

การวัดไฮลด์อัฟของเฟสกระจายโดยเทคนิคอัลตราโซนิก
สำหรับการสกัดอะซิโตนในเครื่องสกัดแบบจานหมุน



นายปณิธาน ฐปถมพงศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-xxx-xxx-xxx

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISPERSED PHASE HOLD-UP MEASUREMENT BY ULTRASONIC
TECHNIQUE FOR ACETONE EXTRACTION IN A ROTATING DISC
CONTACTOR

MR.PANITAN TOOPTOMPONG

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of XXXXXX

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-XXX-XXX-X

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดไฮลด์อัฟของเฟสกระจายโดยเทคนิคอัลตราโซนิกสำหรับการสกัดอะซิโตนในเครื่องสกัดแบบจานหมุน
โดย	นายปณิธาน ฐูปถมพงศ์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุด

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจริต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุด)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้อวลี พฤษษาทร)

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

นายปณิธาน ฐูปถมพงศ์ : การวัดไฮลด์อัฟของเฟสกระจายโดยเทคนิคอัลตราโซนิกสำหรับการสกัดอะซิโตนในเครื่องสกัดแบบจานหมุน. (DISPERSED PHASE HOLD-UP MEASUREMENT BY ULTRASONIC TECHNIQUE FOR ACETONE EXTRACTION IN A ROTATING DISC CONTACTOR) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐฐิติ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.เลอสรวง เมฆสุด จำนวนหน้า หน้า. ISBN XXX-XXX-XXX-X.

การวัดค่าไฮลด์อัฟมีอยู่หลายวิธี เทคนิคอัลตราโซนิกเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อการประมาณค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจาย ซึ่งวิธีการนี้จะไม่เข้าไปรบกวนการทำงานของระบบ แต่เทคนิคนี้มีการพัฒนาใช้กับระบบสององค์ประกอบที่ไม่มีการสกัดเข้าร่วมด้วย จึงยังไม่สามารถนำไปใช้คิดค่าไฮลด์อัฟในระบบการสกัดที่แท้จริง ซึ่งต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อยสามองค์ประกอบ แนวคิดการวัดเวลาในการเดินทางของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกผ่านสารต่างชนิดกันและผ่านสารผสมที่มีไฮลด์อัฟไม่เท่ากันด้วยความเร็วไม่เท่ากันนั้นน่าจะใช้ได้สำหรับระบบสามองค์ประกอบเช่นเดียวกับระบบสององค์ประกอบแต่อาจจะมีรายละเอียดของความเร็วสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ระบบที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ระบบอะซิโตน-โทลูอีน-น้ำ โดยอะซิโตนเป็นตัวถูกละลาย เมื่ออะซิโตนมีความเข้มข้นต่างๆจะมีผลทำให้ความเร็วในการเดินทางผ่านของผสมไม่เท่ากัน ในการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบค่าระหว่างเทคนิคนี้กับเทคนิคดั้งตัวอย่างเพื่อวัดไฮลด์อัฟโดยตรงซึ่งมีข้อดีคือเป็นการรบกวนระบบ ในขณะที่เดียวกันได้ศึกษาประสิทธิภาพการสกัดของระบบที่ตัวแปรการทดลองต่างๆกันด้วย

จากการทดลองพบว่าในระบบสามองค์ประกอบ อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง ความเร็วรอบจานหมุน มีผลต่อค่าไฮลด์อัฟ โดยไฮลด์อัฟมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย และมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มขึ้น และผลของความเร็วยรอบจานหมุนมีผลเล็กน้อยต่อค่าไฮลด์อัฟ จากการทดลองได้เปรียบเทียบการวัดค่าไฮลด์อัฟด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและน่าเชื่อถือ

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา....เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272330223 : MAJOR Chemical technology

KEY WORD: Ultrasonic Technique / Hold-Up / Rotating Disc Contactor / Extraction / Three Component

Panitan Tooptompong : Dispersed Phase Hold-Up Measurement by Ultrasonic Technique for Acetone Extraction in a Rotating Disc Contactor. THESIS ADVISOR : Assist.Prof.Somkiat Ngamprasertsith, Doctorat de l'INPT., THESIS COADVISOR : Assoc.Prof.Lursung Mekasut , Dr.Ing. 80 pp. ISBN 974-XXX-XXX-X.

Ultrasonic technique is one of the methods for determination of dispersed phase hold-up which does not disturb the operating system. This technique was developed for systems of two components that the extraction does not take place. For the extraction process, the system has at least three components. The concept of traversing time of ultrasonic waves through different components or through mixtures with different hold-up should be applicable with ternary system as well as with binary system. However, the detail phenomenon might be differed, especially the relative velocity in each media. In this research we studied the ternary system : acetone – toluene – water, which acetone is the solute. The concentration of acetone might cause different ultrasonic velocity in the mixture. The hold-up calculated from this technique was compared with the sampling method.

The flow rates of dispersed phase and continuous phase, and the rotating disc speed have influence on the hold-up. The hold-up was increased by increasing the flow rate of dispersed phase. In contrast, the hold-up was decreased by increasing the flow rate of continuous phase. The rotating disc speed has slightly effect on the hold-up. The hold-up measurements by the ultrasonic technique and by the sampling method were very close and reliable.

Department Chemical Technology

Field of study Chemical Technology

Academic year 2001

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุสัทธ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ตลอดจนคณาจารย์ ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคและเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาเครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาช่วยซ่อมแซมเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกตลอดการทำกรวิจัย

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมีเทคนิค ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจที่สำคัญมาโดยตลอด ทั้งในด้านการเงิน และคำปรึกษาต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎี.....	3
2.1 การวัดโวลต์ฮัพของของเหลว.....	6
2.2 การวัดโวลต์ฮัพของของเหลวด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก.....	7
2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	13
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
4.1 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์ในระบบแบบกะ.....	27
4.2 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน...29	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโวลต์ฮัพที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกและการวัดปริมาตร.....30	
โดยตรงในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนเมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อคั่งที่และ	
อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคั่งที่ตามลำดับของระบบสององค์ประกอบ	
4.4 การวัดค่าโวลต์ฮัพในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน.....	31
4.4.1 ผลของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายต่อค่าโวลต์ฮัพในระบบสององค์ประกอบ....32	
4.4.2 ผลของอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อต่อค่าโวลต์ฮัพในระบบสององค์ประกอบ....35	
4.4.3 ผลของความเร็รรอบของจานหมุนต่อค่าโวลต์ฮัพของระบบสององค์ประกอบ.....37	
4.4.4 การเปรียบเทียบค่าโวลต์ฮัพจากการวัดปริมาตรโดยตรงต่อค่าโวลต์ฮัพจาก.....37	
เทคนิคอัลตราโซนิกในระบบสององค์ประกอบ	
4.5 การคำนวณค่าโวลต์ฮัพด้วย Time Average Model สำหรับระบบสามองค์ประกอบ.....40	
(โทลูอิน – อะซีโตน – น้ำ)	

4.6 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรชนีหักเหของแสง ค่าความแตกต่าง.....	42
ของเวลา เพอร์เซ็นต์อะซีโตน ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.7 การเปรียบเทียบค่าไฮลด์อัฟจากการวัดปริมาตรโดยตรงกับค่าไฮลด์อัฟ.....	45
จากแบบจำลอง (Data Time Model) ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.8 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายต่อค่าไฮลด์อัฟ.....	48
แบบจำลอง (Data Time Model) ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.9 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องต่อค่าไฮลด์อัฟ.....	51
แบบจำลอง (Data Time Model)	
4.10 ผลของค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) ต่อเพอร์เซ็นต์การสกัดอะซีโตน.....	52
ในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) ของระบบสามองค์ประกอบ	
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	55
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก	61
ภาคผนวก ข	64
ภาคผนวก ค	69
ภาคผนวก ง	72
ภาคผนวก จ	73
ภาคผนวก ฉ	78
ประวัติผู้เขียน	80

สารบัญตาราง

ณ

บทที่	หน้า
3.1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในระบบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	20
4.1 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดในระบบแบบกะ	27
4.2 ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด.....	28
4.3 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์ที่บรรจุในคอลัมน์.....	29
สกัดแบบจานหมุน	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างไฮลด์อัฟ (Data Time Model) จากวิธีอัลตราโซนิกกับวิธีวัดปริมาตร โดยตรงเมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ต่าง ๆ กันตามลำดับสำหรับสารสามองค์ ประกอบ	
-เมื่ออัตราการการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง	46
-เมื่ออัตราการการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 8 ลิตรต่อชั่วโมง	47
-เมื่ออัตราการการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 12 ลิตรต่อชั่วโมง	47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.1 เครื่องมือสร้างฟิล์ม	5
3.1 เครื่องมือสำหรับวัดความเร็วของเสียงในระบบ batch.....	14
3.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง.....	14
3.3 ก) แผนภาพอุปกรณ์และการต่ออุปกรณ์ต่างๆกับคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน.....	16
3.3 ข) อุปกรณ์และการต่ออุปกรณ์ต่างๆกับคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน.....	17
3.4 เครื่องสกัดแบบจานหมุนที่ตำแหน่งการตั้งสารทดลองต่างๆ.....	18
3.5 การหาค่าไฮลด์อัฟโดยการวัดปริมาตร.....	17
3.6 เครื่อง Abbe Refractometer.....	19
4.1 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรง	31
สำหรับระบบสององค์ประกอบ	
4.2 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายที่อัตราการไหลของ.....	32
ภูมิภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร	
4.3 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายที่อัตราการไหลของ.....	33
ภูมิภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความสูง 45 เซนติเมตร	
4.4 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายที่อัตราการไหลของ.....	33
ภูมิภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร	
4.5 ทิศทางการไหลและการสะสมตัวของหยดภูมิภาคกระจาย.....	34
4.6 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องที่อัตราการไหลของ.....	35
ภูมิภาคกระจายคงที่เท่ากับ 3 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร	
4.7 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องที่อัตราการไหลของ.....	36
ภูมิภาคกระจายคงที่เท่ากับ 5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร	
4.8 ทิศทางการไหลและการสะสมตัวของหยดภูมิภาคกระจายเมื่ออัตราการไหล.....	36
ของภูมิภาคกระจายคงที่	
4.9 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่	38
ระดับวัด 20 เซนติเมตรระบบสององค์ประกอบ	
4.10 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่	38
ระดับวัด 45 เซนติเมตรระบบสององค์ประกอบ	
4.11 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่	39
ระดับวัด 70 เซนติเมตรระบบสององค์ประกอบ	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.12 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่.....39 ระดับวัด 45 เซนติเมตรที่ภาวะทำให้ค่าไฮลด์อัฟสูงขึ้นของระบบสององค์ประกอบ	
4.13 ความสัมพันธ์ค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่40 ระดับวัด 45 เซนติเมตรที่ภาวะทำการทดลองทั้งหมดของระบบสององค์ประกอบ	
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ (Time Average Model) และค่าไฮลด์อัฟจาก.....40 วิธีวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสามองค์ประกอบ	
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ (Time Average Model) และค่าไฮลด์อัฟจาก.....41 วิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่ภาวะทำการทดลองทั้งหมดของระบบสามองค์ประกอบ	
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลาและค่าดัชนีหักเหของแสง.....42 ของระบบ โทลูอิน-อะซิโตน	
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงและค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตน43 ของระบบ โทลูอิน-อะซิโตน	
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตนและค่าความแตกต่างของเวลา.....43 ของระบบ โทลูอิน-อะซิโตน	
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลาและค่าดรรชนี.....44 หักเหของแสงของระบบ น้ำ-อะซิโตน	
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหของแสงและค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด.....44 อะซิโตนของระบบ น้ำ-อะซิโตน	
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตนและค่าความแตกต่างของเวลา.....45 ของระบบ น้ำ-อะซิโตน	
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ (DataTime Model) และค่าไฮลด์อัฟจาก.....48 วิธีวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสามองค์ประกอบที่ตำแหน่งทำการวัด 45 เซนติเมตร	
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้ง....49 ทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตรที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้ง....49 ทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตรที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ 8 ลิตรต่อชั่วโมง ในระบบสามองค์ประกอบ	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัพที่ความสูงติดตั้ง....50 ทราบดีวีเซอร์ 45 เซนติเมตรที่อัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องคงที่ 12 ลิตรต่อชั่วโมง ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องกับค่าไฮลด์อัพที่ความสูงติดตั้ง.....51 ทราบดีวีเซอร์ 45 เซนติเมตรที่อัตราการไหลของภูมิภาคกระจายคงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ในระบบสามองค์ประกอบ	
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัพ(Data Time Model) ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตน.....52 ในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) คงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ของระบบสามองค์ประกอบ	
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัพ(Data Time Model) ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตน.....53 ในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) คงที่ 8 ลิตรต่อชั่วโมง ของระบบสามองค์ประกอบ	
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัพ(Data Time Model) ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตน.....53 ในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) คงที่ 12 ลิตรต่อชั่วโมง ของระบบสามองค์ประกอบ	

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C_1	= ความเร็วเสียงในวัฏภาคบริสุทธ์ที่ 1 (เมตรต่อนาที)
C_2	= ความเร็วเสียงในวัฏภาคบริสุทธ์ที่ 2 (เมตรต่อนาที)
C^*	= ความเร็วเสียงในวัฏภาคกระจาย (เมตรต่อนาที)
r^2	= สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
t_1	= เวลาเดินทางของคลื่นในวัฏภาคบริสุทธ์ที่ 1 (ไมโครวินาที)
t_2	= เวลาเดินทางของคลื่นในวัฏภาคบริสุทธ์ที่ 2 (ไมโครวินาที)
t^*	= เวลาเดินทางของคลื่นในวัฏภาคผสม (ไมโครวินาที)
ϕ	= โพลต์อัมพ์ของวัฏภาคกระจาย
L	= ระยะทางระหว่างทรานสดิวเซอร์ (เซนติเมตร)
U_t	= ความเร็วปลายของหยดวัฏภาคกระจายในวัฏภาคต่อเนื่อง (เมตรต่อวินาที)
D_p	= เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดวัฏภาคกระจาย (เซนติเมตร)
Z_c	= ความสูงของแต่ละคอมพาร์ทเมนต์ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน (เซนติเมตร)
dr	= เส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน (เซนติเมตร)
dc	= เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ (เซนติเมตร)
ds	= เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนสถิต (เซนติเมตร)
ρ_p	= ความหนาแน่นของหยดวัฏภาคกระจาย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ρ	= ความหนาแน่นของวัฏภาคต่อเนื่อง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
μ	= ความหนืด (cP)
r.p.m	= ความเร็วรอบของจานหมุน (รอบต่อนาที)
RDC	= เครื่องสกัดแบบจานหมุน
dis	= วัฏภาคกระจาย
cont	= วัฏภาคต่อเนื่อง
α	= โพลต์อัมพ์ของวัฏภาคกระจาย
M	= Marton Number (5.81×10^{-10})

บทที่ 1

บทนำ

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นปฏิบัติการสำคัญอย่างหนึ่งในหลายๆ กระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีเพื่อแยกสารที่ต้องการออกจากของผสม ปัจจัยสำคัญในการควบคุมและวิเคราะห์กระบวนการสกัดคือความสามารถในการควบคุมสัดส่วนโพลีเมอร์ของวัฏภาคกระจายให้เหมาะสม การวิเคราะห์กระบวนการสกัดแบบของเหลว-ของเหลวมีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ระหว่างผิวในการถ่ายโอนมวลสาร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าโพลีเมอร์ของวัฏภาคกระจายและการกระจายขนาดหยดของวัฏภาคกระจาย เทคนิคอัลตราโซนิกเป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อการประมาณค่าของวัฏภาคกระจายภายใต้สถานะคงตัวและไม่คงตัว เทคนิคนี้ใช้อุปกรณ์ที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วและไม่เข้าไปสัมผัสกับสารในคอลัมน์ ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่รบกวนการทำงานของกระบวนการสกัด อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้มีการประยุกต์สำหรับระบบที่มีสององค์ประกอบเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ระบบการสกัดที่แท้จริงที่ต้องมีสารอย่างน้อยสามชนิด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาระบบที่มีสามองค์ประกอบได้แก่ อะซิโตน-โทลูอีน-น้ำ ซึ่งมีอะซิโตนเป็นตัวถูกละลาย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาค่าโพลีเมอร์ของเฟสกระจายโดยเทคนิคอัลตราโซนิกในระบบที่มีสามองค์ประกอบ
2. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านระบบ 3 องค์ประกอบ กับค่าโพลีเมอร์

ขอบเขตของงานวิจัย

เป็นการศึกษาการนำเอาเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้เพื่อหาค่าโพลีเมอร์ภายใต้สภาวะงานหมุนด้วยอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งได้มีการสอบเทียบความถูกต้องน่าเชื่อถือของโพลีเมอร์ที่วัดได้ด้วยวิธีวัดปริมาตรโดยตรงเทียบกับวิธีวัดค่าโพลีเมอร์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกในคอลัมน์สกัดแบบงานหมุน เพื่อนำไปสู่การวัดค่าโพลีเมอร์ในกรณีที่ระบบมีสามองค์ประกอบในคอลัมน์สกัดแบบงานหมุนต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

สามารถประมาณค่าไฮลด์อัฟของภูมิภาคกระจายในระบบการสกัดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนโดยไม่รบกวนระบบการสกัด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

การสั้กัด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องที่สำคัญอย่างหนึ่งเพื่อแยกสารที่ต้องการออกจากของผสม ปัจจัยสำคัญในการควบคุมและวิเคราะห์กระบวนการสั้กัคือความสามารถในการควบคุมสัดส่วนโพลีเมอร์ของวัฏภาคกระจายให้เหมาะสม การวิเคราะห์กระบวนการสั้กัแบบของเหลว-ของเหลว มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ระหว่างผิวในการถ่ายโอนมวลสาร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าโพลีเมอร์ของวัฏภาคกระจายและการกระจายขนาดหยดของวัฏภาคกระจาย เทคนิคอัลตราโซนิกเป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อการประมาณค่าของวัฏภาคกระจายภายใต้สถานะคงตัวและไม่คงตัว เทคนิคนี้ใช้อุปกรณ์ที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วและไม่เข้าไปสัมผัสกับสารในคอลัมน์ ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เข้าไปรบกวนการทำงานของกระบวนการสั้กั อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีการประยุกต์สำหรับระบบที่มีสององค์ประกอบเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ระบบการสั้กัที่แท้จริงที่ต้องมีสารอย่างน้อยสามชนิด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษา ระบบที่มีสามองค์ประกอบ ได้แก่ อะซิโตน-โทลูอีน-น้ำ ซึ่งมีอะซิโตนเป็นตัวถูกละลาย

ของเหลวในระบบการสั้กันั้นสมบัติทางกายภาพของของเหลวที่อยู่ภายในระบบนั้นจะเป็นตัวกำหนดผลกระทบที่เกิดในกระบวนการสั้กัในการเตรียมการสั้กัของเหลวแบบต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามกระบวนการสั้กัแบบต่อเนื่องจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ได้ในกระบวนการ

คอลัมน์สั้กัแบบจานหมุน (Rotating Disc Contactor, RDC) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างได้โดยง่ายและมีต้นทุนที่ต่ำในการดำเนินงาน คอลัมน์สั้กัแบบ RDC ได้นำไปใช้ในการศึกษากับระบบที่มีความตึงระหว่างผิวสัมผัสของของเหลว การกวนทำให้การกระจายตัวเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการรวมกันของหยดมากขึ้น จึงทำให้เวลาในการรวมตัวกันของหยดมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารมากขึ้น ดังนั้นคอลัมน์สั้กั RDC จึงถูกนำมาใช้กับระบบที่มีความต่างของสมบัติทางกายภาพ

ในช่วงเวลานี้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีแนวโน้มใหม่ ๆ ในการใช้คอลัมน์สั้กัที่มีการกวนในเชิงกลสำหรับระบบที่มีค่าแรงตึงผิวทั้งที่สูงหรือต่ำซึ่งค่าของประสิทธิภาพการสั้กันั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆของคอลัมน์รวมถึงลักษณะของระบบที่ดำเนินการ

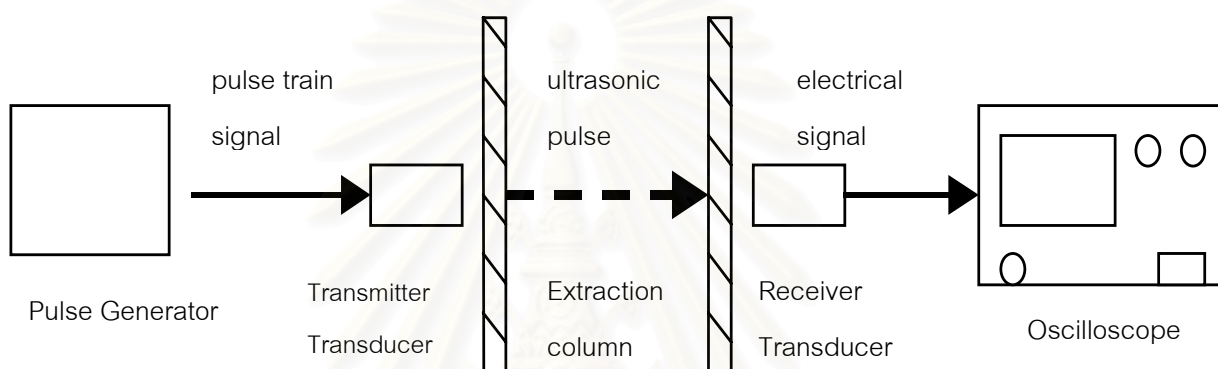
กระบวนการอุตสาหกรรมหลายประเภทเกี่ยวข้องกับระบบสามองค์ประกอบ เช่น กระบวนการสกัด (extraction) กระบวนการชะ (leaching) กระบวนการตกผลึก (crystallization) และกระบวนการกลั่น (distillation)

ระบบของเหลว 3 ชนิด (ternary liquid system) เป็นระบบที่พบบ่อยมากในกระบวนการอุตสาหกรรมซึ่งนำตัวทำละลายชนิดหนึ่งมาสกัดตัวถูกละลายที่เป็นของเหลวที่ละลายในสารละลายของตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ตัวทำละลายทั้ง 2 นี้จะละลายซึ่งกันและกันได้เล็กน้อยหรือไม่ละลายเลย จึงเรียกระบบนี้ว่าระบบของเหลว 3 ชนิด ส่วนกระบวนการสกัดเรียกว่า การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction)

ในระบบการสกัดของเหลว-ของเหลว นั้น ค่าโพลด์ัฟ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของวัฏภาคกระจาย (Dispersed Phase) กับปริมาตรของคอลัมน์หรือปริมาตรผสมของวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) และวัฏภาคกระจาย โดยโพลด์ัฟยังแบ่งย่อยได้อีกเป็นโพลด์ัฟของแก๊ส, ของแข็ง, ของเหลว (Gas, Solid and Liquid Hold-up) แล้วแต่ระบบการสกัดว่ามีระบบที่เป็นเฟสกระจายที่นำมาใช้ในการสกัดอย่างไร โดยสัดส่วนโพลด์ัฟของวัฏภาคกระจายเป็นส่วนสำคัญที่จะเป็นตัววัดประสิทธิภาพของการสกัดซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพื้นที่ถ่ายโอนมวลจากของเหลวหนึ่งไปสู่อีกของเหลวหนึ่ง มีวิธีการวัดค่าโพลด์ัฟอยู่หลายวิธี (Bonnet and Tavlarides, 1987) เช่นวิธีการแทนที่ (Displacement method) วิธีการวัดความแตกต่างของความดัน (Pressure differential technique) ที่นำมาใช้ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน วิธีการเก็บตัวอย่างจากสองวัฏภาค (Two phase sampling) วิธีการไลท์ทรานสมิSSION (Light transmission) และวิธีการอิเล็กโทรเรซิสติวิตี (Electroresistivity) วิธีการดังกล่าวเหล่านี้เป็นวิธีการวัดค่าโพลด์ัฟที่ส่งผลให้เกิดการรบกวนระบบ เช่นเกิดการเปลี่ยนรูปแบบการไหล (Flow pattern) ภายในคอลัมน์สกัด หรือเกิดการปนเปื้อน (Contamination) ต่อระบบสารเคมีที่ใช้ภายในคอลัมน์ ได้มีการนำเอาเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้เป็นเวลานานตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 20 แล้วแต่มักจะเป็นงานที่เกี่ยวข้องในทางการแพทย์เป็นส่วนใหญ่ และได้นำมาประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมเมื่อไม่นานมานี้ โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าต่างๆ คลื่นอัลตราโซนิกหรืออัลตราซาวนด์ เป็นคลื่นเสียงที่อยู่นอกเหนือไปจากช่วงที่มนุษย์สามารถได้ยิน โดยทั่วไปแล้วคือเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ถ้าคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 1 จิกะเฮิร์ตซ์ จะเรียกว่า ไฮเปอร์ซาวนด์ (Hypersound) อย่างไรก็ตามช่วงความถี่ปกติที่ใช้กับการทดสอบโดยไม่เกิดการทำลายชิ้นงาน (Nondestructive testing) โดยคลื่นอัลตราซาวนด์ และการวัดความหนาของวัตถุ (Thickness gaging) คือตั้งแต่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 50 เมกะเฮิร์ตซ์ แม้ว่าอัลตราซาวนด์จะมีพฤติกรรมที่คล้ายกับเสียง คือมีความยาวคลื่นที่สั้นมาก นั้นหมายความว่าคลื่นสามารถสะท้อนออกจากพื้นผิวเล็กๆ

อาทิ จุดบกพร่องภายในวัสดุ จึงเป็นสมบัติที่ทำให้อัลตราซาวนด์มีประโยชน์มากในการทดสอบวัสดุ โดยไม่มีการทำลายวัสดุที่นำมาทดสอบ

การกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกนั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุพวกพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric), เฟอโรอิเล็กทริก (Ferroelectric) หรือเซรามิก วัสดุเหล่านี้เมื่อได้รับพลังงานจะเกิดการสั่นสะเทือนทำให้เกิดคลื่นความถี่ในช่วงอัลตราซาวนด์ขึ้น ทรานสดิวเซอร์ที่มีใช้ทั่วไปมีทั้งชนิดที่เป็นแบบรับหรือส่งคลื่นได้ในตัวเดียวกัน (Transmitter or receiver) และแบบรับหรือส่งคลื่นเพียงหน้าที่เดียว รูปต่อไปนี้จะเป็นการแสดงการรับและส่งคลื่นอัลตราโซนิกผ่านผนังคอลัมน์



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก

จากรูปที่ 1 เครื่องมือสร้างพัลส์ (Pulse generator) จะป้อนคลื่นที่เป็นกลุ่มคลื่นที่มีสัญญาณแบบสี่เหลี่ยม (Train of rectangular pulses) ที่สามารถปรับความถี่และความยาวคลื่นได้ ป้อนส่งไปยังตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงคลื่นที่ได้รับมาให้เป็นคลื่นอัลตราโซนิกแล้วจะทำหน้าที่ส่งคลื่นอัลตราโซนิกผ่านผนังคอลัมน์สกัด คลื่นอัลตราโซนิกจะเดินทางกระทบและผ่านภูมิภาคกระจายในคอลัมน์ จากนั้นตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณคลื่นก็จะทำหน้าที่แปลงคลื่นอัลตราโซนิก ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าออกไปสู่ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ซึ่งสามารถดูรูปคลื่นที่เกิดขึ้นได้โดยการขยายสัญญาณออกมาเป็นรูปคลื่นที่กวาดในแนวนอน (horizontal sweep)

ข้อแตกต่างจากการวัดไฮลด์อัฟโดยวิธีแบบเก่า

ในการวัดไฮลด์อัฟของภูมิภาคกระจายโดยวิธีแบบเก่า เช่น วิธีการแทนที่ และวิธีการวัดความดันแตกต่าง วิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่เข้าไปรบกวนทั้งรูปแบบของการไหลภายในคอลัมน์ และก่อให้เกิดการปนเปื้อนขึ้นได้กับสารที่ใช้ในระบบ ค่าไฮลด์อัฟที่ได้มีค่าไม่ถูกต้องนักเนื่องจากเป็น

การวัดเพียงบางส่วนของคอลัมน์สกัดเท่านั้น ทำให้ค่าโฮลด์อัฟที่วัดได้ไม่สามารถแทนค่าโฮลด์อัฟจริงที่เกิดในคอลัมน์ได้ ตรงกันข้ามกับการวัดค่าโฮลด์อัฟโดยเทคนิคอัลตราโซนิกซึ่งจะให้ผลการวัดถูกต้องมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังไม่เข้าไปรบกวนกระบวนการสกัดภายในคอลัมน์ ทำให้ความผิดพลาดจากการวัดน้อยลงไป จึงเป็นเทคนิคที่น่าเชื่อถือได้อีกเทคนิคหนึ่งค่าโฮลด์อัฟเป็นตัวแปรที่วัดค่าได้ในกระบวนการประมาณอัตราการถ่ายโอนมวลโดยทั่วไป

โฮลด์อัฟ (ϕ) หมายถึงสัดส่วนปริมาตรที่เป็นของแต่ละวัฏภาคในภาชนะปิดเครื่องปฏิกรณ์หรือในท่อ (line) ค่าของโฮลด์อัฟของวัฏภาคที่แตกต่างกันในปริมาตรที่กำหนดให้มีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$\phi_p + \phi_L + \phi_G = 1$$

หรือในรูปทั่วไปคือ

$$\sum \phi_i = 1$$

เมื่อ ϕ_p , ϕ_L , ϕ_G และ ϕ_i หมายถึงโฮลด์อัฟของอนุภาค วัฏภาคของเหลว วัฏภาคของแก๊ส และวัฏภาค i ตามลำดับ ตัวห้อย i สำหรับวัฏภาคที่เป็นแก๊ส ของเหลว และอนุภาคของแข็งที่ทำปฏิกิริยา

โฮลด์อัฟเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นประโยชน์เนื่องจากเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงสัดส่วนของแต่ละวัฏภาคเช่นสัดส่วนโดยปริมาตรของวัฏภาคที่ทำปฏิกิริยาหรืออนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีที่น่าเชื่อถือได้สำหรับการวัดโฮลด์อัฟรวม (total or overall hold-up) และโฮลด์อัฟเฉพาะตำแหน่ง (local hold-up) ซึ่งโฮลด์อัฟรวมหมายถึงสัดส่วนปริมาตรของวัฏภาคที่สนใจต่อปริมาตรทั้งหมด ส่วนโฮลด์อัฟเฉพาะตำแหน่ง หมายถึงสัดส่วนปริมาตรของวัฏภาคที่สนใจต่อปริมาตรรวมของทุกวัฏภาคเฉพาะตำแหน่งนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคในการวัดค่าโฮลด์อัฟสองวิธีด้วยกันคือการวัดโฮลด์อัฟของของเหลวโดยการวัดปริมาตรและการวัดค่าโฮลด์อัฟของของเหลวด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

2.1 การวัดโฮลด์อัฟของของเหลว

2.1.1 การวัดโฮลด์อัฟของของเหลวโดยการวัดปริมาตร

การวัดนี้เป็นวิธีที่มีหลักการที่ง่าย เนื่องจากเป็นการวัดในภาวะแบบคงตัว และทราบปริมาตรของของเหลวที่มี โดยหลังจากการดั่งสารตัวอย่างใส่ในกระบอกตวง (100 มิลลิลิตร) เพื่อวัดปริมาตร สารจะแยกออกเป็นสองชั้น อ่านค่าปริมาตรของวัฏภาคกระจายที่อยู่ชั้นบน หลังจากนั้นหาค่าโฮลด์อัฟโดยใช้สมการของการวัดปริมาตรโดยตรงโดย

$$\text{Dispersed-phase holdup, } \phi = \frac{V_d}{V}$$

โดยค่า ϕ = ค่าโฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจาย
 V_d = ปริมาตรของวัฏภาคกระจาย
 V = ปริมาตรทั้งหมดของสารตัวอย่าง

ข้อดีของวิธีการวัดโฮลด์อัฟของของเหลวโดยการวัดปริมาตร

1. เป็นวิธีการวัดที่ง่ายไม่ซับซ้อนเพื่อใช้ในการประมาณค่าโฮลด์อัฟเบื้องต้น
2. สำหรับระบบขนาดใหญ่จะมีความถูกต้องดีพอสมควร

ข้อเสียของวิธีการวัดโฮลด์อัฟของของเหลวโดยการวัดปริมาตร

1. ไม่สามารถใช้กับระบบต่อเนื่องหรือระบบที่มีความดันอากาศมาเกี่ยวข้อง
2. ใช้เวลาในการวัดค่อนข้างมาก

2.1.2 การวัดค่าโฮลด์อัฟของของเหลวด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

การวัดโฮลด์อัฟของของเหลวด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก เป็นวิธีการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ในการวัดโฮลด์อัฟ โดยการวัดด้วยเทคนิคนี้เป็นการวัดเวลาที่คลื่นดล (pulse) ใช้ในการเดินทาง (transit time) ผ่านสารผสมที่อยู่ในคอนแทกต์ (contactor) โดยทั่วไปจะใช้ความสัมพันธ์ของสมการ Time Average Model (Bonet and Tavlarides, 1987) ในการหาค่าโฮลด์อัฟในระบบสององค์ประกอบ โดย

$$\text{Dispersed-phase holdup, } \phi = \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]}$$

โดยค่า ϕ = ค่าโฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจาย
 t^* = เวลาในการเดินทางผ่านระบบที่ทำการทดลอง 2 องค์ประกอบ
 t_1 = เวลาในการเดินทางผ่านสารชนิดที่ 1 (น้ำ)
 t_2 = เวลาในการเดินทางผ่านสารชนิดที่ 2 (โกลูอิน)

ข้อดีของวิธีการวัดโฮลด์อัฟด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

1. สามารถวัดโฮลด์อัฟได้โดยไม่เข้าไปรบกวนกระบวนการสกัดภายในคอนแทกต์
2. เป็นเทคนิคที่วัดโฮลด์อัฟได้รวดเร็วและเป็นวิธีการที่ง่าย
3. สามารถวัดโฮลด์อัฟเฉพาะตำแหน่งได้

ข้อเสียของวิธีการวัดไฮลด์อัฟด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

1. ต้องใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่มีความถี่สูงเพื่อขจัดปัจจัยที่มารบกวนคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งอัลตราโซนิกที่มีความถี่สูงขึ้นจะมีราคาแพงมากขึ้น

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bonnet and Jeffreys, 1985 ศึกษาการวัดค่าไฮลด์อัฟของระบบ โทลูอิน(วัฏภาคกระจาย)-อะซิโตนและน้ำ (วัฏภาคต่อเนื่อง) ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่าง (Sampling) เปรียบเทียบกับวิธีแทนที่(Displacement method) ในคอลัมน์สกัดแบบ Scheibel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร ที่บรรจุด้วยวัสดุที่วัฏภาคกระจายสามารถเกาะติดได้ดี ผลของการศึกษาไฮลด์อัฟเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเฉพาะความเร็วรอบของตัวกวน เวลา และทิศทางการถ่ายโอนมวล ซึ่งบ่งชี้ว่าความเร็วการกวนมีผลต่อค่าไฮลด์อัฟมากกว่าผลของทิศทางการถ่ายโอนมวลที่มีทิศทางจากวัฏภาคต่อเนื่องไปยังวัฏภาคกระจาย จากระบบที่ทำการศึกษาค่าไฮลด์อัฟเมื่อความเร็วการกวนมีค่ามากขึ้นค่าไฮลด์อัฟจะมีค่ามากขึ้น

Bonnet and Tavlarlides, 1987 ได้พัฒนาเทคนิคอัลตราโซนิกที่เชื่อถือได้ เพื่อหาค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายสำหรับการกระจายของเหลวในของเหลว โดยการวัดความเร็วของอัลตราซาวนด์ในสารแขวนลอย (Suspension) และของผสมแยกชั้น (Emulsion) ในคอลัมน์สกัดแบบ Oldshue-Rushton ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร สูง 0.50 เมตร แบ่งเป็นสามคอมพาร์ตเมนต์ที่ใช้สำหรับการกวน ระบบที่ใช้คือ ไส้ลีนและน้ำ โดยวัดความเร็วของเสียงในกล่องวัดความเร็ว (Velocimeter box) ก่อนด้วยเทคนิค Pulse propagating เวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นถูกวัดโดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคป อัตราส่วนระหว่างความเร็วของเสียง (L1) และเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่น จะให้ค่าความเร็วเสียงออกมา หลังจากนั้นได้ใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ขนาดความถี่ 1.0 MHz เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0127 เมตร ติดที่ด้านบนของผนังคอลัมน์ เพื่อส่งคลื่นอัลตราโซนิกผ่านเข้าไปในคอลัมน์ และการรับคลื่นจะแตกต่างกันเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านระหว่างวัฏภาคบริสุทธิ์ทั้งสอง ซึ่งสามารถวัดความแตกต่างของเวลาที่ใช้เป็น t_1 และ t_2 ตามลำดับ และเวลาที่ใช้เดินทางในเฟสกระจายเป็น t^* โดยได้เสนอสมการไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายเรียกว่า สมการเวลาเฉลี่ย (Time – average model)

$$\phi = \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]}$$

การประมาณค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีการดังกล่าวนี้ เป็นวิธีการที่ง่ายและให้ความแม่นยำสูง อีกทั้งยังมีข้อดีคือ

1. ไม่เข้าไปรบกวนกระบวนการสกัด ภายในคอลัมน์ โดยการติดตั้งอัลตราโซนิคทราวนสดิวเซอร์ไว้ที่ผนังภายนอกคอลัมน์สกัด
2. พฤติกรรมชั่วคราวของการกระจายเช่นเดียวกับลักษณะของไฮลด์อัฟ ตามแนวแกนสามารถถูกติดตามได้อย่างถูกต้อง

Kirou Tavlarides and Bonnet, 1988 แสดงการประยุกต์ใช้เทคนิคอัลตราโซนิคแบบมีจุดวัดหลายจุด (multiple points) ในการติดตามไฮลด์อัฟโพรไฟล์ (Hold-up profiles) ในสถานะไม่คงตัวชั่วคราวในเครื่องสกัดของเหลวเนื่องจากมีลักษณะที่ไม่รบกวนกระบวนการสกัด และมีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เทคนิคนี้ในการควบคุมกระบวนการสกัดได้ โดยทำการทดลองในคอลัมน์ผสมหลายชั้น (Multistage mixer column) ของ Oldshue-Rushton มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร ประกอบด้วย 7 ตอนที่แต่ละตอนสูง 12 เซนติเมตร มีแกนของใบกวนอยู่กลางคอลัมน์ โดยมีวิธีการทดลองตามการทดลองของ Bonnet and Tavlarides, 1987 และ Tavlarides and Bonnet, 1986 ระบบที่ใช้คือโทลูอิน(วัฏภาคกระจาย) และน้ำ (วัฏภาคต่อเนื่อง) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 3 อัตรา คือที่ 0.31 ลิตรต่อนาที 0.42 ลิตรต่อนาที และ 0.48 ลิตรต่อนาที เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเป็น 1.4 ลิตรต่อนาที ความเร็วรอบการหมุน 160 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเท่านั้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady-state) และเมื่อความเร็วรอบเพิ่ม มีการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะของไฮโดรไดนามิกส์ในที่สุดจะเกิดช่วงภาวะคงตัวใหม่ขึ้นด้วยค่าไฮลด์อัฟ ที่มีค่าสูงขึ้น

Kirou et al, 1988 ศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ของคอลัมน์สกัดหลายชั้นแบบ Oldshue-Rushton เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร แบ่งเป็น 7 ตอน มีใบพัด 6 แฉกอยู่กลางคอลัมน์ ระบบที่ศึกษาคือ โทลูอินและน้ำ เพื่อดูผลกระทบของความเร็วรอบในการหมุน และอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง และวัฏภาคกระจาย โดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิคหาโพรไฟล์ของไฮลด์อัฟตามแนวแกนของวัฏภาคกระจาย พบว่าไฮลด์อัฟโพรไฟล์ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติการ ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปแบบโพรไฟล์จากโค้งเข้าเป็นโค้งกลับที่มีค่าสูงสุดที่ก้นคอลัมน์ และยังศึกษาการติดตามอย่างต่อเนื่องของไฮลด์อัฟโพรไฟล์ที่จุดที่ใกล้เคียงกับจุด flooding นำไปสู่การสร้างสมการรูปแบบของภาวะที่เหมาะสมในการทำนายการเกิด flooding ที่ภาวะที่ความเร็วรอบการหมุนเป็น 160 – 250 รอบต่อนาที อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 0.3-1.7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเป็น 0.1-0.95 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิในการทดลอง 20 องศาเซลเซียส ได้ค่าเฉลี่ยไฮลด์อัฟในคอลัมน์อยู่ระหว่าง 30 – 44 % และมีค่า 50 – 70 % ในชั้นแรกและมีค่าน้อยกว่า 3-4 เท่าในชั้นที่ 7 ที่ก้นคอลัมน์ จากการศึกษาผลของความเร็วรอบ พบว่าที่ความเร็วรอบต่ำ

160 รอบต่อนาที มีค่าไฮลด์อัฟต่ำกว่าเมื่อเทียบกับที่ความเร็วรอบสูงกว่า และจากการศึกษาผลของอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเมื่อความเร็วรอบและอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคงที่พบว่าอัตราการไหลสูงกว่าจะให้ค่าไฮลด์อัฟที่สูงกว่า โดยไฮลด์อัฟโพรไฟล์จะมีลักษณะเป็นรูปโค้งคว่ำลง และสำหรับการศึกษาผลของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเมื่อเฟสต่อเนื่องและความเร็วรอบคงที่ พบว่าที่อัตราการไหลมากขึ้นจะให้ค่าไฮลด์อัฟมากขึ้นด้วย เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องและวัฏภาคกระจายมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าไฮลด์อัฟสูงสุดจะขยับไปทางด้านกันคอลล์มันน์และมีลักษณะของโพรไฟล์เป็นแบบโค้งคว่ำไปเป็นโค้งรูปตัวเอส

Uchida, Katsumata and Iida, 1988 ทำการวัดไฮลด์อัฟในฟลูอิดเบด 3 เฟส โดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิกเพื่อวิเคราะห์รูปร่างและวัฏภาคนำหรือวัฏภาคตามของคลื่นอัลตราโซนิกที่ส่งผ่านวัฏภาคทั้งสามวัฏภาคที่อยู่ภายใน ฟลูอิดเบด วัฏภาคนำที่ทราบค่าไฮลด์อัฟได้ถูกทดสอบโดยการเป่าและไม่เป่าฟองอากาศ โดยการใช้ถังผสมสมบูรณ์แบบ (Complete mixing tank) ภายในถังประกอบด้วยท่ออะคริลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร สูง 105 มิลลิเมตร ใช้ใบกวนแบบ 3 ใบพัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบการหมุน 400 รอบต่อนาที วัสดุที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์และลูกแก้ว ที่มีขนาด 1.58 นาโนเมตร และ 1.94 ไมโครเมตรตามลำดับ ความถี่ของอัลตราโซนิกเป็น 1.7 เมกะเฮิรตซ์ ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงว่าการทราบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเวลาและไฮลด์อัฟของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของแข็ง ที่ปราศจากฟองอากาศ ล่วงหน้า จะสามารถคำนวณค่าไฮลด์อัฟในระบบสามวัฏภาคได้

Yi and Tavlarides, 1990 ได้สร้างแบบจำลองของสมการรูปแบบสำหรับการวัดไฮลด์อัฟสำหรับการกระจายของเหลวโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก โดยได้สมมติแบบจำลองเวลาเฉลี่ยของหยดทรงกลม (Spherical droplet correction time-averaged, SDTA model) เพื่อใช้ในการประมาณไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจาย จากเวลาที่ใช้ในการส่งคลื่นอัลตราโซนิกผ่านวัฏภาคกระจาย ซึ่งแบบจำลอง SDTA จะพิจารณาถึงผลกระทบของหยดทรงกลม และการกระจายของหยดบนเส้นทางเดินของคลื่นที่ถูกส่งและสมบัติทางกายภาพของวัฏภาคทั้งสอง แล้วยังสามารถประมาณไฮลด์อัฟเมื่อมีการสลับวัฏภาคอีกด้วย แบบจำลองนี้ทำในสองระบบ ระบบแรกเป็นระบบโพลีอิมมัตวในน้ำ และสารละลายกรดไนตริกอิมมัตว เข้มข้น 0.2 โมลาร์ กับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไตรบิวทิลฟอสเฟต ในนอร์มอลโดเดเคน (n-dodecane) จากผลการทดลองพบว่าค่าไฮลด์อัฟที่แท้จริงสามารถวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำด้วยค่าความผิดพลาดในช่วงระหว่าง 0 - 7.7

เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า สามารถนำเอาเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้กับผนังของหน่วยสกัดที่เป็นโลหะในลักษณะที่ไม่เข้าไปรบกวนระบบ ทำให้ติดตามระบบได้อย่างต่อเนื่อง

Bonnet and Sorrentino, 1990 เทคนิคอัลตราโซนิกที่ได้รับการพัฒนาโดย Bonnet และ Tavlarides เพื่อวัดค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายในเครื่องสกัดของเหลว-ของเหลว ได้นำไปประยุกต์กับคอลัมน์สกัดแบบ Scheibel ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร ประกอบด้วยชั้นสลับกันระหว่างชั้นของการผสม และชั้นของแพ็กกิ้ง ที่มีความสูงของแต่ละชั้นเป็น 0.03 และ 0.055 เมตร ตามลำดับ แพ็กกิ้งที่ใช้ ทำจากพอลิพรอพิลีน มีช่องว่าง 96 เปอร์เซ็นต์ ระบบที่ใช้คือ โทลูอีน (วัฏภาคกระจาย) น้ำ (วัฏภาคต่อเนื่อง) และระบบของ MIBK (วัฏภาคกระจาย) น้ำ (วัฏภาคต่อเนื่อง) ใช้ใบกวนของ Rushton ทำงานที่ 400, 500 และ 600 รอบต่อนาที ด้วยอัตราการไหล 4 อัตราของวัฏภาคกระจายและวัฏภาคต่อเนื่อง ในชั้นผสมหนึ่ง ๆ จะมีอุปกรณ์วัดสองชนิดที่แตกต่างกันเพื่อใช้วัดไฮลด์อัฟ และติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับ - ส่ง เพื่อควบคุมการเก็บตัวอย่างการกระจาย ค่าไฮลด์อัฟที่ได้ทั้งสองวิธีถูกนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธีการทางสถิติพบว่าที่รอบการกวนต่ำ ๆ และมีแรงตึงผิวสูง เป็นภาวะที่การกระจายไม่สมบูรณ์ มีความแตกต่างกันมาก ในขณะที่ รอบการกวนสูง และแรงตึงผิวต่ำ ๆ ค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากันในทางสถิติ ผลงานนี้แสดงการนำเอาอัลตราโซนิกมาใช้วัดไฮลด์อัฟ ในคอลัมน์ Scheibel ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาการติดตามไฮลด์อัฟตามแนวแกน เพื่อควบคุมปัญหาของคอลัมน์แบบ Scheibel นี้

Venkatanarasaiah and Varma, 1998 ได้ทำการศึกษาถึงเรื่อง ค่าไฮลด์อัฟในวัฏภาคกระจาย และการถ่ายโอนมวลของของเหลวในคอลัมน์สกัด จากข้อมูลในการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า ∞ (dispersed phase holdup) จากการทดลองที่ทำการศึกษาใน liquid pulsed column สารป้อนในที่นี้คือ kerosene ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ และน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ถูกป้อนเข้าทางด้านบนของคอลัมน์โดยมีการไหลแบบสวนทางกัน ซึ่ง n-butyric acid และ benzoic acid ถูกใช้ เป็น solute ซึ่งจะเกิดการถ่ายโอนมวลจากวัฏภาคกระจายไปยังวัฏภาคต่อเนื่อง

จากการที่ทดลองในระบบที่มีการถ่ายโอนมวลจากวัฏภาคกระจายไปยังวัฏภาคต่อเนื่อง มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่มีการถ่ายโอนมวลระหว่างวัฏภาค ซึ่งสามารถอ้างอิงไปยัง Marangani effect คือการเชื่อมยึดกันเองของโมเลกุลของสารมีผลให้หยดมีขนาดใหญ่ ดังนั้น จะเกิดค่า ∞ ที่ต่ำกว่า สำหรับระบบที่มีการถ่ายโอนจากวัฏภาคกระจายไปยังวัฏภาคต่อเนื่อง

n-butyric acid และ benzoic acid ใช้เป็นตัวถูกละลาย ซึ่งจะเกิดการถ่ายโอนมวลจากวัฏภาคกระจายไปยังวัฏภาคต่อเนื่อง จากข้อมูลในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ∞ ในระบบที่มี benzoic acid เป็นตัวถูกละลายมีค่าสูงกว่าระบบที่มี n-butyric acid เป็นตัวถูกละลาย Haridrish

nan et/al. รายงานผลสำหรับ plate column ที่สังเกตได้ว่า surface tension (แรงตึงผิว) ของ kerosene เปลี่ยนไปตามการละลายของ solute และค่า Marton Number (M) เท่ากับ 5.81×10^{-10} สำหรับระบบ benzoic acid และ เท่ากับ 16.6×10^{-10} สำหรับระบบที่มี n-butyric acid เป็น solute ในช่วงความเข้มข้นที่ได้ทำการศึกษา

ค่า M น้อยกว่าแสดงว่ารูปร่างของหยดห่างไกลจากรูปทรงกลมมากกว่าหยดที่มีลักษณะเป็นทรงกลมเหมือน ๆ กันนั้น ∞ จะมีค่าสูงกว่าเมื่อมีค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นเป็นค่าน้อย ๆ

Jane et al, 1998 ศึกษาการหาค่าไฮลด์อัฟในคอลัมน์สกัด PRDC โดยใช้ระบบของของเหลวสองเฟสคือ polyethylene glycol (PEG) 6000 และ dibasic potassium phosphate (DPP) ค่า hold-up ที่ได้มาจาก PRDC เป็นผลกระทบเนื่องมาจากความเร็วรอบการหมุน เส้นผ่านศูนย์กลางจานหมุน ความสูงของแต่ละส่วนสกัดย่อย สัดส่วนอัตราการไหล และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ในกระบวนการสกัดของระบบที่ตัวทำละลายอินทรีย์ ค่าไฮลด์อัฟจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของมอเตอร์ การเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์จะทำให้หยดของของเหลวถูกเฉือนให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้จำนวนของหยดวัฏภาคกระจายมีจำนวนมากขึ้น และยังทำให้ความเร็วของวัฏภาคกระจายลดลง จำนวนหยดของวัฏภาคกระจายที่มากขึ้นจะเป็นสิ่งที่ช่วยลดความเร็วของหยดวัฏภาคกระจายให้ลดลง ขนาดของหยดและความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของการหมุน อย่างไรก็ตามความเร็วรอบของการหมุนที่สูงจะสามารถเพิ่มอัตราการผสมและประสิทธิภาพการสกัดให้เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ความเร็วรอบของการหมุนจะสามารถใช้ควบคุมขนาดของหยด ค่าไฮลด์อัฟและประสิทธิภาพของอุปกรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

1. คอลัมน์สกัดแบบจานหมุน (RDC)
2. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
3. ออสซิลโลสโคป (Model LG Digital Storage Oscilloscope OS-3020 D 20MHz)
4. คอมพิวเตอร์แสดงผล
5. ทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง (Model Panametrics V103 1.0/0.5)
6. ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ (Model Panametrics V103 1.0/0.5)
7. เครื่อง Refractometer (Atago 1T)

อุปกรณ์การทดลองในขั้นตอนหลักของการดำเนินการทดลองนั้น แบ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ใน 3 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. ขั้นตอนการวัดความเร็วอัลตราโซนิกของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดในระบบแบบกะ เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของการนำเอาเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้จริงกับเครื่องสกัดแบบจานหมุน จึงได้มีการทดสอบด้วยการวัดความเร็วเสียงอัลตราโซนิกที่ใช้เดินทางผ่านสารบริสุทธิ์ต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มีการศึกษาและแสดงในคู่มือ โดยการวัดความเร็วเสียงทำในภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยใช้เทคนิคการแผ่กระจายของคลื่น (pulse propagation technique) ภาชนะที่ใช้ทำจากพลาสติกอะคริลิก (acrylic plastic sheet) กว้าง 7.5 ซม. ยาว 10 ซม. และหนา 1 ซม. โดยด้านของภาชนะทั้งสองด้านที่ตรงข้ามกันในแนวเดียวกันประกบด้วยทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง เส้นผ่านศูนย์กลางของทรานสดิวเซอร์คือ 1.27 ซม. ความถี่เรโซแนนซ์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ และระยะห่างระหว่างทรานสดิวเซอร์ทั้งสอง 9.5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 เครื่องมือสำหรับวัดความเร็วเสียงในระบบ batch



รูปที่ 3.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง

ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สัญญาณที่ป้อนให้กับภาชนะสร้างจากเครื่องมือกำเนิดคลื่นแบบต่าง ๆ เป็นเครื่องผลิตคลื่นดลรูปเหลี่ยม หรือรูปไซน์ (train of rectangular voltage pulse) ที่สามารถปรับความกว้าง ความถี่ และพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้ สัญญาณคลื่นจากเครื่องกำเนิดคลื่นนี้ถูกส่งไปกระตุ้นทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก คลื่นดลที่อัดตัวกัน (pressure pulse) เดินทางผ่านสารที่ใช้ในการทดลอง และทรานสดิวเซอร์ตัวรับจะรับคลื่นแล้วจะเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าสัญญาณนี้ส่งต่อไปยังออสซิลโลสโคป สัญญาณจะถูกขยายพร้อมทั้งแสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคป และสามารถบันทึกตำแหน่งของรูปคลื่นบนหน้าจอ ในขณะที่เดียวกันเครื่องกำเนิดคลื่นดลกระตุ้น (trig) ให้เกิดการกวาดของสัญญาณในแกนแนวนอนของ

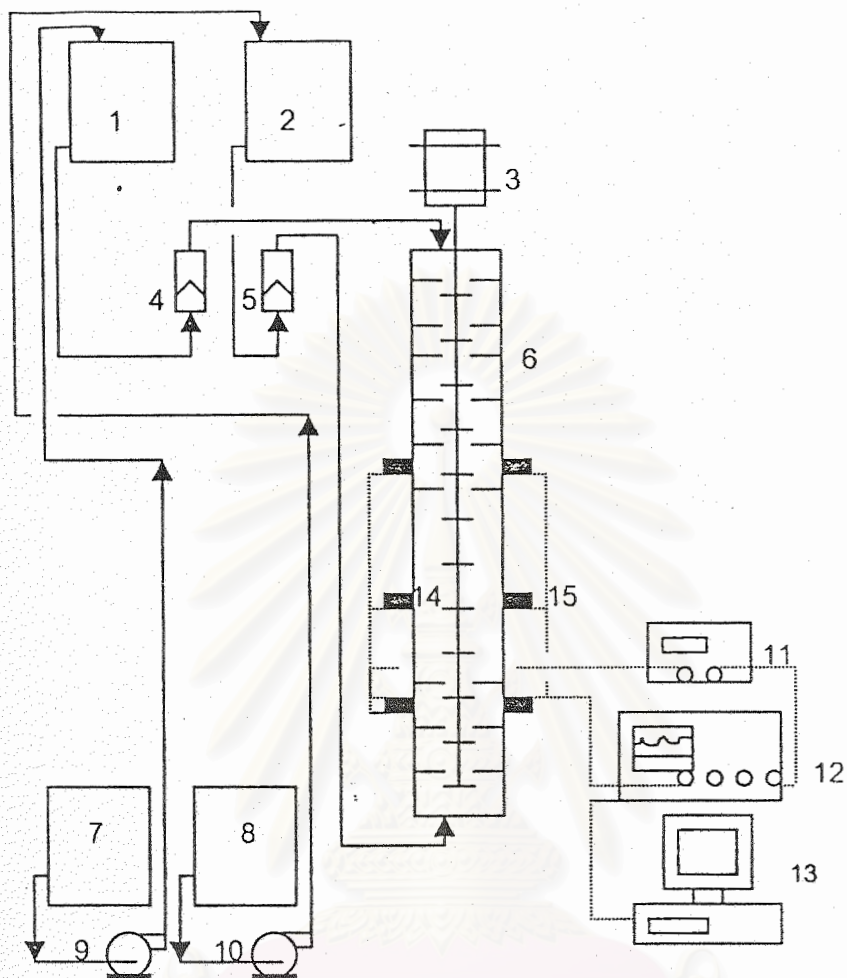
ออสซิลโลสโคป ดังนั้นจึงสามารถแสดงสัญญาณของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและสัญญาณจากอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ตัวรับ บนหน้าจอออสซิลโลสโคปพร้อมกันได้และวัดช่วงเวลาโดยฟังก์ชันความต่างของเวลา (ΔT) (กฤษดา และประยูร 2538)

การขยายสัญญาณเต็มทีของออสซิลโลสโคปเป็นสิ่งจำเป็น การวัดโดยใช้เครื่องวัดความเร็วเสียง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่เสียงใช้เดินทาง (acoustic length, L) และเวลาเดินทางของคลื่นที่ได้แก้ไขแล้ว นำมาคำนวณความเร็วเสียงที่ต้องการวัดออกมาได้

2. ขั้นตอนการวัดเวลาที่คลื่นใช้เดินทางภายในสารบริสุทธิ์และสารผสม (โกลูอิน-อะซิโตน-น้ำ) ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน

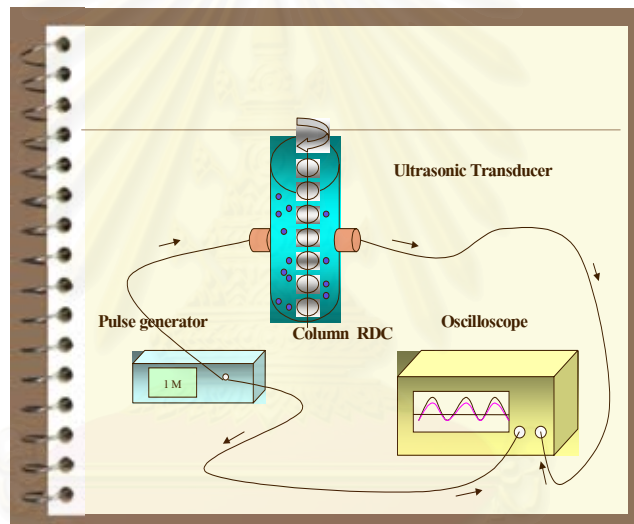
ทำในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน (RDC) ที่ทำจากแก้วสูง 90 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.05 ซม. ผนังแก้วหนา 4.55 มม. จำนวนวงแหวนสถิต (stator ring) 40 อัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือช่องเปิดของวงแหวนสถิต (ds) 3.0 ซม. จำนวนจานหมุน (rotor disk) 41 อัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (dr) 2.4 ซม. ติดกับแกนหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 ซม. ที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาดครึ่งแรงม้า และความสูงของแต่ละคอมพาร์ทเมนต์ (Z_c) 2.5 ซม. (Misek, 1963) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้ากับคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน โดยทดลองกับระบบสองวัฏภาค (two-phase experiment) ที่สององค์ประกอบ (two-components) และสามองค์ประกอบ (three-components)

สำหรับเวลาทั้งหมดในการเดินทาง (overall travel time) ถูกวัดในวัฏภาคเดี่ยว (single phase) และวัฏภาคกระจายที่ค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายแตกต่างกัน (Bonnet and Tavlarides, 1987) ส่วนการวางตำแหน่งแกนจานหมุนกลางคอลัมน์ซึ่งเป็นเส้นทางเดินของเสียง ทำให้เกิดความล่าช้าของเวลา (time delay) มากยิ่งขึ้น และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของสัญญาณ ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากในการระบุตำแหน่งที่ถูกต้องของจุดที่สูงขึ้นของสัญญาณ (rising point) ที่ได้รับ ดังนั้นเวลาที่ใช้เดินทางผ่านทั้งหมดจึงสามารถวัดโดยเปรียบเทียบกับพีคแรก (first peak) ของสัญญาณที่ได้รับ



1. ถังป้อนวัตถุดิบต่อเนื่อง ปริมาตร 8 ลิตร
2. ถังป้อนวัตถุดิบกระจาย ปริมาตร 8 ลิตร
3. มอเตอร์กระแสตรงขนาด 1/2 แรงม้าปรับความเร็วรอบได้
4. โรตารีมิเตอร์วัดอัตราการไหลวัตถุดิบต่อเนื่อง (1-12 ลิตรต่อชั่วโมง)
5. โรตารีมิเตอร์วัดอัตราการไหลวัตถุดิบกระจาย (1-12 ลิตรต่อชั่วโมง)
6. คอลัมน์สกัดแบบจานหมุน (RDC)
7. ถังเก็บวัตถุดิบต่อเนื่อง
8. ถังเก็บวัตถุดิบกระจาย
9. ปั๊มวัตถุดิบต่อเนื่อง
10. ปั๊มวัตถุดิบกระจาย
11. ฟังก์ชันแอนะล็อก-ดิจิทัล
12. ออสซิลโลสโคป
13. คอมพิวเตอร์แสดงผล
14. ทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง
15. ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ

รูปที่ 3.3 ก) อุปกรณ์และการต่ออุปกรณ์ต่างๆกับคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน



ข) อุปกรณ์และการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน

3. ขั้นตอนการวัดค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงของสารผสมในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน

ทำในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน (RDC) ที่ตำแหน่งตั้งสารในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่ 3 ระดับคือที่ระดับ 20 ซม. 45 ซม. และ 70 ซม. โดยนับจากระดับอ้างอิงทางด้านล่างของคอลัมน์ดังรูปที่ 3.4 โดยทดลองกับระบบสองวัฏภาคและสามวัฏภาค สำหรับค่าไฮลด์อัฟที่วัดได้โดยวิธีการวัดปริมาตรนั้นสามารถหาได้จากสัดส่วนของปริมาตรของวัฏภาคกระจายในปริมาตรทั้งหมดของสารตัวอย่างที่ทำการวัด (100 ml) ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 เครื่องสกัดแบบจวนหมุนที่ตำแหน่งการติดตั้งสารทดลองต่าง ๆ



รูปที่ 3.5 การหาค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีการวัดปริมาตร

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าการเบี่ยงเบนของแสง

ทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Abbe Refractometer Model NAR-11 เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงการหักเหของแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย



รูปที่ 3.6 เครื่อง Abbe Refractometer

สำหรับค่าการเบี่ยงเบนของแสง (refractive index) จะถูกวัดเพื่อหาค่าความเข้มข้นของอะซีโตนแล้วนำมาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของเวลาที่ได้จากการวัดโดยวิธีอัลตราโซนิกเพื่อที่จะนำมาทำการคำนวณหาค่าไฮลด์อัฟตต่อไป

สารเคมี

1. โทลูอีน ($C_6H_5CH_3$) Commercial grade บริษัท Exxon (Thailand) Co.,Ltd ความหนาแน่น 0.868 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส
2. อะซีโตน ความหนาแน่น 0.792 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. พรอพิลีนไกลคอล (Ultrasonic couplant reagent)
4. น้ำ

สารเคมีในระบบสององค์ประกอบ	สารเคมีในระบบสามองค์ประกอบ
วัฏภาคกระจาย - โทลูอีน	วัฏภาคกระจาย - สารผสมโทลูอีน และ อะซีโตน (15%อะซีโตน)
วัฏภาคต่อเนื่อง - น้ำ	วัฏภาคต่อเนื่อง - น้ำ

ตารางที่ 3.1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในระบบที่อุณหภูมิ 20 °C (Perry,1984)

สมบัติของสารเคมี	น้ำ	อะซิโตน	โทลูอีน
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1	0.792	0.868
ความหนืด (MPa.s),cP	0.887	0.32	0.587
แรงตึงผิว (N/m)	345x10 ⁻⁴	-	295x10 ⁻⁴
ความเร็วเสียง(m/s)	1490.4	1189.0	1330.3
ความจุความร้อน จำเพาะ (Cp) (Cal/g.°C)ที่ 20°	0.998	0.852	0.440
สัมประสิทธิ์การนำ ความร้อน (cal/cm.s.°C)	1.43x10 ⁻³	-	3.56x10 ⁻⁴

วิธีการทดลอง

1. ขั้นตอนการวัดความเร็วอัลตราโซนิกของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดในระบบแบบกะ

1.1 จัดระบบของอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเปิดสวิตช์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทิ้งไว้ก่อนประมาณ 5-10 นาที เพื่อให้อุปกรณ์พร้อมใช้งาน นำสายนำสัญญาณที่มาจากฟังก์ชันเยนเนอเรเตอร์ (main output 50 ohms) มาต่อเข้ากับออกสซิลโลสโคปที่ช่องอินพุต (input) ที่ 1 และสัญญาณที่มาจากทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ต่อเข้ากับช่องอินพุตที่ 2 ตั้งค่าให้แสดงผลพร้อมกันสองช่อง (dual channel) บนหน้าจอออกสซิลโลสโคป

1.2 เติมสารบริสุทธิ์ที่ต้องการวัดปริมาณ ลงในกล่องพลาสติก (อะคริลิก) ใสโดยเทลงอย่างช้าๆเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศให้มีระดับสูง 50 มิลลิเมตร

- 1.3 ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ออสซิลโลสโคป เป็นดังนี้จำนวนช่องต่อโวลต์ (div./Volt) เท่ากับ 10 ความกว้างของคลื่น (pulse width) เท่ากับ 0.5 ไมโครวินาทีต่อช่อง
- 1.4 เคลือบผิวหน้าสัมผัสของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ทั้งตัวรับและตัวส่งด้วยสารอัลตราโซนิกคัพแพลนต์(พอร์พิลินไกลคอล) ลงบนผิวหน้าโดยทาบางๆ ทั่วพื้นที่ผิวของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แล้วประกบให้แนบสนิทกับผนังภายนอก (เพื่อป้องกันอากาศเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างทรานสดิวเซอร์และผนัง) ทั้งสองด้านที่ตรงกันข้ามและจัดให้อยู่ในแนวเดียวกัน
- 1.5 กดปุ่ม (trig) เพื่อกำเนิดสัญญาณคลื่นที่เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์โดยเลือกให้เป็นสัญญาณคลื่นแบบไซน์ (sine wave) เพื่อให้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวที่ส่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกออกมา แล้วปรับความถี่ให้ตรงกันที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ (1000 kHz)
- 1.6 จะปรากฏคลื่นสัญญาณที่ส่งคลื่นมาจากเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และคลื่นจากสัญญาณอัลตราโซนิกที่เดินทางผ่านสารบริสุทธิ์ซึ่งจะเกิดการเหลื่อมล้ำ (lack) กันของเวลา สามารถวัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางผ่านสารบริสุทธิ์นั้นๆ ได้จากฟังก์ชันผลต่างเวลา (ΔT) ของออสซิลโลสโคป
- 1.7 ทำซ้ำสำหรับสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดที่นำมาใช้วัดในการทดลอง 3 ครั้ง โดยเริ่มต้นต่าขั้นตอนที่ 1.2 ถึง 1.5

2. ขั้นตอนการวัดเวลาที่คลื่นใช้เดินทางภายในสารบริสุทธิ์ชนิดเดียวและสารผสม (โกลูอิน-น้ำ) ของระบบสององค์ประกอบในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน

- 2.1 ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารบริสุทธิ์ชนิดเดียวในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน
 - 2.1.1 ป้อนสารที่ใช้เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (น้ำ) เข้าไปภายในทางด้านบนของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนดังรูปที่ 3.3 โดยให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 12 ลิตรต่อชั่วโมง จนเต็มคอลัมน์จึงหยุดป้อนจากนั้นจึงทำการวัดเวลาที่อัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางโดยทำตามขั้นตอนที่ 1.3 ถึง 1.6 บันทึกเวลาที่ได้เป็น ΔT_1 แล้วจึงเปิดวาล์วทางด้านล่างของคอลัมน์เพื่อระบายเอาวัฏภาคต่อเนื่อง (น้ำ) ออกจากคอลัมน์ก่อนที่จะทำการทดลองต่อไป
 - 2.1.2 ป้อนสารใช้เป็นวัฏภาคกระจาย (โกลูอิน) เข้าไปภายในทางด้านล่างของ

คอลัมน์สกัดแบบจวนหมุนโดยให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 6 ลิตรต่อชั่วโมงจนอยู่ที่ระดับหนึ่งในสามของคอลัมน์จึงหยุดป้อนจากนั้นจึงทำการวัดเวลาที่อัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางโดยทำตามขั้นตอนที่ 1.3 ถึง 1.6 บันทึกผลเวลาที่ได้เป็น ΔT_2

2.2 ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารผสม ในคอลัมน์สกัดแบบจวนหมุนด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกและการวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสององค์ประกอบ

2.2.1 ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารผสม ในคอลัมน์สกัดแบบจวนหมุนด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกและการวัดปริมาตรโดยตรง ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่

(1) ป้อนสารที่ใช้เป็นวัฏภาคต่อเนื่องให้มีอัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมงผ่านเข้ามาทางด้านบนคอลัมน์ ปรับโรตารีมิเตอร์ควบคุมวัฏภาคกระจายที่ปรับให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 3 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการหมุนของจวนหมุนเป็น 100 รอบต่อนาทีระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจวนหมุน 20 เซนติเมตร

(2) ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวเป็นเวลา 25-30 นาที โดยระหว่างนี้มีการปล่อยให้สารผสมที่ป้อนเข้าระบายออกตลอดเวลา (วัฏภาคต่อเนื่องปล่อยออกทางวาล์วด้านล่าง ส่วนวัฏภาคกระจายปล่อยออกทางวาล์วด้านบนของคอลัมน์ ซึ่งจะแยกชั้นออกจากกันแล้วนำไปเก็บในถังเก็บแต่ละวัฏภาค) โดยรักษาระดับรอยต่อระหว่างวัฏภาคให้คงที่ หลังจากนั้นวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกซึ่งเกิดการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณคลื่นทั้งสองที่เกิดขึ้นในออสซิลโลสโคป บันทึกเวลาที่ได้จากการวัดเวลาที่แตกต่างกันเป็น $\Delta T'$ แล้วจึงเปิดวาล์วด้านข้างคอลัมน์เพื่อวัดปริมาตรสารทั้งสองวัฏภาคนั้นที่ระดับสูง 20 เซนติเมตร

(3) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเป็น 5, 7 และ 9 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับโดย แต่ละอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายที่เปลี่ยนให้ปรับรอบการหมุนเป็น 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที ตามลำดับ

(4) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ระดับความสูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจวนหมุนที่ 20, 45 และ 70 เซนติเมตรตามลำดับ

2.2.2 ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารผสม ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคงที่

(1) ป้อนสารที่ใช้เป็นวัฏภาคกระจายให้มีอัตราการไหลคงที่ 3 ลิตรต่อชั่วโมงแล้วป้อนวัฏภาคต่อเนื้อที่ปรับให้มีอัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมงผ่านเข้ามาทางด้านบนของคอลัมน์ปรับโรตารีมิเตอร์ควบคุมวัฏภาคต่อเนื้อ ให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 4 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการหมุนของจานหมุนเป็น 100 รอบต่อนาทีระยะที่ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน 20 เซนติเมตร

(2) ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวเป็นเวลา 25 –30 นาที โดยระหว่างนี้มีการปล่อยให้สารผสมที่ป้อนเข้าและระบายออกตลอดเวลา (วัฏภาคต่อเนื้อที่ปล่อยออกจากวาล์วด้านล่างส่วนวัฏภาคกระจายปล่อยออกจากวาล์วด้านบนของคอลัมน์ซึ่งจะแยกชั้นออกจากกันแล้วนำไปเก็บในถังเก็บแต่ละวัฏภาค)โดยรักษาระดับรอยต่อระหว่างวัฏภาคให้คงที่ หลังจากนั้นวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกซึ่งเกิดการเหลื่อมล้ำกับสัญญาณคลื่นทั้งสองที่เกิดขึ้นในออสซิลโลสโคปบันทึกเวลาที่ได้จากการวัดเวลาที่แตกต่างกันเป็น ΔT แล้วจึงเปิดวาล์วด้านข้างคอลัมน์เพื่อวัดปริมาตรสารทั้งสองวัฏภาคนั้นที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร

(3) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อเป็น 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ โดยแต่ละอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อที่เปลี่ยนให้ปรับรอบการหมุนเป็น 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที ตามลำดับ

(4) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ระดับความสูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่ 20,45 และ 70 เซนติเมตรตามลำดับ เพราะต้องการศึกษาผลของระยะที่แตกต่างกันด้วย

3. ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารผสมด้วยวิธีเปรียบเทียบค่าดรรัชนีหักเหของแสงที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อคงที่ของระบบสามองค์ประกอบ

3.1 ป้อนสารที่ใช้เป็นวัฏภาคต่อเนื้อให้มีอัตราการไหล คงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมงและป้อนวัฏภาคกระจายที่ปรับให้มีอัตราการไหล 3 ลิตรต่อชั่วโมงผ่านเข้ามาทางด้านบนของคอลัมน์ปรับโรตารีมิเตอร์ควบคุมวัฏภาคกระจายที่ปรับให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 3 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการหมุนของจานหมุนเป็น 100 รอบต่อนาทีระยะที่ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน 20 เซนติเมตร

3.2 ปลอ่ยให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวสมดุลเป็นเวลา 25-30 นาที โดยระหว่างนี้มีการปลอ่ยให้สารผสมที่ป้อนเข้าระบายออกตลอดเวลา (วัฏภาคต่อเนื่องปลอ่ยออกทางวาล์วด้านล่างส่วนวัฏภาคกระจายปลอ่ยออกทางวาล์วด้านบนของคอลัมน์ ซึ่งจะแยกชั้นออกจากกันแล้วนำไปเก็บในถังเก็บแต่ละวัฏภาค)โดยรักษาระดับรอยต่อระหว่างผิวหน้าให้คงที่ หลังจากนั้นวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกซึ่งเกิดการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณคลื่นทั้งสองที่เกิดขึ้นในออสซิลโลสโคป บันทึกเวลาที่ได้จากการวัดเวลาที่แตกต่างกันเป็น ΔT แล้วจึงเปิดวาล์วด้านข้างคอลัมน์เพื่อวัดปริมาตรสารทั้งสองวัฏภาคนั้นที่ระดับสูง 20 เซนติเมตร โดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เมื่อใส่สารลงในกระบอกตวงแล้ว ปลอ่ยทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที สารที่อยู่ภายในจะแยกชั้นออกจากกันวัดปริมาตรของวัฏภาคกระจายชั้นบน

3.3 หลังจากนั้นนำตัวอย่างของสารทั้งสองชั้นไปหาค่าดัชนีหักเหของแสงด้วย refractometer เพื่อที่จะหาค่าความแตกต่างของเวลาต่อไป

3.4 จากข้อที่ 3.2 ค่าปริมาตรที่วัดได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงจาก

$$\text{ค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีวัดปริมาตรโดยตรง } \phi_v = \frac{\text{ปริมาตรวัฏภาคกระจาย (ชั้นบน)}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของภาชนะบรรจุ (100 มิลลิลิตร)}}$$

ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟที่วัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกจากข้อ 3.3

3.5 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเป็น 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับโดยแต่ละอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องที่เปลี่ยนให้ปรับรอบการหมุนเป็น 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที ตามลำดับ

3.6 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ระดับความสูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่ 20, 45 และ 70 เซนติเมตรตามลำดับ เพราะต้องการศึกษาผลของระยะที่แตกต่างกันด้วย

4. ขั้นตอนการวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารผสมด้วยวิธีเปรียบเทียบค่าดัชนีหักเหของแสงที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคงที่ของระบบสามองค์ประกอบ

4.1 ป้อนสารที่ใช้เป็นวัฏภาคกระจายให้มีอัตราการไหล คงที่ 3 ลิตรต่อชั่วโมงและป้อนวัฏภาคต่อเนื่องที่ปรับให้มีอัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมงผ่านเข้ามาทางด้านบนคอลัมน์ปรับโรตามิเตอร์

ควบคุมวัฏภาคต่อเนื่องที่ปรับให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 4 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการหมุนของจานหมุนเป็น 100 รอบต่อนาทีระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน 20 เซนติเมตร

4.2 ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวเป็นเวลา 25-30 นาที โดยระหว่างนี้มีการปล่อยให้สารผสมที่ป้อนเข้าระบายออกตลอดเวลา (วัฏภาคต่อเนื่องปล่อยออกทางวาล์วด้านล่างส่วนวัฏภาคกระจายปล่อยออกทางวาล์วด้านบนของคอลัมน์ ซึ่งจะแยกชั้นออกจากกันแล้วนำไปเก็บในถังเก็บแต่ละวัฏภาค) โดยรักษาระดับรอยต่อระหว่างวัฏภาคให้คงที่ หลังจากนั้นวัดเวลาเดินทางของคลื่น อัลตราโซนิกด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกซึ่งเกิดการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณคลื่นทั้งสองที่เกิดขึ้นในออสซิลโลสโคป บันทึกเวลาที่ได้จากการวัดเวลาที่แตกต่างกันเป็น ΔT แล้วจึงเปิดวาล์วด้านข้างคอลัมน์เพื่อวัดปริมาตรสารทั้งสองวัฏภาคนั้นที่ระดับสูง 20 เซนติเมตร โดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เมื่อใส่สารลงในกระบอกตวงแล้ว ปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที สารที่อยู่ภายในจะแยกชั้นออกจากกันวัดปริมาตรของวัฏภาคกระจายชั้นบน

4.3 หลังจากนั้นนำตัวอย่างของสารทั้งสองชั้นไปหาค่าดัชนีหักเหของแสงด้วยเครื่อง refractometer เพื่อที่จะหาค่าความแตกต่างของเวลาต่อไป

4.4 จากข้อที่ 4.2 ค่าปริมาตรที่วัดได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟที่วัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกจากข้อ 4.3

4.5 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเป็น 5, 7 และ 9 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับโดยแต่ละอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายที่เปลี่ยนให้ปรับรอบการหมุนเป็น 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที ตามลำดับ

4.6 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนระยะติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ระดับความสูงจากด้านล่างของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่ 20, 45 และ 70 เซนติเมตรตามลำดับ เพราะต้องการศึกษาผลของระยะที่แตกต่างกันด้วย

5. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสง ค่าความแตกต่างของเวลา และเปอร์เซ็นต์อะซิโตนของระบบสามองค์ประกอบ

5.1 จัดระบบของอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเปิดสวิตช์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทิ้งไว้ก่อนประมาณ 5-10 นาที เพื่อให้อุปกรณ์พร้อมใช้งาน นำสายนำสัญญาณที่มาจากฟังก์ชันเยนเนอเรเตอร์ (main output 50 ohms) มาต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปที่ช่องอินพุต (input) ที่ 1 และสัญญาณ

ที่มาจากทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ต่อเข้าที่ช่องอินพุตที่ 2 ตั้งค่าให้แสดงผลพร้อมกันสองช่อง (dual channel) บนหน้าจอสซิลิโคน

5.2 เติมโหล่อื่น ปริสุทธิ์ ปริมาณ 50 มม. ลงในกล่องพลาสติก (อะคริลิก) ใสโดยเทลงอย่างช้าๆเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ

5.3 ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ออสซิลิโคน เป็นดังนี้ช่องต่อโวลต์ (div./Volt) เท่ากับ 10 ช่องต่อโวลต์ ความกว้างของคลื่น (pulse width) เท่ากับ 0.5 ไมโครวินาทีต่อช่อง

5.4 เคลือบผิวหน้าสัมผัสของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ทั้งตัวรับและตัวส่งด้วยสารอัลตราโซนิคคัพแพลนต์(พรอพิลีนไกลคอล) ลงบนผิวหน้าโดยทาบางๆทั่วพื้นที่ผิวของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ แล้วประกบให้แนบสนิทกับผนังภายนอก (เพื่อป้องกันอากาศเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างทรานสดิวเซอร์และผนัง) ทั้งสองด้านที่ตรงกันข้ามและจัดให้อยู่ในเส้นตรงเดียวกัน

5.5 กดปุ่ม (trig) เพื่อกำเนิดสัญญาณคลื่นที่เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์โดยเลือกให้เป็นสัญญาณคลื่นแบบไซน์ (sine wave) เพื่อทำให้อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ตัวที่ส่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิคออกมา แล้วปรับความถี่ให้ตรงกันที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ (1000 kHz)

5.6 จะปรากฏคลื่นสัญญาณที่ส่งคลื่นมาจากเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และคลื่นจากสัญญาณอัลตราโซนิคที่เดินทางผ่านสารบริสุทธิ์ซึ่งจะเกิดค่าความแตกต่างของเวลา สามารถวัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิคใช้เดินทางผ่านสารบริสุทธิ์นั้นๆได้จากฟังก์ชันผลต่างเวลา (ΔT) ของออสซิลิโคน

5.7 ค่าความแตกต่างของเวลาที่วัดได้เป็นค่าโหล่อื่นบริสุทธิ์ ทำการปรับค่าสารที่ทำกรวัดโดยผสมอะซิโตนเพิ่มในสัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทำการทดลองซ้ำในหัวข้อที่ 5.2 ถึง 5.6 หลังจากนั้นผสมอะซิโตนเพิ่มในสัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ต่อไปเรื่อยๆจนถึงอะซิโตน 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร(อะซิโตนที่ใช้ในการสกัดมีความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ของสารผสมที่เป็นวัฏภาคกระจาย)

5.8 นำค่าความแตกต่างของเวลาที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์อะซิโตนไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลาและเปอร์เซ็นต์อะซิโตนในระบบสารผสมโหล่อื่นและอะซิโตน

5.9 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่หัวข้อที่ 5.2 ถึง 5.7 แต่เปลี่ยนสารที่ผสมกับอะซิโตนเป็นน้ำจะได้ค่าความแตกต่างของเวลาที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์อะซิโตนไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลาและเปอร์เซ็นต์อะซิโตนในระบบสารผสมน้ำและอะซิโตน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการดำเนินการทดลองตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 สามารถแสดงผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดในระบบแบบกะ

เวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารเคมีต่างๆแสดงในตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1 เวลาเดินทางเฉลี่ยผ่านภาชนะของคลื่นอัลตราโซนิก

สารเคมี	เวลาเดินทางเฉลี่ยผ่านภาชนะของคลื่นอัลตราโซนิก (ไมโครวินาที)	ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารเคมีที่บรรจุในภาชนะ (เมตรต่อวินาที)
น้ำ	52.20	1,436.7
โทลูอีน	58.02	1,292.6
อะซีโตน	63.20	1,186.7
เมทานอล	77.26	1,074.1
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	87.13	941.0

จากการทดลองวัดเวลาการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด ที่บรรจุในภาชนะอะคริลิกพลาสติก สามารถนำไปคำนวณหาค่าความเร็วเสียงอัลตราโซนิกของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดได้ แสดงในตารางที่ 5.1 และได้เปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากการทดลอง กับข้อมูลจากคู่มือ (Lynnworth, 1992) โดยได้แสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.2 ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด

สารบริสุทธิ์	เวลาเดินทางผ่าน สารบริสุทธิ์ (ไมโครวินาที)	ความเร็วคลื่น อัลตราโซนิกผ่าน สารบริสุทธิ์จาก การทดลอง (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วคลื่น อัลตราโซนิกผ่าน สารบริสุทธิ์จาก (Lynnworth, 1992) (เมตรต่อวินาที)	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์
	1	2	3	$= (3-2)/3 \times 100$
น้ำ	52.00	1,442.3	1,421	1.50
โทลูอีน	58.00	1,293.1	1,322	2.18
อะซิโตน	63.00	1,250.0	1,189	5.13

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และนำเช็ทือของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นำมาใช้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกในการทดลอง โดยทำการวัดเวลาที่ใช้เดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด แล้วนำมาคำนวณค่าความเร็วคลื่นผ่านสารบริสุทธิ์ เมื่อนำค่าความเร็วคลื่นผ่านสารบริสุทธิ์ที่คำนวณได้ (ช่องที่ 2) มาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วคลื่นผ่านสารบริสุทธิ์ต่างๆ ที่ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว (ช่องที่ 3) จากการเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นในรูปของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ช่องที่ 4) จะเห็นได้ว่ามีค่ายอมรับได้

จากการทดลองพบว่าค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อผ่านสารบริสุทธิ์ มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสารบริสุทธิ์นั้น คือสารบริสุทธิ์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า คลื่นอัลตราโซนิกสามารถเดินทางผ่านสารบริสุทธิ์ได้เร็วกว่า และใช้เวลาน้อยกว่าสารบริสุทธิ์ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า

จึงสามารถกล่าวได้ว่าอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นำมาใช้ในการทดลอง มีความถูกต้องและนำเช็ทือเพียงพอสำหรับนำไปใช้กับระบบน้ำ-โทลูอีน และระบบน้ำ-โทลูอีน-อะซิโตนในการทดลองขั้นอื่นๆต่อไป

4.2 การวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์ที่บรรจุในคอลัมน์ สกัดแบบจานหมุน

สำหรับระบบที่เลือกใช้คือ น้ำ-โทลูอีน-อะซิโตน โดยเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกใน สารบริสุทธิ์ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารเคมีที่บรรจุในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนโดย เวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกในสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดจะถูกนำมาคำนวณในการหาค่าไฮลด์ อัพ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารบริสุทธิ์ที่บรรจุในคอลัมน์สกัดแบบ จานหมุน

สารเคมี	เวลาเดินทางเฉลี่ยผ่านคอลัมน์ ของคลื่นอัลตราโซนิก (ไมโครวินาที)	ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก ผ่านสารเคมีที่บรรจุในคอลัมน์ (เมตรต่อวินาที)
น้ำ	52.00	1,442.3
โทลูอีน	58.00	1,293.1
อะซิโตน	63.10	1,188.5

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เป็นการวัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางในระบบที่ ทำการศึกษาคือ น้ำ-โทลูอีน (ระบบสององค์ประกอบ)และน้ำ-โทลูอีน-อะซิโตน (ระบบสาม องค์ประกอบ)ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน จากการทดลองสามารถวัดเวลาเดินทางของคลื่น อัลตราโซนิกในน้ำ (t_1) และโทลูอีน (t_2) ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าไฮลด์อัพ (ϕ) จากความสัมพันธ์ของ Bonnet and Tavlarides (1987) ดังนี้

$$\text{Dispersed - phase holdup, } \phi = \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]}$$

โดยความเร็วที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นในน้ำและโทลูอีนในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนและ ภาชนะอะคริลิกพลาสติก มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน โดยค่าความแตกต่างของเวลาในการเดินทางของ คลื่นอัลตราโซนิกจะเป็นตามที่ได้วัดได้จริงจากออกซิลโลสโคปโดยภาชนะที่บรรจุไม่มีผลต่อค่าความ แตกต่างของเวลาเนื่องจากค่าความแตกต่างของเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกผ่านตัวกลางที่บรรจุวัดได้ มีค่าเป็นศูนย์ จากเหตุผลข้างต้นแสดงว่าภาชนะที่บรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความ แตกต่างของเวลา

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกและการวัดปริมาตรโดยตรงในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนเมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อคองที่และอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคองที่ตามลำดับของระบบสององค์ประกอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความถูกต้องและน่าเชื่อถือของค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากเทคนิคอัลตราโซนิก ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟที่วัดได้จากวิธีวัดปริมาตรโดยตรง โดยมีการเปลี่ยนแปลงในภาวะการทดลองคือ ความเร็วรอบในการหมุนของจานหมุนเป็น 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเป็น 1, 3, 5 และ 7 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื้อคองที่เท่ากับ 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

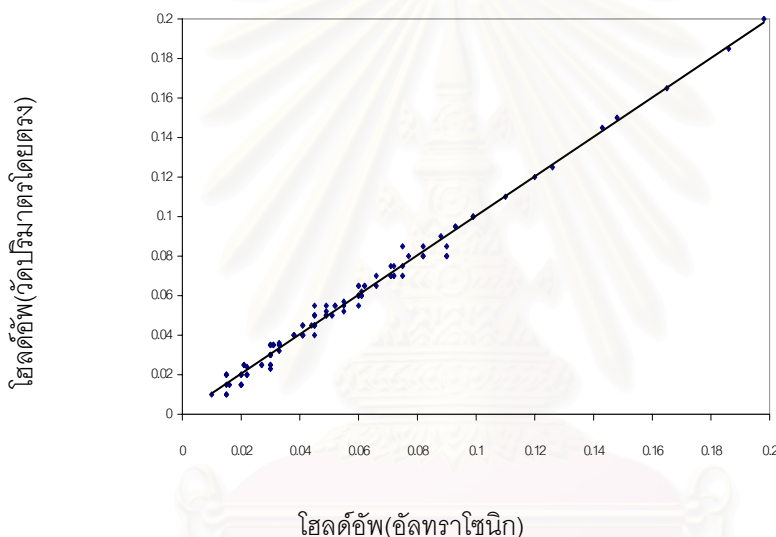
พิจารณาความสัมพันธ์ของค่าไฮลด์อัฟของระบบสององค์ประกอบจากการวัดโดยวิธีวัดปริมาตรโดยตรงกับค่าไฮลด์อัฟด้วยวิธีอัลตราโซนิกที่ภาวะต่างๆ กัน โดยเมื่อค่าไฮลด์อัฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าไฮลด์อัฟที่วัดโดยวิธีอัลตราโซนิกกับวิธีวัดปริมาตรโดยตรงจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาคผนวก ก. และรูปที่ 4.1

จากการศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการวัดปริมาตรโดยตรง และเทคนิคอัลตราโซนิก การทดลองวัดค่าไฮลด์อัฟด้วยวิธีวัดปริมาตรโดยตรงในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนเป็นการวัดปริมาตรของวัฏภาคกระจายที่มีอยู่จริงในคอลัมน์ ภาวะการทดลองนั้น ซึ่งค่าไฮลด์อัฟสามารถคำนวณหาได้จากอัตราส่วนปริมาตรของวัฏภาคกระจายและปริมาตรทั้งหมดของสารผสมในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน สำหรับค่าไฮลด์อัฟในระบบสององค์ประกอบที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกได้จากการคำนวณจากความสัมพันธ์ของ Bonnet and Tavlarides (1987) ข้างต้น เมื่อทราบเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่มีสารบริสุทธิ์บรรจุอยู่ภายในที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2 และเวลาที่เดินทางผ่านสารผสมที่บรรจุในคอลัมน์ที่ทำการวัดในขั้นตอนที่ 4.3 นี้ ที่ภาวะเดียวกันค่าไฮลด์อัฟในขณะนั้นจะถูกวัดด้วยวิธีวัดปริมาตรโดยตรง และวัดเวลาเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกพร้อมๆ กัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าไฮลด์อัฟจากทั้งสองวิธี ที่ความเร็วรอบ อัตราการไหลวัฏภาคต่อเนื้อ คัดการไหลวัฏภาคกระจายมีค่าต่างๆกัน ความสัมพันธ์เป็นดังรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากวิธีวัดปริมาตรโดยตรงแต่ในช่วงการทดลองที่ค่าไฮลด์อัฟน้อยๆนั้นเห็นได้ว่ามีค่าเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงที่ $X = Y$ เนื่องจากช่วงที่ค่าไฮลด์อัฟมีค่าน้อยความคลาดเคลื่อนของการวัดเวลาเดินทางของคลื่นเพียงเล็กน้อยทำให้การคำนวณไฮลด์อัฟเบี่ยงเบนจากเส้นตรง $X = Y$ มากกว่าที่ค่าไฮลด์อัฟสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มช่วงการทดลองให้สูงขึ้นจะเห็นได้ว่าค่าไฮลด์อัฟจะอยู่บนเส้นแนวโน้มที่แกน $X = Y$

ดังรูปที่ 4.1 แสดงว่าเมื่อทำการทดลองในช่วงที่ค่าไฮลด์อัฟสูงค่าความคลาดเคลื่อนของค่าไฮลด์อัฟจะมีค่าน้อยลง

ในขั้นตอนนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการดึงตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆของคอลัมน์มาวัดค่าไฮลด์อัฟ(การวัดปริมาตรโดยตรง)สามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงกับการวัดไฮลด์อัฟด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกในระบบสององค์ประกอบซึ่งคำนวณค่าไฮลด์อัฟจากสมการเวลาเฉลี่ย (Bonnet and Tavlarides, 1987) จึงทำให้เชื่อมั่นได้ว่าการวัดไฮลด์อัฟโดยการวัดปริมาตรโดยตรงในระบบสามองค์ประกอบก็น่าจะถูกต้องเช่นกันเพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับกรวัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกต่อไป



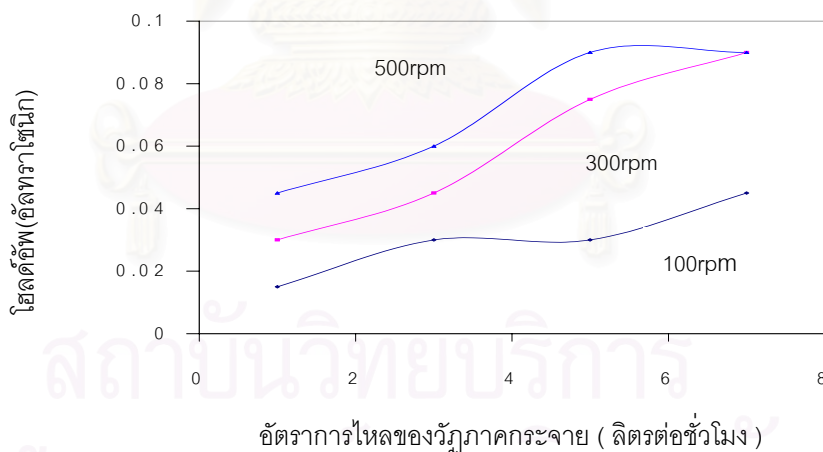
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก และวิธีวัดปริมาตรโดยตรงสำหรับระบบสององค์ประกอบ

4.4 ผลของตัวแปรต่างๆต่อค่าไฮลด์อัฟในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนสำหรับระบบสององค์ประกอบ

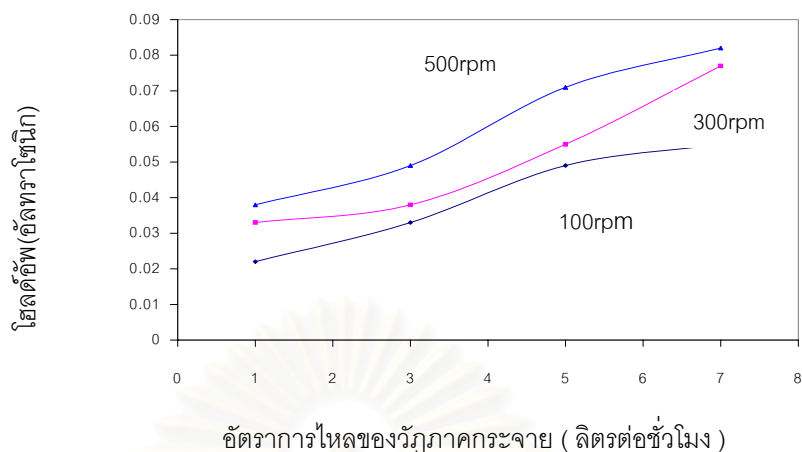
ในการศึกษานี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าไฮลด์อัฟที่เกิดขึ้นในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนในระบบสององค์ประกอบ โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง ความเร็วรอบจานหมุน และระดับความสูงติดตั้งทรานสดิวเซอร์ แต่ละปัจจัยได้ผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 ผลของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายต่อค่าไฮลด์อัฟในระบบสององค์ประกอบ

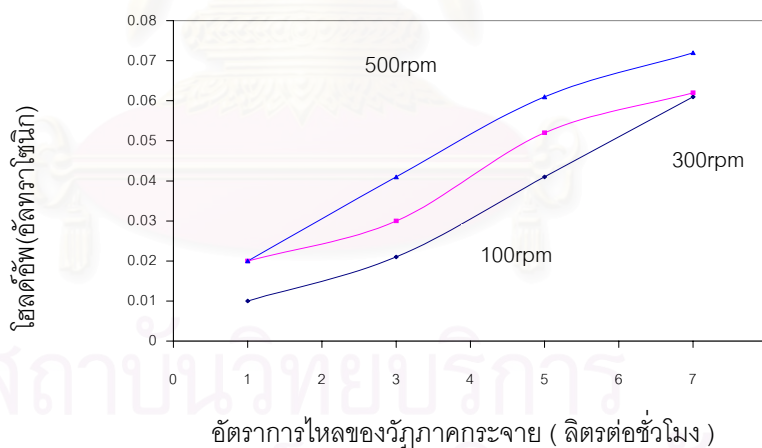
จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายที่มีต่อค่าไฮลด์อัฟพบว่า เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเพิ่มขึ้น โดยให้อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ ค่าไฮลด์อัฟมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายตั้งแต่ 3 ถึง 5 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วค่ายังคงเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเหมือนการเพิ่มขึ้นในช่วงแรกดังกล่าว สอดคล้องกับความสัมพันธ์ของค่าไฮลด์อัฟซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่างวัฏภาคกระจายต่อวัฏภาคต่อเนื่องมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อให้อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ แต่เปลี่ยนระดับความสูงของการติดตั้ง ทรานสดิวเซอร์กับความเร็วยอบจานหมุนต่างๆกันพบว่าค่าไฮลด์อัฟมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นทั้งสามระดับ โดยมีค่าไฮลด์อัฟอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.09 และที่ระดับความเร็วยอบจานหมุนมากขึ้น มีค่าไฮลด์อัฟมากกว่าเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 4.2 ถึง 4.4 ซึ่งความเร็วยอบที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับต่ำ จึงเห็นผลแตกต่างชัดเจนกว่าการศึกษาที่ผ่านมา (สมิทธิ, 2542) ที่ความเร็วยอบสูงขึ้นผลของความเร็วยอบจะแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากเกิดความปั่นป่วนที่เพียงพอแล้วถึงแม้จะเพิ่มความเร็วยอบก็มีผลต่อระบบไม่มากนัก



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง และระดับติดตั้งความสูงทรานสดิวเซอร์เท่ากับ 20 เซนติเมตร



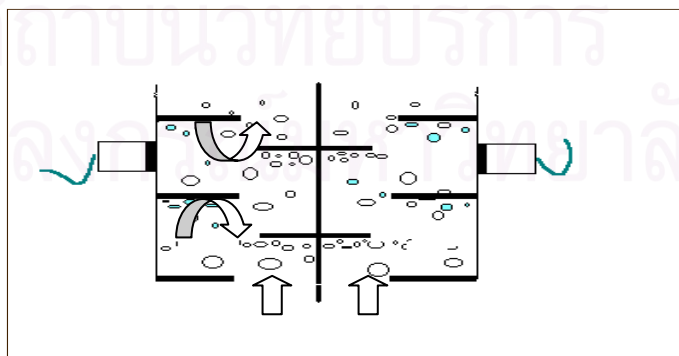
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง และระดับติดตั้งความสูงทรานสดิวเซอร์เท่ากับ 45 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่เท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง และระดับติดตั้งความสูงทรานสดิวเซอร์เท่ากับ 70 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮลด์อัพกับอัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย ที่อัตราการไหลวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ พบว่าที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเพิ่มมากขึ้น ค่าไฮลด์อัพมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่มีอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายต่ำคือในช่วงอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายระหว่าง 3 ถึง 5 ลิตรต่อชั่วโมง

สังเกตได้จากในช่วงอัตราการไหลดังกล่าวนั้นจะมีความชันมากกว่าที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายที่สูงขึ้น ซึ่งจะมีค่าไฮลด์อัพเพิ่มมากขึ้นแต่จะไม่เพิ่มมากเหมือนในช่วงแรก สาเหตุดังกล่าวข้างต้นอาจเกิดขึ้นมาจากเมื่อปริมาณของวัฏภาคกระจายน้อย หยดของวัฏภาคกระจายสามารถลอยขึ้นไปได้อย่างอิสระ ค่าไฮลด์อัพจึงเพิ่มตามปริมาณของวัฏภาคกระจายที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเพิ่มมากขึ้น การลอยขึ้นไปของหยดของวัฏภาคกระจายจะมีความอิสระลดลงเนื่องจากมีจำนวนหยดวัฏภาคกระจายมากขึ้นทำให้เคลื่อนที่ได้ยากขึ้นโดยพบว่าเกิดการสะสมกันที่บริเวณวงแหวนสถิติและจานหมุน ซึ่งจะมีการสะสมตัวของหยดวัฏภาคกระจายได้มากขึ้นอีก ทำให้มีไฮลด์อัพเพิ่มขึ้นอย่างมากในตอนแรกรวมทั้งหยดของวัฏภาคกระจายมีโอกาสถูกจานหมุนเฉือนให้มีขนาดเล็กลงจึงลอยตัวขึ้นได้ช้าลง เป็นไปตามกฎของ Stoke (Stokes' Law) ที่อธิบายถึงปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งได้ให้ความสัมพันธ์ของความเร็วปลาย (terminal velocity) แสดงว่าเมื่อขนาดหยดของของไหล (วัฏภาคกระจาย) มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีความเร็วปลายสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามเมื่อขนาดหยดของของไหลเล็กลง จะมีความเร็วปลายลดลงหรือลอยตัวได้ช้าลงนั่นเองส่งผลให้เกิดการสะสมมากขึ้น ไฮลด์อัพจึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายจนถึงระดับหนึ่งแล้วหยดของวัฏภาคกระจายจะไม่สะสมตัวเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากหยดของวัฏภาคกระจายพยายามรักษาสสมดุลโดยพยายามหาช่องทางออกเกิดการเคลื่อนที่หลุดออกไปตามช่องว่างรอบๆวงแหวนสถิติ และช่องว่างระหว่างวงแหวนสถิติกับแกนยึดจานหมุน ตามทิศทางการไหลดังรูปที่ 4.5

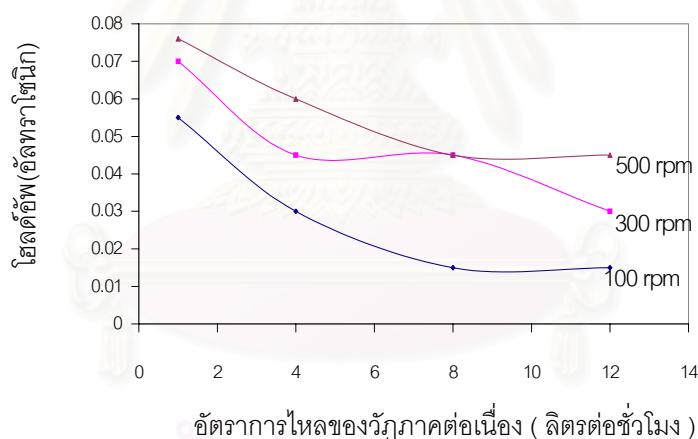


รูปที่ 4.5 ทิศทางการไหลและการสะสมตัวของหยดวัฏภาคกระจายบริเวณวงแหวนสถิติและจานหมุน

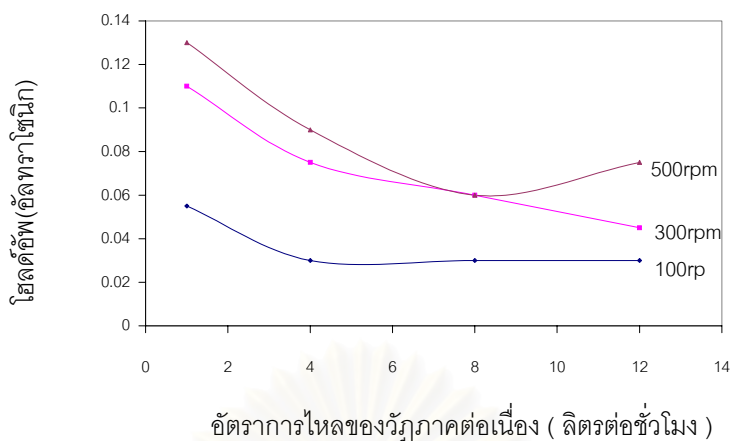
นอกจากนั้นยังมีโอกาสที่หยดของวิภูภาคกระจายจะรวมตัวกันเป็นหยดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การลอยตัวจึงเป็นไปได้เร็วขึ้น การสะสมตัวของหยดวิภูภาคกระจายมีอัตราเพิ่มลดลงค่าไฮลด์อัฟจึงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงดังแสดงในรูปกราฟ 4.2 ถึง 4.4 ดังกล่าว

4.4.2 ผลของอัตราการไหลของวิภูภาคต่อเนื่องต่อค่าไฮลด์อัฟในระบบสององค์ประกอบ

ผลของอัตราการไหลของวิภูภาคต่อเนื่องที่มีต่อค่าไฮลด์อัฟจะมีลักษณะตรงข้ามกับผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากผลของอัตราการไหลของวิภูภาคกระจาย จากการศึกษาคพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของวิภูภาคต่อเนื่อง ค่าไฮลด์อัฟมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราการไหลของวิภูภาคต่อเนื่องเท่ากับ 1 ถึง 6 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วจะลดลงน้อยมากจนเกือบคงที่ โดยที่เมื่ออัตราการไหลของวิภูภาคกระจายที่กำหนดให้คงที่มีค่ามาก ค่าไฮลด์อัฟจะมีค่ามากกว่าค่าไฮลด์อัฟที่เมื่ออัตราการไหลของวิภูภาคกระจายน้อยดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

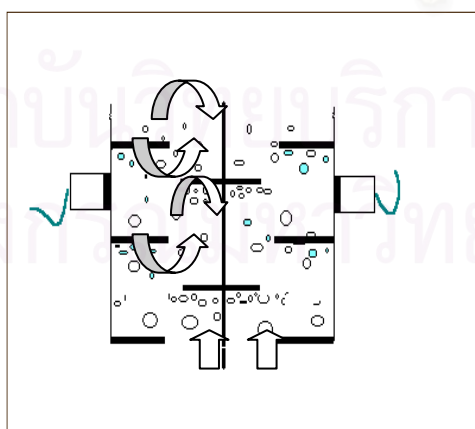


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟกับอัตราการไหลของวิภูภาคต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของวิภูภาคกระจายคงที่เท่ากับ 3 ลิตรต่อชั่วโมง และระดับติดตั้งความสูงทรวงานสวิตเซอร์เท่ากับ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโพลีเมอร์กับอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจายคงที่เท่ากับ 5 ลิตรต่อชั่วโมง และระดับติดตั้งความสูงทราวดิวเซอร์เท่ากับ 20 เซนติเมตร

ผลจากการศึกษาอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องต่อค่าโพลีเมอร์นั้นเป็นไปตามรูปที่ได้แสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.7 ซึ่งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับผลของอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง ค่าโพลีเมอร์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 1 ถึง 6 ลิตรต่อชั่วโมงแล้วจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ในอัตราที่ลดลง เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจนค่าโพลีเมอร์เกือบคงที่จากการสังเกตพบว่า เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดความปั่นป่วน (turbulent) ของหยดวัฏภาคกระจายภายในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากทิศทางการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง และด้วยแรงของวัฏภาคต่อเนื่องที่มาจากสภาพความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นนี้ การสะสมตัวของหยดวัฏภาคกระจายที่บริเวณดังกล่าวข้างต้นจึงมีอัตราลดลง ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ทิศทางการไหลและการสะสมตัวของหยดวัฏภาคกระจายเมื่อมีสภาพความปั่นป่วนจากการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน

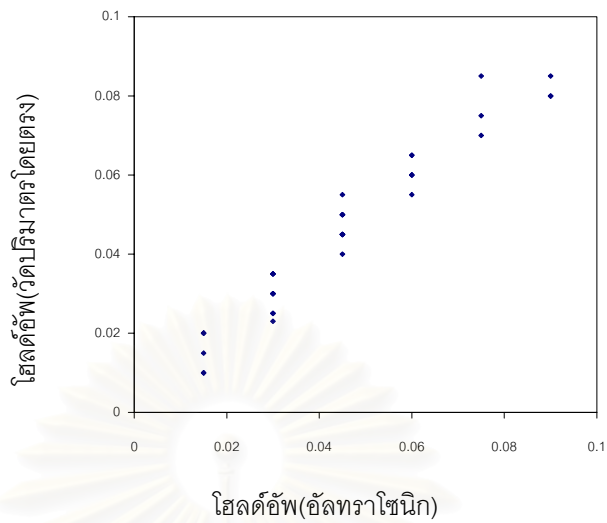
4.4.3 ผลของความเร็รรอบของจานหมุนต่อค่าไฮลด์อัฟของระบบสององค์ประกอบ

จากการทดลองเห็นได้ว่าแต่ละอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายหรือภูมิภาคต่อเนื่องในแต่ละการทดลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็รรอบจานหมุนเพิ่มขึ้น พบว่ามีผลต่อค่าไฮลด์อัฟเล็กน้อย โดยค่าไฮลด์อัฟมีค่าใกล้เคียงกันมากถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มความเร็รรอบของจานหมุนจากความเร็รรอบ 100 ถึง 500 รอบต่อนาทีก็ตาม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Kung and Beckmann (1961) เมื่อเพิ่มค่าความเร็รรอบจานหมุนเพิ่มขึ้นพบว่าค่าไฮลด์อัฟเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

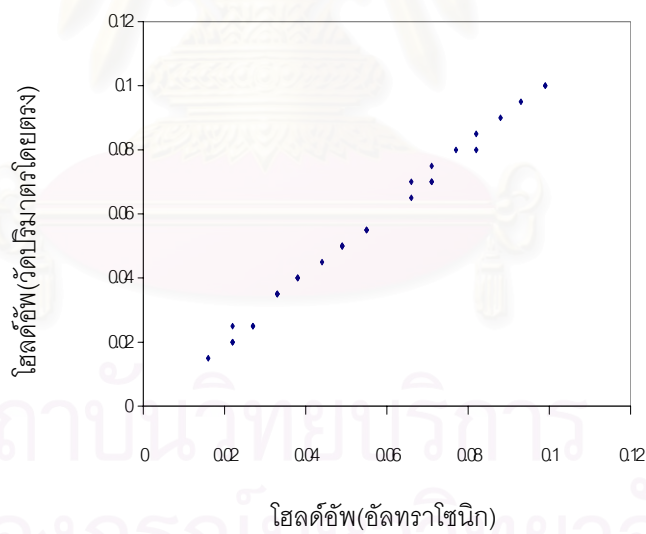
จากทฤษฎีการเพิ่มความเร็รรอบของจานหมุน จะมีผล 2 ประการที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์สก็ดคือ ประการแรกเกิดความปั่นป่วนเพิ่มขึ้นทำให้หยดภูมิภาคกระจายไม่สะสมหรือค้างตัวที่บริเวณวงแหวนสถิต และประการที่สอง ความเร็รรอบของจานหมุนเมื่อสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดการเฉือนของหยดภูมิภาคกระจายให้มีขนาดหยดเล็กลง ทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงและค่าไฮลด์อัฟเพิ่มขึ้น จากการทดลองแปรภาวะความเร็รรอบของจานหมุนตั้งแต่ 100 ถึง 500 รอบต่อนาที พบว่าค่าไฮลด์อัฟเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความเร็รรอบของจานหมุนที่เพิ่มขึ้น เหตุผลดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.4.1

4.4.4 การเปรียบเทียบค่าไฮลด์อัฟจากการวัดปริมาตรโดยตรงกับค่าไฮลด์อัฟจากเทคนิคอัลตราโซนิกในระบบสององค์ประกอบ

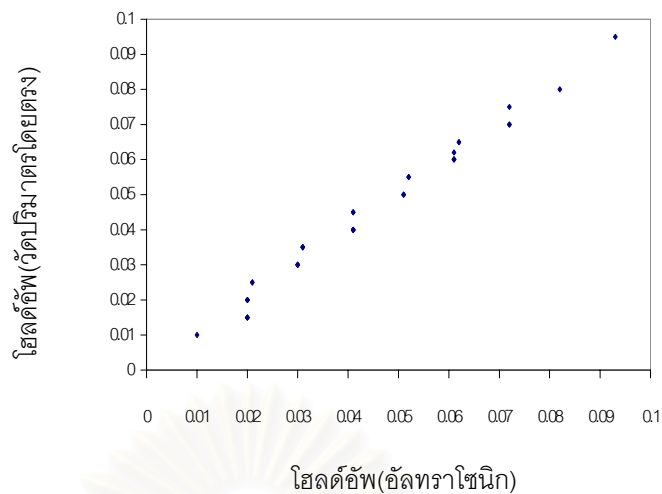
จากการทดลองเปรียบเทียบค่าไฮลด์อัฟจากการวัดปริมาตรโดยตรงกับค่าไฮลด์อัฟจากเทคนิคอัลตราโซนิก ค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากการทดลองทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันอยู่บนเส้นตรง แกน $X=Y$ ดังรูปที่ 4.8 - 4.12 ที่ตำแหน่งติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตร จะมีค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงใกล้เคียงกับค่าไฮลด์อัฟจากเทคนิคอัลตราโซนิกมากที่สุด จึงเป็นสาเหตุที่เลือกตำแหน่งติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตร ในการทดลองระบบสามองค์ประกอบ



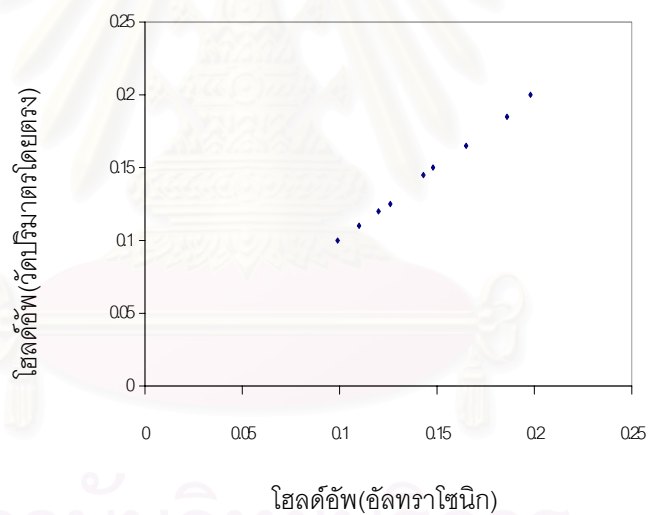
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาณโดยตรงที่ระดับ 20 เซนติเมตรของระบบสององค์ประกอบ



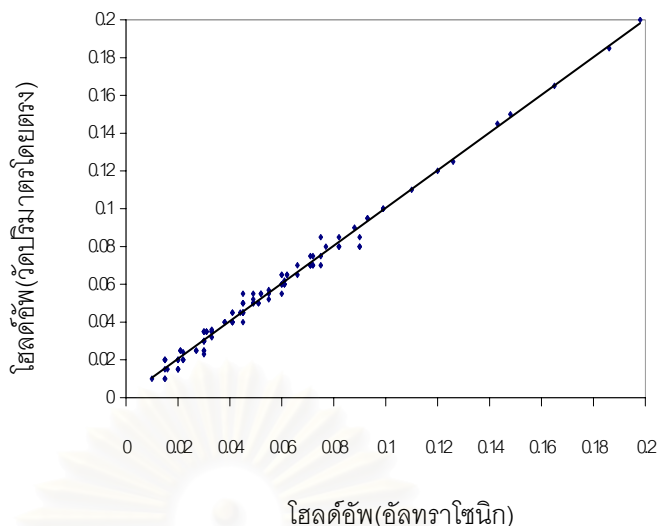
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาณโดยตรงที่ระดับ 45 เซนติเมตรของระบบสององค์ประกอบ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่ระดับ 70 เซนติเมตรของระบบสององค์ประกอบ



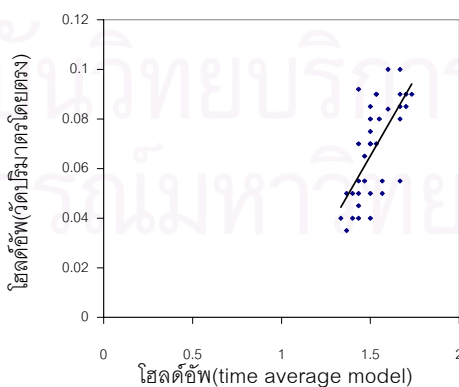
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่ระดับ 45 เซนติเมตร ของภาวะที่ทำให้ช่วงค่าไฮลด์อัฟสูงขึ้นของระบบสององค์ประกอบ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัลพ์ที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรงที่ระดับ 45 เซนติเมตร ที่ทำการทดลองสำหรับตัวแปรทั้งหมดของ ระบบสององค์ประกอบ

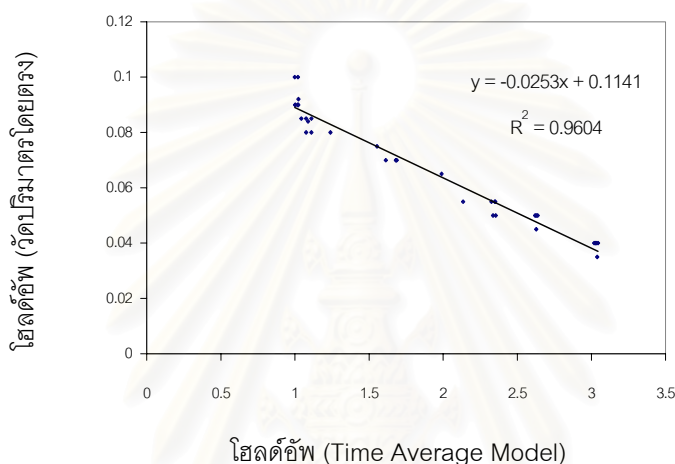
4.5 การคำนวณค่าไฮลด์อัลพ์ด้วย Time Average Model สำหรับระบบสามองค์ประกอบ(โทลูอิน – อะซิโตน – น้ำ)

จากการคำนวณค่าไฮลด์อัลพ์ด้วย Time Average Model สำหรับระบบสามองค์ประกอบเห็นได้ว่าเมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัลพ์ที่วัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีวัดปริมาตรโดยตรง (45cm) ที่ทำการทดลอง แนวโน้มที่เกิดขึ้นจะแสดงให้เห็นได้ว่าค่าไฮลด์อัลพ์ที่ได้จากการทดลองทั้งสองแบบมีค่าแตกต่างกันและไม่อยู่บนเส้นตรง $X=Y$ ซึ่งค่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นได้ว่าอะซิโตนมีผลต่อระบบสามองค์ประกอบที่ทำการทดลองจึงไม่สามารถใช้ Time Average Model ที่ใช้กับระบบสององค์ประกอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัลพ์โดยใช้ (Time Average Model) และค่าไฮลด์อัลพ์จากวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสามองค์ประกอบ

จากการหาค่าโฮลด์อัฟของระบบสามองค์ประกอบโดยใช้สมการ Time Average Model สำหรับระบบสององค์ประกอบนั้นไม่สามารถหาค่าโฮลด์อัฟที่น่าเชื่อถือได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จึงได้ทำการสร้างแบบจำลอง Data Time Model ขึ้นโดยอ้างอิงกับ Time Average Model เป็นหลัก นำค่าโฮลด์อัฟที่ได้จากการวัดปริมาตรโดยตรงมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าโฮลด์อัฟจาก Time Average Model สำหรับระบบสามองค์ประกอบ ดังตารางภาคผนวก ค นำค่าความชื้นและจุดตัดที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4.15) มาสร้างความสัมพันธ์สำหรับแบบจำลอง Data Time Model ดังสมการ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโฮลด์อัฟโดยใช้(Time Average Model)และค่าโฮลด์อัฟจากวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสามองค์ประกอบ

$$\text{Dispersed-phase holdup } \phi_m = -0.0253 \times \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]} + 0.1141$$

โดยค่า ϕ_m = ค่าโฮลด์อัฟ (Data Time Model)

t^* = ค่าความแตกต่างของเวลาของระบบสามองค์ประกอบ

t_1 = ค่าความแตกต่างของเวลาของสารผสม (น้ำ-อะซิโตน)

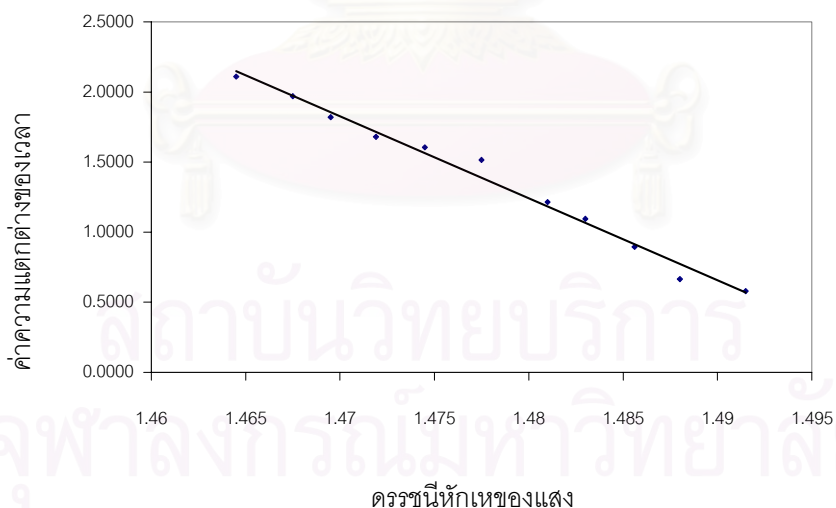
t_2 = ค่าความแตกต่างของเวลาของสารผสม (โทลูอีน-อะซิโตน)

โดยค่าความแตกต่างของเวลาของสารผสม (t_1 และ t_2) ในขณะที่ทำการทดลองนั้นไม่สามารถหาได้จากการใช้เทคนิคัลตราโซนิกเนื่องจากมีปริมาณน้อย จึงมีการสร้างความสัมพันธ์เพื่อหาค่าความแตกต่างของเวลาของสารผสมโดยกราฟมาตรฐาน

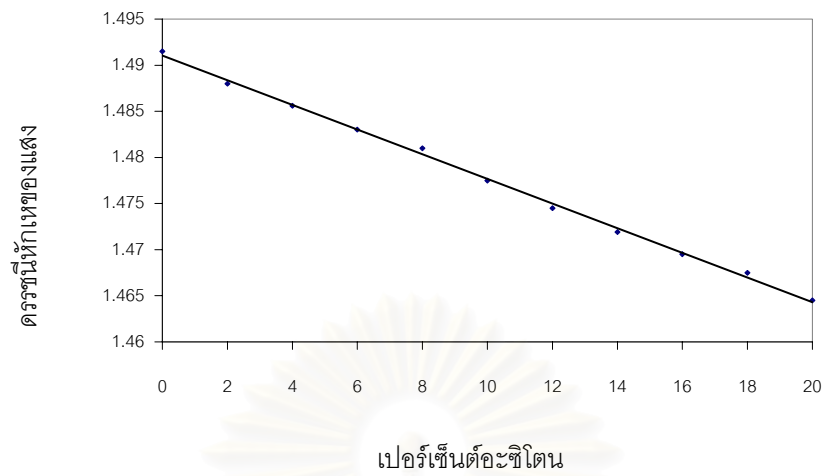
4.6 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรรชนีหักเหของแสง ค่าความแตกต่างของเวลาและเปอร์เซ็นต์อะซิโตน ในระบบสามองค์ประกอบ

จากการทดลองศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟในระบบสามองค์ประกอบ ค่าดรรรชนีหักเหของแสง ค่าความแตกต่างของเวลา เปอร์เซนต์การสกัดอะซิโตนเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าไฮลด์อัฟโดยใช้ Data Time Model ระหว่างระบบโทลูอีน-อะซิโตน และ ระบบน้ำ-อะซิโตน

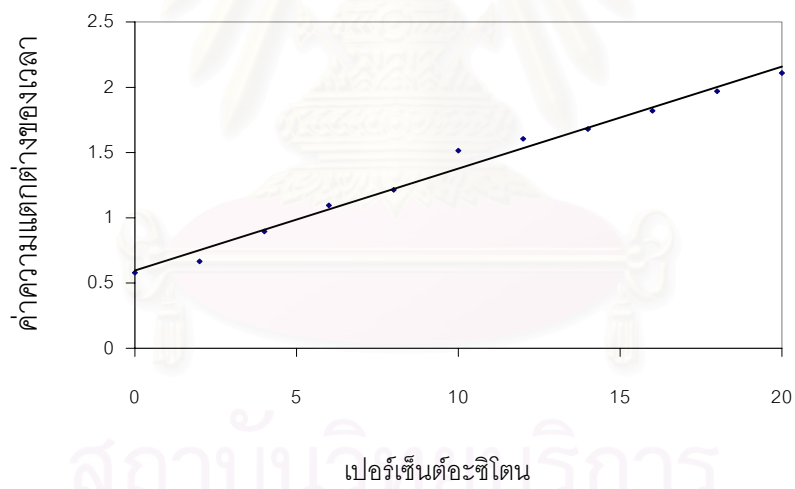
จากการทดลองศึกษาผลของความสัมพันธ์ในระบบโทลูอีน-อะซิโตน พบว่าค่าความแตกต่างของเวลามีค่าลดลง ค่าดรรรชนีหักเหของแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 4.16 และ เปอร์เซนต์อะซิโตนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ดรรรชนีหักเหของแสงมีค่าลดลงดังรูปที่ 4.17 ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความแตกต่างของเวลาและเปอร์เซนต์อะซิโตนมาสัมพันธ์กันเป็นกราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.18 โดยเมื่อค่าเปอร์เซนต์อะซิโตนเพิ่มขึ้นค่าความแตกต่างของเวลามีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับระบบน้ำ-อะซิโตน พบว่าเมื่อค่าความแตกต่างของเวลามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าดรรรชนีหักเหของแสงมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.19 และเมื่อเปอร์เซนต์อะซิโตนมีค่าเพิ่มขึ้น ดรรรชนีหักเหของแสงมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.20 ดังนั้นความสัมพันธ์ของความแตกต่างของเวลาและเปอร์เซนต์อะซิโตนแสดงดังรูปที่ 4.21



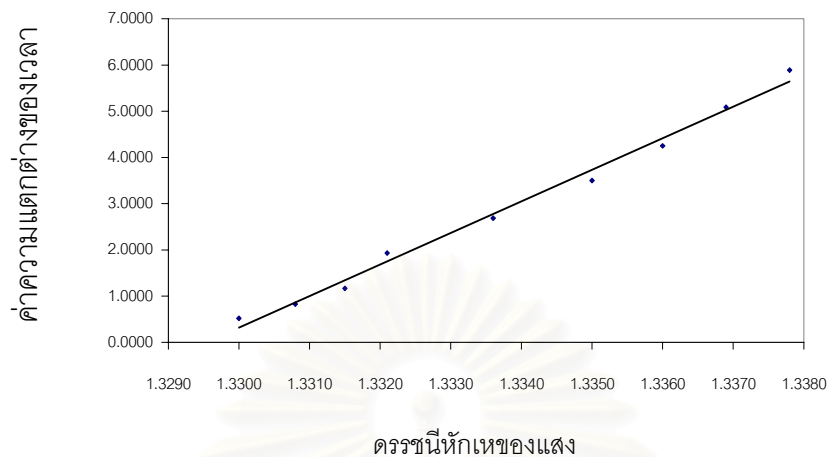
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลา และค่าดรรรชนีหักเหของแสงของระบบโทลูอีน - อะซิโตน



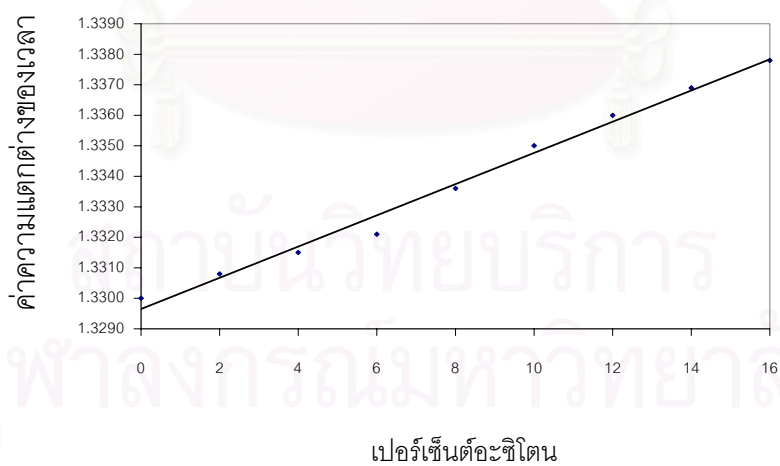
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสง และค่าเปอร์เซ็นต์อะซีโตนของระบบ โทลูอีน - อะซีโตน



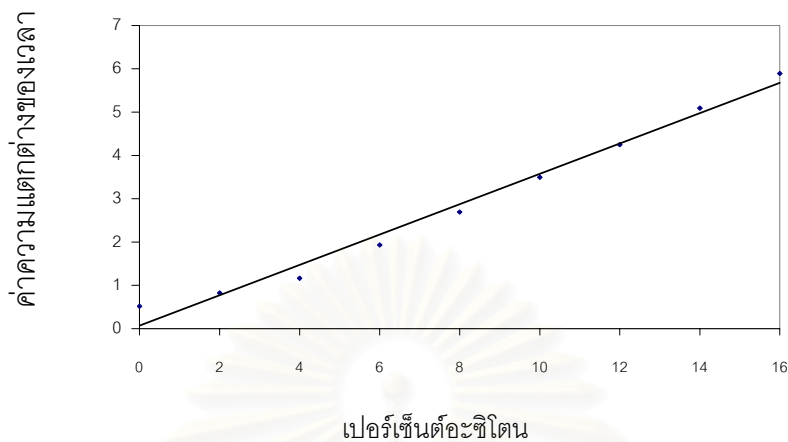
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์อะซีโตนและค่าความแตกต่างของเวลาของระบบ โทลูอีน - อะซีโตน



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของเวลา และค่าดรรชนีหักเหของแสงของระบบ น้ำ - อะซิโตน



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์อะซิโตนและค่าดรรชนีหักเหของแสงของระบบ น้ำ - อะซิโตน



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์อะซิโตนและค่าความแตกต่างของเวลาของระบบน้ำ - อะซิโตน

4.7 การเปรียบเทียบค่าไฮลด์อัฟจากการวัดปริมาตรโดยตรงกับค่าไฮลด์อัฟจากแบบจำลอง (Data Time Model) ในระบบสามองค์ประกอบ

จากการทดลองศึกษาผลของค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) ที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ในขั้นตอนที่ 4.5 เปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟจากการวัดปริมาตรโดยตรงโดยนำค่าความชันและจุดตัดของกราฟความสัมพันธ์มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Data Time Model) ค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันอยู่บนเส้นตรง แกน $X=Y$ ดังรูปที่ 4.22 ที่ตำแหน่งติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45เซนติเมตร จะมีค่าไฮลด์อัฟที่ได้จากวิธีการวัดปริมาตรโดยตรงใกล้เคียงกับค่าไฮลด์อัฟจากแบบจำลอง (Data Time Model) มากที่สุดจากการพิจารณาระบบสองภูมิภาคเป็นสาเหตุที่เลือกตำแหน่งติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45เซนติเมตร ในการทดลองระบบสามองค์ประกอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างไฮลด์อัฟ (Data Time Model) จากวิธีอัลตราโซนิกและไฮลด์อัฟจากวิธีวัดปริมาตรโดยตรงของระบบสามองค์ประกอบ เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนืองคงที่ต่างๆกันที่ 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

-เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนืองเท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลวัฏภาคต่อเนือง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหลวัฏภาคกระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็วรอบ งานหมุน รอบต่อนาที	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัดปริมาตร โดยตรง)
4	3	100	0.037	0.040
4	5	100	0.055	0.050
4	7	100	0.055	0.055
4	9	100	0.088	0.085
4	3	300	0.038	0.040
4	5	300	0.060	0.055
4	7	300	0.056	0.080
4	9	300	0.088	0.090
4	3	500	0.048	0.050
4	5	500	0.072	0.070
4	7	500	0.086	0.085
4	9	500	0.088	0.090

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

--เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 8 ลิตรต่อชั่วโมง

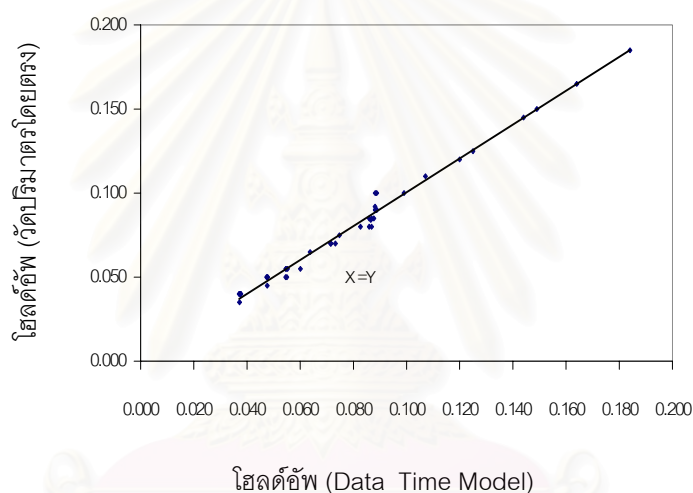
อัตราการไหลวัฏภาคต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหลวัฏภาคกระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็วรอบ จานหมุน รอบต่อนาที	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัดปริมาตร โดยตรง)
8	3	100	0.037	0.035
8	5	100	0.055	0.050
8	7	100	0.073	0.070
8	9	100	0.087	0.085
8	3	300	0.048	0.050
8	5	300	0.064	0.065
8	7	300	0.087	0.080
8	9	300	0.089	0.090
8	3	500	0.055	0.055
8	5	500	0.075	0.075
8	7	500	0.088	0.090
8	9	500	0.089	0.090

--เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 12 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลวัฏภาคต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหลวัฏภาคกระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็วรอบ จานหมุน รอบต่อนาที	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัดปริมาตร โดยตรง)
12	3	100	0.037	0.040
12	5	100	0.047	0.050
12	7	100	0.071	0.070
12	9	100	0.088	0.092
12	3	300	0.037	0.040
12	5	300	0.055	0.055
12	7	300	0.083	0.080
12	9	300	0.089	0.100

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

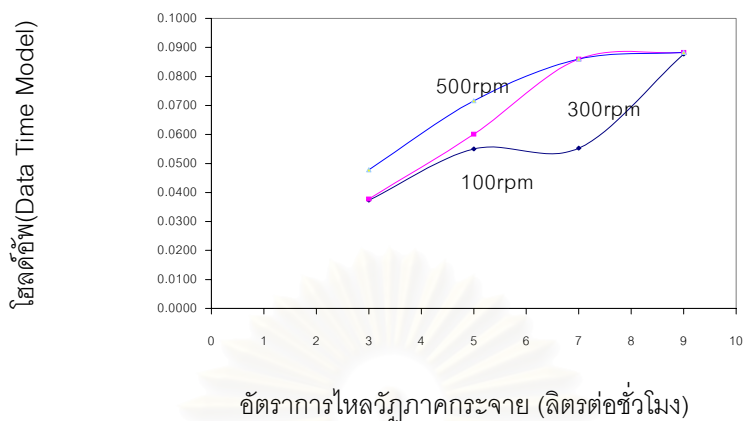
อัตราการไหลวิทยุภาคต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหลวิทยุภาคกระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็วรอบ จานหมุน รอบต่อนาที	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัดปริมาณโดยตรง)
12	3	500	0.048	0.045
12	5	500	0.072	0.070
12	7	500	0.087	0.084
12	9	500	0.088	0.100



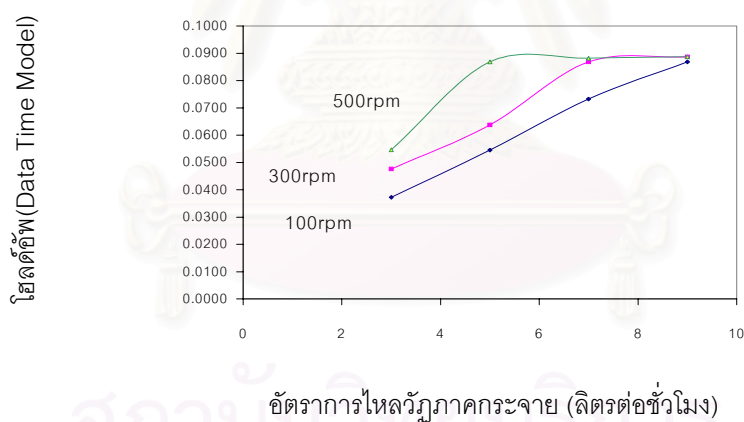
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟโดยวิธี (Data Time Model) และวิธีวัดปริมาณโดยตรงที่ระบบสามองค์ประกอบที่ตำแหน่งติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตร

4.8 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของวิทยุภาคกระจายต่อค่าไฮลด์อัฟแบบจำลอง (Data Time Model) ในระบบสามองค์ประกอบ

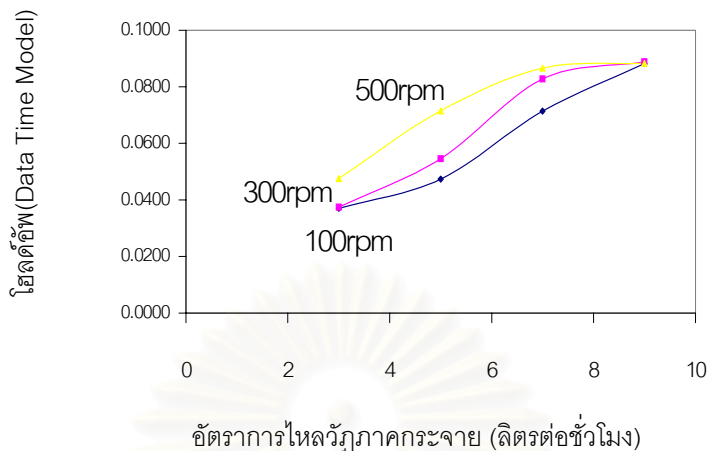
จากการศึกษาผลของค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) ที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ในขั้นตอนที่ 4.5 ที่ระดับติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตร และอัตราการไหลของวิทยุภาคต่อเนื่องคงที่ 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าไฮลด์อัฟโดยใช้ (Data Time Model) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่ยังอัตราการไหลของวิทยุภาคกระจาย 3 – 7 ลิตรต่อชั่วโมงหลังจากนั้นจะลดลงจนเกือบคงที่ดังแสดงในรูปที่ 4.23 – 4.25



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอนุภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้งทอร์นาสตีวเซอร์ 45 เซนติเมตรในระบบสามองค์ประกอบที่อัตราการไหลของอนุภาคต่อเนืองคงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอนุภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้งทอร์นาสตีวเซอร์ 45 เซนติเมตรในระบบสามองค์ประกอบที่อัตราการไหลของอนุภาคต่อเนืองคงที่ 8 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้ง ทรานส์ดิวเซอร์ 45 เซนติเมตรในระบบสามองค์ประกอบที่อัตราการผลิตของวัฏภาคต่อเนื่องคงที่ 12 ลิตรต่อชั่วโมง

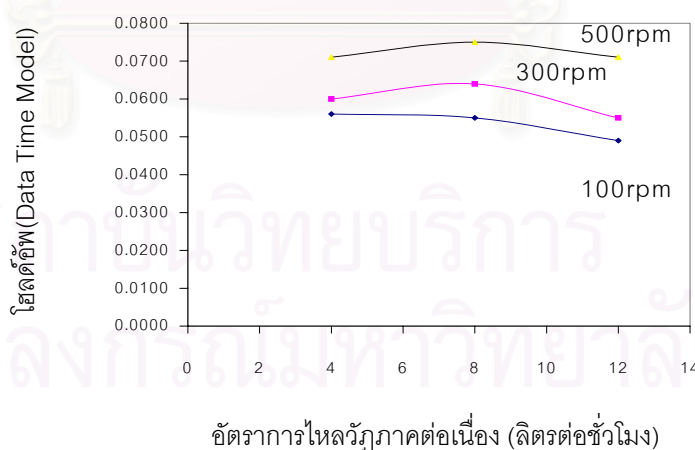
จากรูปที่ 4.23 ถึง 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮลด์อัฟกับอัตราการผลิตของวัฏภาคกระจาย ที่อัตราการผลิตต่อเนื่องคงที่ พบว่าที่อัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายเพิ่มมากขึ้น ค่าไฮลด์อัฟจะมีค่าเพิ่มเช่นกัน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่มีอัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายต่ำคือในช่วงอัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายระหว่าง 3 ถึง 7 ลิตรต่อชั่วโมง สังเกตได้จากที่ช่วงอัตราการผลิตดังกล่าวนี้ จะมีความชันมากกว่าที่อัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายที่สูงขึ้น ซึ่งจะมีค่าไฮลด์อัฟเพิ่มมากขึ้นแต่จะไม่เพิ่มมากเหมือนในช่วงแรก สาเหตุดังกล่าวข้างต้น อาจเกิดขึ้นมาจากเมื่อปริมาณน้อยหยดของวัฏภาคกระจายสามารถลอยขึ้นไปได้อย่างอิสระแต่เมื่ออัตราการผลิตของวัฏภาคกระจายเพิ่มมากขึ้น การลอยขึ้นไปของหยดของวัฏภาคกระจายจะมีความอิสระลดลงโดยพบว่าจะเกิดการสะสมกันที่บริเวณวงแหวนสถิตและจานหมุน ซึ่งจะมีการสะสมตัวของหยดวัฏภาคกระจายได้มากขึ้นอีกทำให้มีไฮลด์อัฟเพิ่มขึ้นอย่างมากในตอนแรก รวมทั้งหยดของวัฏภาคกระจายมีโอกาสถูกจานหมุนเฉือนให้มีขนาดเล็กลงจึงลอยตัวขึ้นได้ช้าลง เป็นไปตามกฎของ Stoke (Stokes' Law) ที่อธิบายถึงปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งได้ให้ความสัมพันธ์ของความเร็วปลาย (terminal velocity) แสดงว่าเมื่อขนาดหยดของของไหล (วัฏภาคกระจาย) มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีความเร็วปลายสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามเมื่อขนาดหยดของของไหลเล็กลง จะมีความเร็วปลายลดลงหรือลอยตัวได้ช้าลงนั่นเองส่งผลให้เกิดการสะสมมากขึ้น ไฮลด์อัฟจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายจนถึงระดับหนึ่งแล้วหยดของภูมิภาคกระจายจะไม่สะสมตัวเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากหยดของภูมิภาคกระจายพยายามรักษาสมดุล โดยพยายามหาช่องทางออกเกิดการเคลื่อนที่หลุดออกไปตามช่องว่างรอบๆวงแหวนสถิตและช่องว่างระหว่างวงแหวนสถิตกับแกนยึดจานหมุน ตามทิศทางการไหลดังรูปที่ 4.5

นอกจากนั้นยังมีโอกาสที่หยดของภูมิภาคกระจายจะรวมตัวกันเป็นหยดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การลอยตัวจึงเป็นไปได้เร็วขึ้นการสะสมตัวของหยดภูมิภาคกระจายมีอัตราเพิ่มลดลงค่าไฮลด์อัฟจึงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงดังแสดงในรูปกราฟ 4.23 ถึง 4.25 ดังกล่าว

4.9 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องต่อค่าไฮลด์อัฟ แบบจำลอง (Data Time Model)

เนื่องจากการทดลองศึกษาผลของค่าไฮลด์อัฟแบบจำลอง(Data Time Model)ที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ในขั้นตอนที่ 4.5 ที่ระดับติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตร และอัตราการไหลของภูมิภาคกระจายคงที่ 5 ลิตรต่อชั่วโมงอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่อง 4, 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมงค่าไฮลด์อัฟจากแบบจำลอง (Data Time Model) มีค่าเกือบคงที่โดยค่าความเร็วรอบการหมุนที่ 100 รอบต่ออนาทีมีค่าไฮลด์อัฟจากแบบจำลองน้อยกว่าที่ 300 และ 500 รอบต่ออนาทีดังแสดงในรูปที่ 4.26

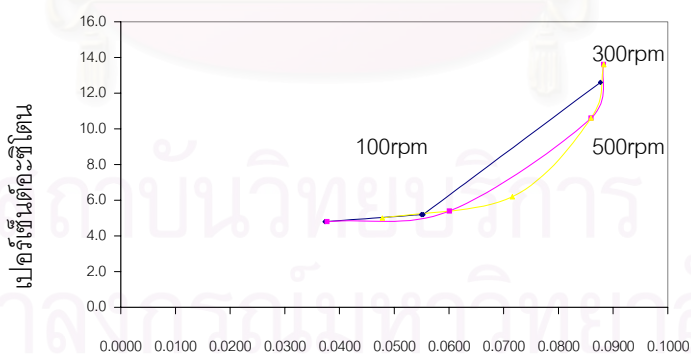


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องกับค่าไฮลด์อัฟที่ความสูงติดตั้งทรานสดิวเซอร์ 45 เซนติเมตรในระบบสามองค์ประกอบที่อัตราการไหลของภูมิภาคกระจายคงที่ 5 ลิตรต่อชั่วโมง

เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่อง ค่าไฮลด์อัฟมีค่าค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วงอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเท่ากับ 4 ถึง 8 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วลดลงในช่วงอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเท่ากับ 8 ถึง 12 ลิตรต่อชั่วโมง จากการเปรียบเทียบการศึกษาตัวแปรเดียวกันนี้ในระบบสององค์ประกอบ (หัวข้อ 4.4.2) ให้ผลการศึกษาไม่สอดคล้องกันทีเดียวนัก โดยในระบบสององค์ประกอบไฮลด์อัฟมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวจำเป็นต้องศึกษาในรายละเอียดถึงเหตุผล โดยอยู่นอกเหนือจากขอบเขตงานวิจัยนี้

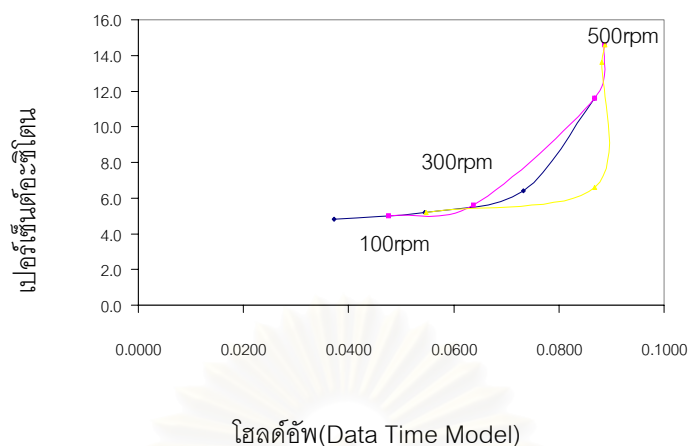
4.10 ผลของค่าไฮลด์อัฟ Data Time Model ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตนในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) ของระบบสามองค์ประกอบ

จากการศึกษาผลของค่าไฮลด์อัฟ Data Time Model ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตนในภูมิภาคต่อเนื่อง(น้ำ) ที่ระดับติดตั้งทรวงานสตีวเซอร์ 45 เซนติเมตร และอัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องคงที่ 4 , 8 และ 12 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลของภูมิภาคกระจาย 3, 5, 7, 9 เมื่อไฮลด์อัฟ Data Time Model มีค่าเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การสกัดอะซิโตนในภูมิภาคต่อเนื่องมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อค่าไฮลด์อัฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะเกิดหยดของภูมิภาคกระจายเพิ่มมากขึ้นทำให้พื้นที่ในการถ่ายโอนมวลมีค่ามากขึ้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของอะซิโตนในภูมิภาคต่อเนื่องมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.27 – 4.29

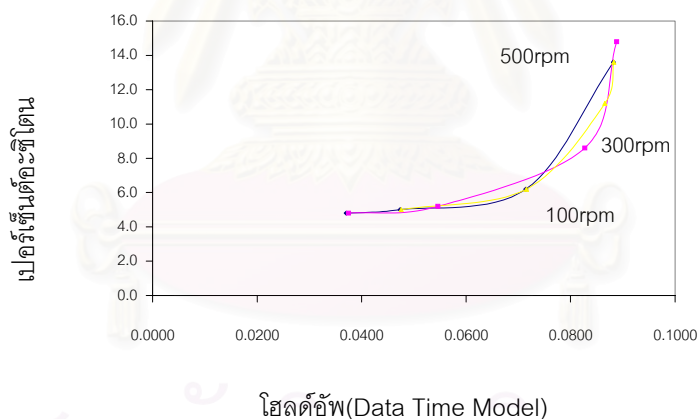


ไฮลด์อัฟ(Data Time Model)

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) และเปอร์เซ็นต์อะซิโตนที่อัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องคงที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ(Data Time Model)และเปอร์เซ็นต์อะซีไตนที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนืองคงที่ 8 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) และเปอร์เซ็นต์อะซีไตนที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนืองคงที่ 12 ลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.27 ถึง 4.29 เห็นได้ว่าการทดลองเมื่อเพิ่มค่าไฮลด์อัฟจากแบบจำลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์อะซีไตนในวัฏภาคต่อเนืองจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยในช่วงการทดลองที่ค่าไฮลด์อัฟ 0.030 ถึง 0.060 ค่าเปอร์เซ็นต์อะซีไตนจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0.060 ถึง 0.090 เนื่องจากเมื่อค่าไฮลด์อัฟสูงขึ้นวัฏภาคกระจายจะมีค่ามากขึ้นอัตราการถ่ายโอนมวลจะเพิ่มมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์อะซีไตนในวัฏภาคต่อเนืองมีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้เทคนิคอัลตราโซนิกในการวัดค่าไฮลด์อัฟในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน โดยอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นได้รับการทดสอบความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการวัดไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายภายในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่สร้างขึ้นโดยได้รับการปรับปรุงให้สามารถดึงตัวอย่างออกมาจากคอลัมน์สกัดได้ โดยเทคนิคอัลตราโซนิกดังกล่าวนี้มีข้อดีคือ เป็นเทคนิคที่สามารถวัดไฮลด์อัฟโดยไม่จำเป็นต้องดึงตัวอย่างออกมาวัดปริมาตรของวัฏภาคกระจายที่มีอยู่ภายในคอลัมน์สกัด จึงไม่เป็นการเข้าไปรบกวนสมดุลของระบบแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่าไฮลด์อัฟได้รวดเร็วและสะดวกมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

การศึกษารวตค่าไฮลด์อัฟของวัฏภาคกระจายในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน ได้ข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

1. เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางผ่านสารผสมระบบสององค์ประกอบจะมีค่าอยู่ระหว่างเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางในสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด สำหรับระบบสารผสมสามองค์ประกอบจะมีค่าอยู่ระหว่างเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางในสารบริสุทธิ์ที่มีค่าน้อยที่สุดและที่มีค่ามากที่สุด
2. เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคกระจายที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์สกัดแบบจานหมุน เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการสะสมของหยดวัฏภาคกระจายที่บริเวณจานหมุนและวงแหวนสถิตมากขึ้น คลื่นอัลตราโซนิกจะใช้เวลาในการเดินทางผ่านสารผสมเพิ่มขึ้น ค่าไฮลด์อัฟจึงมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในระบบสองและสามองค์ประกอบ
3. เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์สกัดแบบจานหมุน เพิ่มมากขึ้น ค่าไฮลด์อัฟมีค่าลดลงในระบบสององค์ประกอบ แต่ในระบบสามองค์ประกอบมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งควรมีการศึกษาถึงเหตุผลในการศึกษาในอนาคตต่อไป

4. ความเร็วรอบของจานหมุน ที่ความเร็วรอบจานหมุนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 100 ถึง 500 รอบต่อวินาทีนั้น มีผลให้ค่าโฮลด์อัฟสูงขึ้นเล็กน้อย
5. ค่าโฮลด์อัฟที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก ในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนนี้เมื่อแปรภาวะต่างๆ ช่างต้น จากการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.010 – 0.200 เนื่องมาจากข้อจำกัดของคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนทำให้ไม่สามารถเพิ่มช่วงค่าโฮลด์อัฟมากกว่า 0.200 ได้
6. ความสัมพันธ์ของค่าโฮลด์อัฟในระบบสามองค์ประกอบและค่าความแตกต่างของเวลาเขียนได้ดังสมการ

$$\text{Dispersed-phase holdup } \phi_m = -0.0253 \times \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]} + 0.1141$$

โดยสามารถใช้ได้ในช่วงอัตราการไหลของวัฏภาคกระจายเท่ากับ 1 ถึง 9 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 4 ถึง 12 ลิตรต่อชั่วโมง และความเร็วรอบจานหมุนเท่ากับ 100 ถึง 500 รอบต่อวินาที

7. คอลัมน์สกัดแบบจานหมุนที่สร้างขึ้นนี้ สามารถนำเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้เพื่อหาค่าโฮลด์อัฟได้ และมีความน่าเชื่อถือสูงพอสมควร

ข้อเสนอแนะ

หลังจากสรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองแล้วมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ควรเลือกตำแหน่งวัดหรือติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ให้เหมาะสมคือให้อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้สามารถวัดสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปควรมีพีคของสัญญาณที่สูงและชัดเจน
2. เนื่องจากการวัดค่าความแตกต่างของเวลาโดยใช้ออสซิลโลสโคปนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีความละเอียดอ่อนในการวัดค่อนข้างสูงจึงไม่ควรมีความเสี่ยงใดๆ อยู่ภายในบริเวณที่ทำการทดลอง
3. ในการศึกษาการวัดค่าโฮลด์อัฟในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนนี้ เป็นการวัดค่าโฮลด์อัฟที่เวลาต่างกัน อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงควรมีอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์อย่างน้อย 3 ชุด เพื่อวัดค่าโฮลด์อัฟที่ระดับต่างกันในเวลาเดียวกันตลอดความยาวคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนนี้ซึ่งจะได้โฮลด์อัฟโพรไฟล์ตลอดคอลัมน์สกัด ผลที่ได้นี้จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษฎดา วิศวธีรานนท์ และ ประยูร เขียววัฒนา. หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน
ออกซิลโลสโคป. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 2538

ผศ.ดร. วรพัฒน์ อรรถยติ, การศึกษากระบวนการสกัดของเหลวที่จะเป็นประโยชน์ต่อการ
อุตสาหกรรมในประเทศไทย, ทุนเสริมการวิจัย วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันวิจัยและพัฒนา
ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526, หน้า
ข, ค, 1- 9, 18-30, 61-63.

สมิทธิ์ ฉัตรภูติ.เทคนิคอัลตราโซนิกสำหรับวัดไฮลด์อัฟในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุน.วิทยาศาสตร์
มหาดบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

ภาษาอังกฤษ

- Bonnet, J.C.; and Jeffreys, G.V. Hydrodynamics and mass transfer characteristic of a
Scheibel extractor (part I: drop size distribution, holdup, and flooding).
AIChE.J. 8 (1985): 789-794.
- Bonnet, J.C.; and Sorrentino, J.A. Holdup Measurements in a Scheibel column by
means of an ultrasonic technique. J.Chem.Tech.Biotechnology. 61 (1994):
201-207.
- Bonnet, J.C.; and Tavlarides, L.L. Ultrasonic technique for dispersed-phase holdup
measurements. NewYork: Ind.Eng.Chem.Res. 26 (1987): 811-815.
- Benson C.; Ultrasonics. New York, McGraw Hill International edn. 2 nd edn. (1960).
- Casamatta, G.and Gourdon, C.,Liquid-Liquid Extraction.Process Modeling and Control
in Chemical Engineering. NewYork:(1989)
- David, R.L.; Handbook of chemistry and physics.CRC:73 rd edn. (1992-1993):14-31
- Euzen, J.P.; Trambouze, P.; and Wauquier, J.P.; Scale-up methodology for chemical
processes. Paris:Editions Technip, (1993).
- Kirou, V.I.; Tavlarides, L.L.; and Bonnet, J.C. An ultrasonic technique for control of
holdup profiles in multistage extraction columns. Ind.Eng.Chem.Res. 27 (1988):
1084-1086.

- Kirou, V.I.; Tavlarides, L.L.; Bonnet, J.C.; and Tsouris, C. Flooding, holdup, and drop size measurements in a multistage column extractor. AIChE.J. 34 (1988):283- 292
- Komosawa, I.; and Ingham, J. Effect of system properties on the performance of liquid-liquid extraction columns-I (Packed column). Chem.Eng.Sci. 33 (1978): 341-347.
- Kosic, S.; and Figura, Z. Ultrasonic measurements and technologies. Chapman&Hall (1996).
- Kung, E.Y.; and Beckmann, R.B. Dispersed-phase holdup in a rotating disk extraction column. AIChE.J. 7 (1961): 319-325.
- Kuttruff, H.; Ultrasonics fundamentals and applications. Elsevier Applied Science.(1991).
- Ladda, G.S.; degaleesan; and Kannappan, R. Hydrodynamics and mass transport in RDCs. Can.J. of Chem.Eng. 56 (1978): 137-150.
- Lo, T.C.; Commercial Liquid-Liquid Extraction Equipment. Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers. NewYork, McGraw Hill.(1979)
- Logsdail, D.H.,and Lower, L.;Industrial Contacting Equipment. NewYork; Pergamon Press:(1975)
- Lynnworth, L.C. Ultrasonic measurements for process control (Theory, Techniques, Applications). Academic Press, Inc. (1992).
- Mark, E.J.; Physical properties of polymers handbook. New York:(1996).
- Misek, T.Collect. Czech. Chem. Commun.28 (1963): 426
- Okamura, S. Measurement of solids holdup in a three-phase fluidized bed by an ultrasonic technique: Shorter communications; Chem.Eng.Sci. 44 (1989): 196-197.
- Panametrics.Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing.Massachusetts:(1995)
- Perry, R.H.; and Green, Don W. Perry's Chemical Engineering's Handbook. McGraw Hill International: edn. 6 Th. edn. (1984).
- Rajinder Pal. Comments on hold-up (volume fraction) measurements in liquid/liquid dispersions using an ultrasonic technique. Ind.Eng.Chem.Res. 33 (1994): 744-747.
- Reissinger, K.H.,and Schroter, J. Selection Criteria for Liquid-Liquid Extractors.Chem.Eng.Sci. 33 (1978): 109-118

- Soong, Y. et al. Ultrasonic characterization of slurries in an autoclave reactor at elevated temperature. Ind.Eng.Chem.Res. 35 (1996): 1807-1812.
- Sovova, H.; and Havlicek, A. Transient behavior of holdup in a reciprocating plate extraction column. Chem.Eng.Sci. 41 (1986): 2579-2583.
- Sovova, H.; and Havlicek, A. Comments on ultrasonic technique for dispersed-phase holdup measurements. Ind.Eng.Chem.Res. 27 (1988): 1743-1744.
- Strand, C.P.; Olney, R.B.; and Ackerman, G.H. Fundamental aspects of RDC performance. AIChE.J. 8 (1962): 252-255.
- Tavlarides, L.L.; et al. Self-calibration ultrasonic measurement of dispersed phase volumetric holdup in liquid/liquid dispersions. U.S. Patent 4,852,396 (1989).
- Tavlarides, L.L.; et al. Ultrasonic measurement of dispersed phase volumetric holdup in liquid/liquid dispersions. U.S. Patent 4,726,221 (1988).
- Tsouris, C.; and Tavlarides, L.L. Control of holdup and solute concentration in an Oldshue-Rushton extraction column. Chem.Eng.Sci. 48 (1993): 4097-4104.
- Tsouris, C.; and Tavlarides, L.L. Mass transfer effects on droplet phenomena and extraction column hydrodynamics revisited. Chem.Eng.Sci. 48 (1993): 1503-1515.
- Tsouris, C.; and Tavlarides, L.L. Volume fraction measurements of water in oil by an ultrasonic technique. Ind.Eng.Chem.Res. 32 (1993): 998-1002.
- Tsouris, C.; and Tavlarides, L.L. Response to comments on hold-up (volume fraction) measurements in liquid/liquid dispersions using an ultrasonic technique. Ind.Eng.Chem.Res. 33 (1994): 748-749.
- Tsouris, C.; Tavlaridès, L.L.; and Bonnet, J.C. Application of the ultrasonic technique for real-time holdup motoring for the control of extraction columns. Chem.Eng.Sci. 45 (1990): 3055-3062.
- Tsouris, C.; Tavlarides, L.L.; and Norato, M.A. Research notes A pulse ultrasonic probe for local volume fraction measurements in liquid-liquid dispersions. Ind.Eng.Chem.Res. 34 (1995): 3154-3158.
- Yi, J.; and Tavlarides, L.L. Model for hold-up measurements in liquid dispersions using an ultrasonic technique. Ind.Eng.Chem.Res. 29 (1990): 475-482.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก1. การหาความเร็วคลื่นเสียงของสารบริสุทธิ์

ในขั้นตอนการหาความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกนั้นข้อมูลที่ต้องทราบมีดังนี้

- 1) ระยะทางระหว่างผนังของเวสเซลอะคริลิก 7.5 เซนติเมตร
- 2) เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางในสารที่ทำการวัดค่าความเร็วเสียงของสารบริสุทธิ์
- 3) เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางในภาชนะเป็นศูนย์เนื่องจากเมื่อทำการทดลองโดยการอ่านค่าความแตกต่างของเวลาจากออสซิลโลสโคปแล้วเห็นได้ว่าคลื่นมาตรฐานและคลื่นที่ผ่านภาชนะนั้นซ้อนทับกันสนิท แสดงว่าค่าความแตกต่างของเวลาเป็นศูนย์

เมื่อทำการวัดความเร็วเสียงของสารบริสุทธิ์

น้ำ :	0.52 ไมโครวินาที
โกลูอิน :	0.58 ไมโครวินาที
อะซิโตน :	0.63 ไมโครวินาที

เนื่องจากทำการทดลองที่ภาวะ Prox 1 V Prox 0.1 V 0.5 μS EQUIV SaSm ซึ่งเป็นการขยาย 10 เท่า ของเวลาจริงและ 10 เท่าของคลื่นจริง

นำมาคำนวณหาความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกผ่านสารที่วัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำ : ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (V)} &= \frac{\text{ระยะทางระหว่างผนังภาชนะ (S)}}{\text{เวลาที่ใช้เดินทางในน้ำ (t)}} \\
 &= \frac{7.5 * 10^{-2} \text{ เมตร}}{0.52 * 10^{-6} \text{ วินาที}} \\
 &= \frac{7.5 * 10^{-2} \text{ เมตร}}{0.52 * 10^{-6} \text{ วินาที} * 10^2} \\
 &= 1,442.3 \text{ เมตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

การคำนวณโวลต์อัฟที่วัดได้จากเวลาที่วัดได้จากการทดลอง

การคำนวณโวลต์อัฟที่วัดได้จากการทดลองระบบสององค์ประกอบในระบบ น้ำ-โทลูอีน แสดงการคำนวณได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้ เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางในน้ำ (t_1)

เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางในโทลูอีน (t_2)

เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางในสารผสมของระบบ (t^*)

คำนวณโวลต์อัฟโดยใช้สมการ Time average model (J.C. Bonnet and L.L. Tavlarides, 1987)

$$\text{Dispersed-Phased Holdup, } \phi = \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 4 ลิตรต่อนาที

ที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 1 ลิตรต่อนาที

ที่ระดับความเร็วรอบจานหมุน 100 รอบต่อนาที

ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร

$t_1 = 0.79$ ไมโครวินาที

$t_2 = 0.93$ ไมโครวินาที

$t^* = 0.792$ ไมโครวินาที

ค่าโวลต์อัฟที่ได้คือ 0.015

การคำนวณโวลต์อัฟที่วัดได้จากการทดลองระบบสามองค์ประกอบในระบบ น้ำ-โทลูอีน-อะซิโตน แสดงการคำนวณได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้ ϕ_m = ค่าโวลต์อัฟจากแบบจำลองของวัฏภาคกระจาย (Data Time Model)

t^* = เวลาในการเดินทางผ่านสารที่ทำการทดลองสามองค์ประกอบ

t_1 = เวลาในการเดินทางผ่านสารผสมชนิดที่ 1 (น้ำ+อะซิโตน)

t_2 = เวลาในการเดินทางผ่านสารผสมชนิดที่ 2 (โทลูอีน+อะซิโตน)

$$\text{Dispersed-Phased Holdup } \phi_m = -0.0253 \times \frac{[t^* - t_1]}{[t_2 - t_1]} + 0.1141$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 4 ลิตรต่อนาที

ที่อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 3 ลิตรต่อนาที

ที่ระดับความเร็วรอบงานหมุน 100 รอบต่อนาที

ที่ระดับความสูง 45 เซนติเมตร

$t_1 = 1.7513$ ไมโครวินาที

$t_2 = 1.3732$ ไมโครวินาที

$t^* = 0.6040$ ไมโครวินาที

ค่าไฮลด์อัฟที่ได้คือ 0.040

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลองวัดค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีอัลตราโซนิกและวัดปริมาตรโดยตรง ที่
ภาวะต่างๆในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนในระบบสององค์ประกอบ

- เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 4ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูงระดับ 20เซนติเมตร
45เซนติเมตร และ 70เซนติเมตร

อัตราการไหลของ วัฏภาคต่อเนื่อง	อัตราการไหลของ วัฏภาคกระจาย	ความเร็วรอบ จานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
4	1	100	20	0.015	0.015	0
4	3	100	20	0.030	0.023	-30.4
4	5	100	20	0.030	0.035	14.3
4	7	100	20	0.045	0.050	10.0
4	1	300	20	0.030	0.035	14.3
4	3	300	20	0.045	0.050	10.0
4	5	300	20	0.075	0.075	0
4	7	300	20	0.090	0.080	-12.5
4	1	500	20	0.045	0.045	0
4	3	500	20	0.060	0.060	0
4	5	500	20	0.090	0.080	-12.5
4	7	500	20	0.090	0.085	-5.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข (ต่อ)

อัตราการใช้ของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการใช้ของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
4	1	100	45	0.022	0.025	12.0
4	3	100	45	0.033	0.035	5.7
4	5	100	45	0.049	0.050	2.0
4	7	100	45	0.055	0.055	0
4	1	300	45	0.033	0.035	5.7
4	3	300	45	0.038	0.040	5.0
4	5	300	45	0.055	0.055	0
4	7	300	45	0.077	0.080	3.7
4	1	500	45	0.038	0.040	5.0
4	3	500	45	0.049	0.050	2.0
4	5	500	45	0.071	0.070	-1.4
4	7	500	45	0.082	0.085	3.5

อัตราการใช้ของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการใช้ของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
4	1	100	70	0.010	0.010	0
4	3	100	70	0.021	0.025	16.0
4	5	100	70	0.041	0.040	-2.5
4	7	100	70	0.061	0.060	-1.6
4	1	300	70	0.020	0.015	-33.3
4	3	300	70	0.030	0.030	0
4	5	300	70	0.052	0.055	5.4
4	7	300	70	0.062	0.065	4.6
4	1	500	70	0.020	0.020	0
4	3	500	70	0.041	0.045	8.8
4	5	500	70	0.061	0.060	-1.6
4	7	500	70	0.072	0.075	4.0

ภาคผนวก ข (ต่อ)

-เมื่ออัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเท่ากับ 8 ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร 45 เซนติเมตร 70 เซนติเมตร

อัตราการไหลของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการไหลของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮดรอลิก		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
8	1	100	20	0.015	0.010	-50.0
8	3	100	20	0.015	0.020	25.0
8	5	100	20	0.030	0.030	0
8	7	100	20	0.045	0.045	0
8	1	300	20	0.015	0.020	25.0
8	3	300	20	0.045	0.040	-12.5
8	5	300	20	0.060	0.055	-9.1
8	7	300	20	0.060	0.060	0
8	1	500	20	0.030	0.025	-20.0
8	3	500	20	0.045	0.055	18.2
8	5	500	20	0.060	0.060	0
8	7	500	20	0.060	0.065	7.7

อัตราการไหลของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการไหลของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮดรอลิก		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
8	1	100	45	0.016	0.015	-6.6
8	3	100	45	0.033	0.035	5.7
8	5	100	45	0.049	0.050	2.0
8	7	100	45	0.066	0.070	5.7
8	1	300	45	0.022	0.020	-10.0
8	3	300	45	0.049	0.050	2.0
8	5	300	45	0.066	0.065	-1.5
8	7	300	45	0.082	0.080	-2.5
8	1	500	45	0.027	0.025	-8.0
8	3	500	45	0.071	0.075	5.3
8	5	500	45	0.088	0.090	2.2
8	7	500	45	0.099	0.100	1.0

ภาคผนวก ข (ต่อ)

อัตราการไหลของ วัฏภาคต่อเนื่อง	อัตราการไหลของ วัฏภาคกระจาย	ความเร็วรอบ จานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
8	1	100	70	0.020	0.015	-33.3
8	3	100	70	0.021	0.025	16.0
8	5	100	70	0.031	0.035	11.4
8	7	100	70	0.061	0.060	-1.6
8	1	300	70	0.020	0.020	
8	3	300	70	0.031	0.035	11.4
8	5	300	70	0.041	0.040	-2.5
8	7	300	70	0.072	0.070	-2.8
8	1	500	70	0.030	0.030	0
8	3	500	70	0.041	0.040	-2.5
8	5	500	70	0.051	0.050	-2.0
8	7	500	70	0.072	0.070	-2.8

-เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 12 ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร 45 เซนติเมตร 70 เซนติเมตร

อัตราการไหลของ วัฏภาคต่อเนื่อง	อัตราการไหลของ วัฏภาคกระจาย	ความเร็วรอบ จานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
12	1	100	20	0.015	0.010	-50.0
12	3	100	20	0.015	0.020	25.0
12	5	100	20	0.030	0.030	0
12	7	100	20	0.045	0.045	0
12	1	300	20	0.030	0.025	-20.0
12	3	300	20	0.030	0.030	0
12	5	300	20	0.045	0.045	0
12	7	300	20	0.060	0.065	7.7
12	1	500	20	0.030	0.035	14.3
12	3	500	20	0.045	0.050	10.0
12	5	500	20	0.075	0.070	-7.1
12	7	500	20	0.075	0.085	11.7

ภาคผนวก ข (ต่อ)

อัตราการใช้ของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการใช้ของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
12	1	100	45	0.022	0.020	-10.0
12	3	100	45	0.033	0.035	5.7
12	5	100	45	0.049	0.050	2.0
12	7	100	45	0.071	0.070	-1.4
12	1	300	45	0.022	0.020	-10.0
12	3	300	45	0.038	0.040	5.0
12	5	300	45	0.055	0.055	0
12	7	300	45	0.093	0.095	2.1
12	1	500	45	0.027	0.025	-8.0
12	3	500	45	0.044	0.045	2.2
12	5	500	45	0.071	0.070	-1.4
12	7	500	45	0.099	0.100	1.0

อัตราการใช้ของ ภูมิภาคต่อเนื่อง	อัตราการใช้ของ ภูมิภาคกระจาย	ความเร็วรอบ งานหมุน	ระดับความสูง	ค่าไฮลด์อัฟ		ความผิดพลาด สัมพัทธ์
				อัลตราโซนิก	วัดปริมาตร	
ลิตรต่อชั่วโมง	ลิตรต่อชั่วโมง	รอบต่อนาที	เซนติเมตร			เปอร์เซ็นต์
12	1	100	70	0.020	0.015	-33.3
12	3	100	70	0.031	0.035	11.4
12	5	100	70	0.041	0.040	-2.5
12	7	100	70	0.041	0.045	8.8
12	1	300	70	0.020	0.020	0
12	3	300	70	0.051	0.050	-2.0
12	5	300	70	0.061	0.060	-1.6
12	7	300	70	0.082	0.080	-2.5
12	1	500	70	0.030	0.030	0
12	3	500	70	0.052	0.055	5.4
12	5	500	70	0.062	0.065	4.6
12	7	500	70	0.093	0.095	2.1

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลองวัดค่าไฮลด์อัฟโดยวิธีอัลตราโซนิกและวัดปริมาตรโดยตรง ที่
ภาวะต่างๆในคอลัมน์สกัดแบบจานหมุนในระบบสามองค์ประกอบ

- เมื่ออัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่องเท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูงระดับ 45 เซนติเมตร

อัตราการไหล ของวัฏภาค ต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหล ของวัฏภาค กระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็ว รอบจาน หมุน รอบต่อ นาที	ค่าความ แตกต่าง ของเวลา ของสาร ผสม	ไฮลด์อัฟ (Average Time Model)	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัด ปริมาตร โดยตรง)
4	3	100	0.604	3.033	0.037	0.040
4	5	100	0.614	2.336	0.055	0.050
4	7	100	0.620	2.325	0.055	0.055
4	9	100	0.622	1.043	0.088	0.085
4	3	300	0.610	3.018	0.038	0.040
4	5	300	0.614	2.135	0.060	0.055
4	7	300	0.620	1.111	0.086	0.080
4	9	300	0.622	1.020	0.088	0.090
4	3	500	0.610	2.620	0.048	0.050
4	5	500	0.612	1.680	0.072	0.070
4	7	500	0.620	1.111	0.086	0.085
4	9	500	0.624	1.019	0.088	0.090

- เมื่ออัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเท่ากับ 8 ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูงระดับ 45 เซนติเมตร

อัตราการไหล ของภูมิภาค ต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหล ของภูมิภาค กระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็ว รอบจาน หมุน รอบต่อ นาที	ค่าความ แตกต่าง ของเวลา ของสาร ผสม	ไฮลด์อัฟ (Average Time Model)	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัด ปริมาตร โดยตรง)
8	3	100	0.602	3.039	0.037	0.035
8	5	100	0.604	2.355	0.055	0.050
8	7	100	0.610	1.613	0.073	0.070
8	9	100	0.610	1.076	0.087	0.085
8	3	300	0.606	2.628	0.048	0.050
8	5	300	0.608	1.989	0.064	0.065
8	7	300	0.610	1.076	0.087	0.080
8	9	300	0.612	1.003	0.089	0.090
8	3	500	0.608	2.347	0.055	0.055
8	5	500	0.610	1.554	0.075	0.075
8	7	500	0.612	1.022	0.088	0.090
8	9	500	0.620	1.001	0.089	0.090

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-เมื่ออัตราการไหลของภูมิภาคต่อเนื่องเท่ากับ 12 ลิตรต่อชั่วโมงที่ระดับความสูงระดับ 45 เซนติเมตร

อัตราการไหล ของภูมิภาค ต่อเนื่อง ลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการไหล ของภูมิภาค กระจาย ลิตรต่อชั่วโมง	ความเร็ว รอบจาน หมุน รอบต่อ นาที	ค่าความ แตกต่าง ของเวลา ของสาร ผสม	ไฮลด์อัฟ (Average Time Model)	ไฮลด์อัฟ (Data Time Model)	ไฮลด์อัฟ (วัด ปริมาตร โดยตรง)
12	3	100	0.600	3.044	0.037	0.040
12	5	100	0.602	2.637	0.047	0.050
12	7	100	0.606	1.686	0.071	0.070
12	9	100	0.606	1.024	0.088	0.092
12	3	300	0.606	3.028	0.037	0.040
12	5	300	0.606	2.351	0.055	0.055
12	7	300	0.613	1.239	0.083	0.080
12	9	300	0.616	0.999	0.089	0.100
12	3	500	0.606	2.628	0.048	0.045
12	5	500	0.610	1.682	0.072	0.070
12	7	500	0.616	1.088	0.087	0.084
12	9	500	0.620	1.020	0.088	0.100

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่าส่วนขยายของค่าไฮลด์อัฟของระบบสององค์ประกอบและสามองค์ประกอบ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าส่วนขยายของค่าไฮลด์อัฟ (Time Average Model) เปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟ(วิธีวัดปริมาตรโดยตรง) ที่ระดับการทดลอง 45 เซนติเมตร ของระบบสององค์ประกอบ

วิภูภาคต่อเนื่อง (ลิตรต่อชั่วโมง)	วิภูภาคกระจาย (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วรอบจาน หมุน (rpm)	ไฮลด์อัฟ (Time Average Model)	ไฮลด์อัฟ (วัดปริมาตร โดยตรง)
4	9	100	0.099	0.100
4	9	300	0.120	0.120
4	9	500	0.143	0.145
8	9	100	0.110	0.110
8	9	300	0.148	0.150
8	9	500	0.186	0.185
12	9	100	0.126	0.125
12	9	300	0.165	0.165
12	9	500	0.198	0.200

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าส่วนขยายของค่าไฮลด์อัฟ (Data Time Model) เปรียบเทียบกับค่าไฮลด์อัฟ(วิธีวัดปริมาตรโดยตรง) ที่ระดับการทดลอง 45 เซนติเมตร ของระบบสามองค์ประกอบ

วิภูภาคต่อเนื่อง (ลิตรต่อชั่วโมง)	วิภูภาคกระจาย (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วรอบ จานหมุน (rpm)	ค่าความแตกต่าง ของเวลา (t*) (ไมโครวินาที)	ไฮลด์อัฟ ϕ_{TA}	ไฮลด์อัฟ ϕ_m	ไฮลด์อัฟ ϕ_v
4	11	100	2.3285	0.5968	0.099	0.100
4	11	300	5.8755	-0.2332	0.120	0.120
4	11	500	9.8768	-1.1818	0.144	0.145
8	11	100	3.6408	0.2806	0.107	0.110
8	11	300	11.4440	-1.3794	0.149	0.150
8	11	500	17.7412	-2.7628	0.184	0.185
12	11	100	6.8133	-0.4308	0.125	0.125
12	11	300	14.1428	-1.9723	0.164	0.165
12	11	500	20.0916	-3.3557	0.199	0.200

ภาคผนวก จ

สมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง

1. สมบัติของน้ำ

คำจำกัดความของน้ำมี 3 ความหมายด้วยกัน คือ

- เป็นสารที่ไม่มีสี เกือบจะไม่มีกลิ่นและรส น้ำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับพืชและสัตว์เกือบทุกชนิดและถูกใช้อย่างแพร่หลายในการเป็นตัวทำละลาย

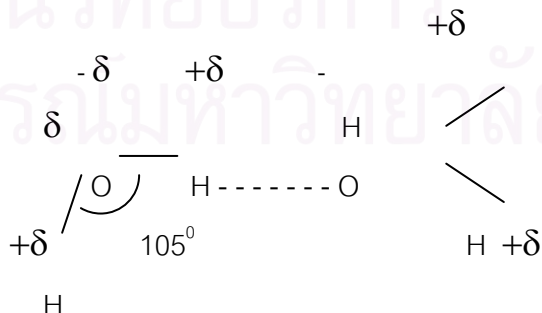
สมบัติทั่วไป

จุดเดือดของน้ำ	100 ⁰ C (212 ⁰ F)
จุดหลอมเหลว	0 ⁰ C (32 ⁰ F)
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1 ที่ 4 ⁰ C
ความหนาแน่น	1 g/ cm ³

-น้ำอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น ผืน

-น้ำอยู่ในหลายรูปร่าง และอยู่ในหลายที่ เช่น ทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ หรือไอน้ำ

น้ำมีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 18 ถึงแม้ว่าไฮโดรเจนและออกซิเจนจะมีไอโซโทปถึง 3 ไอโซโทป แต่น้ำก็สามารถที่จะมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 18 ได้ ในโมเลกุลของน้ำ ไฮโดรเจนอะตอมทั้ง 2 จะอยู่ที่ตำแหน่งในด้านเดียวกันของออกซิเจนอะตอม โดยมีมุมระหว่างพันธะ H-O คือ 105⁰ อะตอมไฮโดรเจนจะมีประจุบวก และอะตอมออกซิเจนจะมีประจุลบ ด้วยเหตุผลนี้ น้ำจะเป็นโมเลกุลที่แรงคู่ขั้วสูง โดยแรงคู่ขั้วของน้ำนี้จะดึงดูดกันเอง ทำให้โมเลกุลของน้ำรวมกันเป็นกลุ่มโดยสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้น



โดยประมาณได้ว่าการรวมกลุ่มกันของน้ำที่อุณหภูมิห้องจะสามารถรวมกันได้ถึง 100 โมเลกุล

การเกิดพันธะไฮโดรเจน เป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยทั่วไป เมื่อพิจารณาว่า น้ำเป็นโมเลกุลที่มีไฮโดรเจน 2 อะตอม อยู่กับออกซิเจน 1 อะตอม เปรียบเทียบกับสารตัวอื่น ที่มีอะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอมเช่นกัน และอยู่ในหมู่เดียวกันในตารางธาตุ คือ H_2S (hydrogen sulfide) , H_2Se (hydrogen selenide) , H_2Te (hydrogen telluride) จะพบว่า สมบัติทางฟิสิกส์จะขัดแย้งกับน้ำ ที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิห้องพบว่า โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากอย่าง H_2S (น้ำหนักโมเลกุล 34) , H_2Se (น้ำหนักโมเลกุล 81) , H_2Te (น้ำหนักโมเลกุล 130) จะมีสถานะเป็นแก๊ส แต่น้ำเป็นของเหลว ซึ่งจะกลายเป็นแก๊สที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ ค่าแรงดึงดูดและค่าไดอิเล็กทริก (dielectric) ของน้ำจะมากเกินกว่าที่จะสามารถทำนายจากสมบัติของสารที่เกี่ยวข้องกันข้างต้นได้ เมื่อน้ำแข็งตัวจะกลายเป็นน้ำแข็ง เป็นโครงสร้างเปิดซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ โดยสมบัติข้างต้นที่กล่าวมานี้เกิดจากพันธะไฮโดรเจน สมบัติที่ว่ามี ความหนาแน่นมากกว่าน้ำแข็งสามารถคิดเป็นเชิงตรรกะได้ว่า ถ้าน้ำแข็งมีความหนาแน่นมากกว่า น้ำ น้ำแข็งจะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของน้ำก่อนแทนที่จะเกิดขึ้นที่ด้านบนก่อน ซึ่งไม่เป็นความจริง

สมบัติความเป็นขั้วของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเป็นตัวทำละลาย ธาตุส่วนใหญ่เป็น สารอนินทรีย์อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งมีทั้งประจุบวกเหนือประจุลบ จากการที่น้ำมีสมบัติมีขั้วทั้ง บวกและลบ (dipolar) จะสามารถล้อมรอบประจุบวกด้วยส่วนที่เป็นประจุลบของน้ำ และ ในทางกลับกันก็สามารถล้อมรอบประจุลบด้วยประจุบวกของน้ำ ประจุซึ่งถูกล้อมรอบด้วยน้ำ สามารถหลุดออกจากผลึก ออกมาที่สารละลายได้ และจะกลายเป็นไอออนที่ละลาย (dissolved ion)

จากสมบัติที่น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีนี้ เมื่อพิจารณาถึงวงจรของน้ำจะพบว่าน้ำจะสัมผัส กับก๊าซในบรรยากาศ รวมถึงมลพิษต่างๆ ในอากาศ และละลายแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดตะกอนได้ในระบบที่นำน้ำมาใช้ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อน

2. โทลูอีน (Toluene)

สมบัติทั่วไป

ความหนาแน่น	0.866 g/cm^3
จุดเดือด	$110.4^{\circ}C$
ความดันไอ	36.7 mm ที่ $30^{\circ}C$
อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง	$480^{\circ}C$
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยมาก ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม, อีเทอร์, อะซีโตน, กรดอะซีติก เข้มข้น, คาร์บอนไดซัลไฟด์

สารปนเปื้อนที่พบในโทลูอีน ได้แก่ เบนซีน

การจำแนกชั้นของอันตราย (hazard classification)

โทลูอีนจัดเป็นสารไวไฟ (inflammable liquid) ซึ่งอยู่ใน hazard class 3.2 มีจุดวาบไฟ ในช่วงระหว่าง -18°C และ 23°C จัดเป็นสารที่มีอันตรายปานกลาง อยู่ใน packing group 2 : substance presenting medium danger ตามการจำแนกชั้นของ United Nation
ความเป็นพิษ

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน

โทลูอีนเป็นสารที่ทำให้ผู้สูดหายใจเข้าไปเกิดอาการมึนงง และมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันรุนแรงกว่า benzene ซึ่งที่ปริมาณความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันต่อคนดังในตาราง

ตารางที่ 2.4 แสดงความเป็นพิษเฉียบพลันของโทลูอีน

ปริมาณความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่สัมผัส (ชม.)	ผลที่เกิดขึ้น (effect)
50-100	-	ไม่เห็นอาการความแตกต่างหลังการสัมผัส
200	8	เกิดอาการเล็กน้อย ได้แก่ อาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ความคิดสับสน เกิดอาการชาที่ผิวหนัง (paresthesias) อาการเหนื่อยล้าจะคงอยู่หลายชม. และเกิดอาการนอนไม่หลับและกระวนกระวาย
300	8	เกิดอาการข้างต้นเด่นชัดขึ้น
400	8	เกิดอาการข้างต้นและมีจิตใจฟุ้งซ่านสับสน
600	3	เกิดอาการมึนงง เหนื่อยและเมื่อยล้ามาก จิตใจฟุ้งซ่านสับสน ปวดศีรษะเวียนศีรษะ บางรายถึงกับหมดสติ
800	-	เกิดอาการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแต่ใช้เวลาสัมผัสน้อยกว่า
>800	-	มีอาการข้างต้นและยังมีอาการอื่น เช่น โลหิตจาง และตับโต

ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุด ที่จะก่อให้เกิดผลต่อผู้สูดหายใจ คือ

- 10 – 15 ppm จะได้กลิ่น
- 100 ppm มีผลรบกวนทางด้านการหายใจ
- 200 ppm มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง

2. ความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity)

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังไม่ถึงขั้นก่อให้เกิดความมึนงงแบบรุนแรง หรือ การเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือด แต่จะก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์ของการเคลื่อนไหว (impairment of coordination) และระบบประสาทสัมผัสไม่ดี (reaction time) ซึ่งมีผลทำให้เกิดอุบัติเหตุหกล้มได้ง่าย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง ผิวหนังไม่มีไขมันและผิวหนังอักเสบ

3. อันตราย

โหลูอินเป็นสารที่เสี่ยงต่อการติดไฟและการระเบิด

การจัดการของเสียของโหลูอิน

กำจัดโดยวิธีการเผา โดยการพ่นลงไปในเตาเผา และจะเผาได้ง่ายเมื่อผสมกับสารทำละลายชนิดอื่นที่ไวไฟ

3. อะซีโตน (acetone)

หมายถึง ของเหลวที่ระเหยง่าย ไวไฟ ไม่มีสี มีสูตรทางเคมี $\text{CH}_3\text{CO CH}_3$ ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับสารอินทรีย์

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติของอะซีโตน

สมบัติทั่วไป

สมบัติ	มาตรฐาน
ความบริสุทธิ์ (percent grade) ร้อยละของน้ำหนัก	99.5
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20°C	$0.7891 - 0.7916 \text{ g/cm}^3$
สีเมื่อเทียบกับสารละลายพลาตินัม-โคบอลต์เบอร์ 5	สีต้องไม่เข้ม
ช่วงอุณหภูมิในการกลั่น (distillation range) ที่ P	

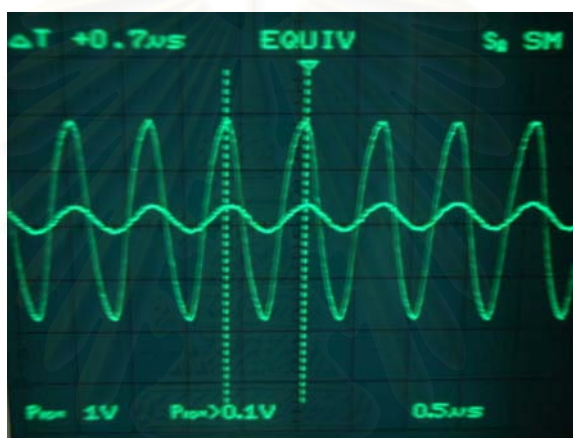
760 mmHg	
หยดแรกที่จุดเดือดเริ่มต้น	55.8 °C
หยดสุดท้าย (dry point)	56.6 °C
ปริมาณสารที่ไม่ระเหย	0.005 g/100 cm ³
กลิ่น	มีกลิ่นเฉพาะตัวและไม่มีกลิ่นหลงเหลือ
ปริมาณน้ำร้อยละของน้ำหนักไม่เกิน	0.5
การละลายน้ำ	ละลายได้ดีและไม่ขุ่น
ความเป็นต่างคำนวณเป็นอัมโมเนียร้อยละของน้ำหนักไม่เกิน	0.001
สารรีติวซิง	สีของเปอร์มังกาเนตมาตรฐานและต้องคงอยู่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

แสดงเวลาและรูปคลื่นอัลตราโซนิกของสารผสมในระบบสององค์ประกอบที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

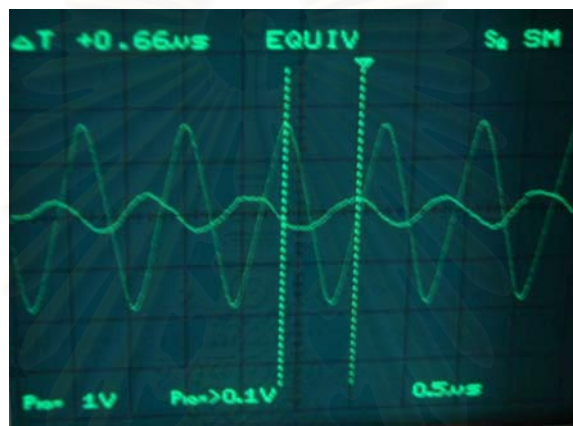
1. อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 4 ลิตรต่อชั่วโมง
 อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 1 ลิตรต่อชั่วโมง
 ความเร็วรอบจานหมุน 100 รอบต่อนาที
 ค่าความแตกต่างของเวลาที่วัดได้: 0.700 ไมโครวินาที



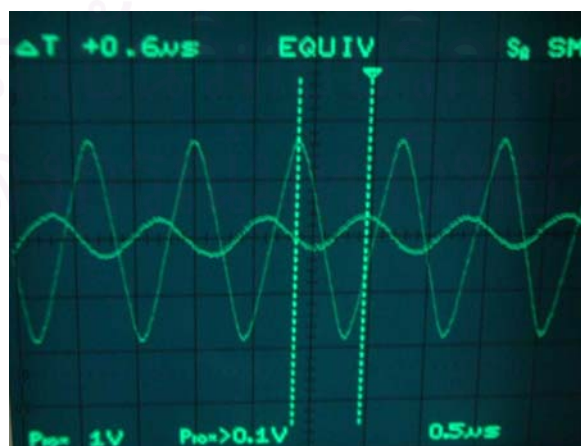
สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงเวลาและรูปคลื่นอัลตราโซนิกของสารผสมในระบบสามองค์ประกอบที่วัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

- อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 4 ลิตรต่อชั่วโมง
 อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 7 ลิตรต่อชั่วโมง
 ความเร็วรอบจานหมุน 100 รอบต่อนาที
 ค่าความแตกต่างของเวลาที่วัดได้: 0.660 ไมโครวินาที



- อัตราการไหลของวัฏภาคต่อเนื่อง 12 ลิตรต่อชั่วโมง
 อัตราการไหลของวัฏภาคกระจาย 3 ลิตรต่อชั่วโมง
 ความเร็วรอบจานหมุน 100 รอบต่อนาที
 ค่าความแตกต่างของเวลาที่วัดได้: 0.600 ไมโครวินาที



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปวิธาน ฐปถมพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานครสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทาง เชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

