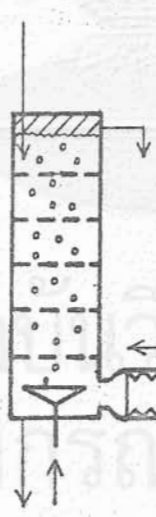
(5)

(6)

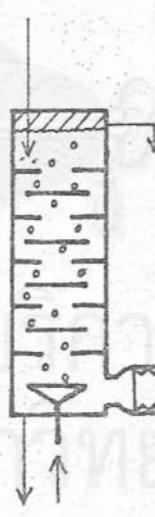
(7)



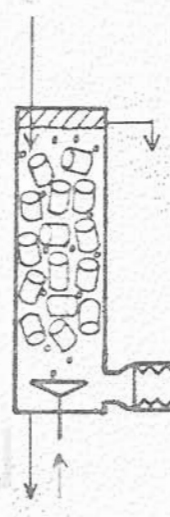
เรซิโปรเกติงเพลตคอลัมน์



พัลส์พอร์เรตเตดเพลต



พัลส์เพลตและริงคอลัมน์



พัลส์แพคคอลัมน์

(Reciprocating Plate Column) (Pulsed Perforated Plate Column) (Pulsed Plate and Ring Column) (Pulsed Packed Column)

(8)

(9)

(10)

(11)

รูปที่ 4-2 เครื่องสกัดของเหลวแบบใช้พลังงานกลเพิ่มอัตราการสกัด (ต่อ)

สก็ด้อยมน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้น เครื่องที่ไม่ใช้พลังงานกลเหล่านี้จะไม่ค่อยถูกนำมาใช้ แต่ทว่า ในกรณีที่มีการสก็ดสารเหลวกระทำได้ง่ายเป็นพิเศษ เช่นการสก็ดจำพวก MERCAPTANS ที่อยู่ใน เฟสอินทรีย์โดยโซดาไฟ ในกรณีเช่นนี้ เครื่องสก็ดของเหลวแบบไม่มีพลังงานกลมีความเหมาะสม มาก

เครื่องสก็ดของเหลวแบบมิด เซอร์ เซด เลอร์ เป็นที่นิยมใช้พอสมควร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคอลัมน์ยังคงแพ้อัลมันอยู่ ข้อดีของ เครื่องมิด เซอร์ เซด เลอร์มีอยู่ว่าสามารถสร้างได้ง่ายและ ราคาไม่แพงนัก และสามารถขยายประสิทธิภาพได้ง่ายโดยเพิ่มหน่วย ประโยชน์อีกข้อได้แก่ความสะดวกในการ เขียนรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อประโยชน์ในการขยายเครื่องไปสู่ขนาดที่ใหญ่กว่าหรือ เพื่อประโยชน์ในการ เปลี่ยนกระบวนการ ส่วนที่เป็นอุปสรรคคือการใช้ เครื่องนี้ได้แก่การสิ้น เปลืองพลังงานและการใช้เนื้อที่มาก รวมทั้งค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุงสูง ในอุตสาหกรรมวัสดุนิวเคลียร์ นิยมใช้ปฏิบัติการ เฉพาะหน่วยแบบการสก็ดของเหลวมาก ประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เยอรมัน อินเดีย นิยมใช้คอลัมน์แบบพัลส์มาก เท่าที่ได้เคยไปเห็นมาและทราบข่าวว่ามีประเทศอินเดีย และประเทศออสเตรเลียที่มีการใช้ เครื่องมิด เซอร์ เซด เลอร์ ในโครงการวัสดุ นิวเคลียร์ของเขา แต่ประเทศอินเดียก็กำลังจะ เปลี่ยนมาใช้คอลัมน์มากขึ้น

ในบรรดาคอลัมน์สก็ดของเหลวที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด ได้แก่เครื่อง 4 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 ในรูป 4.2 คอลัมน์เหล่านี้แบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือประเภทที่ใช้พลังงานกลแบบแกนหมุน และติดอยู่กับแกนอาจจะมีดิสก์ หรืออิมเพเลอร์ หรือเทอร์ไบน์ และ ประเภทที่สองคอลัมน์ที่ใช้พลังงานกลแบบพัล เซชัน คล้าย ๆ กับการเขย่าเป็นจังหวะ หากจะพูดถึงประสิทธิภาพรวมของคอลัมน์สองประเภท เป็นที่ทราบกันว่าคอลัมน์แบบพัลส์มีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่ในเวลาเดียวกันสิ้น เปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าคือหน่วยพลังงานกลที่ต้องการ ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของคอลัมน์แบบพัลส์ทำให้สามารถสร้างคอลัมน์ที่สั้นกว่าคอลัมน์แบบแกนหมุน อุตสาหกรรม วัสดุนิวเคลียร์จะใช้คอลัมน์แบบพัลส์เป็นส่วนมาก และผู้เขียนไม่เคยได้อ่านข่าวการใช้คอลัมน์แบบพัลส์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เลย อุตสาหกรรมวัสดุนิวเคลียร์นิยมใช้คอลัมน์แบบพัลส์ เพราะเนื่องด้วยคอลัมน์ดังกล่าวนี้ประสิทธิภาพสูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ต้องมีไว้ในคลังน้อยกว่าคอลัมน์อื่น ๆ ในแง่ขนาดและโดย เฉพาะความสูงของ เครื่องคอลัมน์แบบพัลส์ย่อมมีความสูงน้อยกว่าคอลัมน์แบบอื่น ๆ เนื่องจากประสิทธิภาพสูงกว่า เหตุผลสุดท้ายที่อุตสาหกรรมวัสดุนิวเคลียร์นิยมใช้คอลัมน์แบบพัลส์ คือจุดรั่วของคอลัมน์ไม่ค่อยมี ทำให้ความปลอดภัยสูงกว่า โดยเฉพาะถ้าหากการพัลส์เกิดขึ้นจาก

ระบบวาล์วสามทาง แบบที่ใช้ลมดันสารเหลวหลักในท่อที่ขนานกับคอลัมน์ เพื่อให้เกิดแรงเขย่าขึ้น

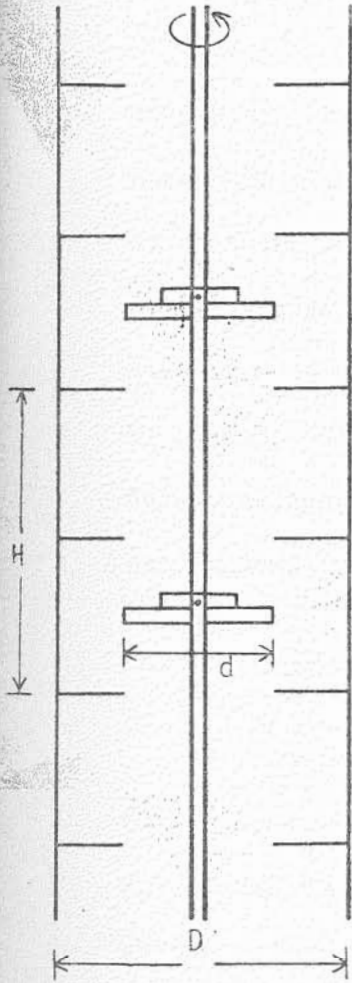
สำหรับคอลัมน์สองประเภทดังกล่าว คือแบบแกนหมุนและแบบพัลส์ ไม่ปรากฏมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละประเภท แต่ควรเป็นที่เข้าใจว่าประสิทธิภาพการสกัดสามารถปรับได้สำหรับแต่ละเครื่อง อาทิเช่น เครื่องที่ 4 อาจจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องที่ 6 เมื่อรอบเท่ากัน แต่หากเราเพิ่มรอบของเครื่องที่ 4 เราอาจจะได้ประสิทธิภาพที่เท่ากันในเวลาเดียวกันหากเราเพิ่มรอบของทั้งสองเครื่อง เราอาจจะพบว่ารอบสูงสุดของเครื่อง 6 ต่ำกว่ารอบสูงสุดของเครื่อง 4 ทั้งนี้เนื่องด้วยปริมาณการไหลผ่านสูงสุดของเฟส 1 และเฟส 2 ขึ้นอยู่กับการต่อต้านการไหลภายในคอลัมน์ สรุปว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์ประเภทเดียวกันบางทีมีความหมายน้อย ข้อมูลต่าง ๆ และประสบการณ์ต่าง ๆ ของวิศวกรผู้เกี่ยวข้องกับเครื่องสกัดของเหลวมีอยู่มากพอสมควรสำหรับคอลัมน์สามประเภทคือ โรเตติงดิสทีกอนแดกเคอร์ (RDC) พัลส์คอลัมน์ แบบแผ่นรูพรุน (PULSED PERFORATED PLATE COLUMN) และพัลส์แพคด์คอลัมน์ (PULSED PACKED COLUMN)

สำหรับเครื่อง 5 และ 7 (รูปที่ 4.2) ข้อมูลด้านปริมาณความจุสูงสุด ข้อมูลด้านการผสมย้อนหลัง (BACKMIXING) ข้อมูลด้านการถ่ายเทมวลสาร และข้อมูลอื่น ๆ รู้สึกว่าหายากพอสมควร ทั้งนี้เพราะคอลัมน์ทั้งสองมีบริษัทสร้างอยู่และขายเป็นเวลามากปีมาแล้วดังนั้น อาจจะเป็นสาเหตุที่ว่าไม่ค่อยได้มีการพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลสำหรับเครื่องทั้งสอง

ส่วนเครื่อง 7 และ 8 ไม่ค่อยมีใครพูดถึงเครื่องทั้งสองนี้ มีเพียงงานวิจัยที่ได้เคยนำเครื่องนี้มาทดลอง สำหรับเครื่องที่ 10 เป็นเครื่องที่ใหม่พอสมควร ผู้คิดค้นอ้างว่าประสิทธิภาพอาจจะสูงกว่าเครื่องที่ 9 ซึ่งเป็นเครื่องที่นิยมใช้กันมากที่สุด

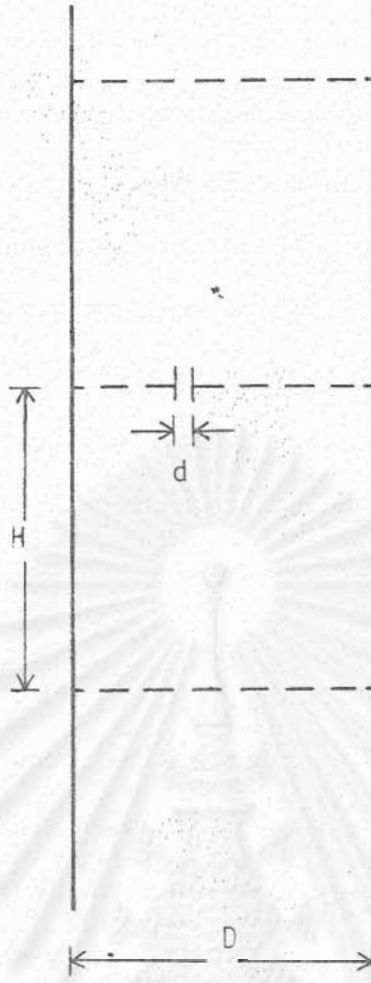
การออกแบบรายละเอียดภายในคอลัมน์สามประเภทที่กล่าว ยังคงต้องใช้ประสบการณ์เป็นหลักสำคัญ แต่จากประสบการณ์ของนักวิจัยอื่น ๆ สามารถเสนอรายละเอียดของเครื่องสามประเภทดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ต่อจากนี้ไปจะได้เสนอคอลัมน์สกัดของเหลวประเภท RDC ประเภทพัลส์แผ่นรูพรุน และประเภทพัลส์แพค

โรเตติงดิสทีกอนแดกเคอร์ (RDC): แกนหมุนติดดิสทีกของ เครื่องนี้มีหน้าที่ทำให้หยดของเฟสที่อยู่ในรูปหยด เมื่อสัมผัสกับดิสทีกซึ่งกำลังหมุนอยู่ จะถูกเหวี่ยงออกไปทำให้หยดกระจายออก



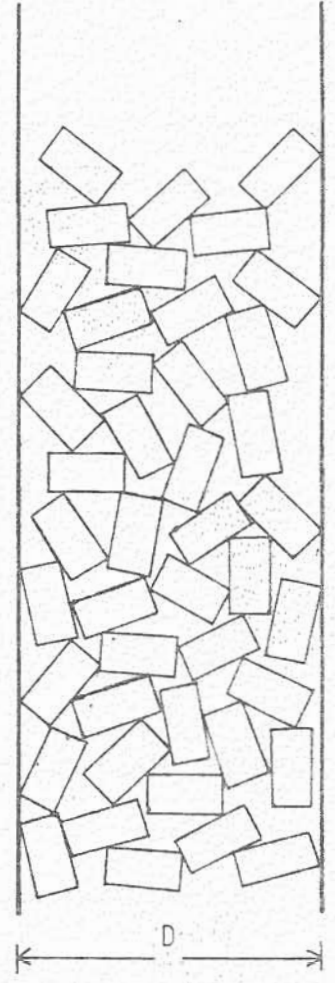
D = 5 ซม. ถึงหลายเมตร
 H = 5 ซม. ขึ้นไป (แต่สำหรับคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางหลาย เมตร ความสูงของช่วง H คง เล็กกว่า เส้นผ่านศูนย์กลาง D)
 $d = \eta D$ (ηราว 0.6)
 RPM : ขึ้นได้สูงถึง 1800
 วัสดุที่ใช้ภายใน คือ เหล็กโรลนัม

โรเตติงดิสก์คอนแทรกเตอร์ (RDC)
 (1)



D = 5 ซม. ถึงหลายเมตร
 H = 5 ซม. ขึ้นไป (แต่สำหรับคอลัมน์ที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางหลาย เมตร ความสูงของ H คง เล็กกว่า เส้นผ่านศูนย์กลาง D)
 $d = 0$ มม. ขึ้นไป เปอร์เซนต์ช่องว่างในแผ่นรูพรุน ราว 20%
 $A =$ แอมพลิจูดของพัลส์ = 0 ถึง 5 ซม.
 $f =$ ความถี่ของพัลส์ = 0 ถึง 3 Hz
 วัสดุที่ใช้ภายใน คือ เหล็กโรลนัม

พัลส์ เปอร์ฟอเรเตดเพลตคอลัมน์ (Pulsed Perforated Plate Column)
 (2)



ภายในคอลัมน์แบบพัลส์แพค สามารถบรรจุแพคกิ้งแบบเดียวกับแพคคอลัมน์ธรรมดา อันได้แก่ Raschig Ring, Sert Saddle และอื่น ๆ ที่ทำด้วยวัสดุประเภทดินเผา
 D = 5 ซม. ขึ้นไป (ผู้เขียนไม่เคยทราบถึงการใช้คอลัมน์แบบนี้ในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลาย เมตร)

พัลส์แพคคอลัมน์ (Pulsed Packed Column)
 (3)

รูปที่ 4-3 คอลัมน์สกัดของเหลวสามประเภทที่นิยมใช้

เป็นหยด เล็ก ๆ มีผลให้พื้นที่ถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นอีกมาก การปรับความเร็วของแกนหมุนสามารถกำหนดพื้นที่ถ่ายเทมวลสารได้สามารถลดหรือเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องได้ ถ้าต้องการออกแบบสร้างเครื่องที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ไม่ปรากฏมีวิธีการที่แน่ชัดในการกำหนด H/D, d/D หรือความเร็วของดิสก์ ทั้งนี้เพราะแต่ละระบบมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน ในการพิจารณาขนาดและรายละเอียดภายใน เครื่องจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์และข้อมูลด้านการผสมย้อนหลัง (BACKMIXING) ซึ่งจะพูดถึงวิธีการในตอนท้ายของรายการฉบับนี้ ถ้าจะสร้างเครื่องใหญ่ดังที่ต้องการ จำเป็นต้องมีข้อมูลจากคอลัมน์ขนาดเล็ก เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 หรือ 10 ซม. เสร็จแล้วใช้แนวความคิดแนวทางหนึ่งในการขยายเครื่อง ซึ่งแนวความคิดเหล่านี้มีมาก

คอลัมน์แบบพัลส์แบบแผ่นรูพรุน (PULSED PERFORATED PLATE COLUMN)

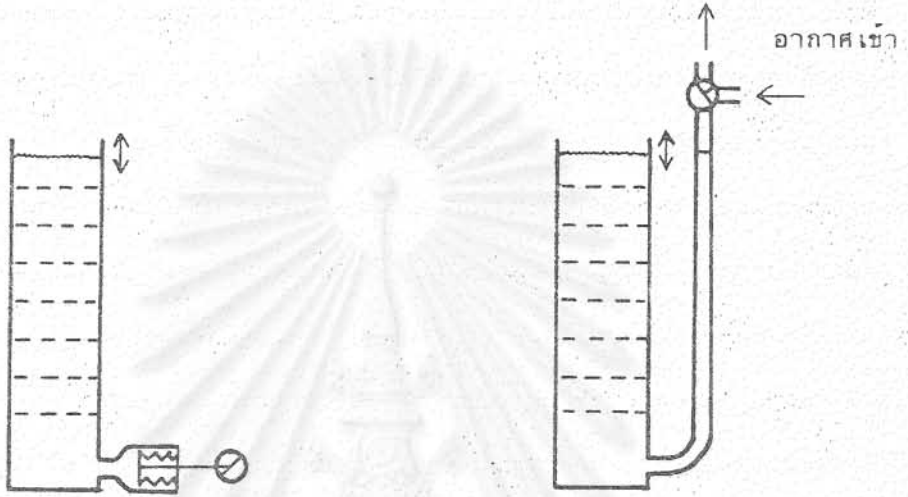
การเติมพลังงานกลใน เครื่องแบบพัลส์ทุก เครื่อง อาศัยการเขย่าเฟสหลัก (คือเฟสที่มีได้อยู่ในรูปหยด) โดยสองวิธีดังแสดงไว้ในรูป 4.4 การเขย่าดังกล่าวสามารถปรับได้ตามตัวเลขที่แสดงไว้ในรูป 4.3(2) การเขย่าทำให้หยดของเฟสที่ 2 ถูกบังคับให้ผ่านแผ่นรูพรุน ทำให้หยดแตกกระจาย เป็นหยด เล็ก ๆ มีผลให้พื้นที่ถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น

ในการขยายขนาดของคอลัมน์แบบนี้ จากเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปสู่เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ได้เคยมีผู้เชี่ยวชาญบอกว่าสามารถขยายถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร จากคอลัมน์เล็ก โดยไม่มีปัญหา อันหมายความว่าหากมีการทำการทดลองในคอลัมน์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สามารถขยายเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2 เมตร โดยไม่เปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการสกัดของเหลว หมายความว่าความสูงของเครื่องยังคงเหมือนเดิมทุกประการ สำหรับรายละเอียดภายในคอลัมน์ได้แสดงไว้ในรูป 4.3(2) แนวทางที่ถูกต้องที่สุดในการออกแบบสร้างเครื่องใหญ่คือการทดลองโดยใช้ เครื่อง เล็กก่อน จึงคำนวณออกแบบเครื่องใหญ่

คอลัมน์แบบพัลส์แพค (PULSED PACKED COLUMN): เช่นเดียวกับพัลส์คอลัมน์

แบบแผ่นรูพรุน คอลัมน์แบบนี้สามารถขยาย เส้นผ่านศูนย์กลางโดยไม่กระทบกระเทือนต่อประสิทธิภาพของเครื่อง และ เช่นเดียวกับการออกแบบ เครื่องใหญ่ควรต้องอาศัยการทดลองใน เครื่องขนาดเล็กเสียก่อน

4.2 การกำหนด เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์



ระบบทำให้ เกิดพัลส์แบบใช้ลูกสูบ เคลื่อนที่

(1)

ระบบทำให้ เกิดพัลส์แบบใช้ลมดัน

(2)

รูปที่ 4.4 ระบบทำให้ เกิดพัลส์สองระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.2.1 คำนำ

จากผลงานวิจัยหัวข้อ เครื่องสกัดของ เหลวแบบคอลลิมน์ที่อ่านได้ในบทความทางวิชาการต่าง ๆ พบว่าผลงานค้นคว้า วิจัย เรื่องความจุสูงสุดของคอลลิมน์ (FLOODING) มีน้อยกว่า ผลงานวิจัย เรื่องประสิทธิภาพของคอลลิมน์ ข้อมูลด้านความจุสูงสุดของคอลลิมน์ เป็นตัวกำหนด เส้นผ่าศูนย์กลางโดยตรง ส่วนข้อมูลด้านประสิทธิภาพและไฮโดรไดนามิกส์ภายในคอลลิมน์ เป็นตัว กำหนดความสูงของคอลลิมน์ ข้อมูลทั้งสองมีความสำคัญมากต่อการทราบขนาดของคอลลิมน์สกัด ของเหลว สาเหตุที่ผลงานด้านความจุของคอลลิมน์มีอยู่น้อยในปัจจุบัน เกิดจากข้อมูลที่ ข้อมูล ด้านนี้ทำกันมาไม่เพียงพอในอดีต ทำให้วิศวกรสามารถนำข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เอาไปคำนวณ เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลลิมน์ที่ใช้สาร เหลวทั่วไปได้ เมื่อได้ข้อมูลความจุสูงสุดสามารถคำนวณหา เส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของคอลลิมน์ได้ เสร็จแล้วสามารถขยาย เส้นผ่าศูนย์กลางให้สอดคล้อง กับ เปอร์ เซนต์ของจุดความจุสูงสุดที่ตกลงจะใช้ เช่น เปอร์ เซนต์ของจุดความจุสูงสุดอาจจะตั้ง อยู่ระหว่าง 35% ถึง 75% ทั้งนี้ไม่มีวิธีการที่จะกำหนดได้แน่ชัดว่า เปอร์ เซนต์ดังกล่าวควร เป็น เท่าไร ผู้วิจัยมีความเห็นว่า เรื่องนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบคอลลิมน์ อีก สาเหตุหนึ่งที่มีการวิจัยด้านความจุสูงสุดของคอลลิมน์มีอยู่น้อยก็เนื่องในการวัดจุดความจุสูงสุดจะต้อง สร้าง เครื่องสกัดอันมีราคาสูง เสร็จแล้วข้อมูลความจุสูงสุดที่ได้มาไม่สามารถถือเป็นงานวิจัย ตีพิมพ์ได้ จึงหากนักวิจัยมาตีพิมพ์ผลงานเรื่องนี้ได้ยาก ผลสรุปคือข้อมูลที่มีอยู่ในวารสารวิชาการ ต่าง ๆ ย้อนหลังไปสามสิบปีจะมีข้อมูลสำหรับคอลลิมน์สกัดของเหลวที่เป็นที่รู้จัก เช่น คอลลิมน์แบบ แพค พัลส์แพคคอลลิมน์ พัลส์คอลลิมน์แบบแผ่นรูปทรง โร เคตติงคิสต์คอนแตกเตอร์ และสำหรับ คอลลิมน์ เหล่านี้ข้อมูลที่มี เป็นข้อมูลที่ได้มาโดยใช้สารอินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ข้อมูล สำหรับ เครื่องใหม่ ๆ เช่น พัลส์คอลลิมน์แบบเพลตและริง และข้อมูลสำหรับระบบพิเศษ เช่น น้ำ กับคาร์บอนไดออกไซด์เหลว เป็นข้อมูลที่หาได้ยาก ในกรณีเช่นนี้อาจจะต้องทำการทดลอง ใหม่หมดเลย หรืออาจจะอาศัยข้อมูลจากคอลลิมน์ที่มีลักษณะใกล้เคียงและในกรณีที่ไม่ใช่ เฟสที่ไม่ใช่ น้ำ เป็นสารที่ไม่เป็นที่คุ้นเคยนัก อาจจะต้องอาศัยข้อมูลจากสาร เหลวที่มีความหนาแน่น เท่ากัน และแรงดึงผิว (INTERFACIAL TENSION) เท่ากัน

4.2.2 ข้อมูลความจุสูงสุด (FLOODING CORRELATIONS)

ต่อไปนี้จะได้ เสนอสมการความจุสูงสุดสำหรับคอลลิมน์สี่ประเภท อันได้แก่คอลลิมน์ แบบแพค คอลลิมน์แบบพัลส์แพค คอลลิมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรง และโร เคตติงคิสต์คอนแตกเตอร์

ในการทำความเข้าใจกับสมการต่าง ๆ ที่เสนอข้อมูลความสูงสุดของคอลัมน์นาา ประเภท อาจจะพิจารณาปัญหาในการคำนวณหา เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ โดยมีข้อมูลตั้งต่อไปนี้คือ

ประเภทของคอลัมน์ที่ต้องใช้รวมถึงรายละเอียดภายในคอลัมน์

G_D อัตราการไหลของ เฟสที่อยู่ในรูปหยด

G_C อัตราการไหลของ เฟสหลัก

เฟสทั้งสองที่ใช้

ลักษณะพลังงานกลที่จะใช้ในคอลัมน์ (ถ้ามี)

เปอร์เซ็นต์ของจุดความสูงสุดที่ต้องการให้คอลัมน์ทำงาน

จากข้อมูลเหล่านี้จะอย่างไรจึงสามารถคำนวณหา เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ได้ คำตอบคือ ต้องหา V_C และ V_D ซึ่งเรียกว่าความเร็วซูเปอร์ฟิเชี่ยล มีหน่วย เหมือนกับความเร็ว และมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของ เฟสทั้งสองดังนี้

$$V_D = G_D / A_T \quad (4.1 ก.)$$

$$V_C = G_C / A_T \quad (4.2 ข.)$$

ความหมายของความเร็วซูเปอร์ฟิเชี่ยลสามารถอธิบายได้ดังนี้ สมมติว่าในคอลัมน์ สก๊ตของ เหลวมีทั้งสอง เฟสไหลผ่านสวนทางกัน อาจจะสมมุติต่อไปว่าคอลัมน์ดังกล่าว เป็นแบบ ฟิลล์แผ่นรุกรุน เมื่อแรงฟิลล์สูง เปอร์เซนต์เฟสหยดในคอลัมน์อาจจะสูงขึ้นถึง 50% ก็เป็นไปได้ ความเร็วจริงของหยดและของเฟสหลักจะสูง เนื่องจากเนื้อที่ไหลในคอลัมน์มีน้อยลง (เฟสละ 50%) ต่อมา เมื่อแรงฟิลล์ลดลง เราจะพบว่า เปอร์เซนต์เฟสหยดในคอลัมน์ลดลงมาเป็น 10% เราจะพบว่า V_D เร็วขึ้นกว่าเก่ามาก และ V_C ช้าลงกว่าเก่า ทั้งนี้เพราะเนื้อที่ที่ไหลของ เฟสหลักมีมากขึ้น และเฟสหลักยอมต้องไหลในอัตราการไหลเดิมคือ G_C เมื่อเราไม่ปล่อยเฟสหยดลงคอลัมน์ เรา จะพบว่า V_C ลดลงไปอีกหน่อยหนึ่ง แต่ก็ไม่สามารถลดลงไปมากกว่านี้ได้ และในกรณีนี้เรา ถือว่า V_C เท่ากับ V_C แต่ทั้งนี้ในระหว่างที่เราเปลี่ยนสภาวะของคอลัมน์โดยที่เรายังรักษา อัตราการไหล G_C ให้คงที่ เราสามารถถือได้ว่า V_C ก็คงที่อยู่ตลอดเวลา เช่นเดียวกัน

การหาจุดความสูงสุดในคอลัมน์ในภาคปฏิบัติ อาศัยการตั้ง G_C ให้คงที่ (เมื่อกำหนด

G_c ไปแล้ว เท่ากับเป็นการกำหนด V_c ตามสมการ 4.1) และเพิ่ม G_d จนคอลัมน์ไม่สามารถรับเฟส 2 เพิ่มอีกได้ เมื่อคอลัมน์ไม่สามารถทำงานได้ถึงจุดความจุสูงสุด หรือที่เรียกกันว่า flooding ในจุดนี้ V_c กับ V_d เขียนเป็น $V_{c,f}$, $V_{d,f}$ ค่าของ $V_{c,f}$; $V_{d,f}$ สามารถคำนวณได้คร่าว ๆ จากสมการที่กลุ่มนักวิจัยหลายกลุ่มได้เคยเสนอมา อย่างไรก็ตาม เมื่อทราบค่าของ $V_{c,f}$ จากสมการพร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ของจุดความจุสูงสุดที่ต้องการให้คอลัมน์ทำงาน เช่น η เป็นการกำหนด V_c อันแท้จริงที่เราใช้คือ $V_{c, design} = \eta V_{c, f}$ และพื้นที่ตัดของคอลัมน์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A_T = \frac{G_c}{\eta V_{c, f}} = \frac{G_c}{V_{c, design}} \quad (4.2)$$

การเสนอข้อมูลความจุสูงสุดในคอลัมน์สกัดของเหลวมีอยู่สองแนว แนวหนึ่งอาศัยหลักการของความเร็วแคแรกเตอร์ิสติก (CHARACTERISTIC VELOCITY) แนวที่สองอาศัยสมการแบบเอมพิริคัล (EMPIRICAL RELATIONS) ในลักษณะ $f(V_{c, f}; V_{d, f}) = g(\Delta\rho, \epsilon, \gamma, \rho_c, \mu_c, a, \dots)$

การแนะนำแนวการหาจุดความจุสูงสุดของคอลัมน์ทั่วไป อันใช้หลักการของความเร็วแคแรกเตอร์ิสติก มีจุดเริ่มต้นที่สมการของ GAYLER, ROBERTS AND PRATT⁽²⁷⁾ ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งเป็นสมการที่มีความสำคัญมากต่อการอธิบายความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ของเฟสหยดในคอลัมน์ ดังต่อไปนี้

$$\frac{V_d}{\phi_d} + \frac{V_c}{1 - \phi_d} = \epsilon \bar{V}_0 (1 - \phi_d) \quad (4.3)$$

หากเป็นคอลัมน์ที่ปราศจากแพคคิง $\epsilon = 1$ ส่วน \bar{V}_0 เรียกว่าความเร็วแคแรกเตอร์ิสติก (CHARACTERISTIC VELOCITY) ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่าเป็นความเร็วของหยดหนึ่งหยด เมื่ออัตราการผลิตของเฟสหลัก = 0 หรืออาจจะอธิบายได้ว่า \bar{V}_0 ในคอลัมน์แบบพัลส์แพคคือความเร็วของหยดหนึ่งที่ไหลผ่านแพคคิง โดยอัตราการผลิตของเฟสหลัก = 0 อีกนัยหนึ่งอาจจะอธิบายว่าเป็นความเร็วของหยดผ่านคอลัมน์ในเชิงเป็น TERMINAL VELOCITY ของหยดนั้น ๆ ภายในคอลัมน์ ดังนั้นในกรณีของคอลัมน์แบบพัลส์ \bar{V}_0 ย่อมเปลี่ยนไปตามสภาพการไหล และ \bar{V}_0 ย่อมขึ้นกับขนาดของหยดด้วย

จากสมการ 4.3 เมื่อดิเฟอเรนเชียล V_c และ V_d ด้วย ϕ และตั้งสมการ = 0 เพื่อหาจุดความสูงที่สุด จะสามารถคำนวณ V_{df} , V_{cf} และ ϕ_{df} ได้ดังนี้

$$V_{df} = 2\epsilon\bar{V}_0 \phi_{d,f}^2 (1 - \phi_{d,f}) \quad (4.4 ก)$$

$$V_{c,f} = \epsilon\bar{V}_0 (1 - \phi_{d,f})^2 (1 - 2\phi_{d,f}) \quad (4.4 ข)$$

$$\phi_{d,f} = \frac{(L_V^2 + 8L_V)^{1/2} - 3L_V}{4(1 - L_V)} \quad (4.4 ค)$$

$$L_V = V_d / V_c$$

ดังนั้นหากเราย้อนกลับไปพิจารณาปัญหาเดิมในการคำนวณหา เส้นผ่านศูนย์กลางของ คอลัมน์ และหากเราจะใช้แนวทางการคำนวณของ GAYLER ET AL. ขั้นตอนมีอยู่ดังนี้

เมื่อทราบ G_d , G_c สามารถหา L_V ได้

จากสมการ 4.4 ค สามารถคำนวณ $\phi_{d,f}$ ได้

จากสมการ 4.4 ก, 4.4 ข สามารถคำนวณ $V_{d,f}$ และ $V_{c,f}$ ได้

เมื่อทราบ η สามารถใช้สมการ 4.2 คำนวณ A_T ได้

แนวที่สองที่สามารถใช้หา เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์สกัดของเหลว อาศัยสมการ แบบแอมพิริกัลดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว สมการดังกล่าวให้ $V_{c,f}$ กับ $V_{d,f}$ โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องหา $\phi_{d,f}$ ดังนี้

$$V_{c,f} + k_1 V_{d,f} = f_1(\Delta\rho, \epsilon, \gamma, \rho_c, \mu_c, a \dots) \quad (4.5 ก)$$

$$\text{หรือ } V_{c,f}^{1/2} + k_2 V_{d,f}^{1/2} = f_2(\Delta\rho, \epsilon, \gamma, \rho_c, \mu_c, a \dots) \quad (4.5 ข)$$

หรือในลักษณะสมการอื่น ๆ สำหรับแนวที่สองนี้ขั้นตอนในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ ตามปัญหาเดิมที่ได้ตั้งไว้สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

เมื่อทราบ G_d, G_c ย่อมทราบ V_d/V_c จากสมการ 4.1 ก, 4.1 ข, ซึ่งในจุด
ความจุสูงสุด V_d/V_c เท่ากับ $V_{d, f}/V_{c, f}$

จากสมการ 4.5 ก, 4.5 ข สามารถหา $V_{c, f}^n + k_3 V_{d, f}^n = k_4$

สามารถหา $V_{c, f}$ กับ $V_{d, f}$ จากสมการทั้งสอง

เมื่อทราบ η สามารถใช้สมการ 4.2 คำนวณ A_T ได้

จากการอ่านบทความทางวิชาการ เรื่องการคำนวณหาจุดความจุสูงสุด พบว่านักวิจัย
นิยมใช้แนวคำนวณทั้งสองแนว จึงไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าวิธีใดแม่นยำที่สุด

4.2.2.1 ความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบแพค

ในปี ค.ศ. 1960 VENKATARAMAN AND LADDA⁽²⁸⁾ ได้อาศัยข้อมูลจากการ
ทดลองใช้คอลัมน์แบบแพคขนาดต่าง ๆ รวมทั้งระบบต่าง ๆ และได้เสนอสมการกำหนดจุดความ
จุสูงสุด (FLOODING POINT)

$$\psi_1 = 1 + 0.835 (V_{d, f}/V_{c, f})^{1/2} (\rho_d/\rho_c)^{1/4} \quad (4.6 ก)$$

$$\psi_2 = \frac{V_{c, f}^2 a}{g \epsilon^3} \frac{\rho_c}{\Delta \rho} \quad (4.6 ข)$$

$$\psi_1 \psi_2^{1/4} = c \left(\frac{a \epsilon \gamma}{\rho_c V_{c, f}} \right)^n \quad (4.6 ค)$$

แพคกึ่งประเภทต่าง ๆ

c

n

แรชชิงริง (RASCHIG RINGS)	0.894	-0.078
เบอร์ลแซเดอส์ (BERL SADDLES)	0.882	-0.052
แลชชิงริง (LESSING RINGS)	0.852	-0.046
แพคกึ่งทรงกลม (SPHERES)	0.839	-0.029

ในปี ค.ศ. 1974 WATSON AND MCNEESE⁽²⁹⁾ ได้เสนอสมการที่ใช้โครงสร้างเดียวกับสมการของ CRAWFORD AND WILKE⁽³⁰⁾ ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1951 ดังนี้

$$V_{c, f}^{\frac{1}{2}} + k' V_{d, f}^{\frac{1}{2}} = k'' \quad (4.7)$$

WATSON AND MCNEESE ได้นำข้อมูลความจุสูงสุดของนักวิจัย 6 กลุ่มมาเฉลี่ยเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V_{c, f}^{\frac{1}{2}} + (0.844 \Delta\rho^{0.145} d_p^{0.298} \mu_c^{-0.084} \epsilon^{-0.078}) V_{d, f}^{\frac{1}{2}} \\ = 23.8 \Delta\rho^{0.269} d_p^{0.494} \mu_c^{-0.084} \epsilon^{0.5} \end{aligned} \quad (4.8)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ได้เฉพาะในกรณีของแหวนแรชชิงเท่านั้นเอง ผู้เสนอสมการดังกล่าวอ้างถึงความที่เขาได้ใช้ผลการทดลองที่มีความแตกต่างในความหนาแน่นทั้งน้อยและมาก ผู้เสนอสมการดังกล่าวได้ขอให้ระมัดระวังหน่วยในการใช้ เพราะไม่ได้เสนอสมการในลักษณะ DIMENSIONLESS NUMBERS สำหรับสมการนี้ใช้หน่วย c - g - s ทั้งนี้

ในปี ค.ศ. 1970 G. V. POTNIS ได้เขียนวิทยานิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยบอมเบย์ ประเทศอินเดีย ในหัวข้อคอลัมน์แบบพัลส์ และได้เสนอสมการที่จะคำนวณจุดความจุสูงสุดสำหรับคอลัมน์แบบแพคธรรมดา สมการดังกล่าวมีโครงสร้างคล้ายโครงสร้างของสมการของ CRAWFORD AND WILKE ดังต่อไปนี้⁽³¹⁾

$$\begin{aligned} \frac{(V_c^{\frac{1}{2}} + V_d^{\frac{1}{2}}) \rho_c}{a \mu_c} = 0.1497(\epsilon)^{1.16} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_c} \right)^{0.054} \left(\frac{\mu_d^2 d_T g}{\gamma^2} \right)^{-0.007} \\ \left(\frac{a^3 \mu_c^3}{g \Delta\rho \rho_c} \right)^{-0.625} \left(\frac{\gamma \rho_c}{\mu_c^2 a} \right)^{-0.05} \end{aligned} \quad (4.9)$$

และผู้เสนอสมการไม่ได้กล่าวถึงประเภทของแพคกิง จึงคิดว่าลักษณะของแพคกิงคงจะมีอิทธิพลในคุณค่าของ "ε" และ "a" สมการดังกล่าวเหมือนสมการคำนวณความจุสูงสุด สำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพคที่ผู้วิจัยได้เสนอไว้ในผลงานเดิมของเขา เพียงแต่ขาด $\left(\frac{A \cdot f \cdot c}{a \mu_c} \right)$

ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของการเขย่าคือ V_c และ V_d

ทั้งสามสมการที่ได้เสนอไว้คือสมการของ VENKATARAMAN AND LADDHA (1960) สมการของ WATSON AND MCNEESE (1974) และสมการของ POTNIS (1970) เป็นแนวทางหนึ่งในการเสนอผลการทดลองหาความจสูงสุดของคอลัมน์ อีกแนวทางหนึ่งดังที่ได้เคยอธิบายมุ่งใช้สมการ 4.3, 4.4 หมายถึงการหาความเร็วแคแรกเตอร์ิสติก (CHARACTERISTIC VELOCITY)

สำหรับคอลัมน์แบบแพค GAYLER, ROBERTS AND PRATT⁽²⁷⁾ ได้เสนอสมการเพื่อคำนวณ \bar{V}_0 ในปี ค.ศ. 1953 ดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{\bar{V}_0 \mu_c}{\gamma}\right) = C \left(\frac{\Delta\rho}{\mu_c}\right)^3 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{-0.3} \left(\frac{\rho_c}{\Delta\rho}\right)^{-0.6} \left[\frac{a}{\epsilon} \left(\frac{\gamma}{\Delta\rho g}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{-0.65} \left[\frac{1}{d_T} \left(\frac{\gamma}{\Delta\rho g}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{0.26} \quad (4.10)$$

โดยที่ $C = 4.9$ สำหรับแหวนแรชชิง และ $C = 6.0$ สำหรับแพคกิงแบบ เบอร์ลแซเคิล ในปี ค.ศ. 1961 SITARAMAYYA AND LADDHA ได้เสนอสมการดังต่อไปนี้⁽³¹⁾

$$\epsilon \bar{V}_0 = C \left(\frac{a}{\epsilon}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{\rho_c}{\Delta\rho g}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4.11)$$

สำหรับแพคกิงแบบแหวนแรชชิง

และแพคกิงแบบ เบอร์ลแซเคิล

LADDHA ได้เสนอสมการดังต่อไปนี้⁽³¹⁾

$$\left(\frac{V_d}{V_c} + \frac{\phi_d}{1 - \phi_d}\right) \left(\frac{V_c^2 a}{g \epsilon^3} \frac{\rho_c}{\Delta\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.683 \phi_d (1 - \phi_d) \quad (4.12)$$

และในกรณีของแพคกิงแบบลูกทรงกลม LADDHA ได้เสนอสมการนี้

$$\left(\frac{V_d}{V_c} + \frac{d}{1 - \phi_d}\right) \left(\frac{V_c^2 a}{g \epsilon^3} \frac{\rho_c}{\Delta\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.973 \phi_d (1 - \phi_d) \quad (4.13)$$

LADDHA ได้กล่าวต่อไปว่าสมการ 4.12, 4.13 เหมาะเป็นพิเศษในการหา ϕ_d ในขบวนการที่ไม่มีมีการถ่ายเทมวลสาร

4.2.2.2 ความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แพค

ถ้าจะใช้แนวการคำนวณที่อาศัยความเร็วแคแรกเตอร์ิสติก (CHARACTERISTIC VELOCITY) มีอยู่สองสมการ สมการที่หนึ่งคือสมการของ WIDMER⁽³²⁾ ที่ได้เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1967

$$\bar{V}_0 = \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_c} \right)^{0.5} \left(\frac{0.428 d_{vs}}{9.12 \times 10^{-3} + d_{vs}} \right) \tag{4.14}$$

\bar{V}_0, d_{vs} มีหน่วยเป็น S.I.

สมการที่สอง SPAAY, SIMONS AND TEN BRINK⁽³³⁾ เป็นผู้เสนอในปี ค.ศ. 1971

$$\bar{V}_0 = 6.32 \times 10^{-3} (d_{vs})^{0.727} (\Delta\rho)^{0.815} (A.f)^{-0.254} (S(1-\epsilon))^{-0.184} (\eta_c)^{-0.35} \tag{4.15a}$$

สำหรับ $L' = (d_{vs})^{0.787} (\Delta\rho)^{0.255} (A.f^2)^{-0.144} (S(1-\epsilon))^{0.426} \leq 0.406$

และ $\bar{V}_0 = 2.57 \times 10^{-3} (d_{vs})^{-0.06} (\Delta\rho)^{0.56} (A.f^2)^{-0.11} (S(1-\epsilon))^{-0.61} (\eta_c)^{-0.35} \tag{4.15b}$

สำหรับ $L' \geq 0.406$

ในสมการ 4.14, 4.15 หน่วยเป็น S.I. ทั้งสิ้น

สมการทั้งสองได้อาศัยทวนแรซิงเป็นตัวแพคกิงภายในคอลัมน์ จึงรับรองไม่ได้ว่า หากนำเอาไปใช้กับแพคกิงตัวอื่นจะได้ผลที่ดีหรือเปล่า ข้อแตกต่างระหว่างสองสมการดังกล่าว มีอยู่ และ SPAAY ET AL ได้วิจารณ์ว่าข้อแตกต่างอาจจะเกิดขึ้นจากการที่ WIDMER ใช้ทวน

แรงระหว่าง 7 - 20 ม.ม. และ INTERFACIAL TENSION ของสารเหลวที่เขาใช้เกิน 30×10^{-3} N/m โดยที่ SPAAY et al ใช้แหวนแรงดึง 10 - 35 ม.ม. และ INTERFACIAL TENSION ของสารเหลวเปลี่ยนตั้งแต่ 5 ถึง 50×10^{-3} N/m

ในการคำนวณ V_0 กลุ่มนักวิจัยทั้งสองได้อาศัยสมการ 4.3 โดยกำหนดค่าการวัด ϕ_d ในสภาวะต่าง ๆ โดย V_d , V_c เป็นที่รู้จักแล้วจาก G_c , G_c และ A_T

SPAAY, SIMONS AND TEN BRINK ได้เสนอวิธีหา d_{VS} จากผลการทดลองของเขา ดังนี้

$$\frac{1}{d_{VS}} - \frac{1}{d_0} = 6700 \left(\frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \right)^{0.95} \left(\frac{\rho_c \cdot A \cdot f}{\eta_c \cdot S} \right) \left(\frac{\eta_c^2}{\sigma \rho_c} \right)^{0.53} \left(\frac{\sigma S^2}{\Delta \rho g} \right)^{0.23} \quad (4.16)$$

$$d_0 = 1.39 \left(\frac{\sigma}{\Delta \rho g} \right)^{0.5}$$

ในสมการ 4.16 หน่วยเป็น S.I. ทั้งสิ้น

ในปี ค.ศ. 1970 POTNIS⁽³¹⁾ ได้เสนอสมการสำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพคใน

$$\text{ลักษณะ } V_c^{1/2} + V_d^{1/2} = f(a, \mu_c, \rho_c, \epsilon, \mu_d, d_T, \gamma, A_f) \quad (4.17)$$

แต่ในสมการที่ให้ไว้คงจะมีการเสนอตัวเลขบางตัวที่ผิด เพราะผู้เขียนได้พยายามใช้สมการดังกล่าวแล้วและไม่สามารถได้คำตอบที่ควรเป็น ดังจะเห็นในหน้า 400 ของเอกสารอ้างอิง

(31) บรรทัดที่ 2 ยังมีการคูณตัวเลขผิดอย่างเห็นได้ชัด จึงไม่เกิดความมั่นใจที่จะใช้สมการ 4.17 และเป็นสาเหตุที่ไม่ได้เสนอสมการทั้งหมดในงานทดลอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แพค นอกจากนี้ POTNIS ได้เสนอสมการหา $\phi_{d, f}$ ที่อ้างว่ามีความคาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 9% ดังนี้

$$\phi_{d, f} = 0.9815(\epsilon)^{0.593} \left(\frac{V_d^2 a}{g \epsilon^3} \right)^{0.297} \left(\frac{\rho_c}{\Delta \rho} \right)^{0.436} \left(\frac{A f \rho_c}{a \mu_c} \right)^{-0.137} \quad (4.18)$$

สำหรับสมการ 4.18 หน่วยเป็น ft - lb - h

4.2.2.3 ความจุสูงสุดไหลคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน

สำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน LOGSDAIL, THORNTON AND PRATT (34)

ได้เสนอสมการดังต่อไปนี้ในปี ค.ศ. 1957

$$\frac{V_o \mu_c}{\gamma} = 0.60 \left(\frac{\psi_f \mu_c^5 g_c}{\rho_c \gamma^4} \right)^{-0.24} \left(\frac{d_o \rho_c \gamma}{\mu_c} \right)^{0.90} \left(\frac{\mu_c g}{\Delta p \gamma} \right)^{1.01} \left(\frac{\Delta p}{\rho_c} \right)^{1.80} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c} \right)^{0.3}$$

(4.19 ก)

โดยที่ ψ_f คือพลังงานกลที่สูญเสียโดยแรงเสียดสีเมื่อสารเหลวทั้งสองผ่านแผ่นรูพรุน

$$\psi_f = \frac{\pi^2 (1 - s^2) (A f)^3}{2 g_c C_o^2 l}$$

(4.19 ข)

 C_o เรียกว่า ORIFICE COEFFICIENT และผู้เสนอสมการแนะนำให้ใช้ตัวเลข 0.60

ในปี ค.ศ. 1959 SMCOT, MARR and BABB (35) ได้อาศัยข้อมูลความจุสูงสุดของนักวิจัยหลายกลุ่ม และได้สรุปผลงานต่าง ๆ เหล่านี้มาเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{(V_c, f + V_d, f) \mu_c}{\gamma} = 0.527 \left(\frac{V_c}{V_d} \right)^{-0.014} \left(\frac{\Delta p}{\rho_c} \right)^{0.63} \left(\frac{\psi_f g_c \mu_c^5}{\rho_c \gamma^4} \right)^{-0.207} \left(\frac{d_o \gamma \rho_c}{\mu_c} \right)^{0.458} \left(\frac{g \mu_c}{\rho_c \gamma} \right)^{0.81} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c} \right)^{-0.20}$$

(4.20)

โดยที่ ψ_f หาได้จากสมการ 4.19 ข สมการของ SMOOT, MARR AND BABB เป็นสมการที่นิยมใช้กันมากพอสมควร ในกรณีที่เฟส C เป็นน้ำสมการ 4.20 เขียนได้ดังนี้

$$V_c, f + V_d, f = 3.2 \times 10^5 \frac{\Delta p^{0.63} d_o^{0.458} V_c^{-0.014}}{\gamma^{0.144} (g_c \psi_f)^{0.207} \mu_d^{0.20} V_d^{-0.014}}$$

(4.21)



โดยที่หน่วยเฉพาะสำหรับสมการ 4.21 เป็นหน่วย lb - ft - h

ตั้งแต่การเสนอสมการของ LOGSDAIL AND THORNTON ในปี ค.ศ. 1957 และสมการของ SMOOT, MARR AND BABB ในปี ค.ศ. 1959 ไม่ปรากฏมีสมการทั่วไปที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เช่นสมการทั้งสอง การพลังงานปรมาณูของสหรัฐอเมริกาได้ทำงานด้านความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุนมาพอสมควร ในปี ค.ศ. 1967 งานของการพลังงานปรมาณูของสหรัฐอเมริกาได้ถูกตีพิมพ์โดย McAllister, Groenier and Ryon⁽³⁶⁾ ซึ่งผู้เสนออ้างว่าสมการนี้แม่นยำกว่าสมการของ LOGSDAIL และสมการของ SMOOT แต่มีข้อหาตรงที่ว่าต้องใช้วิธี NUMERICAL ITERATION ในการคำนวณ จึงอาจจะเป็นสาเหตุที่มีการอ้างถึงสมการนี้น้อยและมีบางรายงานอ้างว่าสมการนี้สู้สมการอื่นไม่ได้ ในปี ค.ศ. 1965 นักวิจัยจากประเทศรัสเซียคือ KAGAN, AEROV, LONIK, VOLKOVA⁽³⁸⁾ ได้เสนอสมการความจุสูงสุดสำหรับคอลัมน์พัลส์แผ่นรูพรุน แต่เนื่องจากจำนวนระบบสารเหลวที่อ้างอิงรวมไปถึงจำนวน GEOMETRIC VARIABLES มีอยู่จำกัด จึงเป็นสมการที่ไม่อาจจะใช้ได้ทั่วไปในปี ค.ศ. 1974 ROUYER ET AL⁽³⁹⁾ ได้เสนอผลการทดลองความจุสูงสุดของการพลังงานปรมาณูของประเทศฝรั่งเศส แต่บทความดังกล่าวพูดถึงแต่ไม่ได้ให้สมการทั่วไป แต่ผู้เสนอบทความบอกว่าที่แล้วมาสมการความจุสูงสุดที่ได้เสนอกันมา ไม่อ้างอิงแพกเกจเจอร์ของคุณสมบัติการเปียกตัวของวัสดุภายในคอลัมน์ ซึ่งในบางกรณีการใช้แผ่นรูพรุนชนิดคุณสมบัติการเปียกตัวต่างกัน ROUYER ET AL บอกว่าสามารถทำให้อัตราการไหลผ่านภายในคอลัมน์ผิดไป 50% ก็เป็นได้ ผู้วิจัยทราบมาว่าสิ่งที่ ROUYER ET AL พูดนี้สอดคล้องกับงานอื่น ๆ ด้านคุณสมบัติการเปียกตัว แต่อิทธิพลของคุณสมบัติการเปียกตัวของวัสดุภายในคอลัมน์ยังไม่สามารถเอามาเขียนในสมการความจุสูงสุดได้ในปัจจุบันนี้ สาเหตุเพราะขาดความเข้าใจในปรากฏการณ์นี้

4.2.2.4 ความจุสูงสุดในโรเตดิงดิสก์คอนแตกเตอร์ (RDC)

โรเตดิงดิสก์คอนแตกเตอร์เป็นคอลัมน์ที่มีแผ่นโลหะเรียบติดแกนหมุน มิใช่ลักษณะเครื่องกวาดติดแกนหมุนดังเช่นคอลัมน์แบบซี่เบอล เป็นต้น ข้อมูลความจุสูงสุดสำหรับ RDC ดังกล่าวไม่ค่อยมี แต่เท่าที่ค้นพบได้แก่สมการของ LOGSDAIL, THORNTON AND PRATT⁽³⁴⁾ ที่ได้เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1957 ดังต่อไปนี้

$$\frac{\bar{V}_0^{1/3} \mu^C}{\gamma} = 0.012 \left(\frac{\mu_p}{\rho_c} \right)^{0.90} \left(\frac{g}{d_R N^2} \right) \left(\frac{d_s}{d_R} \right)^{2.3} \left(\frac{h}{d_R} \right)^{0.9} \left(\frac{d_R}{d_T} \right)^{2.6} \quad (4.22)$$

ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นสมการที่ได้มาจาก RDC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว และ GEOMETRIC VARIABLE เป็นดังนี้ $1.5 < d_T/d_R < 3.0$; $1.3 < d_T/d_S < 1.5$; $1.5 < d_T/h < 6.0$

ในปี ค.ศ. 1961 KUNG AND BECKMAN⁽⁴⁰⁾ ได้เสนอให้แก้ไขตัวเลข 0.012 ในสมการ (4.22) ดังนี้

$$\text{ให้คงไว้เป็น } 0.012 \text{ เมื่อ } \frac{d_S - d_R}{d_T} > \frac{1}{24} \quad (4.23 \text{ ก})$$

$$\text{และเป็น } 0.0225 \text{ เมื่อ } \frac{d_S - d_R}{d_T} < \frac{1}{24} \quad (4.23 \text{ ข})$$

4.2.3 เปรียบเทียบสมการและผลการทดลองหาความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แพค

4.2.3.1 คำนำ

การทดลองที่จะได้นำมาเสนอต่อไปนี้เป็นการศึกษาหาจุดความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์แพค ซึ่งได้เสนอผลไว้ในรูปที่ 2 ของภาคผนวก ก

ผลดังกล่าวสามารถมาเปรียบเทียบกับสมการในข้อที่ 4.2.2.2 ประโยชน์ที่จะได้จากการเปรียบเทียบมีอยู่ดังนี้ ข้อที่หนึ่งการเปรียบเทียบข้อมูลที่เราได้กับสมการทั่วไปสามารถบอกได้ว่าคอลัมน์ของเราให้ความจุสูงสุดที่ตรงกับการทดลองของผู้อื่นหรือเปล่า จะบอกเราได้ว่าคอลัมน์ของเราเข้ามาตรฐานหรือเปล่า ข้อที่สองหากการเปรียบเทียบตรงกันจะสามารถให้ความมั่นใจเรามากในการที่จะนำสมการทั่วไปดังกล่าวใช้ออกแบบคอลัมน์ที่ใหญ่กว่า และข้อที่สามหากการเปรียบเทียบไม่ตรงกันคงมีสาเหตุที่สามารถพิจารณาได้

4.2.3.2 การเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองกับสมการ

ในการคำนวณความจุสูงสุดโดยใช้สมการที่เสนอไว้ในข้อ 4.2.2.2 จำเป็นต้องเตรียมข้อมูลพื้นฐานให้สอดคล้องกับงานทดลองดังเสนอไว้ในภาคผนวก ข เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้เสนอไว้ในภาคผนวก ก กับวิธีของ SPAAY, SIMONS AND TEN BRINK และวิธีการของ WIDMER สามารถเสนอผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 1 (ภาคผนวก ข) ซึ่งผลการเปรียบเทียบเห็นได้ชัดว่าไม่

สอดคล้องกันอย่างมาก ความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดลองและสมการทั่วไปอาจจะเกิดได้จากหลายสาเหตุ

สาเหตุที่หนึ่งอาจจะเกิดจากการที่คอลัมน์แบบพัลส์แพคที่เราใช้ในงานวิจัยนี้ มีดจากคอลัมน์ที่ SPAAY ET AL ใช้ ซึ่ง SPAAY ET AL ได้ใช้คอลัมน์ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จนถึง 9 นิ้ว และอัตราส่วนระหว่างขนาดของแหวนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ ตั้งแต่ 0.12 จนถึง 0.31 สำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้คอลัมน์ขนาด 2 นิ้ว และอัตราส่วนดังกล่าวเป็น 0.25

ในอันดับที่ 2 พบว่า SPAAY ET AL ใช้สารเหลวที่มีความแตกต่างในความหนาแน่นระหว่าง 0.095 g/cm^3 จนถึง 0.368 g/cm^3 แต่ในกรณีของงานวิจัยนี้ใช้ระบบน้ำ - คาร์บอนเตตราคลอไรด์ มีความแตกต่างในความหนาแน่น 0.590 g/cm^3 ซึ่งสูงกว่า SPAAY ET AL ทดลอง ดังนั้นข้อนี้อาจจะ เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้คำนวณจุดความจุสูงสุดผิดพลาดมาก ดังสามารถเห็นได้ในรูปที่ 1 ดังกล่าว ถ้าคำนวณโดยวิธีการของ WIDMER จะได้ค่าคอบที่ต่ำกว่าแค่เนื่องจากผู้วิจัยไม่มีบทความเดิมของ WIDMER จึงไม่สามารถเปรียบเทียบระบบที่ WIDMER ใช้

ข้อที่นำสังเกตในรูปที่ 1 มีอยู่ว่า ถึงแม้ว่า A กับ f จะมีอิทธิพลต่างกันต่อจุดความจุสูงสุด แต่ข้อแตกต่างไม่มากนัก และสำหรับงานการออกแบบทางวิศวกรรมอาจจะสามารถใช้พารามิเตอร์ "Af" ได้ ไม่จำเป็นต้องแยก A กับ f

ฉะนั้นสรุปได้ว่าการคำนวณหาจุดความจุสูงสุดในคอลัมน์สกัดของ เหวแบบพัลส์แพคที่ใช้ระบบน้ำ-คาร์บอนเตตราคลอไรด์ ไม่สามารถใช้วิธีการของ SPAAY ET AL และ WIDMER เพราะความแตกต่างในความหนาแน่นสูงกว่าสารเหลวคู่อื่นมาก ส่วนสำหรับสารเหลวที่มีความแตกต่างในความหนาแน่นปรกติ หมายถึงระหว่าง 0.100 ถึง 0.350 ผู้วิจัยไม่สามารถยืนยันความถูกต้องของสมการทั้งสอง เพราะไม่ได้ทดลองด้วยตนเอง แต่การทดลองแบบนี้เป็นการทดลองที่ทำได้ไม่ยากและน่าทำต่อไปในอนาคต

4.2.4 เปรียบเทียบสมการและผลการทดลองหาความจุสูงสุดในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน

คอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน (PULSED PERFORATED PLATE COLUMN) ได้รับความ

นิยม เป็นอันดับหนึ่ง ว่าเป็นคอลัมน์สักร์ของ เหลวที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาก ฉะนั้นในจำพวก คอลัมน์แบบพัลส์พบว่าคอลัมน์แผ่นรูพรุนดังกล่าว เป็นคอลัมน์แบบพัลส์ที่ใช้กันมากที่สุด จึงเป็น สาเหตุที่ว่าในการคำนวณจุดความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบนี้ควรค้นหาวิธีการที่วิศวกรออกแบบ จะพึงมีความสนใจในการใช้ เมื่อมาตรวจดูสมการที่หาได้ในวารสารสากพบว่าสมการ 4.19 4.21 ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

ผู้วิจัยได้ไป เอาข้อมูลความจุสูงสุดจากคอลัมน์สักร์ของ เหลวแบบพัลส์แผ่นรูพรุนที่ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (รูปที่ 1 ภาคผนวก ค) และได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบ เทียบกับสมการของ LOGSDAIL AND THORNTON⁽³⁴⁾ และ SMOOT, MARR, AND BABE⁽³⁵⁾ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 (ภาคผนวก ค)

เมื่อศึกษาผลการ เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการทดลองกับสมการทั่วไปพบข้อ สำคัญสองข้อด้วยกัน ข้อแรกระดับความจุสูงสุดของคอลัมน์ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติต่ำกว่า ระดับที่ควรเป็นมาก ถ้าเราเชื่อว่าสมการดังกล่าวถูกต้อง ข้อที่สองได้แก่วัดสังเกตว่าสมการ ที่อ้างถึงทั้งสองไม่สอดคล้องกัน และอัตราส่วนการไหล L มีอิทธิพลที่แตกต่างกันต่อจุดความ จุสูงสุด อันสรุปได้ว่าความแม่นยำในการคำนวณจุดความจุสูงสุดไม่ดี และเท่าที่ทราบจนถึง บัดนี้ยังไม่มียสมการทั่วไปใด ๆ ที่ดีกว่า สมการทั้งสอง

อาจจะมีการอธิบายว่าเพราะเหตุใดจุดความจุสูงสุดจึงต่ำกว่าปรกติ ข้อตอบคือว่า อาจจะ มีสิ่งสกปรก เคลือบแผ่นรูพรุน เทฟลอน ทำให้ความค่อต้านการไหลมีมากขึ้น แต่ในข้อนี้ไม่สามารถ ยืนยันได้ แต่ภายหลังทราบว่าเมื่อ เปลี่ยนแผ่นรูพรุนจาก เทฟลอนมาเป็น เทลลูไรด์สังกะสี และทราบ ว่าจุดความจุสูงสุดมีแนวโน้มจะสูงขึ้น

4.3 การกำหนดความสูงของคอลัมน์

4.3.1 ค่าน้ำ

การกำหนดความสูงของคอลัมน์สักร์ของ เหลว เป็นประ เเด็นที่สำคัญอันดับหนึ่งใน เรื่อง การคำนวณออกแบบคอลัมน์ แนวความคิดในอดีตได้สมมุติการไหลของ เฟสทั้งสองในคอลัมน์ เป็น การไหลแบบถูกสูบสำหรับทั้งสอง เฟส โดยที่คงจะมี เหตุผลสองอย่าง คือหนึ่งคงไม่คิดว่าการที่ สาร เหลวไม่ไหลแบบถูกสูบจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่าย เทมวลสารจะ เปลี่ยนไปมากนัก สองใน

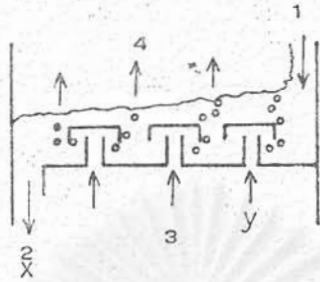
อดีตวิศวกร เคมียังไม่ได้พัฒนาตึกตาคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการไหลแบบคิส เบอร์ชัน ซึ่งเป็นผลงานของ P. V. DANCKWERTS⁽⁴²⁾ และ T. MIYAUCHI⁽⁴³⁾ ในปี ค.ศ. 1953 ดังนั้นแนวความคิดในอดีตจึงได้ยึดตึกตาคณิตศาสตร์ที่ใช้การไหลแบบลูกสูบใน เฟสทั้งสองมา เป็นฐานในการออกแบบ ซึ่งมีผลให้มีการใช้วิธีคำนวณสองวิธีหลัก คือวิธีของ HEIGHT EQUIVALENT TO A THEORETICAL PLATE (HETP) และวิธี TRANSFER UNIT CONCEPT และโดยเฉพาะวิธีคำนวณความสูงของคอลัมน์แบบที่สองได้รับความนิยม เป็นอย่างมาก

ต่อมาภายหลังการเผยแพร่ผลงานของ P. V. DANCKWERTS ซึ่งเสนอวิธีอธิบายการไหลของ เฟสหนึ่งในท่อยาวที่มีลักษณะการไหลระหว่างลักษณะการไหลทรงลูกสูบ กับลักษณะการไหลทรงถึงกวน ทำให้มีการเสนอตึกตาคณิตศาสตร์ใหม่สำหรับคอลัมน์สัปดาห์ของ เหลว เรียกว่า ตึกตาคณิตศาสตร์แบบตีพิวชัน⁽⁴⁴⁾ ซึ่งปัจจุบันเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง ตีพิวชันโมเดลนี้สามารถเขียนในลักษณะต่าง ๆ กันซึ่งผิดเพี้ยนกันตรงข้อปลีกย่อย แต่หลักการของโมเดลยังคงเหมือนเดิม จากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ตีพิวชันโมเดลดังกล่าวได้รับความนิยมมากทั่วโลก และเป็นที่เข้าใจว่าเป็นวิธีที่ช่วยคำนวณความสูงของคอลัมน์ที่ดีที่สุดเวลานี้ จึงได้พยายามรวบรวมความรู้ทั้งหมดในเรื่องนี้ เพื่อวิเคราะห์และ เสนอแนวในการใช้กรรมวิธีดังกล่าวมาออกแบบคอลัมน์ แต่ก่อนจะเสนอ เรื่องของตีพิวชันโมเดลจะได้วิจารณ์วิธีทั้งสองที่เรียกว่า HETP METHOD กับ TRANSFER UNIT CONCEPT เพื่อเสริมความเข้าใจ

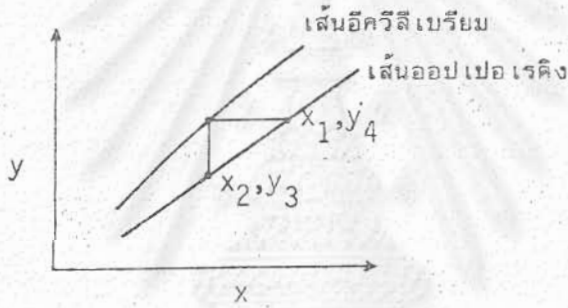
4.3.2 หลักการของ H.E.T.P.

วิศวกร เคมีปรกติจะคุ้นเคยกับปฏิบัติการ เฉพาะหน่วยที่ เรียกว่า การถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซกับสารเหลวที่เป็นน้ำ ซึ่งคอลัมน์ประเภทนี้บางทีจะมีแผ่นบาเบิลคัพ (BUBBLE CAP PLATE) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 สารเหลวจะเข้ามาจุดที่ 1 และออกจุดที่ 2 ก๊าซจะเข้าจุดที่ 3 และผ่านสารเหลวที่เป็นน้ำและออกจุดที่ 4 ถ้าหากการถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซกับน้ำ เป็นการถ่ายเทที่รวดเร็ว เราจะพบว่าแผ่นดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแผ่นอีควิลีเบรียม (EQUILIBRIUM PLATE) หมายถึงว่าในกรณีนี้เราได้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 4.6 ดังนั้นพูดได้ว่า อีควิลีเบรียมสแตจตามรูปที่ 4.6 เป็นโมเดลของสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในแผ่นบาเบิลคัพ ทั้งนี้แทนที่จะมีแผ่นบาเบิลคัพ เรามีแทคคอลัมน์ เช่นในรูปที่ 4.7 ในกรณีนี้จุด 1, 2, 3, 4 สอดคล้อง

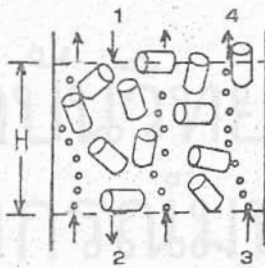
ตามรูป 4.6 แสดงว่าเกิดสภาพอีควิลีเบรียมสแตจและเราเรียก H เป็น HEIGHT



รูปที่ 4.5 แผ่นมาเบิลคัพ (Bubble cap plate)



รูปที่ 4.6 แสดงถึงอิกควิลีเบรียมสแตจ (Equilibrium Stage)



รูปที่ 4.7 คอลัมน์แบบแพค

EQUIVALENT TO A THEORETICAL PLATE (H.E.T.P.) ดังนั้นหากทราบค่าสำหรับ
 คอลัมน์แบบหนึ่ง H.E.T.P. เป็นเท่านี้สำหรับขบวนการนั้น ๆ เสร็จแล้วเราสามารถคูณ
 H.E.T.P. กับจำนวนอีลิวชันเบสิคสเตจ ทำให้ได้ความสูงของคอลัมน์ตามที่เรากำลัง

ปัญหาที่เกิดขึ้นมีว่า H.E.T.P. ของคอลัมน์หนึ่งเปลี่ยนแปลงกับปัจจัยหลายตัว
 เช่นขบวนการที่ใช้ซึ่งมีอิทธิพลต่อ H.E.T.P. หรือช่วงความเข้มข้นของมวลสาร

สรุปว่าเราไม่รู้อีกว่าปัจจัยใดสำคัญ จึงยากลำบากที่จะใช้วิธี H.E.T.P. ดังกล่าว
 ในการคำนวณความสูงของคอลัมน์ ผู้วิจัยเองได้เคยอ่านว่าในอดีตได้มีการใช้ตัวเลขของ H.E.T.P.
 ไปใช้คำนวณคอลัมน์สกัดของ เหวลและปรากฏว่าคอลัมน์สั้นเกินไป แต่ถึงแม้วิศวกรออกแบบคอลัมน์
 มีความระแวงมากต่อทฤษฎีของ H.E.T.P. หลักการดังกล่าวยังคงมีใช้อยู่จนถึงทุกวันนี้⁽⁴⁵⁾
 แต่ผู้วิจัยเองมีความเห็นว่าการใช้วิธีคำนวณของ H.E.T.P. อาจจะใช้ได้ในบางกรณีพิเศษ เช่น
 เราทำการสกัดของ เหวลตามขบวนการ ก โดยใช้คอลัมน์แบบพัลส์แพค เมื่อเราจะออกแบบสร้างคอล
 ลัมน์ซึ่งยาวขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นสำหรับขบวนการ เดียวกันและอัตราการไหลคือเนื้อที่
 สกัดที่เท่ากันเราอาจจะพูดได้ว่าตัวเลข H.E.T.P. เท่ากัน แต่สำหรับคอลัมน์แบบ RDC เราจะ
 ไม่สามารถพูดเช่นนี้ได้ ดังนั้นการใช้วิธี H.E.T.P. บางทีก็ใช้คำนวณความสูงของคอลัมน์ได้
 บางทีก็ไม่ได้ สาเหตุของสภาพไม่แน่นอนอย่างนี้ เป็นเพราะยังไม่มีผู้ใดทำการเปรียบเทียบระหว่าง
 วิธี H.E.T.P. นี้กับตุ๊กตาคณิตศาสตร์ซึ่งอธิบายปรากฏการณ์การถ่าย เทมวลสารในคอลัมน์สกัดของ
 เหวล

กรรมวิธี H.E.T.P. ถือได้ว่า เป็นตุ๊กตาคณิตศาสตร์ของการสกัดของ เหวลในคอลัมน์
 ได้ ข้อดีคือความสะดวกในการใช้ ข้อเสียคือวิธี H.E.T.P. เป็นตุ๊กตาคณิตศาสตร์ของการถ่าย
 เทมวลสารในคอลัมน์ที่มีลักษณะรวบรวมเกินไป จึงไม่รู้ว่าเมื่อไรแน่น เมื่อไรไม่แน่น ตุ๊กตาคณิตศาสตร์
 อื่น ๆ ซึ่งอธิบายการถ่าย เทมวลสารในคอลัมน์ดีกว่าวิธี H.E.T.P. นี้ เช่นคิฟวชันโม เดลคังแสดง
 ไว้ในภาคผนวก สำหรับคิฟวชันโม เดลนี้วิศวกรผู้ออกแบบคอลัมน์สกัดของ เหวลยอมรับอย่างกว้างขวาง
 ว่าเป็นโม เดลที่อธิบายการถ่าย เทมวลสารในคอลัมน์ได้ดีมาก โกลด์เคียงความ เป็นจริงมาก เช่น
 โม เดลคิฟวชันสามารถแสดงถึงความเข้มข้นของทั้งสอง เฟสตามความยาวของคอลัมน์ ซึ่งกรรมวิธี
 H.E.T.P. ไม่มีความละเอียดเท่านี้ ผู้วิจัยได้ทำตามตัวเองจริงไหม เพียงใ้คิดว่า H.E.T.P. ไม่เท่ากัน
 ตลอดความสูงของคอลัมน์ จึงได้เลือกศึกษา H.E.T.P. โดยสมมุติคอลัมน์ที่มีลักษณะการถ่าย เท
 มวลสารแบบคิฟวชันโม เดล ซึ่งถือกันว่าโกลด์เคียงสภาพของคอลัมน์ทั่วไปมากที่สุด

ขั้นตอนในการศึกษาทางทฤษฎีมีอยู่แบบนี้

- (1) กำหนดพารามิเตอร์ของดีฟิวชันโมเลกุลจำนวน 4 ตัว ซึ่งจะกำหนดการถ่ายเทมวลสารครบสมบูรณ์ภายในคอลัมน์ โดยเฉพาะว่าความเข้มข้นของมวลสารภายในคอลัมน์เป็นเท่าไรในระดับของคอลัมน์ต่าง ๆ และพร้อมกันนี้จะต้องกำหนดอัตราการไหลของเฟสเข้าออกของคอลัมน์ และความสูงของคอลัมน์
- (2) คำนวณความเข้มข้นของมวลสารในระดับต่าง ๆ ของคอลัมน์ และโดยเฉพาะความเข้มข้นทางเข้าและทางออกของทั้งสองเฟส
- (3) จัดทำกราฟซึ่งประกอบด้วย เส้นอีควิวลิเบรียมและเส้นออฟเพอ เรติง และคำนวณหา H.E.T.P. ซึ่งแปล เป็นความสูง เปรียบ เทียบ เพลตฮีโอ เรติกัล
- (4) เมื่อสามารถคำนวณ H.E.T.P. แล้ว สามารถศึกษาอิทธิพลของความสูงของคอลัมน์ และของอัตราคิสเปอร์ชันภายในคอลัมน์

4.3.2.1 การทดลองหา H.E.T.P. โดยโมเลกุลดีฟิวชัน

ในการคำนวณหา H.E.T.P. โดยโมเลกุลดีฟิวชันดังได้อธิบายมา ได้อาศัยข้อมูลซึ่งได้มาจากสภาพที่ใกล้เคียงความจริง ชุดข้อมูลหนึ่งได้แก่การถ่ายเทมวลสาร I_2 จากน้ำไปยัง CCl_4 ในคอลัมน์แบบแผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม ในสภาพการถ่ายเทมวลสารดังต่อไปนี้คือ

$$L = 1.0 \text{ เมตร} \quad Pe_x = \frac{U_x L}{D_x} = 5.0 \quad Pe_y = \frac{U_y L}{D_y} = 1.5, \quad N_{oy} = FN_{ox}$$

$$N_{ox} = \frac{K_{ox} \cdot a \cdot L}{G_x} = 1.0 \quad m = 90 \quad C_{x, in} = 0.0 \quad C_{y, in} = 200.0 \text{ mg/l}$$

$$F = m \frac{G_x}{G_y} = 2.25 \quad G_x = 1.0 \text{ ลิตร } CCl_4 \text{ ต่อชั่วโมง} \quad G_y = 40.0 \text{ ลิตร}$$

CCl_4 ต่อชั่วโมง

ชุดข้อมูลที่สองได้แก่การถ่ายเทมวลสารของเรียมไนเตรด (THORIUM NITRATE) จากกรดไนตริก (4N) ไปยังสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยไตรบิวทิลฟอสเฟต (TRIBUTYL PHOSPHATE) ผสมอยู่ในน้ำมันก๊าด (KEROSENE) ในสภาพการถ่ายเทมวลสารดังต่อไปนี้

$$L = 2.0 \text{ เมตร} \quad Pe_x = \frac{u_x L}{D_x} = 10.0 \quad Pe_y = \frac{u_y L}{D_y} = 3.0$$

$$N_{ox} = 1.0 \quad N_{oy} = FN_{ox} \quad m = 2.803 \quad C_{x, in} = 0.0$$

$$C_{y, in} = 5.35 \text{ gm/l} \quad F = m \frac{G_x}{G_y} = 1.4015 \quad G_x = 20 \text{ ลิตรน้ำมันก๊าด/ชั่วโมง}$$

$$G_y = 40.0 \text{ ลิตรกรดไนตริก/ชั่วโมง}$$

ในสองตัวอย่างดังกล่าว D_x , D_y , $K_{ox.a}$, F เป็นตัวกำหนดสภาพการถ่ายเทมวลสารภายในคอลัมน์ อันหมายความว่าหากเรารู้จักปารามิเตอร์ทั้ง 4 ซึ่งเป็นปารามิเตอร์ของไมเซลล์ทิวชันที่เราเชื่อว่าใกล้เคียงสภาพการถ่ายเทมวลสารที่เป็นจริงในคอลัมน์ เราสามารถทำนายได้ว่าเมื่อเราขยาย L เป็น 2 เมตร 5 เมตร หรือ 10 เมตร เราจะยังสามารถใช้ไมเซลล์ดังกล่าวคำนวณสภาพการถ่ายเทมวลสารภายในคอลัมน์ และสามารถคำนวณ H.E.T.P. ด้วย

เมื่อได้นำชุดข้อมูลทั้งสองมาใส่ไมเซลล์และเปลี่ยนแปลงความสูงของคอลัมน์ แต่โดยรักษาสภาพภายในคอลัมน์อย่างเดิม เราย่อมได้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารที่ดีขึ้นซึ่งเรื่องนี้เป็นธรรมดา แต่สิ่งที่เราต้องการศึกษาคือความเปลี่ยนแปลงของ H.E.T.P. และผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ (ตารางรูปที่ 4.1) โดยวิธีการได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

4.3.2.2 ผลสรุป

เมื่อทำการศึกษา H.E.T.P. จุดประสงค์เดิมมีไว้เพื่อหาอุ้งทางที่จะใช้หลักการของ H.E.T.P. ในการคำนวณความสูงของคอลัมน์ จุดประสงค์เดิมมีอยู่อย่างนี้ คือสมมุติว่าเรามีคอลัมน์ชนิดหนึ่ง เช่นคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทูน ดังรายละเอียดต่าง ๆ เช่นยาว 1 เมตร เทอร์บิวเลตในสองเฟสสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร สัมประสิทธิ์การแจกแจงมวลสารที่เป็นเส้นตรง ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำเอาไปใช้กับไมเซลล์ทิวชันเพื่อได้มาซึ่งลักษณะการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ อันจะนำไปสู่ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร เช่น 64.2% และ H.E.T.P. เช่น 1.11 เมตร ซึ่งเท่ากับจำนวนแผ่นอีโอเรติคัลจำนวน 0.901 แนวความคิดคือไปคือบอกว่าหากเราจะขยายความสูงเพื่อได้มาซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารที่สูงขึ้น เช่น 99.8% จากเส้นออฟเปอร์เรติคัลและเส้นอีควิวลิเบรียม (ซึ่งในกรณีนี้เราสมมุติว่าตรงเพื่อเป็นตัวอย่างที่ง่ายที่สุด) เราจะพบว่าจำนวนแผ่นอีโอเรติคัลเพิ่มจาก 0.901 เป็น 6.849 จากนั้นไปเพื่อเป็นการคำนวณความสูงอันแท้จริงของคอลัมน์ เราอาจจะตั้งข้อสมมุติว่า H.E.T.P. คงจะเหมือนกันในเมื่อสภาพทุกอย่างในคอลัมน์ไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้นความสูงของคอลัมน์ดังนั้นเราอาจจะบอกได้ว่าในเมื่อ H.E.T.P. คำนวณไว้ 1.11 เมตร

ระบบ $I_2 - CCl_4 - H_2O$ $x = CCl_4$ (รูปหยด)							ระบบ THORIUM NITRIATE - NITRIC ACID - TBP, KEROSENE $x = NITRIC ACID$ (คอนตินิวอัส)						
ความสูง ของ คอลัมน์ L (ม)	Pe_x	Pe_y	N_{ox}	N_{oy}	ประสิทธิภาพ ถ่ายเท มวลสาร	HETP (ม)	ความสูง ของ คอลัมน์ L	Pe_x	Pe_y	N_{ox}	N_{oy}	ประสิทธิภาพ ถ่ายเท มวลสาร	HETP (ม)
1	5.0	1.5	1.0	2.25	0.642	1.11	-	-	-	-	-	-	-
2	10.0	3.0	2.0	4.50	0.814	1.24	2	10.0	3.0	2.0	2.80	0.665	1.46
3	15.0	4.5	3.0	6.75	0.897	1.34	3	15.0	4.5	3.0	4.20	0.761	1.55
4	20.0	6.0	4.0	9.00	0.942	1.38	4	20.0	6.0	4.0	5.61	0.823	1.57
5	25.0	7.5	5.0	11.25	0.967	1.39	5	25.0	7.5	5.0	7.01	0.865	1.61
6	30.0	9.0	6.0	13.50	0.981	1.42	6	30.0	9.0	6.0	8.40	0.896	1.62
7	35.0	10.5	7.0	15.75	0.989	1.43	7	35.0	10.5	7.0	9.81	0.918	1.63
8	40.0	12.0	8.0	18.00	0.993	1.43	8	40.0	12.0	8.0	11.21	0.935	1.64



9	45.0	13.5	9.0	20.25	0.996	1.45	9	45.0	13.5	9.0	12.61	0.948	1.64
10	50.0	15.0	10.0	22.50	0.998	1.46	10	50.0	15.0	10.0	14.02	0.958	1.66

$\frac{u_x}{D_x} = 5.0 \quad \frac{u_y}{D_y} = 1.5 \quad \frac{K_{ox} \cdot a}{G_x} = 1.0$ $F = m \frac{G_x}{G_y} = 2.25$ $N_{ox} = \frac{K_{ox} \cdot a \cdot L}{G_x} \quad N_{oy} = FN_{ox}$	$\frac{u_x}{D_x} = 5.0 \quad \frac{u_y}{D_y} = 1.5 \quad \frac{K_{ox} \cdot a}{G_x} = 1.0$ $F = m \frac{G_x}{G_y} = 1.4015$ $N_{ox} = \frac{K_{ox} \cdot a \cdot L}{G_x} \quad N_{oy} = FN_{ox}$
--	--

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และจำนวนแผ่นฮีโอเรติคัลจะต้องเป็น 6.849 ผลคูณน่าจะเป็นความสูงที่หึ่งประสงค์ซึ่งได้ 7.60 เมตร แต่ทั้งนี้ เมื่อเราใช้โมเดลคิวชันซึ่งถือกันว่าใกล้เคียงความเป็นจริงในคอลัมน์มากที่สุด และค่อย ๆ ขยายความยาวของคอลัมน์ดังกล่าวอย่างแรกที่แสดงให้ดู พบว่าหากเราต้องการประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารถึง 99.8% จะต้องใช้ความยาวถึง 10 เมตร อันแสดงให้เห็นว่าการถือเอา H.E.T.P. คงที่ทำให้เราคำนวณความสูงของคอลัมน์น้อยไป 24% สำหรับตัวอย่างที่สองก็เช่นเดียวกัน คือถือเอา H.E.T.P. ไม่คงที่

ดังนั้นถึงแม้ว่าเราได้ใช้ตุ๊กตาคณิตศาสตร์และใช้สัมประสิทธิ์การแจกแจงมวลสารที่เป็นเส้นตรงเราพบว่า H.E.T.P. ยังไม่คงที่ แสดงว่าในกรณีระบบจริงที่สลับซับซ้อนกว่าตุ๊กตาคณิตศาสตร์เราคงไม่สามารถสมมุติว่า H.E.T.P. คงที่ได้ ดังนั้นพอจะสรุปได้ว่าแนวทาง H.E.T.P. มีความผิดพลาดจากความเป็นจริง โดยอ้างอิงงานวิเคราะห์นี้ และโดยอ้างอิงประสบการณ์ของผู้ออกแบบคอลัมน์ในอดีตและพบปัญหาว่า หากจะใช้ระบบ H.E.T.P. คงต้องใช้กับระบบที่รู้จักกันดีแล้ว ซึ่งประสบการณ์น่าจะเป็นผู้กำหนดความเหมาะสมในการใช้ H.E.T.P. แต่แนวทาง H.E.T.P. ไม่สามารถเป็นแนวทางสากลในการอธิบายปรากฏการณ์ในคอลัมน์

4.3.3 หลักการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร (HTU x NTU APPROACH)

หลักการของ H.E.T.P. จะพบว่า เป็นแนวทางที่ไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์ในคอลัมน์ จึงเป็นแนวที่ไม่สามารถเป็นแนวทางสากล หรืออาจจะถือได้เป็นตุ๊กตาคณิตศาสตร์ที่ห่างจากข้อเท็จจริง แนวทางอีกแนวหนึ่งคือหลักการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร (HTU x NTU APPROACH) ซึ่งเป็นตุ๊กตาคณิตศาสตร์ที่ถือว่าการไหลภายในคอลัมน์สักระยะของเหลว เป็นการไหลแบบทรงกระบอก เป็นตุ๊กตาคณิตศาสตร์ที่น่าจะดีกว่าแนวทางของ H.E.T.P. เพราะยังมีการอธิบายว่า เฟสทั้งสองผ่านซึ่งกันและกันอย่างไร

หลักการในการเขียนสมการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในสาขาวิศวกรรมเคมี และระบบหน่วยการถ่ายเทมวลสารใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่ออธิบายการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์สักระยะของเหลว ทั้ง ๆ ที่การไหลของเฟสทั้งสองจะไหลเป็นทรงกระบอกหรือไม่ไหลเป็นทรงกระบอกก็ตาม ทั้งนี้เหตุผลมีอยู่ว่าหลักการของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร เข้าใจ

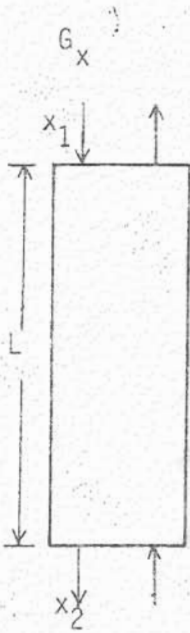
ง่าย และเหมาะสมมากที่สุดจะขยายการใช้หน่วยการถ่าย เทมวลสาร ไปสู่คอลัมน์ซึ่งถือว่ามี การผสมย้อนกลับ ตามปกติแล้วถ้ามีการผสมย้อนกลับ เราจะใช้โม เดลคิฟวชัน และเราสามารถดัดแปลงระบบหน่วยการถ่าย เทมวลสารให้มาใช้กับโม เดลคิฟวชันได้อย่างดี

สมการของหน่วยการถ่าย เทมวลสาร เขียนได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 4.8)

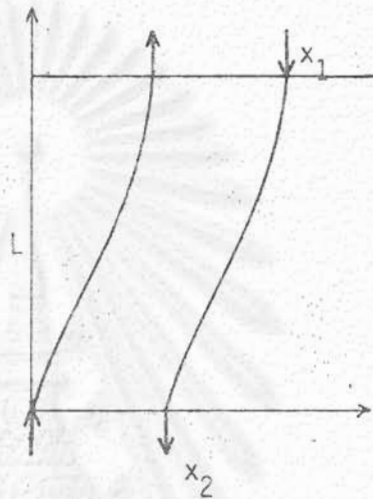
$$L = (NTU)_{OX} \cdot (HTU)_{OX} = \left(\int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{\text{mean}} dx}{(1-x)(x-x^*)} \right) \left(\frac{G_x}{K_{OX} \cdot a \cdot (1-x)_{\text{mean}}} \right) \quad (4.24)$$

โดยที่ $(NTU)_{OX}$ เรียกว่าจำนวนหน่วยถ่าย เทมวลสาร และขึ้นอยู่กับระบบการถ่าย เทมวลสาร และประสิทธิภาพที่ต้องการ และไม่ได้เกี่ยวข้องกับลักษณะคอลัมน์สกัดของ เหวลที่ใช้ ส่วน $(HTU)_{OX}$ เรียกว่าความสูงของหน่วยถ่าย เทมวลสาร และขึ้นอยู่กับลักษณะคอลัมน์สกัดของ เหวลเอง เช่น คอลัมน์ที่มีประสิทธิภาพในการถ่าย เทมวลสารยิ่งมาก ความสูงของหน่วยดังกล่าวยิ่งน้อย ส่วน $(1-x)_{\text{mean}}$ ไม่ได้ระบุชี้ชัดว่าเป็นค่าเฉลี่ยแบบใด แต่ตามปกติเราจะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างจุดหนึ่งกับจุดสองหรือค่าเฉลี่ยล็อกมัน ซึ่งค่าเฉลี่ยที่สองนี้ถือว่าดีกว่า $K_{OX} \cdot a$ คือผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารกับ เนื้อที่การถ่าย เทมวลสารทำให้ $(HTU)_{OX}$ เป็นตัวเลขที่กำหนดประสิทธิภาพของการถ่าย เทมวลสารใน เครื่อง

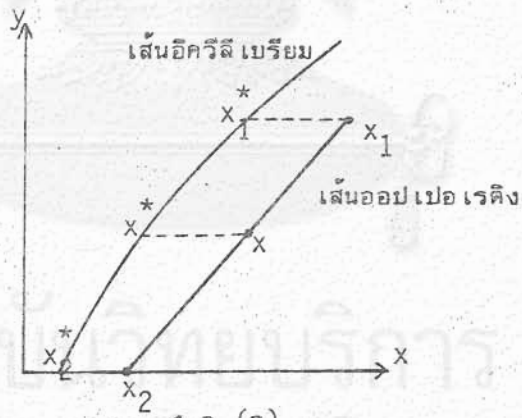
สมการที่เสนอไว้ เป็นสมการที่ถูกต้องทุกประการในกรณีคอลัมน์สกัดของ เหวล เป็นคอลัมน์ที่การไหลของ เฟสทั้งสอง เป็นทรงกระบอก ซึ่งสภาพการไหลทรงกระบอกอันแท้จริงไม่มีในคอลัมน์สกัดของ เหวลจริง เช่นในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรุกรุนการ เขย่าทำให้เกิดการผสมย้อนกลับใน เฟสทั้งสอง ทำให้มีการลดความ เข้มข้นของมวลสารทันทีที่ เฟสทั้งสอง เข้าไปในคอลัมน์ (CONCENTRATION JUMP) คอลัมน์ที่ถือว่าทำงานในสภาพใกล้เคียงการไหลทรงกระบอกอาจจะได้แก่คอลัมน์แบบแพคธรรมดา แต่อย่างไรก็ตามจะมีการผสมย้อนกลับหรือไม่ วิศวกรผู้คำนวณความสูงของคอลัมน์ยังคงยึดหลักการของหน่วยการถ่าย เทมวลสารโดยถือว่า เมื่อมีการผสมย้อนกลับซึ่งทำให้ประสิทธิภาพลดลง การบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกได้ใน $(HTU)_{OX}$ จริงที่ค่าเท่ากับ $(HTU)_{OX}$ สำหรับการไหลทรงกระบอกบวกกับ $(HTU)_{OX}$ ที่เกิดขึ้นโดยสภาพการผสมย้อนกลับใน เฟสทั้งสอง ดังนั้นจะพบว่าข้อมูล เรื่องประสิทธิภาพของคอลัมน์ทั่วไปจะถูกบันทึกโดย $(HTU)_{OX}$ ส่วน $(NTU)_{OX}$ นั้นประเภทและประสิทธิภาพของคอลัมน์โยได้ เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับ



4.8 (1)



4.8 (2)



4.8 (3)

รูปที่ 4.8 กราฟอธิบายหลักการของหน่วยการถ่าย เทมวลสาร

4.3.4 หลักการของตีฟวชันโมเดล

หลักการของโมเดลตีฟวชันได้เสนอไว้ในภาคผนวก จ และสรุปสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{Pe_x} \frac{d^2x}{dZ^2} + \frac{dx}{dZ} + R_x (y-y^*) = 0 \quad (4.25)$$

$$\frac{1}{Pe_y} \frac{d^2y}{dZ^2} - \frac{dy}{dZ} - R_x \frac{G_x}{G_y} (y-y^*) = 0 \quad (4.26)$$

$$Z = 0 \quad \frac{dx(0)}{dZ} = 0 \quad (4.27ก)$$

$$Y_{in} = Y(0)^+ - \frac{1}{Pe_y} \frac{dy(0)^+}{dZ} \quad (4.27ข)$$

$$Z = 1 \quad \frac{dy(1)}{dZ} = 0 \quad (4.27ค)$$

$$X_{in} = X(1)^- + \frac{1}{Pe_x} \frac{dx(1)^-}{dZ} \quad (4.27ง)$$

$$R_x = \frac{Koy \cdot a \cdot L}{v_x \cdot \phi}$$

$$R_y = \frac{Koy \cdot a \cdot L}{v_x \cdot \phi} \frac{G_x}{G_y} = \frac{Koy \cdot a \cdot L}{v_y(1-\phi)}$$

$$Y^* = \frac{x}{m'(x)}$$

ในการคำนวณความเข้มข้นของเฟสทั้งสองตลอดความยาวของคอลัมน์ และโดยเฉพาะตรงทางออก เราจะต้องทราบพารามิเตอร์สามตัว คือ Pe_x , Pe_y , R_x และ G_x , G_y อัตราการไหลของทั้งสองเฟส และข้อมูลเรื่องระบบที่ใช้และโดยเฉพาะค่าของสัมประสิทธิ์การแยกตัวระหว่างสองเฟส $m'(x)$ และข้อมูลทางกายภาพของคอลัมน์ เช่น ความยาว L

การคำนวณสมการทั้งสองทำได้สองวิธี หนึ่ง คือ วิธีการอานาลิติคัล ซึ่งใช้ได้เฉพาะ เมื่อสัมประสิทธิ์ m' คงที่ หมายถึงว่า ไม่ได้เป็นฟังก์ชันของความเข้มข้น X วิธีที่สอง คือ การคำนวณสมการโดยวิธีนิวเมอริคัล ซึ่งต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

ในอดีตจนถึงปัจจุบันนี้ การคำนวณความสูงของคอลัมน์ยึดหลักการผสมผสานระหว่างแนววิธี HETP วิธีหน่วยถ่ายเทมวลสาร และวิธีโมเดลพิวซัน ดังจะเสนอโดยสังเขปในหัวข้อต่อไป

4.3.4.1 ข้อมูลเรื่องประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารของคอลัมน์สกัดของเหลวโดยสังเขป: ในราวปี 1940 ถึง 1955 การบันทึกข้อมูลด้านการถ่ายเทมวลสารยังอาศัยการบันทึกเป็น $H.T.U._0$ ดังจะเห็นในคู่มือวิศวกรเคมีของ เฮอร์ (25) สำหรับคอลัมน์สามประเภท คือ คอลัมน์แบบสเปรย์ คอลัมน์แบบแพค และคอลัมน์แบบแผ่นรูปทรงระนาบ ภายหลังจากปี ค.ศ. 1955 จึงได้มีการบันทึกประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ในลักษณะที่คำนึงถึงการผสมย้อนกลับ (BACKMIXING) ความจำเป็นในการที่คำนึงถึงการผสมย้อนกลับดังกล่าว คงจะสืบเนื่องจากการพัฒนาคอลัมน์สกัดของเหลวที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น คอลัมน์สกัดของเหลวที่เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารโดยเพิ่มพลังงานกลเข้าไป ซึ่งในคอลัมน์เหล่านี้อันได้แก่ คอลัมน์แบบพัลส์แพค คอลัมน์แบบโรตารีคิงดิสก์คอนแทกเตอร์ และคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงปรากฏว่า พลังงานกลทำให้หยดเล็กลงซึ่งเป็นการเพิ่มเนื้อที่การถ่ายเทมวลสาร แต่ในเวลาเดียวกันทำให้การผสมกันยิ่งมากขึ้น เป็นเหตุที่ไม่สามารถถือการไหลของเฟสทั้งสองเป็นแบบตรงลูกสูบต่อไปได้อีก เพราะการถือแบบแค่ง่อนจะทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นไปในการคำนวณความสูงของคอลัมน์ แต่ทั้งนี้ถึงแม้ว่าจะคำนึงถึงการผสมย้อนกลับ ผู้ค้นคว้าในเรื่องนี้ยังคงบันทึกข้อมูลในรูปของโมเดลทั้งสามที่ได้กล่าวถึง คือ H.E.T.P วิธีหน่วยถ่ายเทมวลสาร และวิธีโมเดลพิวซัน

สำหรับคอลัมน์ที่ได้เคยเอ่ยถึงในบทแรก ๆ คือ คอลัมน์แบบพัลส์แพค แบบโรตารีคิงดิสก์แบบพัลส์แผ่นรูปทรง จะขอรวบรวมข้อมูลโดยสังเขปเพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณแนวหนึ่ง ในข้อมูลเหล่านี้จะพบว่าข้อมูลแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ ข้อมูลด้านประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารจริง ๆ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูป $H.T.U._0$ หรือข้อมูลที่อยู่ในรูปของการผสมย้อนกลับ คือ ในรูปของเบอร์เพเคล็ต (PECLET NUMBER) แต่ข้อมูลในรูป $H.T.U._0$ ยี่อู่ข้างแต่ไม่มากนัก

1) ข้อมูลการผสมย้อนกลับของคอลัมน์แบบพัลส์แพค

ในบทความของ SPAAY ET AL⁽¹¹⁾ ซึ่งตีพิมพ์ปี ค.ศ. 1971 มีการเสนอข้อมูลการผสมย้อนกลับในเฟสหลัก ดังนี้

$$E_c \cdot m^2/s = 1.2(\phi_1 a_i f d_p + \phi_2 B V_c d_p) \quad (4.28)$$

$$a_i = A/\epsilon, m \quad \phi_1 \text{ ดูได้ในรูปที่ 4.10}$$

$$d_p = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของแพคคิง}, m$$

$$B = 2.51 \text{ เมื่อ } d_p = 12 \text{ mm}; B = 1.31 \text{ เมื่อ } d_p = 25 \text{ mm}$$

$$V_c = \text{ความเร็วซูเปอร์ฟิเชิล}, m/s \quad \phi_2 \text{ ดูได้ในรูป 4.11}$$

$$E_d, m^2/s = 6 \times 10^{-4} \epsilon \phi \text{ สำหรับแหวนแรชชิงขนาด 12 มม} \quad (4.29ก)$$

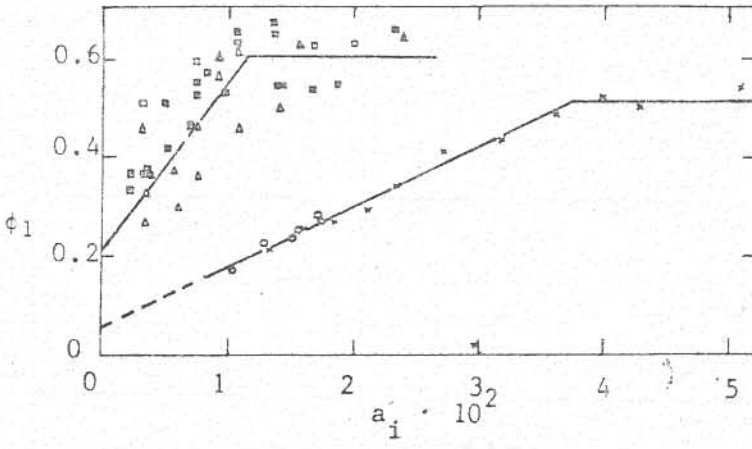
$$= 10 \times 10^{-4} \epsilon \phi \text{ สำหรับแหวนแรชชิงขนาด 25 มม} \quad (4.29ข)$$

โดยที่ ϕ คือ เปอร์เซ็นต์ของคิสเปอร์สเฟสที่อยู่ในคอลัมน์ และ ϵ คือ โปรอริติซีของเบค ซึ่ง E_d นั้นสามารถดูได้จากรูป 4.12

ในบทความของ SPAAY ET AL ดังกล่าว ข้อมูลสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารยังไม่มากและเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ จึงไม่ได้บันทึกลงในหนังสือของ HANSON⁽²⁵⁾ มีการบันทึกข้อมูลที่ตีพิมพ์เมื่อ ปี ค.ศ. 1963 ดังแสดงไว้ในรูป 4.13 และ 4.14 สำหรับ Pe ในสองเฟส ในเอกสารเล่มนี้ไม่มีข้อมูลเรื่องสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารเลย

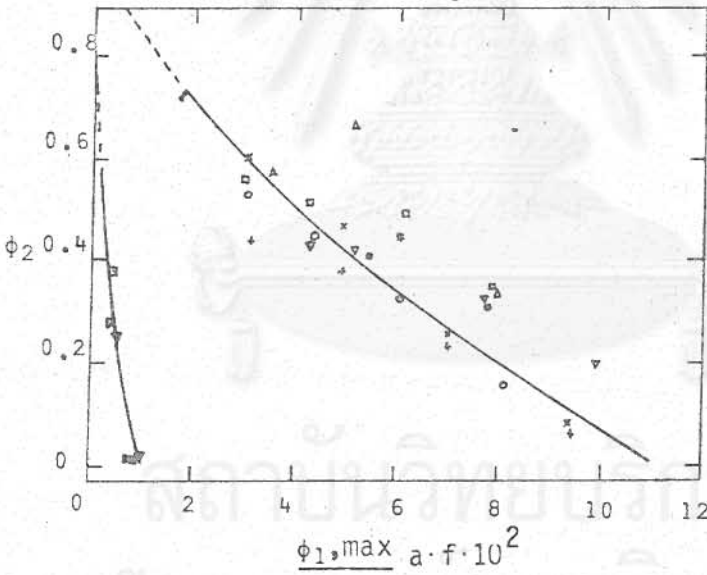
2) ข้อมูลการผสมย้อนกลับของคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทูน

ข้อมูลสำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทูนที่มีชื่อมาก ได้แก่ งานของ MIYAUCHI AND OYA⁽²⁷⁾ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และ 4.5 เป็นข้อมูล E_c กับ E_d และเช่นเดียวกันไม่ปรากฏมีข้อมูลด้านสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร ข้อมูลสำหรับ E_d ควรระวังอยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะ ผู้วิจัยเคยวัด E_d ในโครงการวิจัยอื่น⁽²⁸⁾ และได้คำตอบที่ไม่ตรงตามข้อมูลในรูป 4.14 การหา E_d เป็นเรื่องไม่ง่ายนัก เพราะ ต้องอาศัยการวิเคราะห์ที่ใช้เตรเซอร์ (TRACER) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงและไม่ง่ายนักในการทำ เช่น ต้องใช้สารอินทรีย์ที่มี-



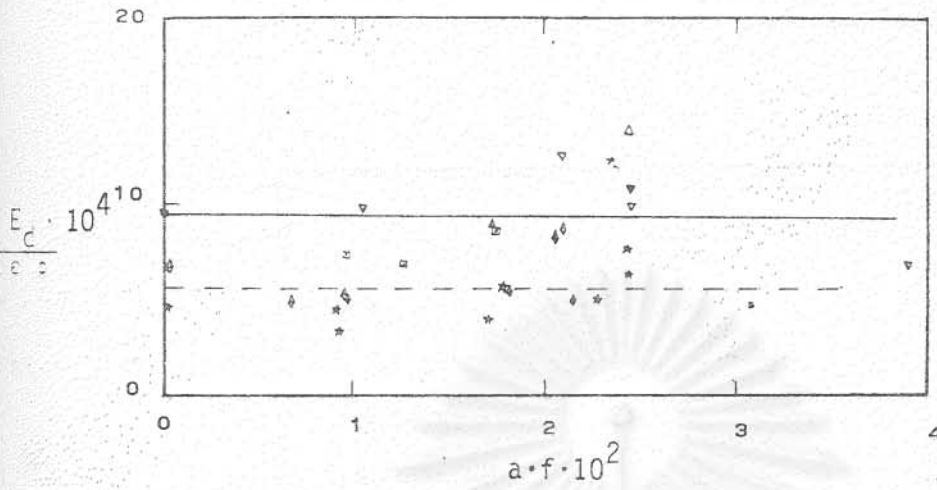
ขนาดของคอลัมน์ ซม.		แหวนแรชิ่ง (ขนาด) มม.
X	10	25
○	22	25
△	5	8
□	5	10
⊠	10	12

รูปที่ 4.9 - กราฟสำหรับ ϕ_1



$v_c, 10^{-2}$ ม./ว.	$a, 10^{-2}$ ม.	
○	0.25	} คอลัมน์ขนาด 22 ซม. แหวนแรชิ่งขนาด 25 ซม. (เซรามิก)
X	0.25	
△	0.25	
□	0.42	
+	0.42	
●	0.42	
▽	0.42	
*	0.51	
▽	0.60	
▽	0.25	
⊠	0.42	} คอลัมน์ขนาด 5 ซม., แหวนแรชิ่งขนาด 10 มม. (เซรามิก)

รูปที่ 4.10 - กราฟสำหรับ ϕ_2



คอลัมน์ขนาด 22 ซม. , แหวนแรชชิงขนาด 25 มม. , ซอลิวอิน-น้ำ

$v_C \cdot 10^{-2}$ ม./ว.

$v_C \cdot 10^{-2}$ ม./ว.

△	0	0.21
▽	0	0.25
*	0	0.29
▽	0	0.31
◇	0.25	0.24
◇	0.147	0.24

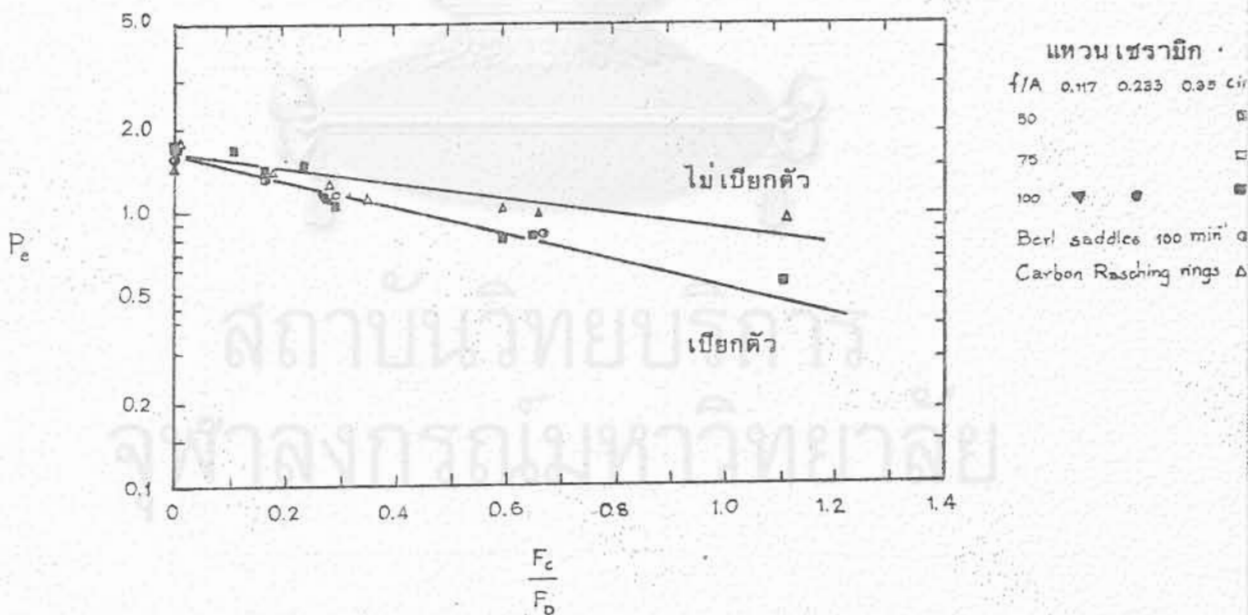
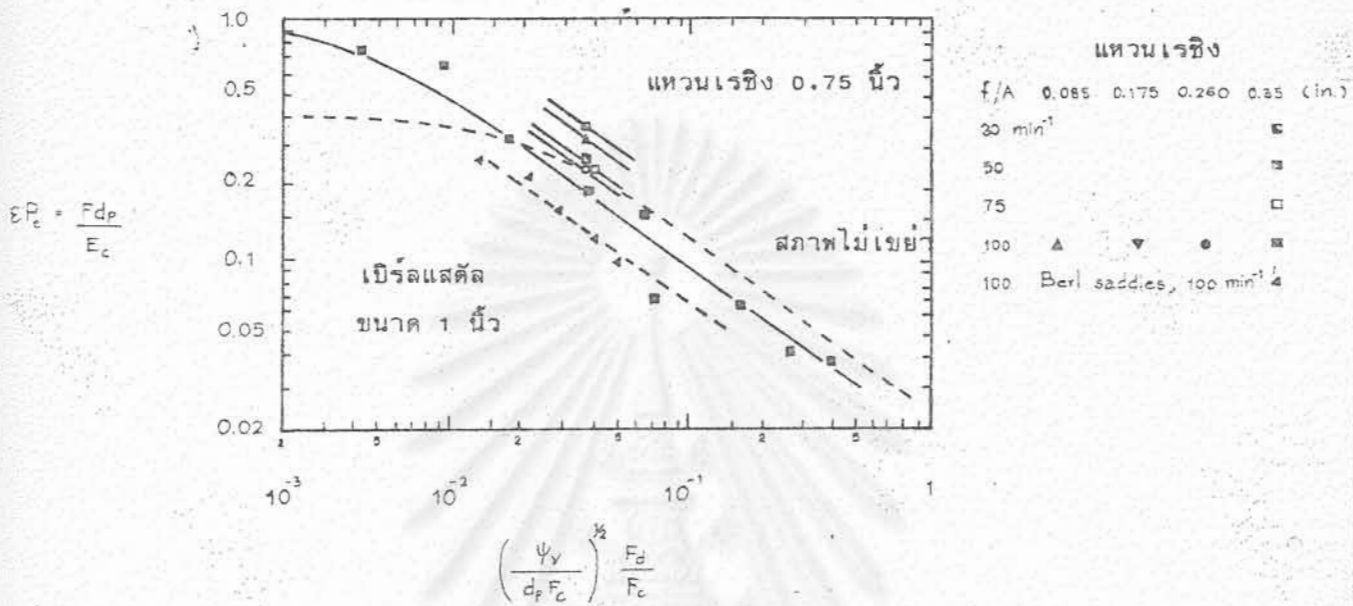
คอลัมน์ขนาด 5 ซม. , แหวนแรชชิงขนาด 12 มม. , MIBK-น้ำ

◇	0.09	0.33
□	0.09	0.16
★	0.05	0.33

รูปที่ 4.11 - สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับในเฟสหยด

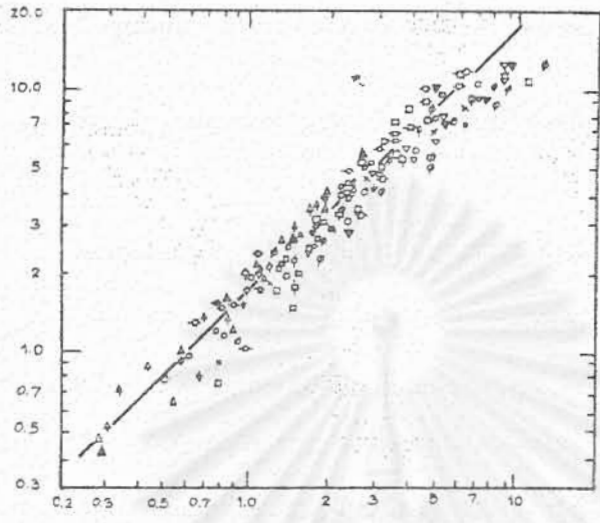
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 เบอร์เพเคลตสำหรับเฟสหลักในคอลัมน์แบบพัลส์แพค



รูปที่ 4.13 เบอร์เพเคลตสำหรับเฟสหลักในคอลัมน์แบบพัลส์แพค

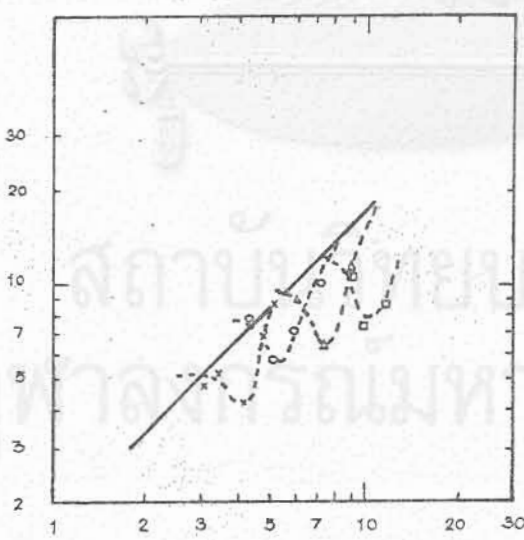
$\frac{m}{1-\phi}$ ชม.²/วินาที



$$\frac{d_h f A H}{m_h d_T^{2/3}} \left(1 + \frac{F_c}{2 f A (1-\phi)} \right) \text{ ชม.}^2/\text{วินาที}$$

รูปที่ 4.14 สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับสำหรับ เฟสหลัก ในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม

$\frac{E_d}{\phi}$ ชม.²/วินาที



D = 5.4 cm d_h = 0.3 cm m_h = 0.19
 F_d = 0.038 ~ 0.039 cm/sec
 F_c = 0.26 cm/sec

H (cm):
 x 3
 o 5
 Δ 7
 □ 10

$$\frac{f A H d_h}{m_h d_T^{2/3}} \left(1 + \frac{F_d}{2 f A \phi} \right) \text{ ชม.}^2/\text{วินาที}$$

รูปที่ 4.15 สัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับสำหรับ เฟสหยด ในคอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูปทรงแปดเหลี่ยม

กัมมันตภาพรังสี และใช้เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสีเพื่อติดตามการไหลของ เตร เซอร์โปพร้อมกับ
เฟสสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปหยด สรุปว่า ข้อมูลสำหรับ E_d มีอยู่น้อยมาก และต้องระมัดระวังมาก

3) ข้อมูลการผสมย้อนกลับของคอลัมน์แบบโรเตตติงคิสก์ และข้อมูลด้านไฮโคร-
ไดนามิกส์:

คอลัมน์แบบโรเตตติงคิสก์มีความพิเศษกว่าคอลัมน์แบบพัลส์แพคและพัลส์แผ่นรู-
พรุนตรงที่ E_c และ E_d จะเปลี่ยนไปเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์เปลี่ยน ทั้งนี้เพราะเมื่อ
เส้นผ่านศูนย์กลางโตขึ้นและ อัตราการหมุนของแกนกลาง เท่า เดิม พลังงานกลที่จะถ่ายเทให้
สาร เหลวจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการที่จะขยายขนาดของคอลัมน์จาก เล็กไปสู่อใหญ่เป็น เรื่องที่ไม่ง่าย
นัก เช่น การทดลองหาสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารในคอลัมน์ขนาดเล็ก และถือว่าสัม-
ประสิทธิ์ดังกล่าวจะ เท่ากันสำหรับคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตขึ้น เป็นสมมุติฐานที่ไม่ถูกเพราะ
เมื่อขยาย เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์แบบนี้ ขนาดของหยดและไฮโครไดนามิกส์ของหยด เปลี่ยน
แปลงไปหมด แนววิธีในการคำนวณขนาดของคอลัมน์แบบโรเตตติงคิสก์น่าจะ ต้องใช้โมเดลคิวชัน
และการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารโดยวิธีคำนวณพื้นที่ถ่าย เทมวลสาร และสัมประสิทธิ์
การถ่าย เทมวลสารระดับอินเตอร์เฟเชียล

ในกลุ่มสมการที่ได้รับความนิยมในการคำนวณสัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับได้แก่
สมการของ STRAND, OLNEY AND ACKERMAN⁽⁴⁹⁾

$$\frac{(1-\phi_d) E_c}{V_c h} = 0.5 + 0.09(1-\phi_d) \left(\frac{d_r N}{V_c}\right) \left(\frac{d_r}{d_T}\right)^2 \left[\left(\frac{d_s}{d_T}\right)^2 - \left(\frac{d_r}{d_T}\right)^2 \right] \quad (4.30)$$

$$\frac{\phi_d E_d}{V_d h} = 0.5 + 0.09\phi_d \left(\frac{d_r N}{V_d}\right) \left(\frac{d_r}{d_T}\right)^2 \left[\left(\frac{d_s}{d_T}\right)^2 - \left(\frac{d_r}{d_T}\right)^2 \right] \quad (4.31)$$

แต่ทั้งนี้ สมการดังกล่าวมีผู้ใช้ที่อ้างว่าสอดคล้องกับระบบของเขา และมีบางคนที่บอกว่าไม่สอดคล้อง
กับระบบของเขา สมการอื่นที่บุคคลอื่นเสนอไว้มีอยู่แต่ยังไม่เป็นที่อ้างอิงเท่าสมการนี้
ประเด็นการหาสัมประสิทธิ์การผสมย้อนกลับในสอง เฟส เป็นประเด็นหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอใน
การคำนวณความสูงของคอลัมน์โดยใช้โมเดลคิวชัน จำเป็นต้องคำนวณสัมประสิทธิ์ R_x ด้วย

ซึ่งสำหรับคอลัมน์แบบพัลส์แพค และแบบพัลส์แผ่นรูพรุน ได้เคยอธิบายว่า R_x สามารถหาได้จาก การทดลองโดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็ก และสามารถถือได้ว่าสัมประสิทธิ์ R_x คงที่หากสภาวะการ-
 เขย่าคงที่ แต่สำหรับคอลัมน์แบบโรเตติงดิสก์เราไม่สามารถถือได้ว่า R_x จะเท่ากันได้สำหรับ
 คอลัมน์ที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ข้อแตกต่างสำคัญ คือ ลักษณะของกลุ่มหยดซึ่งแตกต่างกันเมื่อ
 เส้นผ่านศูนย์กลาง เปลี่ยน(สำหรับคอลัมน์อีกสองประเภทลักษณะของกลุ่มหยดไม่เปลี่ยน) ดังนั้น
 ถ้าจะทำการทดลองหา R_x ในคอลัมน์ชั้นห้องปฏิบัติการ ตัวสัมประสิทธิ์ที่จะต้องหาที่ไม่เปลี่ยน-
 เมื่อขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์คือ สัมประสิทธิ์ K_{Oy} ส่วนเนื้อที่ถ่ายเทมวลสาร "a"
 ขึ้นอยู่กับแพคเกจหลายตัว ในที่สุดเมื่อต้องการคำนวณความสูงของคอลัมน์แบบ RDC ผู้วิจัยมีความ
 เห็นว่า ควรมีข้อมูลด้านการผสมย้อนกลับของเฟสทั้งสองในคอลัมน์ ควรทราบลักษณะของกลุ่มหยด
 ในคอลัมน์เพื่อสามารถคำนวณ "a" ได้ ซึ่งข้อมูลทั้งสองควรได้มาจากผลงานที่ตีพิมพ์ไปแล้วใน-
 ส่วนที่ควรทรา โดยทำการทดลองด้วยตนเอง คือ หาสัมประสิทธิ์ K_{Oy}

ในการคำนวณหา "a" จะต้องมีข้อมูลหลักสองตัว คือ ไฮโดรคัพ และขนาดเฉลี่ย-
 ของหยด ในการคำนวณไฮโดรคัพ KUNG AND BECKMAN⁽⁴⁰⁾ ได้เสนอแนววิธีดังต่อไปนี้

$$\frac{V_d}{\phi} + \frac{K_i V_c}{1-\phi} = \bar{V}_0 (1-\phi) \quad (4.32)$$

$$k_1 = 2.1 \quad \frac{ds - dr}{d_t} \leq \frac{1}{24}$$

$$k_1 = 1.0 \quad \frac{ds - dr}{d_t} > \frac{1}{24}$$

$$\frac{\bar{V}_0 c}{\gamma} = c_1 \left(\frac{\Delta \rho}{\rho c}\right)^{0.9} \left(\frac{g}{d_r N^2}\right)^{1.0} \left(\frac{d_s}{d_r}\right)^{2.3} \left(\frac{h}{d_r}\right)^{0.9} \left(\frac{d_r}{d_T}\right)^{2.6} \quad (4.33)$$

$$C_1 = 0.0255 \quad \frac{ds - dr}{d_t} \leq \frac{1}{24}$$

$$C_2 = 0.012 \quad \frac{ds - dr}{d_t} > \frac{1}{24}$$

ดังนั้นถ้ารู้ค่า \bar{V}_0 และ G_d , $G_d (V_i = G_i/A_t)$ สามารถคำนวณ ϕ ได้ ส่วนการคำนวณขนาด

เฉลี่ยของหยด STRAND ET AL⁽⁴⁹⁾ แนะนำสมการดังต่อไปนี้

$$d_{\max} = c \left(\frac{g_{cv}}{rc} \right)^{0.6} (\Sigma)^{-0.4} \quad (4.34)$$

= ขนาดโตสุดของหยด

$$\Sigma = N_{po} \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{N^3 dr^5}{h d_t} \right)$$

Σ คือพลังงานที่ได้มาจากดิสก์ N_{po} คือ พลังงานที่ได้มาต่อคอมพาร์ทเมนต์ และมีค่า $N_{po} \sim 0.03$ สำหรับสภาวะการทำงานปกติ⁽³¹⁾ ส่วน c แตกต่างกับระบบที่ใช้ เช่น $c = 0.4 - 0.6$ ถ้าเฟสหยดเป็นสารอินทรีย์ ถ้าเฟสหยดเป็นน้ำ $c = 0.8 - 1.2$ และ $d_{av}/d_{\max} \sim 0.7$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการคำนวณ "a" สามารถทำได้

ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ K_{Oy} จำเป็นต้องทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ และใช้สารเหลวต่าง ๆ ที่จะใช้จริง ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้แก่ การที่กลุ่มหยดซึ่งจะแตกต่างกันสำหรับสองกรณี คือ คอลัมน์ใหญ่และคอลัมน์เล็กจะทำให้ K_{Oy} ไม่สอดคล้องกัน เช่น ในกรณีหนึ่งหยดเล็กและไม่มีการเชอร์คิวเลตภายในหยด และอีกกรณีหนึ่งหยดมีขนาดใหญ่พอที่จะมีเชอร์คิวเลตขึ้นภายในหยด รายละเอียดเหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึง

4.3.4.2 การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ:

ในการคำนวณความสูงของคอลัมน์ทั้งสามแบบ เราไม่สามารถทำการคำนวณทั้งหมด โดยอาศัยข้อมูลตามหนังสือและวารสารต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้เพราะข้อมูลไม่มีสำหรับระบบต่าง ๆ จำนวนร้อย ๆ ระบบ ข้อมูลที่ทำได้หรือประเมินได้ ได้แก่ ข้อมูลด้านการผสมย้อนกลับของเฟสทั้งสอง และข้อมูลด้านลักษณะของหยดภายในคอลัมน์ ซึ่งทำให้สามารถคำนวณพื้นที่ถ่ายเทมวลสารได้ ข้อมูลที่ทำได้ยากที่สุดได้แก่ ข้อมูลการถ่ายเทมวลสารภายในคอลัมน์ซึ่งวัดได้เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร K_{Oy}

แนววิธีที่ผู้วิจัยเสนอเป็นดังนี้ คือ ทำการทดลองการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์สกัดของเหลวขนาดห้องปฏิบัติการ และวัดการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นของมวลสารในเฟสทั้งสอง ตามปรกติแล้วเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ Pe_x , Pe_y และ R_x เราสามารถคำนวณความ

เข้มข้นของมวลสารในเฟสทั้งสองได้ และตรงกันข้ามโดยใช้วิธีของออปติโมเซชันเราสามารถหาพารามิเตอร์ทั้งสามได้จากเส้นความเข้มข้นของมวลสารในเฟสทั้งสองที่ได้จากการทดลอง แต่เนื่องจากการออปติไมส์พารามิเตอร์จำนวนสามตัวเป็นเรื่องยาก จึงต้องมีการหา Pe_x, Pe_y จากสมการต่าง ๆ ที่ใช้วิธีของการวิเคราะห์โดยใช้เตรเซอร์ซึ่งเป็นวิธีที่หา Pe สำหรับเฟสทั้งสองได้ดีมาก ดังนั้นสรุปแนววิธี คือ ให้เส้นความเข้มข้นที่ได้โดยการทดลองมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเท R_x ตัวเดียว โดย Pe_x, Pe_y จะได้มาโดยวิธีอื่น เมื่อได้ R_x โดยวิธีนี้ เราจะถือว่าเมื่อเราขยายขนาดของคอลัมน์โดยรักษาสภาพการปั่นป่วนและขนาดของกลุ่มหยดให้เหมือนเดิม เราถือได้ว่า $K_{OX} \cdot a$ คงจะไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน และโดยวิธีนี้เราสามารถคำนวณขนาดของคอลัมน์ได้

ในการใช้หลักการที่อธิบายมานี้ สามารถสรุปแนวดำเนินการต่าง ๆ ที่สามารถทำได้ ดังต่อไปนี้

การวัด $K_{OX} \cdot a$ ในคอลัมน์

ข้อมูลที่มีแล้ว : Pe_x, Pe_y

- วัดความเข้มข้นของมวลสารในเฟสทั้งสองตลอดแนวคอลัมน์ และเขียนเส้นความเข้มข้นเป็นเส้นเรียบ

- ใช้เส้นความเข้มข้นทั้งสองเส้นมาบันทึกลงเป็น X_i, Y_i $i = 0$ ถึง $i = N$

โดยที่ N คือ การแบ่งคอลัมน์เป็นส่วน ๆ ซึ่งในแนวปฏิบัติสามารถตั้งได้จาก 10 ถึง 100 ได้

ดังนั้นเมื่อได้ตกลงเลือก N จะทำให้เราได้จำนวนจุด $2N+2$ จุด

- เสร็จแล้วทำการออปติไมส์โดยสัมประสิทธิ์ R_x เป็นตัวแปรตัวเดียว และใคร-

ติเรีย คือ
$$\epsilon = \sum_{i=0}^N \left[(X_i - X_i \text{ pxp})^2 + (m' Y_i - m' Y_i \text{ pxp})^2 \right]$$

โดย m' ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ X_i สามารถคำนวณได้จากเส้นอีควิลิเบรียม (ซึ่งบ่อยครั้งจะถือว่าเป็นเส้นโค้ง) ควบคู่กับเส้น X_i คือ ความเข้มข้นที่ได้มาจากการทดลอง

การคำนวณเส้นความเข้มข้นจาก Pe_x, Pe_y, R_x (CONCENTRATION PROFILES)

ข้อมูลที่มีแล้ว : Pe_x, Pe_y, R_x

การคำนวณเส้นความเข้มข้นโดยวิธี Pe_x , Pe_y , R_x ไม่สามารถทำได้โดยครบ
สาเหตุมีว่าจะต้องใช้ $m'(X_i)$ สำหรับแต่ละจุด i แต่ X_i สำหรับแต่ละจุด i เรายังไม่ได้
คำนวณ ดังนั้นเพื่อดำเนินการต่อไป จำเป็นต้องสมมุติ X_i ตลอดแนวคอลัมน์ เสร็จแล้วหา
 $m'(X_i)$ และคำนวณเส้นความเข้มข้นได้ ได้มาแล้วก็ต้องเปรียบเทียบและแก้ไขต่อไป ดังนั้น
วิธีการมีอยู่ ดังนี้

- สมมุติ X_i เป็นเส้นตรงระหว่าง X_{in} (ซึ่งเรารู้จัก) และ X_{out} (ซึ่งเรา-
สมมุติ) หรือเส้นอื่นตามที่ผู้ทำจะพึงเห็นเหมาะสม เสร็จแล้วหา $m'(X_i)$ จากเส้นอีควิลิเบรียม
- ใช้โมเดลตีวชันดังได้อธิบายในภาคผนวก จ ค่ารวมเส้นความเข้มข้น
- เปรียบเทียบ X_i จากรอบ m และรอบ $m+1$ จนกระทั่งพอใจในความถูกต้อง
ของเส้น X_i

ปัญหาที่มีอยู่กับแนวปฏิบัติในการคำนวณหา K_{Ox} . α เพื่อการขยายขนาดของคอลัมน์
ได้แก่ การที่จะต้องทำการทดลองหาความเข้มข้นของ เฟสทั้งสองตลอดแนวความสูงของคอลัมน์ซึ่ง
เป็นเรื่องที่เสียเวลามาก และการทดลองก็ทำยาก แนวการแก้ปัญหานี้อาจจะทำได้โดยการ-
ออปติไมส์เฉพาะสองจุดในเส้น X_i คือ $X(1^-)$ และ X_{out} และในเส้น y_i คือ Y_{out} และ
 $Y(0^+)$

4.3.5 การทดลองวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์แบบสเปรย์ ที่ไฮลด์อัปสูง

เพื่อเป็นตัวอย่างในการวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์สกัดของ
เหลว ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบดังต่อไปนี้ในการวัด เส้นความเข้มข้นตลอดแนวความสูงของคอลัมน์

- ประเภทของคอลัมน์ : คอลัมน์แบบสเปรย์ขนาด 4 ซม. ยาว 1 เมตร
- เฟสหลัก - เฟสหยด : น้ำ - น้ำมันก๊าด
- สารเหลวจากน้ำไปน้ำมันก๊าด : ไอโอดีน
- สภาพไฮลด์อัป : ไฮลด์อัปสูง

การทำงานของคอลัมน์แบบสเปรย์ในสภาพไฮลด์อัปสูง เป็นที่เข้าใจว่าเป็นการ-
ทำงานที่ไม่ทำให้เกิดการหมุนเวียนในเฟสหลัก ดังที่เกิดขึ้นในคอลัมน์แบบนี้เมื่อไฮลด์อัปต่ำ
สำหรับคอลัมน์แบบสเปรย์ที่ไฮลด์อัปสูง เมื่อไม่มีการหมุนเวียนของเฟสหลัก เราจะถือว่าสามารถใช้
ใช้โมเดลตีวชันมาอธิบายการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์

ในภาคผนวก ฉ ได้อธิบายเครื่องมือที่ใช้ ผลการทดลองที่ได้มา รวมไปถึงผลการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร ดังจะสรุปต่อไปนี้

1) ดังได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ฉ เราสามารถวัดสัมประสิทธิ์ K_{OX} . a ได้โดยวิธีออปติไมส์เส้นความเข้มข้นกับโมเลคูลิวชัน และโดยใช้เบอร์เทเคลดจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ

2) ในการออปติไมส์เส้นความเข้มข้นทดลองกับเส้นที่ได้จากโมเลคูลิวชันโดยถือ Pe_y สูงมาก และ Pe_x จากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ และ K_{OX} . a เป็นตัวแปรที่ถูกเปลี่ยน เราจะพบว่าการออปติไมส์ไม่ค่อยดีเท่าไร ดังจะเห็นไว้ในรูปที่ 5 (ภาคผนวก ฉ) สาเหตุคงจะมีอยู่มาก สาเหตุที่ผู้วิจัยคิดว่าน่าจะเป็นไปได้ ได้แก่ ความแม่นยำของสมการจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ที่บันทึกค่าของ Pe_y ไว้ ดังนั้นการออปติไมส์โดยให้ R_x กับ Pe_x เป็นตัวแปรอาจจะให้ผลดีกว่า แต่ในประเด็นนี้ไม่ได้ศึกษาคือ ประเด็นที่สองในระหว่างการออปติไมส์อาจจะต้องใช้การแบ่งคอลัมน์ให้มากกว่าสิบช่อง เพราะถ้าแบ่งช่องจำนวนน้อยอาจจะทำให้ความแม่นยำลดลง

3) สำหรับกรณีของ เส้นความเข้มข้นที่ใช้ทดลองในคราวนี้ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ ความแม่นยำของตัวเลขในบริเวณทางออกของเฟสทั้งสองมีรูปลักษณะที่ไม่เหมือนเส้นที่ได้จากโมเลคูลิวชัน ซึ่งข้อสังเกตดังกล่าวอาจจะมี ความหมายว่า โมเลคูลิวชันอาจจะไม่เหมาะในการอธิบายการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์แบบสเปร์รี่ที่ทำงานในสภาพไฮดร้อปสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลัก ในส่วนที่หนึ่งได้ทำการศึกษากระบวนการสกัดของ เหลวในเชิงกว้าง โดยได้ทำการสำรวจสภาพการใช้ปฏิบัติการเฉพาะหน่วยนี้ในอุตสาหกรรม ซึ่งในส่วนนี้เราได้เห็นภาพรวมของการใช้กระบวนการสกัดของเหลวนี้ สำหรับประเทศไทยนั้น การนำกระบวนการเหล่านี้มาใช้ยังมีน้อยอยู่ แต่แนวทางในการที่จะใช้กระบวนการเหล่านี้ในอนาคตมีอยู่มาก

ในส่วนที่สองซึ่งเป็นส่วนหลักของโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งศึกษาปัจจัยต่าง ๆ และแนววิธในการออกแบบคอลัมน์สกัดของ เหลวสามประเภทที่มีประสิทธิภาพสูง คือ คอลัมน์แบบพัลส์แพค คอลัมน์แบบพัลส์แผ่นรูพรุน และคอลัมน์แบบโรเตตติงคิสก์คอนแทคเตอร์

ประเด็นสำคัญที่ค้นพบในส่วนที่สองของโครงการวิจัยนี้มีอยู่ ดังนี้

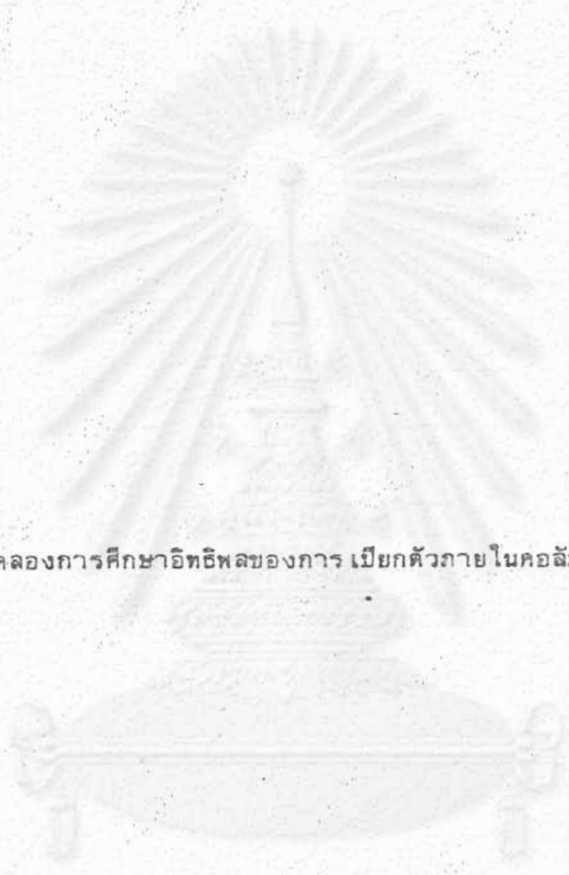
1) แนววิธในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารสำหรับระบบที่มีเส้นอัตราตี เบรียมโค้ง สามารถทำได้โดยใช้วิธีนิวเมอริคัล ดังนั้นเราจะสามารถอาศัยวิธีดังกล่าวในการวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร เพื่อเอาไปใช้ในการคำนวณคอลัมน์ที่ใหญ่กว่า

2) คุณสมบัติการเปียกตัวของวัสดุภายในคอลัมน์ เป็นปัจจัยที่ได้ถูกละเลยมามาก แต่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของคอลัมน์สกัดของ เหลว

3) ในการใช้สมการคำนวณความสูงสุคของคอลัมน์ จะต้องระมัดระวังเพราะในบางกรณีพบว่า สมการกับข้อเท็จจริงต่างกันอยู่

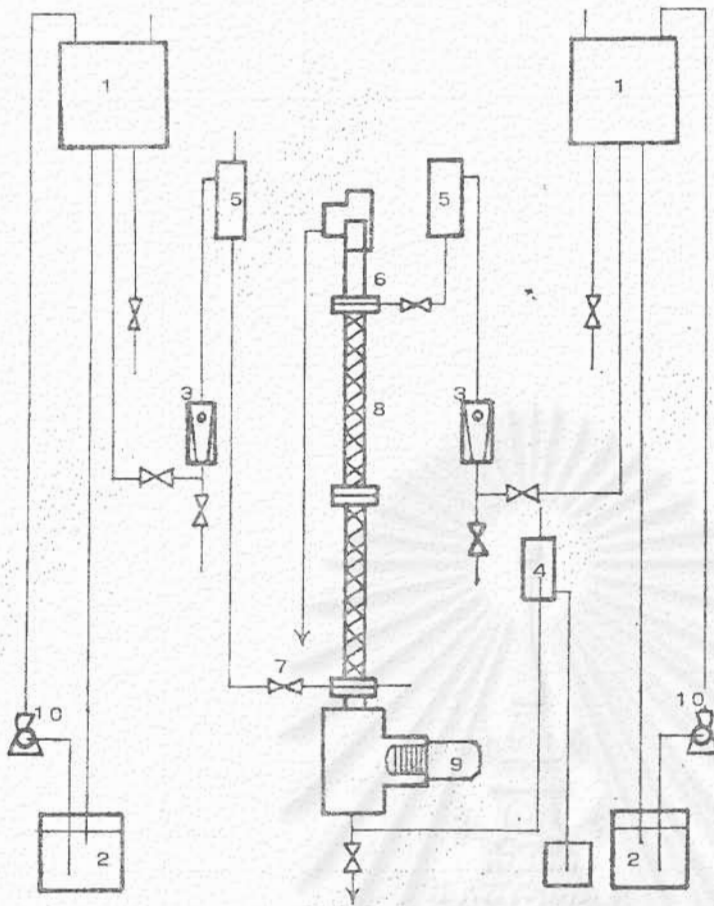
4) ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบหลักการ H.E.T.P. กับโมเดลตีทิวชัน และพบว่า H.E.T.P. เป็นแนววิธที่ไม่สามารถหาความสูงของคอลัมน์ด้วยความแม่นยำ แต่ในบางกรณีสามารถนำเอามาใช้ในการคำนวณความสูงของคอลัมน์แบบคร่าว ๆ ได้

ภาคผนวก ก



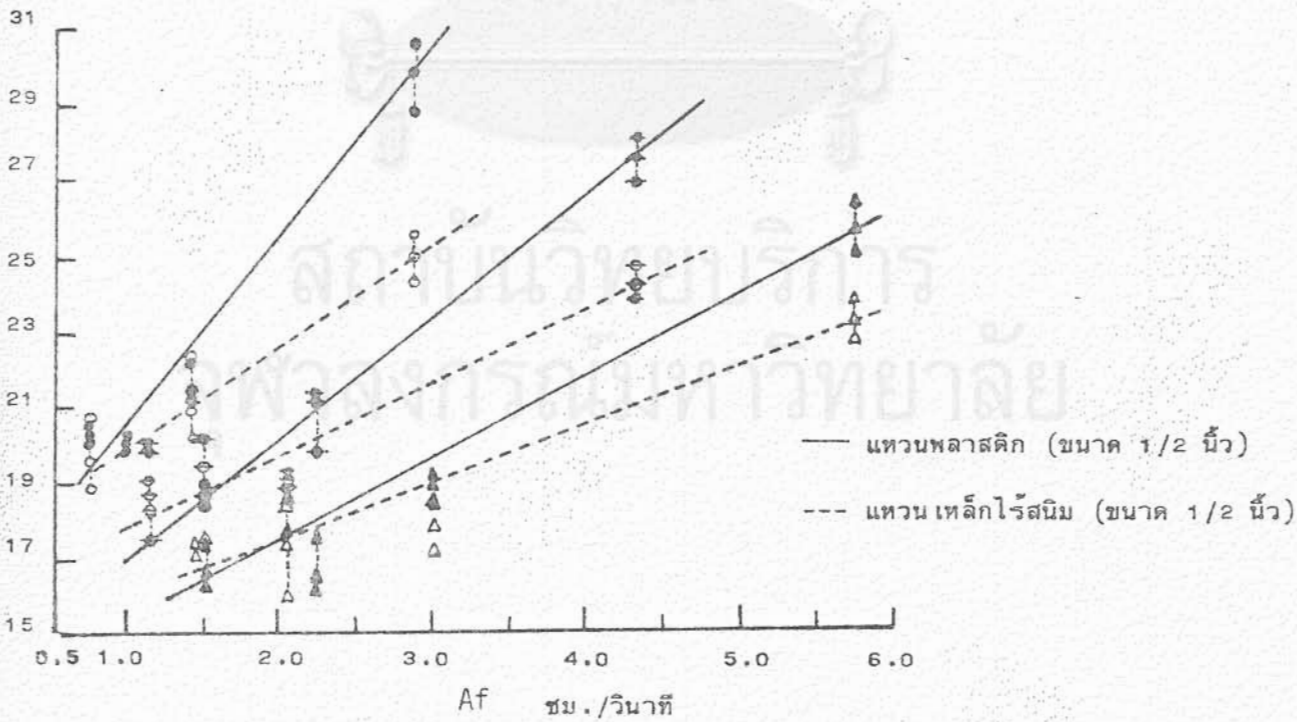
ผลการทดลองการศึกษารหัสอรรถของสาร เบี่ยงตัวภายในคอมพิวน์แบบพีลส์แพค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. ถังรักษาระดับ
2. ถังเก็บสารเหลว
3. โรตารีเตอร์
4. ระบบรักษาระดับสารอินทรีย์
ด้านล่างของคอลัมน์
5. ท่อแก้ว
6. ท่อคาร์บอน เตตราคลอไรด์ เข้า
คอลัมน์
7. ท่อน้ำไอโอดีน เข้าคอลัมน์
8. คอลัมน์สกัดของเหลวแบบแพค
9. เครื่องกำเนิดพัลส์
10. ปั๊ม

รูปที่ 1 โครงสร้างคอลัมน์สกัดของเหลวแบบพัลส์แพค



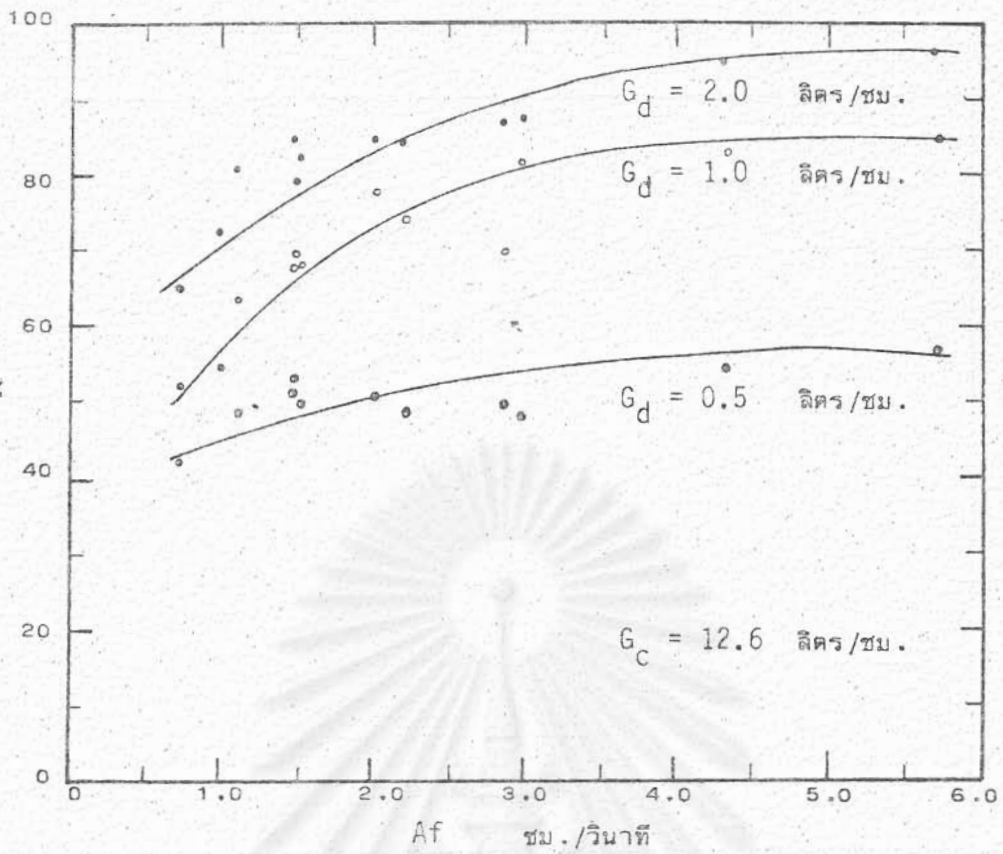
รูปที่ 2 เส้นความสูงสูงสุดสำหรับแพกกิ่งสองชนิด

a cm.	f p/m	af cm/s	F_c l/hr	$G_c + G_d$, liter/hr.		
				1	2	3
2	22	0.73	12.6	20.6	19.8	19.0
	30	1.00	12.6	20.2	20.2	20.2
	44	1.47	12.6	22.6	20.2	21.4
	85.7	2.86	12.6	26.0	25.4	24.8
3	22	1.10	12.6	19.6	19.0	19.3
	38	1.50	12.6	19.6	19.0	19.3
	44	2.20	12.6	19.0	19.0	19.0
	85.7	4.29	12.6	24.8	23.4	24.1
4	22	1.47	12.6	17.9	17.9	17.9
	30	2.00	12.6	18.8	17.7	16.6
	44	2.93	12.6	17.9	18.8	18.4
	85.7	5.71	12.6	23.6	22.6	23.1

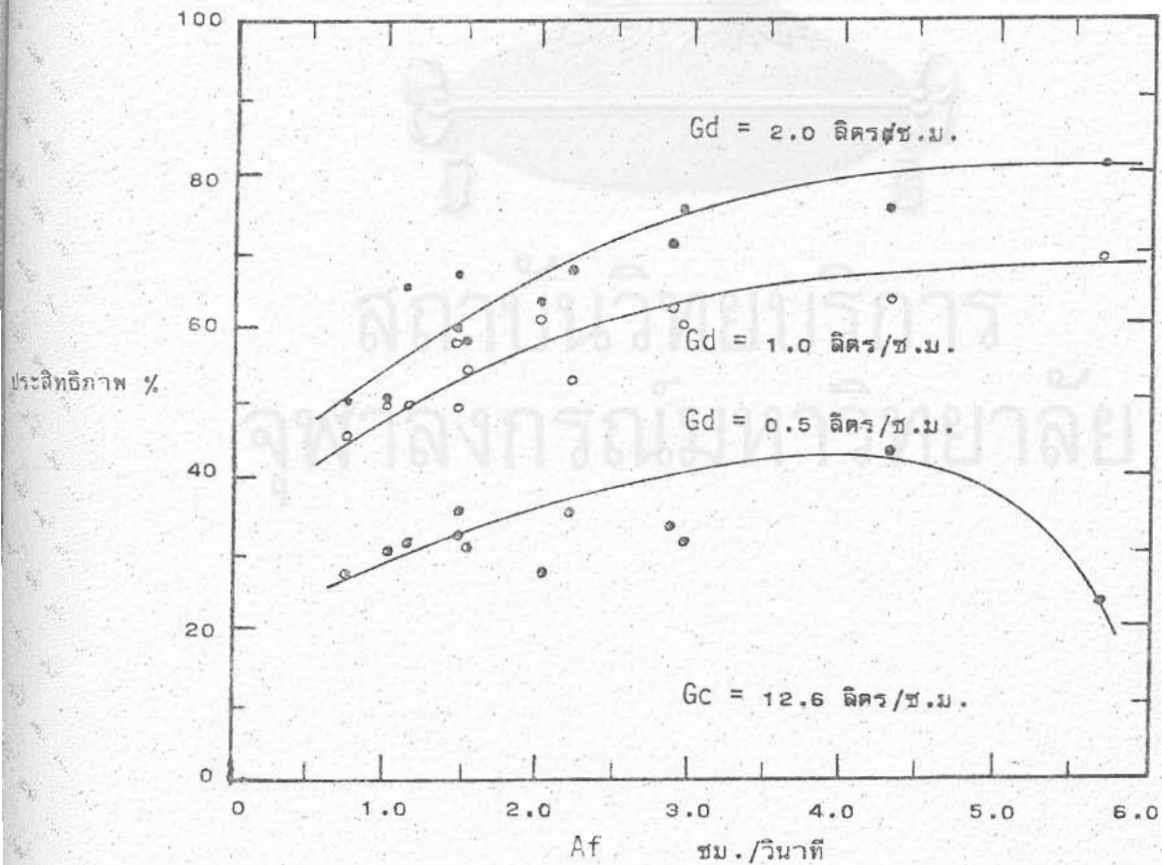
แหวนแรงชิงประเภทเหล็กโรสนิมขนาด 1/2 นิ้ว

a cm.	f p/m	af cm/s	F_c l/hr	$G_c + G_d$, liter/hr.		
				1	2	3
2	22	0.73	12.6	20.4	20.2	20.2
	30	1.00	12.6	20.2	20.2	20.6
	44	1.47	12.6	22.4	21.4	21.6
	85.7	2.86	12.6	30.6	27.2	29.3
3	22	1.10	12.6	17.9	20.2	20.2
	30	1.50	12.6	19.0	19.2	20.2
	44	2.20	12.6	20.0	21.4	21.4
	85.7	4.29	12.6	28.4	27.0	27.8
4	22	1.47	12.6	16.6	16.6	17.8
	30	2.00	12.6	17.9	19.0	19.0
	44	2.93	12.6	18.8	19.0	19.0
	85.7	5.71	12.6	26.0	24.9	25.5

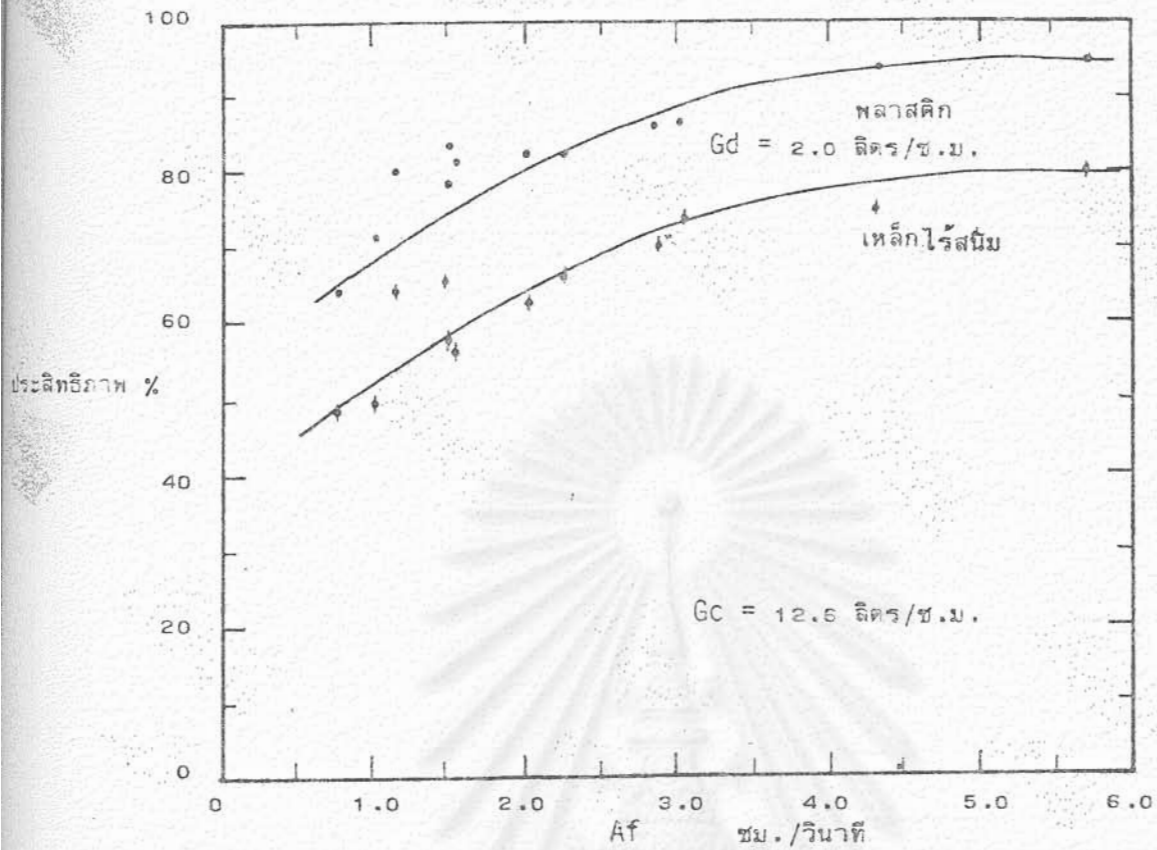
แหวนแรงชิงประเภทพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์แพก (ใช้แหวนพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว)



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์แพก (ใช้แหวนเหล็กโรสนิมขนาด 1/2 นิ้ว)



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอดัมพ์แบบพัลส์แวกที่ใช้แวนแรงแซงต่างวัสดุ
(แหวนขนาด 1/2 นิ้ว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2(ก) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แวนแรนซิงแบบพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 2.0$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. % aver.						
12.6	2.0	0.73	2	22	272.86	95.18	65.11	64.38						
					279.20	101.53	63.64							
					266.51	69.81	73.81							
					266.51	82.49	69.05							
					253.82	50.76	80.00							
					253.82	57.11	77.50							
					241.13	38.07	84.21							
					247.47	31.73	87.18							
12.6	2.0	1.10	3	22	247.47	57.11	76.92	79.49						
					247.47	44.42	82.05							
					241.13	44.42	81.58							
					253.82	50.76	80.00							
					222.09	31.73	85.71							
					241.13	44.72	81.45							
					215.75	6.35	97.06							
					241.13	19.04	92.11							
12.6	2.0	1.47	4	22	215.75	25.38	88.24	83.60						
					241.13	50.76	78.95							
					215.75	31.73	85.29							
					241.13	44.42	81.58							
					215.75	19.04	91.18							
					241.13	44.42	81.58							
					203.06	6.35	96.88							
					228.44	12.69	94.44							
12.6	2.0	2.00	4	30	215.75	31.73	85.29	83.44						
					241.13	44.42	81.58							
					215.75	19.04	91.18							
					241.13	44.42	81.58							
					203.06	6.35	96.88							
					228.44	12.69	94.44							
					12.6	2.0	2.93		4	44	215.75	31.73	85.29	86.38
											241.13	44.42	81.58	
215.75	19.04	91.18												
241.13	44.42	81.58												
203.06	6.35	96.88												
228.44	12.69	94.44												
12.6	2.0	5.71	4	85.7				215.75			31.73	85.29	95.66	
								241.13			44.42	81.58		
					215.75	19.04	91.18							
					241.13	44.42	81.58							
					203.06	6.35	96.88							
					228.44	12.69	94.44							

ตารางที่ 2(ข) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรซิ่งแบบพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 1.0$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. % aver.
12.6	1.0	0.73	2	22	234.80	114.2	51.35	51.35
					234.80	114.2	51.35	
		1.00		30	234.80	107.9	54.05	54.05
					234.80	107.9	54.05	
		1.47		44	234.80	76.2	67.57	67.57
					234.80	76.2	67.57	
		2.86		85.7	234.80	69.8	70.27	73.24
					234.80	76.2	76.20	
12.6	1.0	1.10	3	22	241.10	88.8	63.17	63.01
					222.10	82.5	62.85	
		1.50		30	260.20	88.8	65.87	66.72
					234.80	76.1	67.57	
		2.20		44	272.90	76.2	72.10	73.38
					225.30	57.1	74.65	
		4.29		85.7	272.90	50.8	81.40	82.37
					228.40	38.1	83.33	
12.6	1.0	1.47	4	22	215.80	69.8	67.65	69.04
					225.3	66.6	70.43	
		2.00		30	231.60	57.1	75.43	76.86
					234.80	58.7	78.38	
		2.93		44	228.40	44.4	80.56	80.56
					228.40	44.4	80.56	
		5.71		85.7	228.40	38.1	83.33	84.72
					228.40	31.73	86.11	

ตารางที่ 2(ค) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรชชิงแบบพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 0.5$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. aver.
12.6	0.5	2	22	0.73	342.66	203.06	40.74	42.11
				1.00	291.89	164.98	43.48	
				1.47	342.66	171.33	50.00	
				2.86	304.58	126.91	58.33	
				85.7	342.66	177.67	48.15	
				85.7	317.28	139.60	56.00	
				85.7	336.31	171.33	49.06	
12.6	0.5	3	22	1.10	342.66	177.67	48.15	48.12
				1.50	329.97	171.33	48.08	
				2.20	336.31	164.98	50.94	
				4.29	329.97	171.33	48.08	
				85.7	336.31	171.33	49.06	
				85.7	329.97	171.33	48.08	
				85.7	323.63	158.64	50.98	
12.6	0.5	4	22	1.47	323.62	171.33	47.06	51.33
				2.00	317.28	139.60	56.00	
				2.93	323.62	164.98	49.02	
				5.71	317.28	152.29	52.00	
				85.7	304.58	164.98	45.83	
				85.7	317.28	158.64	50.00	
				85.7	310.93	126.91	59.18	
12.6	0.5	4	22	2.93	291.89	133.26	45.35	56.77
				5.71	291.89	133.26	45.35	

ตารางที่ 3(ก) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรซิงแบบเหล็กโรสนิมขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 2.0$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. % aver.
12.6	2.0	0.73	2	22	158.64	88.84	44.00	48.39
					228.44	107.87	52.78	
					152.29	76.15	50.00	
					222.09	114.22	48.57	
					145.95	44.42	69.56	
					215.75	82.49	61.77	
12.6	2.0	1.00	2	30	139.60	38.07	72.73	69.70
					209.40	69.80	66.67	
					114.22	25.38	77.78	
					203.06	57.11	71.88	
					133.26	57.11	57.14	
					203.06	88.84	56.25	
12.6	2.0	1.50	3	44	126.91	38.07	70.00	66.82
					209.40	76.15	63.64	
					114.22	25.38	77.78	
					203.06	57.11	71.88	
					139.60	50.76	63.64	
					203.06	69.80	65.63	
12.6	2.0	2.20	3	85.7	114.22	44.42	61.11	58.68
					203.06	88.84	56.25	
					95.18	31.73	66.67	
					196.71	82.49	58.06	
					95.18	25.38	73.33	
					158.64	38.07	76.00	
12.6	2.0	2.93	4	44	76.15	12.69	83.33	74.67
					177.67	38.07	78.57	
					114.22	44.42	61.11	
					203.06	88.84	56.25	
					95.18	31.73	66.67	
					196.71	82.49	58.06	
12.6	2.0	5.71	4	85.7	76.15	12.69	83.33	80.95
					177.67	38.07	78.57	
					114.22	44.42	61.11	
					203.06	88.84	56.25	
					95.18	31.73	66.67	
					196.71	82.49	58.06	

ตารางที่ 3(ข) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้แหวนแรซิงแบบเหล็กไร้สนิมขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 1.0$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. % aver.
12.6	1.0	2			260.2	142.8	45.00	44.58
					203.1	114.2	43.75	
					253.8	133.3	47.50	
					196.7	95.2	51.61	
					241.1	126.9	47.37	
					203.1	101.5	50.00	
					244.3	88.8	63.64	
190.4	76.2	60.00	61.82					
12.6	1.0	3			241.1	120.6	50.00	49.14
					184.0	95.2	48.28	
					228.4	107.9	52.78	
					177.7	82.5	53.57	
					212.6	104.7	50.75	
					177.7	2.5	53.57	
					209.4	82.5	60.61	
171.3	60.5	64.81	62.71					
12.6	1.0	4			209.4	92.0	56.06	56.88
					164.9	69.8	57.69	
					203.1	82.5	59.38	
					158.6	63.5	60.00	
					196.7	82.5	58.06	
					152.3	59.6	60.80	
					196.7	63.5	67.74	
146.0	44.4	69.57	68.66					

ตารางที่ ๑(ค) ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสาร โดยใช้หน่วยครึ่งแบบเกล็ดโรตัมขนาด 1/2 นิ้ว

($G_c = 12.6$ ลิตร/ชม. ; $G_d = 0.5$ ลิตร/ชม.)

G_c l/hr	G_d l/hr	af cm/s	a cm	f p/m	Y_{in} mg/l	Y_{out} mg/l	Eff. %	Eff. % aver.
12.6	0.5	0.73	2	22	368.00	266.50	27.58	26.56
					298.24	222.09	25.53	
		1.00		30	349.00	241.13	30.90	29.58
					291.89	209.40	28.26	
		1.47		44	355.00	215.75	39.28	34.42
					279.20	196.71	29.55	
2.86	85.7	329.97	215.75	34.62	33.22			
12.6	0.5	1.10	3	22	317.28	209.40	34.00	30.64
					279.20	203.06	27.27	
		1.50		30	310.93	215.75	30.61	30.42
					272.86	190.37	30.23	
		2.20		44	298.24	190.37	36.17	34.75
					266.51	177.67	33.33	
4.29	85.7	285.55	158.64	44.44	42.95			
		260.17	152.29	41.46				
12.6	0.5	1.47	4	22	279.20	177.67	36.36	31.61
					260.17	190.37	26.85	
		2.00		30	266.51	190.37	28.57	26.79
					253.82	190.37	25.00	
		2.93		44	260.17	177.67	31.71	30.86
					253.82	177.67	30.00	
5.71	85.7	209.40	152.29	27.27	24.16			
		241.13	190.37	21.05				

ภาคผนวก ข

ข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบข้อมูลความจุสูงสุดของคอลัมน์แบบพัลส์แพค1. ข้อมูลของคอลัมน์แบบพัลส์แพค

1.1 \underline{E} : แทวนแรริงมีขนาด 1/2 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 31/127 นิ้ว มีจำนวน 630 ชั้น ในท่อขนาด 2 นิ้ว x 4 ฟุต

$$\text{เนื้อที่ทั้งหมด} : \frac{\pi}{4}(0.5^2 - (31/127)^2) \times 0.5 \times 630 = 47.109464 \text{ in}^3$$

$$\text{เนื้อที่คอลัมน์} : \frac{\pi}{4} 2^2 \times 4 \times 12 = 150.796447 \text{ in}^3$$

$$\underline{E} = 0.687596 = 0.69$$

$$1.2 \underline{S} : \{2(0.5^2 - (31/127)^2) + 0.5(\pi \times 0.5) + 0.5(\pi \times 31/127)\}$$

$$\frac{630}{150.796447} = 1.549657 \times 630/150.796447$$

$$= 6.474184 \text{ in}^2/\text{in}^3 \text{ of packing}$$

$$= 2.548891 \text{ cm}^2/\text{cm}^3 \text{ of packing}$$

$$= 254.8891 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

1.3 $\underline{A.f}$: เราจะเลือกใช้ $A.f = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ cm/S}$

1.4 $\underline{G_c} = 12.6 \text{ l/h}$ ($A_T = \frac{\pi}{4} 2^2 = 3.14159 \text{ in}^2 = 20.268299 \text{ cm}^2$)

$$\underline{V_c} = \underline{G_c}/A_T E = (12600 \text{ cm}^3/3600)/A_T (.69) = 0.250265 \text{ cm/S}$$

$$= 0.00250265 \text{ m/S}$$

2. ข้อมูลของสารเหลวที่ใช้

2.1 สำหรับเฟส c ซึ่งเป็นน้ำ: $\rho_c = 1.0 \text{ surface tension } (20^\circ\text{C})$
 $= 78.8 \text{ dyne/cm}$

at 20°C $\mu_c = 0.893 \text{ cp} = 0.00893 \text{ g/cm} \cdot \text{S}$
 $= 8.93 \times 10^{-4} \text{ Kg/m} \cdot \text{S}$

2.2 สำหรับเฟส d ซึ่งเป็น CCl_4 : $\rho_d = 1.590 \text{ surface tension } (20^\circ\text{C})$
 $= 26.66 \text{ dyne/cm}$



2.3 สำหรับเฟสทั้งสอง: interfacial tension (20°C) $\sigma = 45.0 \text{ dyne/cm}$

$$\Delta\rho = 0.590$$

3. การคำนวณหาความจุสูงสุดที่อาศัยความเร็วแคระคเคอริสติก

1) จุดที่ต้องการจะคำนวณ:	A	f	Af
	2 cm	0.5 Hz	1.0 cm/S
	3 cm	1/3 Hz	1.0 cm/S
	4 cm	0.25 Hz	1.0 cm/S
	2 cm	1.0 Hz	2.0 cm/S
	3 cm	2/3 Hz	2.0 cm/S
	4 cm	0.5 Hz	2.0 cm/S
	2 cm	1.5 Hz	3.0 cm/S
	3 cm	1.0 Hz	3.0 cm/S
	4 cm	0.75 Hz	3.0 cm/S
	2 cm	2.0 Hz	4.0 cm/S
	3 cm	4/3 Hz	4.0 cm/S
	4 cm	1.0 Hz	4.0 cm/S

2) V_c คงที่ที่ 0.250265 cm/S

3) การคำนวณหาสมการ 4.16

$$\sigma = 45.0 \text{ g/S}^2 = 45 \times 10^{-3} \text{ Kg/S}^2$$

$$\Delta\rho = 590 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9.80 \text{ m/S}^2$$

$$d_c = 1.39 \left(\frac{45 \times 10^{-3}}{590 \times 9.80} \right)^{0.5} = 1.39(0.002790) = 0.003378 \text{ m}$$

$$= 0.3878 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma S^2}{\Delta \rho g}\right)^{0.23} = \left(\frac{45 \text{ g/S}^2 \times 2.548891^2 \text{ cm}^{-2}}{0.590 \text{ g/cm}^3 \times 980 \text{ cm/S}^2}\right)^{0.23} = 0.854835$$

$$\left(\frac{\eta_c^2 S}{\sigma \rho_c}\right)^{0.53} = \left(\frac{(0.00893 \text{ g/cm} - S)^2 \times 2.548891 \text{ cm}^{-1}}{45 \text{ g/S}^2 \times 1.0 \text{ g/cm}^3}\right)^{0.53} = 0.001469$$

$$\left(\frac{\rho_c A f}{\eta_c \cdot S}\right) = \left(\frac{1 \text{ g/cm}^3 \quad A f \text{ cm/S}}{0.00893 \text{ g/cm} - S \times 2.548891 \text{ cm}^{-1}}\right)$$

$$= 43.933649 \quad \text{for } A f = 1 \text{ cm/S}$$

$$= 87.867298 \quad \text{for } A f = 2 \text{ cm/S}$$

$$= 131.800948 \quad \text{for } A f = 3 \text{ cm/S}$$

$$= 175.734597 \quad \text{for } A f = 4 \text{ cm/S}$$

$$\left(\frac{1 - \epsilon}{\epsilon}\right)^{0.95} = 0.467613$$

$$\frac{1}{d_{VS}} - \frac{1}{0.003878 \text{ m}} = 6700 \left(\frac{1 - \epsilon}{\epsilon}\right)^{0.95} \left(\frac{\rho_c A f}{\eta_c \cdot S}\right) \left(\frac{\eta_c^2 S}{\sigma \rho_c}\right)^{0.53}$$

$$\left(\frac{\sigma S^2}{\Delta \rho g}\right) = 3.934282 \left(\frac{\rho_c A f}{\eta_c \cdot S}\right)$$

$$d_{VS}^{-1} = 430.712243 \quad \text{for } A.f = 1 \text{ cm/S} \quad d_{V.S} = 0.002322 \text{ m}$$

$$d_{VS}^{-1} = 603.559608 \quad \text{for } A.f = 2 \text{ cm/S} \quad d_{V.S} = 0.001657 \text{ m}$$

$$d_{VS}^{-1} = 776.406976 \quad \text{for } A.f = 3 \text{ cm/S} \quad d_{V.S} = 0.001288 \text{ m}$$

$$d_{VS}^{-1} = 949.254341 \quad \text{for } A.f = 4 \text{ cm/S} \quad d_{V.S} = 0.001053 \text{ m}$$

โดย $d_{VS}^{-1} = 257.864879 + 3.934282 \left(\frac{\rho_c A f}{\eta_c S} \right)$

4) การคำนวณหา L' ในสมการ 4.15

จุดทดลอง $(\Delta\rho)^{0.255} \times (S(1-\epsilon))^{0.426} = 32.733541$

1 For $A.f = 1.0$ cm/S $A = 2$ cm $f = .5$ Hz

$$L = (0.002322)^{0.787} (0.02 \cdot 0.5^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.593301$$

2 $A = 3$ cm $f = 1/3$ Hz

$$L = 0.008451 (0.03 (1/3)^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.628936$$

3 $A = 4$ cm $f = .25$ Hz

$$L = 0.008451 (0.04 \times 0.25^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.655538$$

4 For $A.f = 2.0$ cm/S $A = 2$ cm $f = 1$ Hz

$$L = (0.001657)^{0.787} (0.02 \times 1^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.372607$$

5 $A = 3$ cm $f = 2/3$ Hz

$$L = 0.006480 (0.03 \times (2/3)^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.394982$$

6 $A = 4$ cm $f = 0.5$ Hz

$$L = 0.006480 (0.04 \times 0.5^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.411688$$

7 For $A.f = 3.0$ cm/S $A = 2$ cm $f = 1.5$ Hz

$$L = (0.001288)^{0.787} (0.02 \times 1.5^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.271916$$

8 $A = 3$ cm $f = 1.0$ Hz

$$L' = 0.005315 \quad (0.03 \times 1^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.286264$$

9 $A = 4 \text{ cm } f = 0.75 \text{ Hz}$

$$L' = 0.005315 \quad (0.04 \times .75^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.300451$$

10 For $A.f = 4.0 \text{ cm/S } A = 2 \text{ cm } f = 2 \text{ Hz}$

$$L' = (0.001053)^{0.787} \quad (0.02 \times 2^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.213599$$

11 $A = 3 \text{ cm } f = 4/3 \text{ Hz}$

$$L' = 0.004536 \quad (0.03 \times (4/3)^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.226442$$

12 $A = 4 \text{ cm } f = 1 \text{ Hz}$

$$L' = 0.004536 \quad (0.04 \times 1^2)^{-0.144} \times 32.733541 = 0.236019$$

๕) การคำนวณหา \bar{V}_0 จากสมการ 4.15 ก, ข และสมการ 4.14

จุดทดลอง	A m	f Hz	สมการที่ ต้องใช้	\bar{V}_0 จาก สมการ II-15	\bar{V}_0 จาก สมการ II-14
1	0.02	0.5	15 ข	0.191587	0.066716
2	0.03	1/3	15 ข	0.200326	-
3	0.04	0.25	15 ข	0.206766	-
4	0.02	1	15 ก	0.153805	0.050547
5	0.03	2/3	15 ก	0.170489	-
6	0.04	0.5	15 ข	0.181153	-
7	0.02	1.5	15 ก	0.104226	0.040684
8	0.03	1	15 ก	0.115533	-
9	0.04	0.75	15 ก	0.124291	-

10	0.02	2	15 n	0.077787	0.034029
11	0.03	4/3	15 n	0.086225	-
12	0.04	1	15 n	0.092761	-

สมการ 4.15 ก: $\bar{V}_0 = 5.983899 d_{VS}^{0.727} (A \cdot f^2)^{-0.254}$

สมการ 4.15 ข: $\bar{V}_0 = 0.074337 d_{VS}^{-0.06} (A \cdot f^2)^{-0.110}$

๑) การคำนวณหาระดับความจุสูงสุดโดยวิธีการใช้ความเร็วแคนรคเคอริสติก

จากข้อมูลการทดลอง $V_C = 0.00250265 \text{ m/S}$ (คงที่) และ $\epsilon = 0.69$

(1) ขั้นตอนในการคำนวณหาระดับความจุสูงสุดโดยรู้ค่า A , f , \bar{V}_0 และ $V_{C,f}$ โดยอาศัย \bar{V}_0 จากสมการ 4.15

\bar{V}_0 , ϵ , $V_{C,f}$ + สมการ 4.4 ข + $\phi_{d,f}$ + สมการ 4.4 ก + $V_{d,f}$

จุดทดลอง	A m	f Hz	Af cm/S	$r = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{C,f}}{\epsilon \bar{V}_0} - 1 \right)$	
				ใช้ \bar{V}_0 สมการ 15	\bar{V}_0 สมการ 14
1	0.02	0.5	1.0	-0.490534	-0.470817
2	0.03	1/3	1.0	-0.490947	-0.470817
3	0.04	0.25	1.0	-0.491229	-0.470817
4	0.02	1	2.0	-0.488209	-0.464122
5	0.03	2/3	2.0	-0.489363	-0.464122
6	0.04	0.5	2.0	-0.489989	-0.464122
7	0.02	1.5	3.0	-0.482600	-0.455424
8	0.03	1	3.0	-0.484303	-0.455424
9	0.04	0.75	3.0	-0.485409	-0.455424
10	0.02	2	4.0	-0.476686	-0.446707
11	0.03	4/3	4.0	-0.478968	-0.446707

12. 0.04 1 4.0 -0.480450 -0.446707

จุดทดลอง	$b/2$	$b^2/4$	$(b^2/4 + a^3/27)^{1/2}$
1	0.009363	0.000088	0.008185
2	0.009156	0.000084	0.007937
3	0.009015	0.000081	0.007746
4	0.010525	0.000111	0.009487
5	0.009948	0.000099	0.008832
6	0.009635	0.000093	0.008485
7	0.013330	0.000172	0.012530
8	0.012478	0.000156	0.011619
9	0.011925	0.000142	0.011000
10	0.016287	0.000265	0.015620
11	0.015146	0.000229	0.014422
12	0.014405	0.000207	0.013638

หมายเหตุ: ในการหารากของสมการ $y^3 + Ap^2 + qy + r = 0$ ถ้าเปลี่ยน $y = x - \frac{p}{3}$

จะได้สมการ $x^3 + ax + b = 0$ ($a = \frac{1}{3}(3q - p^2)$);

$$b = \frac{1}{27}(2p^3 - 9pq + 27r) \text{ และ } x_1 = A + B \quad x_2 = x_3$$

$$= -\frac{1}{2}(A + B) \pm \frac{i\sqrt{3}}{2}(A - B); \quad A = \left(-\frac{b}{2} + \left(\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}\right)^{1/2}\right)^{1/3};$$

$$B = \left(-\frac{b}{2} - \left(\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}\right)^{1/2}\right)^{1/3}$$

จากสมการ 4.4 ข $\frac{V_{c,f}}{\epsilon V_0} = (1 - y)^2(1 - 2y) \quad y = V_{d,f}$

$$\frac{V_{c,f}}{\epsilon V_0} = 1 - 4y + 5y^2 - 2y^3$$

$$y^3 - 2.5y^2 + 2y + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{c,f}}{\epsilon \nabla_0} - 1 \right) = 0$$

ดังนั้น $P = -2.5$ $q = 2.0$ $r = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{c,f}}{\epsilon \nabla_0} - 1 \right)$ $a = -0.083333$

$$a^3 / 27 = -0.000021 \quad b = 0.509259 + r$$

จุดทดลอง	A	B	X_j
1	-0.105612	-0.259862	-0.365474
2	-0.106824	-0.257596	-0.364420
3	-0.108265	-0.255917	-0.364182
4	-0.101251	-0.271496	-0.372747
5	-0.103726	-0.265806	-0.369532
6	-0.104769	-0.262655	-0.367424
7	-0.092832	-0.295717	-0.388549
8	-0.095060	-0.288838	-0.383898
9	-0.097435	-0.284077	-0.381512
10	-0.087373	-0.317172	-0.404545
11	-0.089794	-0.309225	-0.399019
12	-0.091537	-0.303814	-0.395351

จุดทดลอง	Y	$2 \epsilon \nabla_0 y^2 (1 - y)$ $V_{d,f}$ (m/s)	$V_{d,f} A_T \epsilon$ G_d (1/h)
1	0.467859	0.030797	155.05
2	0.468913	0.032282	162.53
3	0.469151	0.033339	167.85
4	0.460586	0.024288	122.28
5	0.463801	0.027137	136.62

6	0.465909	0.028983	145.92
7	0.444784	0.015798	79.54
8	0.449435	0.017731	89.27
9	0.451821	0.019194	96.63
10	0.428788	0.011274	56.76
11	0.434314	0.013659	68.77
12	0.437982	0.013801	69.48

(2) ขั้นตอนในการคำนวณหาระดับความจุสูงสุดโดยรู้จัก A , f , \bar{V}_0 , และ $V_{c,f}$ โดยอาศัย \bar{V}_0 จากสมการ 4.14

\bar{V}_0 , ϵ , $V_{c,f} \rightarrow$ สมการ 4.4 ข $\rightarrow \phi_{d,f} \rightarrow$ สมการ 4.4 ก $\rightarrow V_{d,f}$

จุดทดลอง Af $r = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{c,f}}{\epsilon \bar{V}_0} - 1 \right)$ $b/2$ $b^2/4$ $(b^2/4 + a^3/27)^{1/2}$
 (cm/S) ใช้ \bar{V}_0 จากสมการ 14

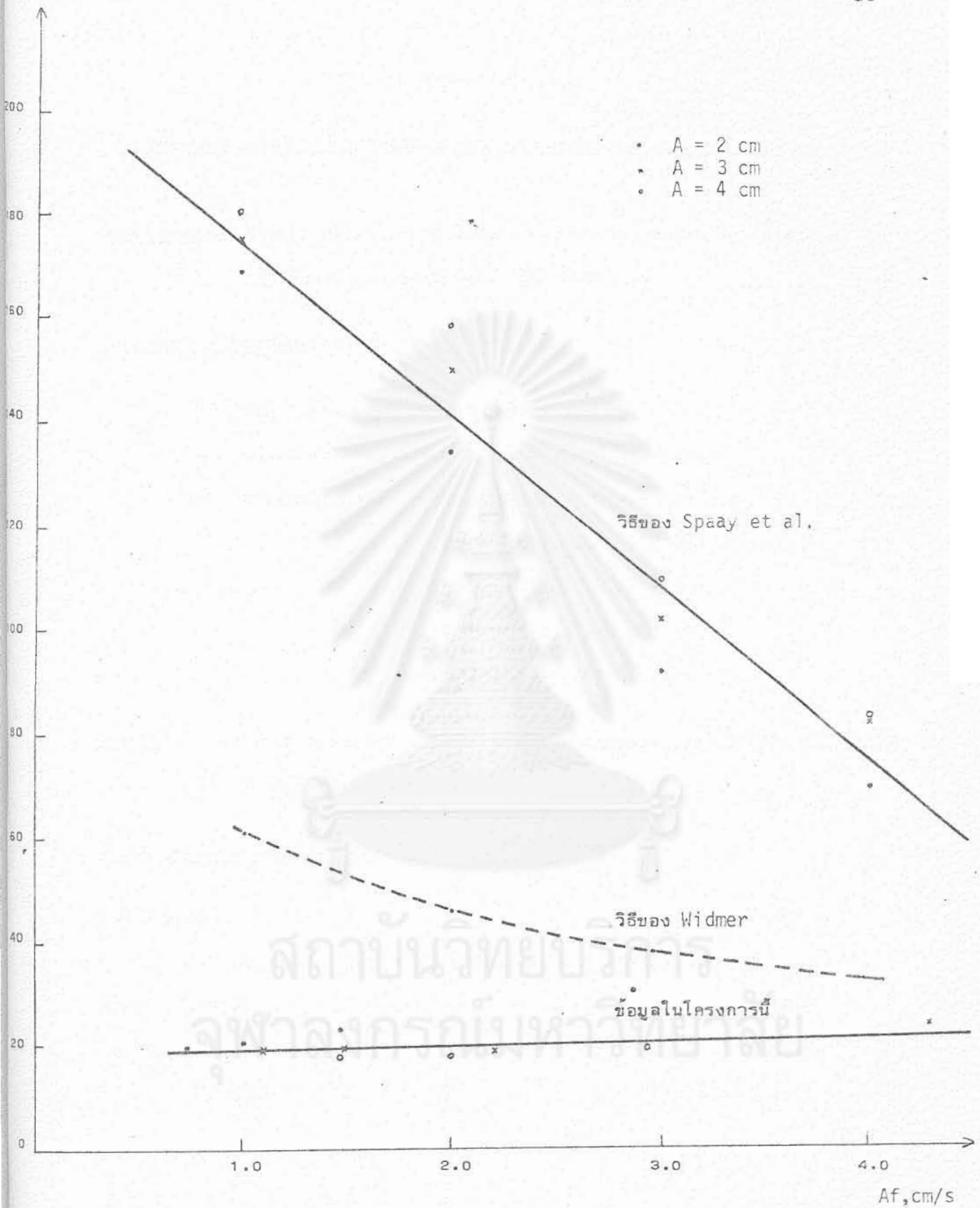
1	1.0	-0.472817	0.018221	0.000332	0.017635
2	2.0	-0.464122	0.022569	0.000509	0.022098
3	3.0	-0.455424	0.026918	0.000725	0.026525
4	4.0	-0.446707	0.031276	0.000978	0.030938

จุดทดลอง	A	B	X_i
1	-0.083682	-0.329752	-0.413434
2	-0.077805	-0.354810	-0.432615
3	-0.073248	-0.376672	-0.449920
4	-0.069658	-0.396244	-0.465902
	Y	$V_{d,f}$	G_d (1/h)
1	0.419899	0.009417	47.411256
2	0.400718	0.006712	33.792540

3	0.383413	0.005089	25.621311
4	0.367431	0.004010	20.188928



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 (ภาคผนวก ข.) ผลการเปรียบเทียบความสูงสุดของคอลัมน์
 แบบพัลส์แพคขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางสองนิ้ว ใช้แหวนแรซิงขนาด
 1/2 นิ้ว

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองความจุสูงสุดของคอลัมน์สกัดของ เหวลแบบพัลส์แผ่นรูปวงขนาด 70 ม.ม.

สถานที่ทดลอง: สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ
การพลังงาน ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพมหานคร

ลักษณะของ เครื่องสกัดของ เหวล

- แบบ : คอลัมน์สกัดของ เหวลแบบพัลส์แผ่นรูปวง
- ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 ม.ม. ความยาว 2 เมตร
- รายละเอียดภายใน : จำนวนแผ่น 42 ขนาดของรู 3 ม.ม.
เนื้อที่วัสดุไม่ได้เพื่อ $A_T = 35.48 \text{ cm}^2$
เปอร์เซ็นต์เนื้อที่ "VOID" 23%
ระยะระหว่างแผ่น 5 ซ.ม.
วัสดุที่ใช้ทำแผ่นรูปวง : เทฟลอน

สารที่ใช้: สารที่ใช้ประกอบด้วย 4N HNO_3 SOLUTION เป็นเฟสหลัก และ 5% TBP - KEROSENE
เป็นเฟสที่อยู่ในรูปหยด

ข้อมูลการทดลองหา เส้นความจุสูงสุด

$A = 2.5 \text{ cm}$

f (Hz)	Af (cm/S)	G_c (1/h)	G_d (1/h)	$G_c + G_d$ (1/h)	$F_c + F_d$, cm/S
0.5	1.25	30	72	102	0.7986
0.7	1.75	30	41	71	0.5559
1.0	2.50	30	66	96	0.7516

$A = 2.1 \text{ cm}$

0.5	1.05	30	68	98	0.7678
0.7	1.47	30	54	84	0.6576

$$\left(\frac{\mu_c^4 g}{\Delta\rho\gamma^3}\right)^{1.01} = \left(\frac{(1.08 \times 10^{-2})^4 g^4/S^4 - cm^4 \times 981 cm/S^2}{0.323 g/cm^3 \times (40.4)^3 g^3/S^6}\right)^{1.01}$$

$$= (0.062819 \times 10^{-8})^{1.01} = 5.082436 \times 10^{-10}$$

$$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_c}\right)^{1.80} = \left(\frac{0.323 g/cm^3}{1.13 g/cm^3}\right)^{1.80} = 0.10496$$

$$\left(\frac{\mu_d}{\mu_c}\right)^{0.3} = \left(\frac{1.47}{1.08}\right)^{0.3} = 1.0969$$

$$\left(\frac{\psi_f \mu_c^5 g_c}{\rho_c \gamma^4}\right)^{-0.24} = \left(\frac{\pi^2 (1 - S^2) \mu_c^5 (Af)^3}{2\rho_c \gamma^4 C_o^2 l}\right)^{-0.24}$$

$$= \left(\frac{\pi^2 \times 0.9471 \times (1.08 \times 10^{-2})^5 \frac{g^5}{S^5 - cm^5} (Af)^3 \frac{cm^3}{S^3}}{(1.13) \times (40.4)^4 \frac{g^4}{S^4} (0.6)^2 \times 5 cm}\right)^{-0.24}$$

$$= \left(\frac{9.3475019 \times 1.46933 \times 10^{-10} (Af)^3}{9590184}\right)^{-0.24}$$

$$= \left[1.267388 \times 10^{-16} (Af)^3\right]^{-0.24}$$

$$\bar{V}_o = \frac{cm}{S} = \frac{0.60 \times 40.4 g/S^2}{1.08 \times 10^{-2} g/S-cm} (Af)^{-0.72} 8768 (36359) (5.082436 \times 10^{-10})$$

$$(0.10496) 1.0969 = 41.868178 (Af)^{-0.72}$$

$$Af = 1 cm/S \bar{V}_o = 41.87 cm/S$$

$$Af = 2 cm/S \bar{V}_o = 25.42 cm/S$$

$$Af = 3 \text{ cm/S } \bar{V}_0 = 18.98 \text{ cm/S}$$

$$Af = 4 \text{ cm/S } \bar{V}_0 = 15.43 \text{ cm/S}$$

ในการคำนวณหาเส้นฟลอยด์ซึ่งเราต้องการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้มา เราพบว่ากรรมวิธีที่อาศัย \bar{V}_0 ต้องเริ่มด้วยการกำหนดอัตราการไหลระหว่างสองเฟส (C ซึ่งเท่ากับ G_d/G_c หรือ V_d/V_c) จึงสามารถคำนวณ $V_{cf} + V_{df}$ ตามที่ต้องการ (ตามสมการ 4ก, ข, ค ดังนี้

L	$\phi_{d,f}$	Af = 1 cm/S $\bar{V}_0 = 41.87$ cm/S	
		$V_{d,f}$	$(V_{c,f})$
0.5	0.2808	4.7487	(9.4962)
0.99	0.3325	6.1797	(6.2513)
1.5	0.3625	7.0151	(4.6812)
2.0	0.3820	7.5518	(3.7726)
2.5	0.3961	7.9342	(3.1737)

Af = 2 cm/S $\bar{V}_0 = 25.42$ cm/S		Af = 3 cm/S $\bar{V}_0 = 18.98$ cm/S		Af = 4 cm/S $\bar{V}_0 = 15.43$ cm/S	
$V_{d,f}$	$(V_{c,f})$	$V_{d,f}$	$(V_{c,f})$	$V_{d,f}$	$(V_{c,f})$
2.8830	(5.7652)	2.1525	(4.3047)	1.7500	(3.4995)
3.7518	(3.7952)	2.8013	(2.8337)	2.2773	(2.3038)
4.2589	(2.8419)	3.1800	(2.1220)	2.5852	(1.7251)
4.5849	(2.2904)	3.4232	(1.7100)	2.7830	(1.3902)
4.8170	(1.9269)	3.5966	(1.4387)	2.9239	(1.1696)

ซึ่งข้อมูลนี้ต่างมาจากข้อมูลที่ได้จริงในการทดลอง

2) จากสมการของ SMOOT, MARR AND BABB⁽³⁵⁾

$$g_c \psi_f = \frac{\pi^2 (1 - S^2) (Af)^3}{2 C_0^2} = \frac{\pi^2 (0.9471) (Af)^3}{2 (0.6)^2} \times \frac{2.54 \times 12 \text{ cm}}{5 \text{ cm} \text{ ft}}$$

$$= 79.1422 (Af)^3 \text{ where } Af = \text{ft/h}$$

$$V_{c,f} + V_{df} = 3.2 \times 10^5 \frac{\Delta\rho^{0.63} d_o^{0.458}}{\gamma^{0.144} (g_c \psi_f)^{0.207} \nu_d^{0.20} L^{0.014}}$$

$$(\Delta\rho)^{0.63} = \left(0.323 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1b^*}{454\text{g}} \times \left(\frac{30.48 \text{ cm}}{\text{ft}} \right)^3 \right)^{0.63}$$

$$= 20.1461^{0.63} = 6.631941$$

$$(d_o)^{0.458} = \left(0.3 \text{ cm} \times \frac{\text{ft}}{30.48 \text{ cm}} \right)^{0.458} = 0.120460$$

$$(\gamma)^{0.144} = \left(40.4 \text{ g/S}^2 \times \frac{1b}{454 \text{ g}} \times \frac{3600^2 \text{ S}^2}{h^2} \right)^{0.144} = (1153268.722)^{0.144}$$

$$= 7.463078$$

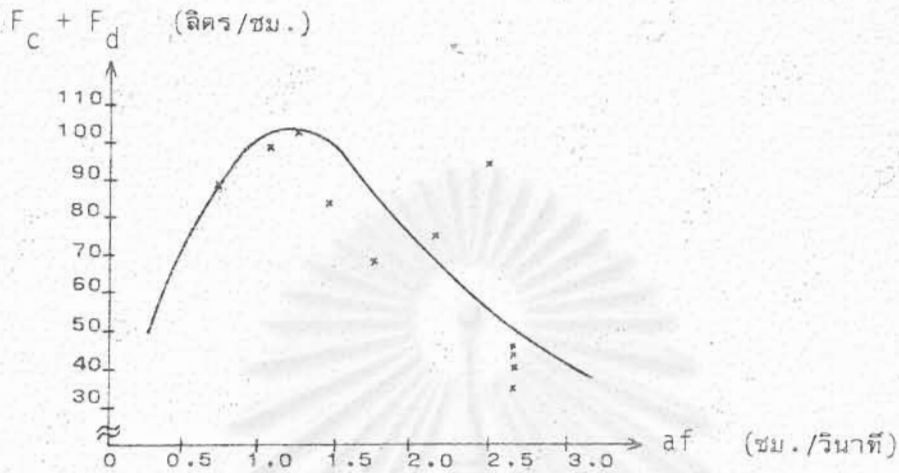
$$(\nu_d)^{0.20} = \left(0.0147 \text{ g/S-cm} \times \frac{1b}{454 \text{ g}} \times \frac{3600 \text{ S}}{h} \times \frac{30.48 \text{ cm}}{\text{ft}} \right)^{0.20}$$

$$= (3,552,687)^{0.20} = 1.288593$$

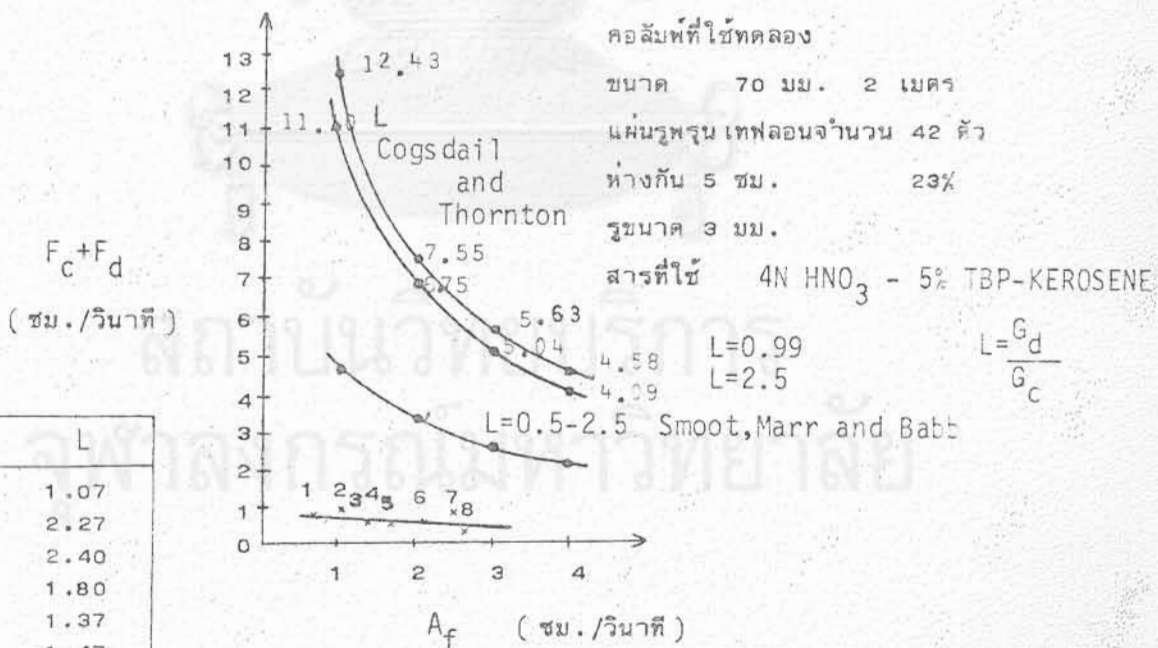
$$V_{c,f} + V_{df}, \text{ ft/h} = 26583 \{79.1422 (Af)^3\}^{-0.207} L^{-0.014}$$

$$= 10755.6 (Af)^{-0.621} L^{-0.014}$$

L	Af = 1 cm/S -0.621 (118.110) 0.0517	Af = 2 cm/S -0.621 (236.220) 0.0336	Af = 3 cm/S -0.621 (354.331) 0.0261	Af = 4 cm/S -0.621 (472.441) 0.0218
0.5	561.5 (4.75)	364.9 (3.09)	283.4 (2.40)	236.8 (2.00)
1.0	555.0 (4.71)	361.4 (3.06)	280.7 (2.38)	234.5 (1.98)
1.5	552.9 (4.68)	359.3 (3.04)	279.1 (2.36)	233.1 (1.97)
2.0	550.7 (4.66)	357.9 (3.03)	278.0 (2.35)	232.2 (1.97)
2.5	549.0 (4.64)	356.8 (3.02)	277.1 (2.35)	231.5 (1.96)



รูปที่ 1 (ภาคผนวก ค.) ข้อมูลความจุสูงสุดของคอลัมน์แผ่นรุกรน ขนาด 70 มม.



หมายเลข	L
1	1.07
2	2.27
3	2.40
4	1.80
5	1.37
6	1.47
7	2.20
8	1.0-2.0

รูปที่ 2 เปรียบเทียบข้อมูลความจุสูงสุดของคอลัมน์แผ่นรุกรนกับสมการทั่วไป (ภาคผนวก ค.)

1.0	2.10	30	44	74	0.5794
0.357	0.75	30	59	89	0.6968
1.25	2.63	20	20	40	0.3132
1.25	2.63	18	11	36	0.2818
1.25	2.63	15	29	44	0.3445
1.25	2.63	15	28	43	0.3367

ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ข้อมูลด้านคออิมน์

$$S = 0.23$$

$$C_o = 0.60 \text{ (ORIFICE COEFFICIENT)}$$

$$l = 5 \text{ cm}$$

$$d_o = 0.3 \text{ cm}$$

ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของระบบน้ำมันก๊าด - น้ำ (c หมายถึง น้ำ, d หมายถึง น้ำมันก๊าด)

$$\mu_c = 1.08 \text{ cp} = 1.08 \times 10^{-2} \text{ g/s-cm}$$

$$\mu_d = 1.47 \text{ cp} = 1.47 \times 10^{-2} \text{ g/s-cm}$$

$$\gamma = 40.4 \text{ dyn/cm} \text{ (1 dyne = g-cm/S}^2\text{)}$$

$$\Delta p = 0.193 \text{ g/cm}^3 + 0.130 = 0.323$$

$$\rho_c = 1.130$$

$$\rho_d = 0.8071$$

$$g_c = 981 \text{ cm/S}^2 \text{ (gm/gf)}$$

$$g = 981 \text{ cm/S}^2$$

1) จากสมการ LOGSDAIL, THORNTON AND PRATT⁽³⁴⁾ (สมการ 4.19 ก)

$$\left(\frac{d_o \rho_c \gamma}{\mu_c^2} \right)^{0.90} = \left(\frac{0.3 \text{ cm} \times 1.13 \text{ g/cm}^3 \times 40.4 \text{ g/S}^2}{(1.08 \times 10^{-2})^2 \text{ g}^2/\text{S}^2\text{-cm}^2} \right)^{0.90} = (117417)^{0.90}$$

$$= 36359$$

ภาคผนวก ง

การหา H.E.T.P. จากโมเดลทวิชั้น

1. การคำนวณหาความเข้มข้นของมวลสารในสองเฟส

$$\text{กรณี } I_2 - H_2O - CC/4$$

$$\text{เมื่อ } Pe_x = 10.0 \quad Pe_y = 3.0 \quad N_{ox} = 2.0 \quad N_{oy} = 4.5$$

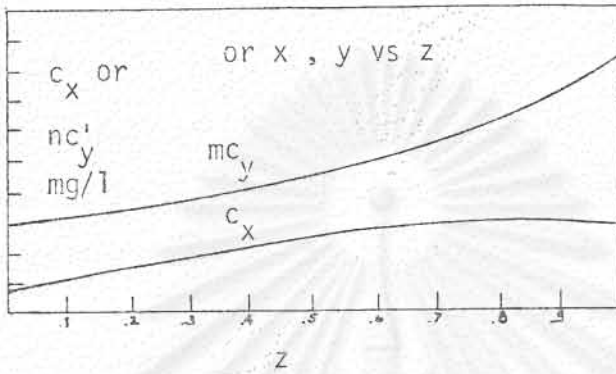
$$m = 90.0 = \left(\frac{C_x}{C_y} \right)_{\text{equil.}} \quad F = 2.25 \quad C_{x,in} = 0.0 \quad C_{y,in} = 200.0(\text{mg/l})$$

สำหรับข้อมูลนี้สามารถคำนวณความเข้มข้นของมวลสารตามความสูงของคอลัมน์ ($Z = 0$ หมายถึง บนสุดของคอลัมน์) ดังนี้

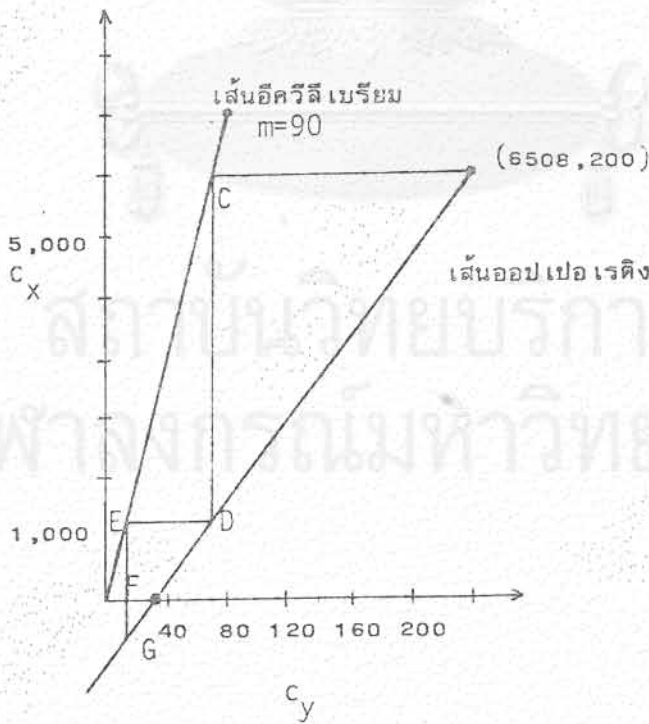
Z	C_x	C_y	X	Y
0	520	37.3	0.97	0.81
0.1	1023	39.1	0.94	0.80
0.2	1522	43.7	0.92	0.78
0.3	2041	50.3	0.89	0.75
0.4	2600	58.4	0.86	0.71
0.5	3211	67.9	0.82	0.66
0.6	3881	78.6	0.78	0.61
0.7	4612	90.8	0.74	0.55
0.8	5385	104.4	0.70	0.48
0.9	6115	119.8	0.66	0.40
1.0	6508	137.2	0.64	0.31

การคำนวณ H.E.T.P.

เมื่อทราบความเข้มข้นของมวลสารในสองเฟสแล้วสามารถคำนวณหา H.E.T.P. จากกราฟที่วาดไว้ดังนี้ สามารถคำนวณได้ว่า จำนวนแผ่นอีควิลีเบรียม(EQUILIBRIUM PLATE)



รูปที่ 1 (ภาคผนวก ง.) ความเข้มข้นของมลสารในคอลัมน์



รูปที่ 2 (ภาคผนวก ง.) การหา H.E.T.P

ถือ CD เป็นหนึ่งแผ่นอีควิวลิเบรียม และ EG เป็นอีกหนึ่งแผ่นอีควิวลิเบรียม แต่เนื่องจากเราหยุดได้แต่ F เขียนได้ว่าจำนวนแผ่นอีควิวลิเบรียมเท่ากับ $CD = \frac{EF}{EG} = 1 + 0.61704 = 1.61704$ และเมื่อ $L = 2$ เมตร H.E.T.P. = $2/1.61704 = 1.237 = 1.24$ ม. (ดูตาราง 4.1)

ในกรณีที่ Pe_x , Pe_y , N_{ox} เขียนโดยถือความยาวของคอลัมน์เป็น L เมตร เขียนได้ว่า จำนวนแผ่นอีควิวลิเบรียม/L = H.E.T.P. (HEIGHT EQUIVALENT TO A THEORETICAL PLATE) โดยมีข้อสังเกตว่าแผ่นอีควิวลิเบรียม (EQUILIBRIUM PLATE) และแผ่นอีโอรเด็คคัล (THEORETICAL PLATE) คือสิ่งเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

โมเดลการถ่ายเทมวลสารแบบคิวิวชันสำหรับคอลัมน์สกัดของเหลว (*)

1. บทนำ

ข้อแตกต่างระหว่างโมเดลคณิตศาสตร์หลักที่อธิบายการถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์ ซึ่งมีโมเดลสำคัญอยู่สองโมเดล คือ โมเดลของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร และโมเดลแบบคิวิวชัน (Diffusion model) ข้อแตกต่างหลักระหว่างโมเดลทั้งสองนี้ได้แก่การที่โมเดลหนึ่งสมมุติการไหลของ เฟสทั้งสองภายในคอลัมน์เป็นการไหลทรงกระบอก โมเดลที่สองนั้นสมมุติการไหลของ เฟสทั้งสองเป็นการไหลที่อยู่ระหว่างการไหลทรงกระบอกและการไหลแบบก้างวาน ดังนั้น ถ้าดูความเข้มข้นของมวลสารในคอลัมน์ตามโมเดลทั้งสอง จะได้ภาพความเข้มข้นของมวลสารดังแสดงไว้ในรูปที่ 1

ข้อแตกต่างสำคัญระหว่างโมเดลการถ่ายเทมวลสารทั้งสองสามารถสรุปได้ดังนี้ ประเด็นแรกในลักษณะการใกล้เคียงความจริงที่ปรากฏภายในคอลัมน์สกัดของเหลว พบได้ว่า โมเดลแบบคิวิวชันใกล้เคียงความจริงกว่า เพราะเฟสทั้งสองไม่ไหลเป็นทรงกระบอก ประเด็นที่สองเกี่ยวกับความสะดวกในการใช้โมเดลมาออกแบบความสูงของคอลัมน์ พบได้ว่า โมเดลของหน่วยถ่ายเทมวลสารใช้ได้ง่ายกว่า ทั้งนี้เพราะตัวแปรมือน้อยกว่า แต่เนื่องจากคิวิวชันโมเดลใกล้เคียงความจริงภายในคอลัมน์มากที่สุด สมควรอย่างยิ่งที่จะได้พยายามนำคิวิวชันโมเดลมาใช้ให้มากที่สุด ทั้ง ๆ ที่จำนวนตัวแปรมือน้อยกว่า

* ข้อความในภาคผนวก จ ได้มาจากเอกสารอ้างอิงจำนวนมาก แต่ที่สำคัญที่สุดคือ เอกสารอ้างอิงหมายเลข (45) ข้อความในภาคผนวก จ นี้ได้นำมาบางส่วนจากวิทยานิพนธ์ปริญญาโทของนายนิหิต์ ชินชูศักดิ์ เอกสารอ้างอิงหมายเลข (46) และจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข (47)

2. โมเดลแบบตีพิวขึ้น

ปรากฏการณ์ในเครื่องสก็คของเหลวสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2 และ 3 ใ
รูปที่สองแสดงถึงการผสมย้อนกลับภายในคอลัมน์ อันเกิดขึ้นจากพลังงานอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น
การเขย่าโดยกรรมวิธีพัลส์ หรือการผสมที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของ
เฟสทั้งสอง ทำให้เกิดการไหลสวนทางกันและเกิดการผสมในคอลัมน์ ซึ่งปรากฏการณ์แบบนี้ที่
พบกันอยู่ประจำ แสดงให้เห็นว่าการไหลแบบทรงกระบอกไม่มีเลยในคอลัมน์จริง ๆ สำหรับ
การนำแนวความคิดการผสมย้อนกลับมาประกอบเป็นโมเดลที่เรียกว่า ตีพิวขึ้น ซึ่งเป็นโมเดล
การถ่ายเทมวลสาร จำเป็นต้องนำหลักการของการผสมย้อนกลับมาเขียนเป็นโมเดลการไหล
เรียกว่า การไหลแบบทรงกระบอกผสมตีพิวขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 เมื่อใส่ขบวนการถ่าย-
เทมวลสารเข้าไปในโมเดลการไหลแบบนี้ จะพบว่าโมเดลที่ได้มากลายเป็นโมเดลถ่ายเทมวล
สาร เรียกว่า ตีพิวขึ้นโมเดล

ในรูปที่ 4 ได้แสดงรูปแบบของการไหลสวนทางของสองเฟสที่ไหลในลักษณะทรง
กระบอกผสมตีพิวขึ้น มีการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างเฟสทั้งสองตามทิศทางที่ได้ระบุไว้
ในรูปที่ 4

ขั้นตอนที่ถูกต้องในการได้มาซึ่งสมการต้องทำสมดุลของมวลสารในพื้นที่ตัดของ-
คอลัมน์ที่มีความหนา ΔZ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{อัตรามวลสารที่ไหลผ่าน } z - \text{อัตรามวลสารที่ไหลผ่าน } z + \Delta Z - \\
 & \text{อัตรามวลสารที่ผ่านออกจากการถ่ายเทมวลสารจาก เฟสหนึ่งไปเฟสสอง} \\
 & = \text{อัตราการผลิตของมวลสารในเนื้อที่} \\
 \text{ดังนั้น } ** & \quad v_y A_t \phi y / z - v_y A_t \phi y / z + \Delta Z + J_y A_t / z - J_y A_t / z + \Delta Z \\
 & \quad + K_{ox} \cdot a A_t \Delta Z (X - X^*) = 0 \quad (2)
 \end{aligned}$$

**ในการคำนวณสมการ (2) และ (3) ได้สมมุติว่า เฟส y อยู่ในรูปหยด

$$v_{x,t} A_t (1-\epsilon) x / z + \Delta z - v_{x,t} A_t (1-\epsilon) x / z + J_{x,t} A_t / z + \Delta z - J_{x,t} A_t / z - K_{ox} \cdot a A_t \Delta z (x-x^*) = 0 \quad (3)$$

ตามหลักการของแคลคูลัส เราสามารถหารสมการ (2) และ (3) ด้วย Δz และให้ Δz มีค่าเล็กลงไปเรื่อย ๆ ในที่สุดเราจะได้สมการดังนี้***

$$\frac{1}{P_x} \frac{d^2 x}{dz^2} + \frac{dx}{dz} - R_x (x-x^*) = 0 \quad (4)$$

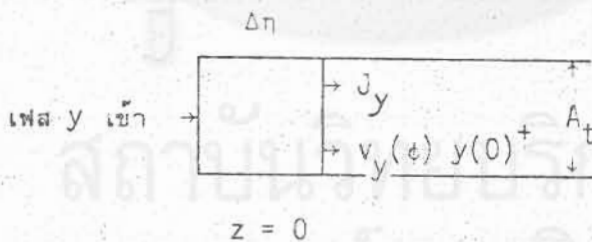
$$\frac{1}{P_y} \frac{d^2 y}{dz^2} - \frac{dy}{dz} + P_y (x-x^*) = 0 \quad (5)$$

การทำสมดุลย์มวลสารในบริเวณหัวท้ายของคอลัมน์ ทำให้เราสามารถหาสภาพหัวท้ายของคอลัมน์ได้ ดังนี้

$$\text{เมื่อ } Z = 0: \quad \frac{dx(0)}{dz} = 0 \quad (6)$$

ซึ่งสังเกตได้จากความเข้มข้นของมวลสารในทางออกของคอลัมน์สำหรับ เฟส X

เมื่อ $Z = 0$ สามารถเขียนสมดุลย์มวลสารสำหรับพื้นที่ตัดหน้า $\Delta \eta$ ได้ดังนี้



รูปที่ 5 อธิบายสมดุลย์มวลสาร สำหรับเฟส y ตอน $Z = 0$

ตามปรกติหากทิศการไหลของ เฟสตรงกับแนว เคอร์ที่แสดงความยาวของคอลัมน์

เราเขียน $J_i = -D_i \frac{dC_i}{dz}$

ตามรูปที่ 5 สามารถเขียนสมการมวลสารในลักษณะเดียวกับสมการที่ 1 คือ

$$G_y Y_{in} - \left[J_y A_t + v_y \epsilon \cdot Y(0)^+ A_t \right] = 0 \quad (7a)$$

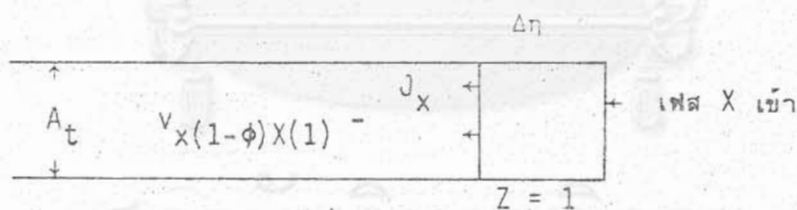
$$Y_{in} = - \frac{D_y \frac{dy(0)^+}{dz}}{G_y/A_t} + \frac{F_y Y(0)^+}{G_y/A_t} \quad (7b)$$

$$\begin{aligned} Y_{in} &= Y(0)^+ - \frac{D_y}{F_y L} \frac{dy(0)^+}{dz} \\ &= Y(0)^+ - \frac{1}{P_y} \frac{dy(0)^+}{dz} \end{aligned} \quad (7c)$$

$$\text{เมื่อ } Z = 1 \quad \frac{dy(1)}{dz} = 0 \quad (8)$$

เมื่อ $Z = 1$ สามารถเขียนสมการมวลสารสำหรับพื้นที่ตัด หน้า $\Delta\eta$ ตามรูปที่ 6

ได้ ดังนี้

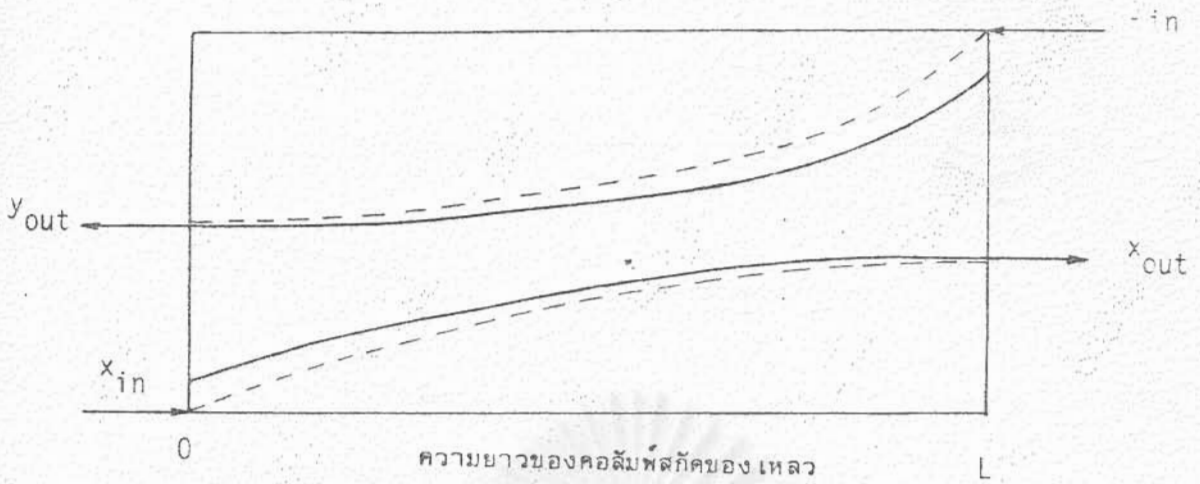


รูปที่ 6 ภาคผนวก จ - อธิบายสมการมวลสาร

สำหรับเฟส X ตอน $Z = 1$

$$G_x X_{in} - \left[J_x A_t + v_{x(1-\phi)} X(1)^- A_t \right] = 0 \quad (9a)$$

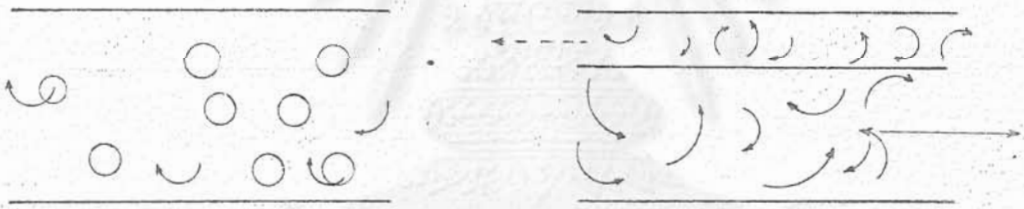
$$X_{in} = D_x \frac{dX(1)^-}{dz} + \frac{F_x X(1)^-}{G_x/A_t} \quad (9b)$$



รูปที่ 1 (ภาคผนวก จ) ความเข้มข้นของมวลสารในคอลัมน์ที่สกัดของเหลว

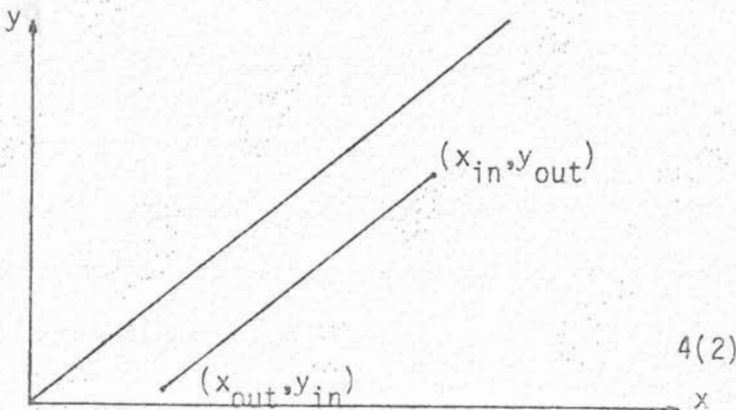
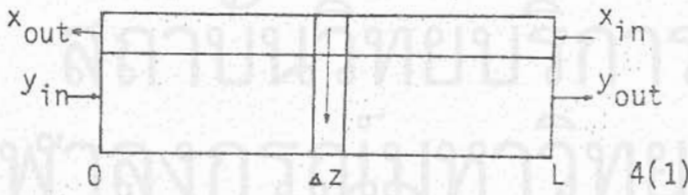
- เส้นตัดแสดงถึงการไหลแบบทรงกระบอก
- เส้นเต็มแสดงการไหลแบบดิสเพอร์ชัน

(การถ่ายเทมวลสารที่แสดงไว้ในรูปนี้เป็นการถ่ายเทมวลสารจากเฟส X มายังเฟส Y)



รูปที่ 2 (ภาคผนวก จ) ปรากฏการณ์การผสมย้อนกลับภายในเครื่องสกัดของเหลว

รูปที่ 3 (ภาคผนวก จ.) การไหลแบบทรงกระบอกผสมดีฟิวชัน (piston diffusion flow)



รูปที่ 4 (ภาคผนวก จ.) คอลัมน์ที่สกัดของเหลวและค่าความเข้มข้นของ



$$\begin{aligned}
 X_{in} &= X(1)^- + \frac{D_x}{F_x L} \frac{dx(1)^-}{dz} \\
 &= X(1)^- + \frac{1}{p} \frac{dx(1)^-}{dz} \quad (9a)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น สมการ 4 กับ 5 เป็นสมการของคิพวขึ้นโมเลกุล และสมการ 6, 7a, 8, 9a เป็นสมการที่แสดงสภาพตรงหัวท้าย (หมายถึงที่ $Z = 0$ และ $Z = 1$)

ในการอินเตเกรตสมการมีอยู่สองกรณี คือ กรณีที่เส้นอีควิวลิเบรียมของมวลสารระหว่างเฟสทั้งสองเป็นเส้นตรง อันนี้กรณีหนึ่ง และกรณีที่เส้นอีควิวลิเบรียมมิได้เป็นเส้นตรง ในกรณีแรกการอินเตเกรตสามารถทำได้โดยวิธีอานาลิติคัล หรือ วิธีนิวเมริคัลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่สองสามารถใช้วิธีนิวเมริคัลแต่อย่างเดียว ซึ่งวิธีอินเตเกรตเหล่านี้จะได้เสนอในหัวข้อต่อไป

3. การแก้สมการคิพวขึ้นโมเลกุลในกรณีเส้นอีควิวลิเบรียมเป็นเส้นตรง (โดยใช้วิธีอานาลิติคัล)*

สมการคิพวขึ้นโมเลกุลสามารถรวมเป็นสมการเดียว โดยสร้างตัวแปรใหม่ดังนี้

$$g = y^* \left(= \frac{X}{m'} \right) \quad (10)$$

$$R_g = R_x / m' \quad (11)$$

ดังนั้น สามารถเขียนสมการที่ 4 เป็นดังนี้

$$\frac{1}{P_x} \frac{d^2 g}{dz^2} + \frac{dg}{dz} + R_g (Y - g) = 0 \quad (12a)$$

ในสมการที่ 5 เราตั้ง y^* เท่ากับ g และคำนวณหา g ดังนี้

(*) กรรมวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ผู้วิจัยได้อ่านจากวารสารฉบับหนึ่งซึ่งไม่ได้บันทึกไว้

และนำเอามาเสนอในเอกสารอ้างอิงหมายเลข 23 และ 24 แต่ทั้งนี้กรรมวิธีดังกล่าวไม่ว่าอะไรที่ใหม่ เป็นการแก้สมการธรรมดา

$$g = \frac{1}{R_y} \left(-\frac{1}{P_y} \frac{d^2 y}{dZ^2} + \frac{dy}{dZ} \right) + y \quad (12b)$$

เมื่อดิเฟอเรนเชียลสมการ 12b สองครั้ง เราสามารถได้ dg/dZ กับ d^2g/dZ^2 เพื่อกลับเอาไปใช้ในสมการ 12a

$$\frac{dg}{dZ} = \frac{1}{R_y} \left(-\frac{1}{P_y} \frac{d^3 y}{dZ^3} + \frac{d^2 y}{dZ^2} \right) + \frac{dy}{dZ} \quad (12c)$$

$$\frac{d^2 g}{dZ^2} = \frac{1}{R_y} \left(-\frac{1}{P_y} \frac{d^4 y}{dZ^4} + \frac{d^3 y}{dZ^3} \right) + \frac{d^2 y}{dZ^2} \quad (12d)$$

เสร็จแล้วนำสมการ 12c กับ 12d ไปใส่ในสมการ 12a ได้สมการดังนี้

$$\frac{d^4 y}{dZ^4} + b \frac{d^3 y}{dZ^3} + c \frac{d^2 y}{dZ^2} + d \frac{dy}{dZ} = 0 \quad (13a)$$

$$\text{โดยที่ } b = P_x - P_y \quad (13b)$$

$$c = -(P_y R_y + P_x P_y + P_x R_g) \quad (13c)$$

$$d = \left(\frac{R_g}{R_y} - 1 \right) P_x P_y R_y \quad (13d)$$

การแก้สมการ 13a ทำได้ดังนี้ คือ ตั้ง $\psi = \frac{dy}{dZ}$ และ ได้

$$\frac{d^3 \psi}{dZ^3} + b \frac{d^2 \psi}{dZ^2} + c \frac{d\psi}{dZ} + d\psi = 0 \quad (14a)$$

ในการอินเตเกรตสมการ 14a เราจะสมมุติคำตอบในลักษณะ $\psi = c e^{mZ}$ ซึ่งเมื่อใส่เข้าไปในสมการ 14a จะได้

$$m^3 e^{mZ} + b m^2 e^{mZ} + c m e^{mZ} + d e^{mZ} = 0 \quad (14b)$$

$$m^3 + b m^2 + c m + d = 0 \quad (14c)$$

ดังนั้น
$$\psi = k_1 e^{m_1 Z} + k_2 e^{m_2 Z} + k_3 e^{m_3 Z} \quad (14g)$$

ถ้าเราอินเทเกรตสมการ 14g จะได้สมการในรูป y กลับมา

$$Y = \frac{k_1}{m_1} e^{m_1 Z} + \frac{k_2}{m_2} e^{m_2 Z} + \frac{k_3}{m_3} e^{m_3 Z} + k \quad (15)$$

m_1, m_2, m_3 หาได้ดังนี้

$$m_1, m_2, m_3 = \mp 2\sqrt{-p/13} \cos\left(\frac{\phi}{3} + 120k\right) \quad k=0,1,2 \quad (16)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{q^2/4}{-p^3/27} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$p = \frac{3c - b^2}{3} \quad (18)$$

$$q = \frac{1}{27} (27d - 9bc + 2b^3) \quad (19)$$

โดยที่เครื่องหมายลบจะใช้ในกรณี $q > 0$ และเครื่องหมายบวกในกรณี $q < 0$ เสร็จแล้วเมื่อเติมสมการที่แสดงถึงสภาพเขตตรงหัวท้ายของคอลัมน์ เขียนคำตอบได้ดังนี้

$$Y = Y_{in} + \frac{1}{P} \frac{1}{y} \sum_{i=1}^3 k_i + \sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{m_i} (e^{m_i Z} - 1) \quad (20)$$

$$\frac{X}{m'} = Y_{in} + \frac{1}{P} \frac{1}{e_y} \sum_{i=1}^3 k_i - \sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{m_i} + \sum_{i=1}^3 e^{m_i Z} \left(\frac{1}{m_i} + \frac{1}{R_y} - \frac{m_i}{P_y R_y} \right) \quad (21)$$

โดยที่ k_1, k_2, k_3 คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$-\sum_{i=1}^3 k_i \left(1 + \frac{m_i}{R_y} - \frac{m_i^2}{P_y R_y} \right) = 0 \quad (22n)$$

4. การแก้สมการคิวิซันโบเคลในกรณีเส้นอคริลี เบรียม เป็นเส้นโค้ง (โดยใช้วิธีนิว เมริคัล)

ในกรณีที่เส้นอคริลี เบรียม เป็นเส้นโค้ง การแก้สมการต้องอาศัยวิธีนิว เมริคัลของ
ไฟไนต์ดิเฟอเรนส์ ดังจะอธิบายต่อไปนี้ รูปที่ 4 ภาคผนวก จ แสดงถึงระบบที่ใช้และ-
สัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้ จากสมการ 4 กับ 5 ในภาคผนวกนี้สามารถเขียน

$$\frac{1}{P_x} \frac{d^2x}{dZ^2} + \frac{dx}{dZ} - R_x (x-x^*) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{1}{P_y} \frac{d^2y}{dZ^2} - \frac{dy}{dZ} + P_y (x-x^*) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{d^2x}{dZ^2} = \frac{X_{n+1} - 2X_n + X_{n-1}}{\Delta Z^2} \quad (25ก)$$

$$\frac{d^2y}{dZ^2} = \frac{Y_{n+1} - 2Y_n + Y_{n-1}}{\Delta Z^2} \quad (25ข)$$

$$\frac{dx}{dZ} = \frac{X_{n+1} - X_{n-1}}{2\Delta Z} \quad (25ค)$$

$$\frac{dy}{dZ} = \frac{Y_{n+1} - Y_{n-1}}{2\Delta Z} \quad (25ง)$$

ในที่สุดได้

$$\left(\frac{1}{P_x} - \frac{1}{2} \Delta Z\right) X_{n-1} + \left(-\frac{2}{P_x} - R_x \Delta Z^2\right) X_n + \left(\frac{1}{P_x} + \frac{1}{2} \Delta Z\right) X_{n+1} + \Delta Z^2 m_n R_x Y_n = 0 \quad (26)$$

$$\left(\frac{1}{P_y} + \frac{1}{2} \Delta Z\right) Y_{n-1} + \left(-\frac{2}{P_y} - R_y \Delta Z^2 m_n\right) Y_n + \left(\frac{1}{P_y} - \frac{1}{2} \Delta Z\right) Y_{n+1} + \Delta Z^2 R_y X_n = 0 \quad (27)$$

สภาวะตรง เซก เป็นดังนี้

$$\text{เมื่อ } Z = 0 \quad \frac{dx(0)}{dZ} = 0 \quad (28\text{น}) \quad Y_{in} = Y(0)^+ - \frac{1}{P_y} \frac{dy(0)^+}{dZ} \quad (28\text{ข})$$

$$Z = 1 \quad \frac{dy(1)}{dZ} = 0 \quad (28ค) \quad X_{in} = X(1)^- + \frac{1}{P_x} \frac{dx(1)^-}{dZ} \quad (28ง)$$

สมการ 28ก หมายถึงว่า $X_0 = X_1$ (29ก)

สมการ 28ข หมายถึงว่า $(1 + \frac{1}{P_y} \frac{1}{\Delta Z}) Y_0 + (-\frac{1}{P_y} \frac{1}{\Delta Z}) Y_1 = Y_{in}$ (29ข)

สมการ 28ค หมายถึงว่า $Y_n = Y_{n-1}$ (29ค)

สมการ 28ง หมายถึงว่า $(-\frac{1}{P_x} \frac{1}{\Delta Z}) X_{n-1} + (1 + \frac{1}{P_x} \frac{1}{\Delta Z}) X_n = X_{in}$ (29ง)

ในการแก้สมการ 26, 27 และสมการ 29 ทั้งสี่สมการ เพื่อได้มาซึ่ง X_i , Y_i ตั้งแต่ $i=0$ จนถึง $i=N$ จะต้องแก้เมตริกซ์ขนาด $N+2$ คูณ $N+2$ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 แต่ข้อที่ควรระวังคือ m_n ได้กลายเป็นฟังก์ชันของ X และก่อนจะหา m_n จะต้องสมมุติความเข้มข้นในเฟส X เสียก่อน ดังนั้นถ้าจะคำนวณหาเส้นความเข้มข้นในแนวความยาวของคอลัมน์ โดย R_y , P_x , P_y เป็นที่รู้จักแล้ว จำเป็นต้องสมมุติเส้น X เสียก่อน เสร็จให้แนววิซออปติคัลจนเส้น X ที่สมมุติกับเส้น X จริงตรงกันพอสมควร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$-\sum_{i=1}^3 k_i e^{m_i} = 0 \quad (22a)$$

$$\frac{X_{in}}{m'} = Y_{in} + \frac{1}{P_y} \sum_{i=1}^3 k_i - \sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{m_i} + \sum_{i=1}^3 \frac{e^{m_i} k_i}{m_i} \left(\frac{-m_i^3 + (P_y - P_x)m_i^2 + (P_x P_y + P_y P_y)m_i + P_x P_y R_y}{P_x P_y R_y} \right) \quad (22b)$$

สมการ 20, 21 ได้ถูกนำมาใช้กับตัวอย่างดังต่อไปนี้ คือ การสักมวลสารจะเกิดขึ้นจากเฟส y มายังเฟส X (เฟส X อยู่ในรูปหยด) : $Y_{in} = 200 \text{ mg/l}$; $X_{in} = 0.0$; $m' = 89.9 =$ ความเข้มข้นของมวลสารในเฟส X / ความเข้มข้นของมวลสารในเฟส y ; $G_y = 40.0 \text{ l/h}$; $G_x = 1.0 \text{ l/h}$; $P_x = 1.0$; $P_y = 1.0$; $R_y = 1.0$
จากสมการ 21, 22, 23 คำตอบเป็นดังนี้

$$Y = -89.27 + \sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{m_i} e^{m_i Z} \quad (23)$$

$$\frac{X}{m_i} = -89.27 + \sum_{i=1}^3 k_i e^{m_i Z} \left(1 + \frac{1}{m_i} - m_i \right) \quad (24)$$

$$m_1, m_2, m_3 = 1.666723, -1.434582, -0.232141$$

$$k_1, k_2, k_3 = 8.210544, -14.798764, -50.386085$$

และความเข้มข้นสำคัญสี่ตัว เป็นดังนี้

$$X(1)^- = 2208.50 \text{ mg/l}$$

$$X(0) = 3545.27 \text{ mg/l}$$

$$y(1) = 111.35 \text{ mg/l}$$

$$y(0)^+ = 143.02 \text{ mg/l}$$

ตารางที่ 1 (ภาคผนวก จ.) เมตริกซ์ที่สอดคล้องกับสมการ 26, 27, 29
สำหรับ $N = 10$

-1																				x_1	0
γ	γ																			x_1	0
γ	γ	γ																		x_2	0
	γ	γ	γ																	x_3	0
		γ	γ	γ																x_4	0
			γ	γ	γ															x_5	0
				γ	γ	γ														x_6	0
					γ	γ	γ													x_7	0
						γ	γ	γ												x_8	0
							γ	γ	γ											x_9	0
								γ	γ	γ										x_{10}	x_{in}
									γ	γ	γ									y_1	y_{in}
δ										δ										y_1	0
	δ									δ	δ_1									y_2	0
		δ								δ	δ_2	δ'								y_3	0
			δ							δ	δ_3	δ'	δ'							y_4	0
				δ						δ	δ_4	δ'	δ'	δ'						y_5	0
					δ					δ	δ_5	δ'	δ'	δ'	δ'					y_6	0
						δ				δ	δ_6	δ'	δ'	δ'	δ'					y_7	0
							δ			δ	δ_7	δ'	δ'	δ'	δ'					y_8	0
								δ		δ	δ_8	δ'	δ'	δ'	δ'					y_9	0
									δ	δ	δ_9	δ'	δ'	δ'	δ'	δ'				y_{10}	0
																1	-1			y_{10}	0

$$1 + \frac{1}{P_y} \frac{1}{\Delta Z} = \alpha$$

$$-1 \frac{1}{P_y} \frac{1}{\Delta Z} = \alpha$$

$$-1 \frac{1}{P_x} \frac{1}{\Delta Z} = \beta'$$

$$1 + \frac{1}{P_x} \frac{1}{\Delta Z} = \beta$$

$$\frac{1}{P_x} - \frac{1}{2} \Delta Z = \gamma$$

$$-\frac{2}{P_x} - R_x \Delta Z^2 = \gamma'$$

$$\frac{1}{P_x} + \frac{1}{2} \Delta Z = \gamma''$$

$$\Delta Z^2 m R_x = \gamma_n$$

$$\frac{1}{P_y} + \frac{1}{2} \Delta Z = \delta$$

$$-\frac{2}{P_y} - R_y \Delta Z^2 m_n = \delta_n$$

$$\frac{1}{P_y} - \frac{1}{2} \Delta Z = \delta'$$

$$\Delta Z^2 R_y = \delta''$$

ภาคผนวก ฉ

การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์แบบสเปร์ย์*

ตามที่ได้แนะนำมาแล้วในข้อ 4.3.5 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองถ่ายเทไอโอดีนจาก น้ำไปยังคาร์บอน เดคราโคลไรด์ โดยใช้คอลัมน์แบบสเปร์ย์เป็น เครื่องสกัด

1. เครื่องมือที่ใช้

ในรูปที่ 1 (ภาคผนวก ฉ) แสดงถึง เครื่องที่ใช้ในการทดลอง คอลัมน์ร่องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม. ยาว 4 เมตร น้ำผสมด้วยไอโอดีนจะ เข้ามาจากถังหมายเลข 2 ขึ้นไปยังถังรักษาระดับหมายเลข 4 ผ่านโรตารีเตอร์หมายเลข 6 และท่อแก้วหมายเลข 8 จึงเข้าส่วนบนของคอลัมน์ น้ำมันก๊าดที่อยู่ในถังหมายเลข 1 จะถูกนำขึ้นบนถังรักษาระดับหมายเลข 3 ผ่านโรตารีเตอร์หมายเลข 5 และท่อแก้วหมายเลข 7 และเข้าในส่วนล่างของคอลัมน์ การนำตัวอย่างของเฟสทั้งสองได้ใช้แกนกลางที่มีขลัยตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 2 (ภาคผนวก ฉ) ในการเก็บตัวอย่างได้เลือกเก็บตัวอย่างใน 7 ระดับในคอลัมน์ คือ 0, 0.2, 0.4, 0.8, 0.94, 1.00 เมตร จากตัวกระจายเฟสหยดด้านล่างของคอลัมน์ขึ้นไป

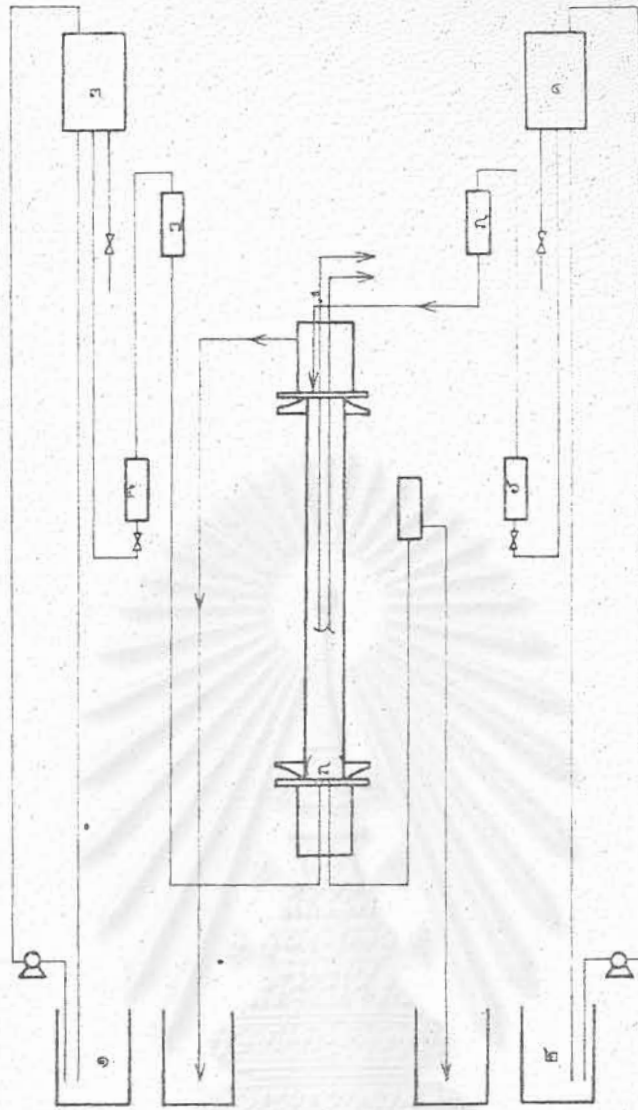
2. เส้นอีควิลีเบรียม

ก่อนทำการทดลองได้ทำการวัดเส้นอีควิลีเบรียม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3

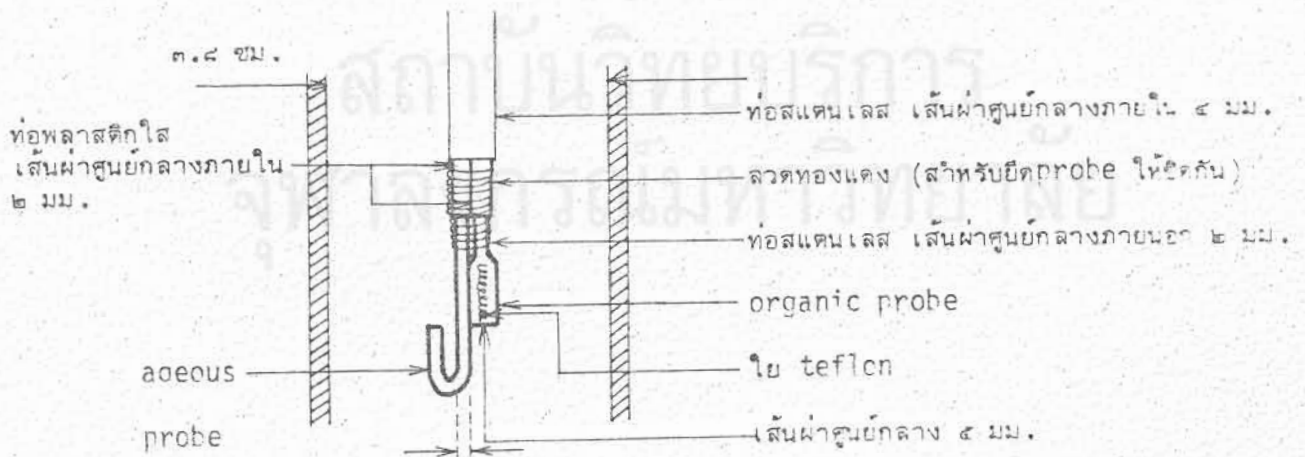
3. ผลการทดลอง

ในตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้จะได้แสดงผลการวัดความเข้มข้นตลอดความยาวของคอลัมน์

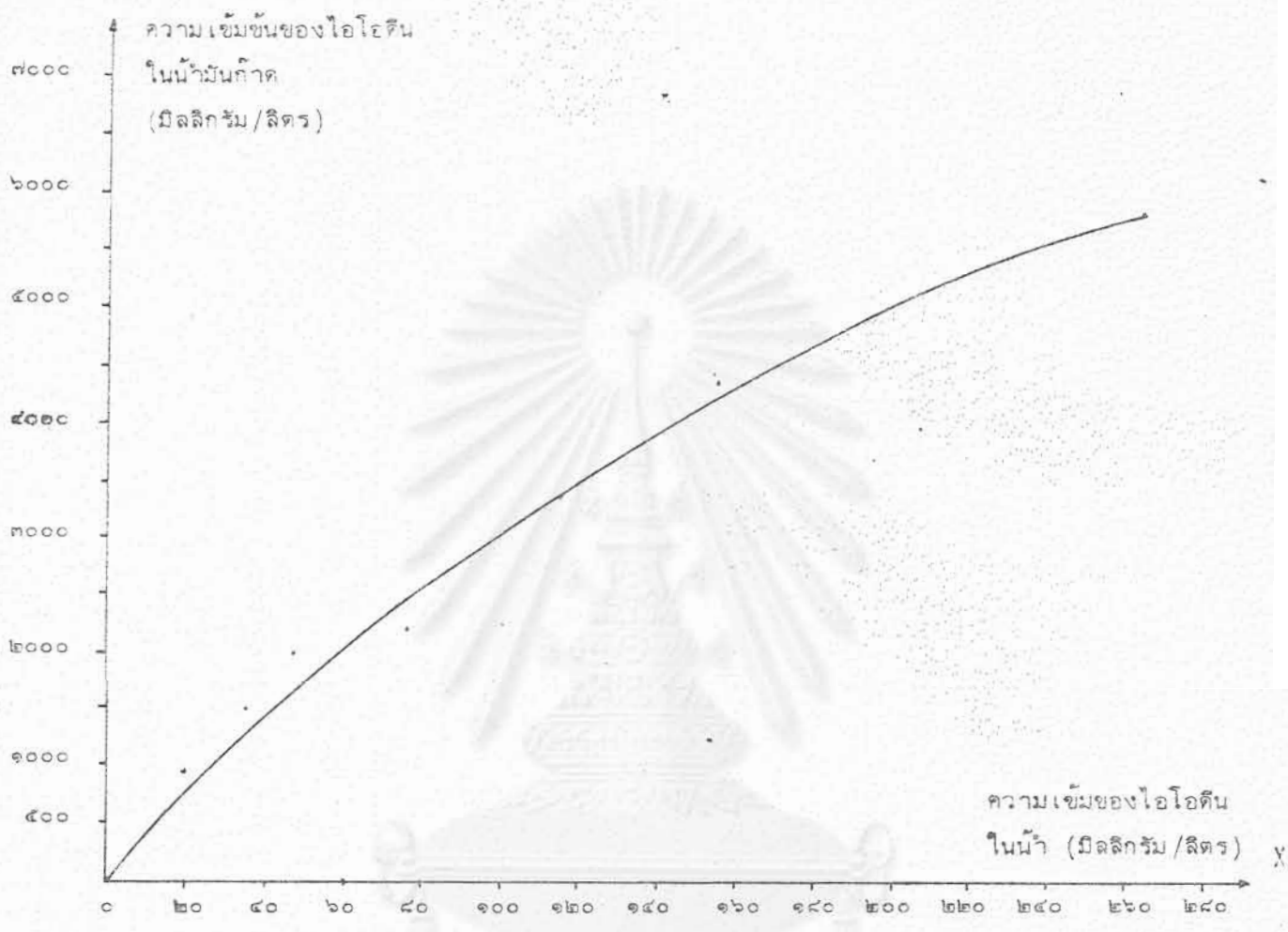
* การทดลองชุดได้อาศัยการทดลองบางส่วน ของ น.ส.จารุณี ไกรแก้ว นิสิตปริญญาโท สังกัดภาควิชา เคมี เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑ (ภาคผนวก ฉ) คอสมันแบบสเปร์ย์



รูปที่ ๒ (ภาคผนวก ฉ) ที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ ๓. (ภาคผนวก ฉ.) - เส้นอิศวริสเบรียมสำหรับ $I_2 - H_2O$ น้ำมันก๊าด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ภาคผนวก จ) - ความเข้มข้นของมวลสารตลอดความยาวของคอลัมน์

การทดลอง ชุด	อัตราการไหล เป็น ลิตร/ชม.	X_{out}	ความเข้มข้นของไอโอดีน (มิลลิกรัม/ลิตร)						
			$Z = 0$	0.2	0.4	0.6	0.8	0.94	
1	$G_y = 30$		$y = 0$	2.57	3.86	4.50	8.35	17.34	$Y_{out} = 44.6$
	$G_x = 10$	15.41	$x = 4.5$	10.92	11.56	12.00	19.27	26.97	$X_{in} = 155.72$
2	$G_y = 27.5$		$y = 0$	2.63	4.60	9.06	14.46	22.35	$Y_{out} = 48.65$
	$G_x = 10$	17.1	$x = 8.55$	11.83	14.79	15.12	17.09	28.27	$X_{in} = 150.05$
3	$G_y = 25$		$y = 0$	1.27	1.87	6.72	14.18	32.84	$Y_{out} = 39.4$
	$G_x = 10$	12.0	$x = 4.48$	8.96	9.70	11.94	15.67	23.88	$X_{in} = 90.30$
4	$G_y = 22.5$		$y = 0$	6.42	12.20	17.34	30.83	42.39	$Y_{out} = 61.3$
	$G_x = 10$	51.37	$x = 25.05$	39.17	40.46	45.60	49.45	60.37	$X_{in} = 172.1$
5	$G_y = 30$		$y = 0$	4.5	19.27	16.70	28.90	35.32	$Y_{out} = 70.32$
	$G_x = 15$	25.69	$x = 7.07$	12.20	15.41	17.00	24.41	32.75	$X_{in} = 143.85$
6	$G_y = 27.5$		$y = 0$	6.42	11.56	20.55	44.95	43.03	$Y_{out} = 81.39$
	$G_x = 15$	30.82	$x = 5.14$	16.70	21.19	27.62	32.11	39.17	$X_{in} = 177.88$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลอง ชุด	อัตราการใช้ โหล เป็น ลิตร/ชม.	X_{out}	$Z =$	ความเข้มข้นของไอโอดีน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
				0.2	0.4	0.6	0.8	0.94	
7	$G_y = 25$		$y = 0$	4.48	9.70	16.42	26.12	32.84	$Y_{out} = 49.25$
	$G_x = 15$	15.1	$x = 5.6$	9.0	13.0	18.0	24.0	29.0	$X_{in} = 91.04$
8	$G_y = 22.5$		$y = 0$	14.79	23.01	34.18	54.56	77.24	$Y_{out} = 137.07$
	$G_x = 15$	70.0	$x = 32.87$	59.17	63.77	70.01	85.46	85.79	$X_{in} = 288.44$
9	$G_y = 30$		$y = 0$	3.86	4.82	6.42	12.85	14.77	$Y_{out} = 79.63$
	$G_x = 20$	21.51	$x = 7.71$	10.28	11.56	17.34	29.54	39.82	$X_{in} = 149.62$
10	$G_y = 27.5$		$y = 0$	12.49	18.41	28.27	49.96	68.37	$Y_{out} = 157.78$
	$G_x = 20$	49.39	$x = 21.37$	26.30	31.55	38.79	48.65	66.4	$X_{in} = 279.06$
11	$G_y = 25$		$y = 0$	4.6	9.2	16.43	24.0	33.53	$Y_{out} = 71.33$
	$G_x = 20$	27.94	$x = 16.11$	19.72	23.01	26.95	31.55	34.18	$X_{in} = 127.60$
12	$G_y = 22.5$		$y = 0$	19.39	23.67	34.84	57.45	61.80	$Y_{out} = 150.54$
	$G_x = 20$	53.74	$x = 26.95$	46.02	46.68	53.23	62.45	73.63	$X_{in} = 228.12$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การคำนวณหา R_x จากเส้นความเข้มข้นของมวลสาร

แนวทางในการคำนวณ R_x สำหรับโมเลกุลพิวชัน ซึ่งมีเส้นอ็อกวิลีเบรียมเป็นเส้นโค้ง สามารถทำได้โดยวิธีออปติไมเซชันหลายวิธี เราได้เลือกใช้วิธีดังต่อไปนี้ คือ หา Pe_x (เฟสหลัก) โดยอาศัยสมการจากเอกสารสากลที่ได้รับตีพิมพ์ไปแล้ว เสร็จแล้วนำวิธีออปติไมเซชันมาคำนวณหา R_x

4.1 การหา Pe_x จากเอกสารสากล

เนื่องจาก Pe_x เท่ากับ $\frac{F_x L}{D_x}$ เราได้ใช้สมการของ Zheleznyak and Laudau⁽³¹⁾ ในการคำนวณ D_x ดังนี้

$$\frac{D_x}{v_x} = 6.5 \text{ Re}^{0.987} \phi^{0.814} \bar{n}_x^{3.89} \quad (2-1)$$

$$\text{โดย } \text{Re} = \frac{v_{\text{drop}} d_{\text{slip}} \rho_c}{\mu}$$

ในการคำนวณ v_{drop} ได้อาศัยสมการของ Thornton⁽³¹⁾ ดังต่อไปนี้

$$\frac{d_{vs}}{\left(\frac{\gamma}{\Delta \rho g}\right)^{1/2}} = 1.59 \left(\frac{v_n^2}{2g d_n}\right)^{-0.067} \quad (2-2)$$

d_x คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูในตัวกระจาย และ v_n คือ ความเร็วที่ผ่านรูในตัวกระจาย ดังนั้นจากสมการ 2-2 สามารถคำนวณ $d_{v.s.}$ ได้จากอัตราการไหลของสารอินทรีย์และจากลักษณะของตัวกระจาย (จำนวนรู = 9 , ขนาดของรู = 0.9ม.ม.) ตามที่บันทึกไว้ในตารางที่ 2 (ภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 2 (ภาคผนวก ฉ) - การคำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อในคอลัมน์แบบสเปรย์

อัตราการไหลของเฟสหยด (ลิตร/ช.ม.)	22.5	25.0	27.5	30.0
(ช.ม./วินาที)	109.12	121.24	133.36	145.49
เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (ช.ม.)	0.55	0.54	0.54	0.53

การคำนวณ สามารถทำได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{\bar{V}_0}{\left(\frac{\gamma \Delta \rho g}{\rho_c^2}\right)^{\frac{1}{4}}} = 1.09 \left(\frac{v_n^2}{2g d_n}\right)^{-0.082}$$

$$\frac{F_d}{\phi} + \frac{F_c}{1-\phi} = \bar{V}_0 (1-\phi)$$

ส่วน V_{slip} และ $\bar{\mu}$ สามารถคำนวณได้จากสองสมการดังต่อไปนี้

$$V_{slip} = \frac{F_d}{\phi} + \frac{F_c}{1-\phi} \quad (ฉ-5)$$

$$\bar{\mu} = \frac{\frac{\mu_c}{2} + \mu_d}{3\mu_c + \mu_d} \quad (ฉ-6)$$

ดังนั้นผลการคำนวณ Pe_x สามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 (ภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 3 (ภาคผนวก ฉ) ผลการคำนวณเบอร์เพเคลต

F_c	F_d	\bar{V}_0	ϕ	V_{slip}	Re	D_x	Pe_x
ชม./วินาที	ชม./วินาที	ชม./วินาที		ชม./วินาที		ชม. ² /วินาที	
0.2210	0.4972	7.6509	0.775	1.6238	99.7545	9.0122	2.3051
	0.5524	7.5189	0.775	1.6950	102.6733	9.2724	2.2404
	0.6076	7.4022	0.763	1.7288	103.3891	9.2184	2.2535
	0.6629	7.2984	0.756	1.7826	105.3727	9.3227	2.2283

F_c	F_d	\bar{V}_0	ϕ	V_{slip}	Re	D_x	Pe_y
ชม./วินาที	ชม./วินาที	ชม./วินาที		ชม./วินาที		ชม. ² /วินาที	
0.3314	0.4972	7.6504	0.748	1.9798	121.6258	10.6480	2.9256
	0.5524	7.5199	0.730	1.9841	120.1866	10.3171	3.0194
	0.6076	7.4032	0.720	2.0275	121.2525	10.2912	3.0270
	0.6629	7.2984	0.715	2.0899	123.5377	10.4233	2.9887
0.4419	0.4972	7.6509	0.703	2.1911	134.6077	11.1765	3.7166
	0.5524	7.5199	0.695	2.3437	135.9104	11.1915	3.7116
	0.6076	7.4032	0.685	2.2899	136.9451	11.1434	3.7276
	0.6629	7.2984	0.680	2.3558	139.2550	11.2615	3.6885

5. การออบติไมส์เส้นความเข้มข้น

เมื่อออบติไมส์เส้นความเข้มข้นกับโมเดลตีฟวชัน ดังวิธีที่เสนอไว้ในภาคผนวก จ โดยถือว่า $Pe_y = \infty$ (หรือค่าสูงกว่า 50) จะได้ผลการคำนวณดังแสดงไว้ในตามตารางที่ 4 (ภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4 (ภาคผนวก ฉ) - ผลการออบติไมส์ R_x

การทดลอง	อัตราการไหล เป็น ลิตร/ชม.	R_x	$\epsilon \times 10^{-6}$	หมายเหตุ
1	Gy = 30	3	16.9	$Pe_x = 2.2283$
	Gx = 10	6	4.59	เมื่อ R_x เกิน 15
		9	2.40	เกิดสภาพที่ไม่มีคงในระหว่างออบติไมส์
		12	1.81	ดังนั้น $R_x^* = 15$
		15	1.64	

การทดลอง	อัตราการไหล เป็น ลิตร/ชม.	R_x	$G \times 10^{-6}$	หมายเหตุ
2	Gy=27.5 Gx=10	2	29.1	$Pe_x = 2.2535$ เมื่อ R_x เกิน 15 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 15$
		6	4.32	
		10	2.23	
		15	1.90	
3	Gy=25 Gx=10	1	25.1	$Pe_x = 2.2404$ $R_x^* \sim 8$
		3	3.97	
		7	0.655	
		11	0.657	
		15	0.847	
		25	1.23	
4	Gy=22.5 Gx=10	1	26.3	$Pe_x = 2.3051$ $R_x^* \sim 3.5$
		2	6.7	
		3	2.9	
		4	2.75	
		7	5.49	
		15	10.3	
5	Gy=30 Gx=15	2	22.3	$Pe_x = 2.9887$ เมื่อ R_x เกิน 15 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 15$
		5	4.56	
		10	2.44	
		15	2.49	
6	Gy=27.5 Gx=15	2	28.3	$Pe_x = 3.0270$ เมื่อ R_x เกิน 11 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 11$
		5	6.08	
		8	4.03	
		11	3.89	

การทดลอง	อัตราการไหล เป็น ลิตร/ชม.	R_x	$G \times 10^{-6}$	หมายเหตุ
7	Gy=25	2	1.13	$Pe_x = 3.0194$ เมื่อ R_x เกิน 25 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 25$
		5	0.46	
	7	0.436		
	12	0.371		
	25	0.322		
8	Gy=22.5	2	8.6	$Pe_x = 2.9256$ เมื่อ R_x เกิน 11 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 11$
		6	5.17	
	10	4.75		
	15	4.11		
	22.5	3.76		
9	Gy=30	2	25.18	$Pe_x = 3.6885$ เมื่อ R_x เกิน 11 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 11$
		5	4.38	
	8	2.07		
	11	1.94		
10	Gy=27.5	2	60.27	$Pe_x = 3.7276$ เมื่อ R_x เกิน 11 เกิดสภาพที่ไม่มั่นคงในระหว่างออบติไมส์ ดังนั้น $R_x^* = 11$
		5	13.49	
	8	8.51		
	11	7.85		
11	Gy=25	2	7.25	$Pe_x = 3.7116$ $R_x^* = 6$
		5	3.13	
	8	3.41		
	11	3.92		

การทดลอง	อัตราการใช้ ชุด	โวล เป็น ลิตร/ชม.	R_X	G $\times 10^{-6}$	หมายเหตุ
	12	$G_y=22.5$	2	18.99	$Pe_x = 3.7166$
		$G_x=20$	5	6.90	
			8	8.97	$R_x^* = 5$
			11	10.97	

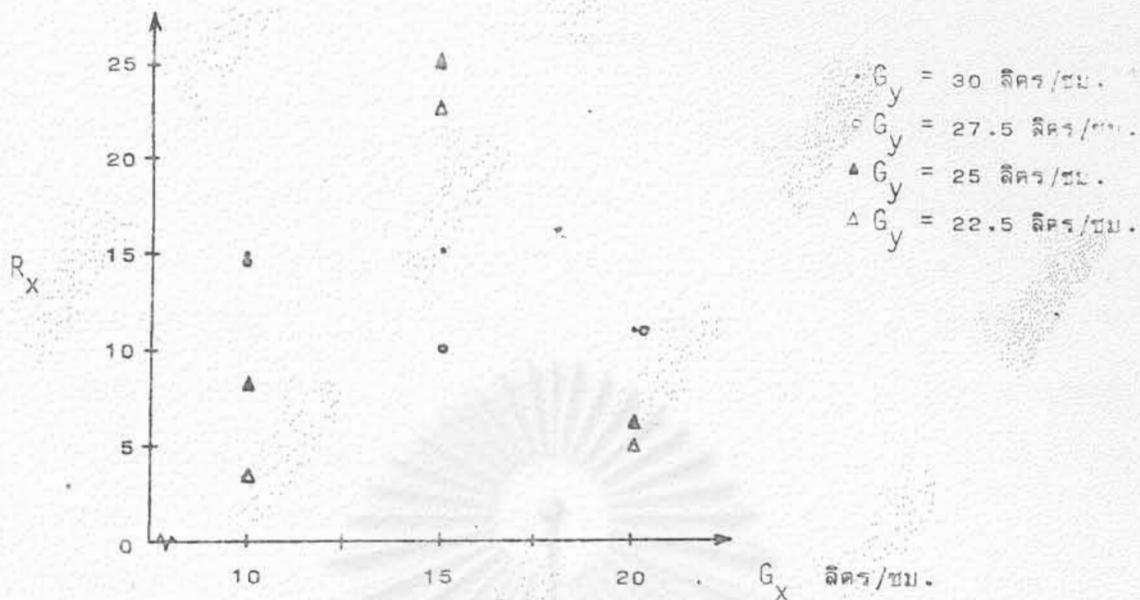
6. การเปรียบเทียบเส้นความเข้มข้นภายหลังการอบดีไมส์

รูปที่ 5 (ภาคผนวก ฉ) แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และเส้นที่ได้จากโมเดลทวิวัชน์ สำหรับสภาวะการทำงาน $G_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $G_x = 10$ ลิตร/ชม.

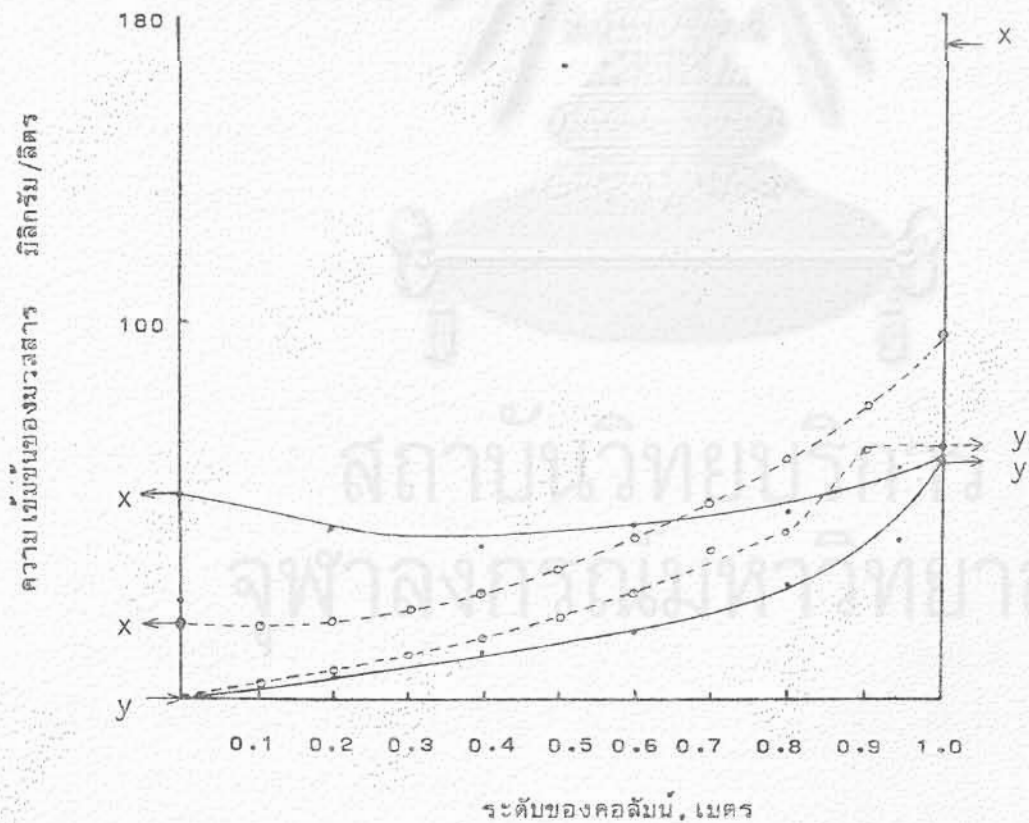
7. สรุปผลการคำนวณหา R_X โดยวิธีอบดีไมส์

รูปที่ 4 (ภาคผนวก ฉ) แสดงถึงผลการวิเคราะห์หา R_X ในสภาวะการทำงานต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 (ภาคผนวก ฉ) ผลการวิเคราะห์หาค่า R_x ในสภาวะการทำงานต่างๆ



รูปที่ 5 (ภาคผนวก ฉ) เปรียบเทียบเส้นความเข้มข้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ (—●—) และเส้นที่ได้จากโมเดลคณิตวชัน (---○---) สำหรับสภาวะการทำงาน

$G_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $G_x = 10$ ลิตร/ชม.

บรรณานุกรม

1. SUBHASAVASDIKUL S. ET AL., CAN J. CHEM. ENG., 49, 88 (1971).
2. BOYADJEV L. ET AL., CHIMIE INDUSTRIE-GENIE CHIMIQUE, VOL. 96, N⁰-40CT(1966).
3. PERRY J. H., CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK, MCGRAW HILL, 4TH EDITION(1963).
4. SMOOT AND BAAB A. L., I, E AND C FUNDAMENTALS, 1, N⁶-2, MAY(1962).
5. STRAND C. P., ET AL., A. I. CH. E. J., VOL 8, R⁰-2, P. 252, MAY(1962).
6. SOBOTIK R. H., HIMMELBLAU D. M., A. I. CH. E. J., VOL 6, N⁰-4, P. 619(1960).
7. THOMAS W. J., TRANS. INSTN. CHEM. ENGRS., 47, c 304,(1969).
8. THOMAS W. J., WENG D. RJ., J. APPL. CHEM., 20, P. 21, JAN.(1970).
9. KAGAN S. Z. ET AL., INTERN. CHEM. ENGR., 13, N⁰-2. P. 217(1975).
10. KAGAN S. Z. ET AL., KHIM. PROM., 4, N⁰-4, P. 256, AP(1972).
11. PROCEEDINGS, INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONFERENCE, 1974. SOCIETY OF CHEMICAL INDUSTRY, LONDON.
12. PROCEEDINGS, INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONFERENCE, 1973, THE CANADIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY.
13. PROCEEDINGS, INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONFERENCE, 1971, SOCIETY OF CHEMICAL INDUSTRY, LONDON.
14. OIL GAS J., 1969, 67(42), 86 .
15. BLACK C., HARTING G. M., CHEM. ENGG. PROG., 1968, 64, 66, 77.
16. PECKA K. ET AL., CHEM. ABSTR., 1967, 67, 13469.
17. EUR. CHEM. NEWS, 1969, 16, 406.
18. BROUGHTON D. B., ASSELM G. F., PROC. 7TH WLD PETROL. CONGR., 1967, 4, 65.
19. PLYUSNIN V. G., ETAL., CHEM. ABSTR., 1967, 67, 13546 R.
20. HANSON C., RECENT ADVANCES IN LIQUID EXTRACTION, PERGAMON PRESS, 1971, SECOND PRINTING 1975.
21. SEMINAR ON LIQUID-LIQUID EXTRACTION AND PROCESSING OF MINERAL ORES, DECEMBER 1980, CHULALONGKORN UNIVERSITY.
22. SCHULTZ W. G., RANDALL J. M., FOOD TECHNOLOGY, VOL. 24, 1282, NOV. 1970, P. 9-
23. GRIMMET C., CHEMISTRY AND INDUSTRY, 16 MAY 1981, P. 359.

24. GARNER F.H. et al , A.I.Ch.E.Jl.,1,185,1955.
25. JACKSON M.L., HOLMAN K.L., GROVE D.B., A.I.Ch.E.Jl.,8,659,1962.
26. SOBOTIK R.H., HIMMELBLAU D.M., A.I.Ch.E.Jl.,6,619,1960.
27. GAYLER R.N., ROBERTS N.W., PRATT H.R.C., TRANS. INSTN. CHEM. ENGRS., 31,57,1953.
28. VENKATARAMAND G. AND LADDHA G.S., A.I.Ch.E.Jl.,6,355,1960.
29. WATSON J.S., McNEESE L.E., I.S.E.C., 1974, paper 191, SESSION 12.
30. CRAWFORD J.W. AND WILKE C.R., CHEM. ENG. PROG., 47,423,1951.
31. LADDHA G.S., DEGALEESAN T.E., TRANSPORT PHENOMENA IN LIQUID EXTRACTION, TATA MCGRAWHILL, INDIA, 1976.
32. WIDMER F., CHEMIE INGR. TECH., 39,900,1967.
33. SPAAY N.M., SIMONS A.J.F., TEN BRINK G.P., I.S.E.C., 1971, paper 144, p.281.
34. LOGSDAIL D.H., THORNTON J.D., PRATT H.R.C., TANS. INSTN. CHEM. ENGRS., 35,302,1957.
35. SMOOT L.D., MARR B.W., BABB A.L., IND. ENGG. CHEM., 51,9,1959.
36. McALLISTER R.A., GROENIER W.S., RYON A.D., CEM. ENG. SCI., 22,931, 1967.
37. KAGAN S.Z., AEROV M.E., LONIK V., VOLKOVA T.S., INT. CHEM. ENGG. 5,4,656,1965.
38. ROUYER H., LEBOUHELLEC J., HENRY E., MICHEL P., I.S.E.C., 1974, paper 256, 1974.
39. KUNG E.Y., BECHMAN R.B., A.I.Ch.E.Jl.,7,319,1961.
40. GEIER R.G., BROWNE L.M., SOLVENT EXTRACTION EQUIPMENT EVALUATION STUDY, BATELLE PACIFIC NORTHWEST LABORATORIES, JANUARY 1977.
41. DANCKWERTS P.V., CHEM. ENG. SCI., 2,1,1953.
42. MIYAUCHI T., เอกสารส่วนตัว
43. MIYAUCHI T., LONGITUDINAL DISPERSION IN SONVENT EXTRACTION COLUMNS : MATHEMATICAL THEORY, UCRL-3911, August 15, 1957, University of California Radiation Laboratory.

44. BENDER E. ET AL., INT. CHEM. ENGR., VOL 21, NO 1, P.29.
JANUARY (1981)
45. MIYAUCHI T., I & EC FUNDAMENTALS, VOL. 2, MAY 1963, P.113-26.
46. นิพัทธ์ ชินชูศักดิ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต หัวข้อการศึกษาทฤษฎีของฟอเวอริค มีคอิง
ในเครื่องสกัดของเหลว ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์.พ.ศ. 2523
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
47. ARTHAYUKTI W. AND CHINCHUSAK N., THE DIFFUSION MODEL AS A TOOL
FOR LIQUID EXTRACTION COLUMN DESIGN.
48. STRAND C.P., OLNEY R.B. , ACKERMAN G.H., A.I.C.H.E.J., 8, 252
(1962)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย