

ศึกษาการละลายระหว่างกันของวิญญาณน้ำมันกับวิญญาณน้ำ ณ ค่าความเป็นกรด-เบสต่างๆ สำหรับ
ความเสถียรของระบบเมมเบรนเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดไอออนิก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

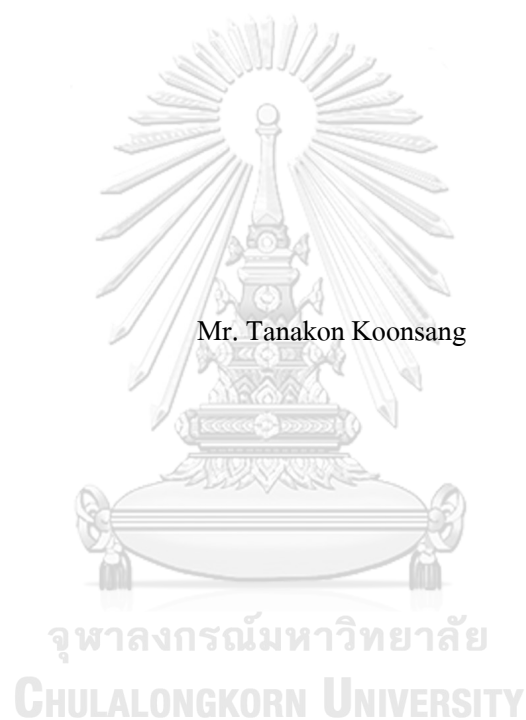
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE MUTUAL SOLUBILITY OF ORGANIC-LIQUID AND AQUEOUS PHASES AT
DIFFERENT WATER PH FOR THE STABILITY OF HOLLOW FIBER SUPPORTED
LIQUID MEMBRANE USING IONIC-LIQUID EXTRACTANT



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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ศึกษาการละลายระหว่างกันของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ ณ ค่าความเป็นกรด-เบสต่างๆ สำหรับความเสถียรของระบบเมมเบรนเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดไอออนิก

โดย

นายชนากร กุณแสง

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสธิดา กนกพานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... กรรมการ
(ดร.ศุภฤกษ์ ประเสริฐธรรม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ทรรชนก ประภาสวัสดี)

ชนากร กุณแสง : ศึกษาการละลายระหว่างกันของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ ณ ค่าความเป็นกรด-เบสต่างๆ สำหรับความเสถียรของระบบเมมเบรนเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดไอออนิก. (THE MUTUAL SOLUBILITY OF ORGANIC-LIQUID AND AQUEOUS PHASES AT DIFFERENT WATER PH FOR THE STABILITY OF HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE USING IONIC-LIQUID EXTRACTANT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร. อูรา ปานเจริญ

ความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง สาเหตุหลักเกิดจากการละลายระหว่างกันของวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ดังนั้นการศึกษาระหว่างกันจึงสำคัญต่อความเสถียรของระบบ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-เบสของน้ำต่อค่าการละลายและความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง วัฏภาคน้ำมันเลือกใช้สารสกัด Aliquat 336 ซึ่งเป็นสารสกัดไอออนิกผสมกับตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกัน ในขณะที่วัฏภาคน้ำจะถูกปรับให้มีความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) ค่าการละลายของระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส + Aliquat 336 + ตัวทำละลายอินทรีย์) ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดันบรรยากาศ ข้อมูลเส้นไทเทรชันของผลการทดลองและแบบจำลอง NRTL สำหรับระบบสามองค์ประกอบพบว่าใกล้เคียงกันยืนยันโดยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองที่มีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง วิธีพื้นผิวตบสนองแบบบ็อก-เบห์นเคนถูกนำมาใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดและนำกลับแพลทินัม โดยความเสถียรถูกศึกษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อนที่ต่างกัน

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070210621 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: Solubility, Stability, Liquid membrane, Aliquat 336, Ionic-liquid

Tanakon Koonsang : THE MUTUAL SOLUBILITY OF ORGANIC-LIQUID AND AQUEOUS PHASES AT DIFFERENT WATER PH FOR THE STABILITY OF HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE USING IONIC-LIQUID EXTRACTANT. Advisor: Prof. Ura Pancharoen, D.Eng.

Regarding supported liquid membrane (SLM), the mutual solubility of both the organic and aqueous phases has an influence on its stability. Investigation into causes of mutual solubility is very important to prevent instability of the system. This work focuses on the influence of water pH as regards the solubility and stability of SLM. For the organic phase, ionic-liquid extractant viz. Aliquat 336, combining with various organic solvents, was used. As for the aqueous phase, acidic, neutral and basic water was prepared. The solubility of the liquid-liquid ternary systems (adjusted pH water+Aliquat 336+organic solvents) was carried out at $T = 303.2$ K and atmospheric pressure. Tie-line data of the ternary systems were also determined. Good correlation of tie-line data from the NRTL model and experiments was confirmed and validated by the root-mean square deviation values which were $<2\%$. For SLM stability, response surface methodology combined with Box-Behnken design was applied to obtain optimal conditions for platinum extraction and stripping. The stability of the system was observed under the different feed pH and optimal conditions.

Field of Study: Chemical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูงสำหรับการให้คำปรึกษา ความเชื่อเหลือต่องานวิจัย และแนวทางการดำเนินงานวิจัยได้อย่างถูกต้อง

ขอขอบคุณ คณะกรรมการ ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โศรดา กนกพานนท์ ดร.ศุภฤกษ์ ประเสริฐธรรม และดร.ทรรชนก ประภาสวัตดี ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่ามาสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.ธิดารัตน์ วงศ์สวา ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในทุกๆด้านของงานวิจัย

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแยกมวลสาร (Mass Separation) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือ สถานที่ทำงานวิจัย จนงานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว ที่เป็นแรงผลักดัน เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆด้านตลอดมา จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธนากร กุณแสง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทนำ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญ	1
2. วัตถุประสงค์งานวิจัย	3
3. ขอบเขตงานวิจัย.....	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎี.....	5
2.1.1 ของเหลวไอออนิก (Ionic liquid).....	5
2.1.2 การละลายของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์.....	5
2.1.3 เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM).....	6
2.1.5 การหาค่าแบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกติวิตี Non-Random Two Liquid (NRTL).....	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3	18
สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	18

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	19
3.3.1 การหาค่าการละลาย.....	19
3.3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกเพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใย กลวงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (RSM-BBD)	21
3.3.3 การศึกษาความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง	23
บทที่ 4	24
อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง	24
4.1 ความสามารถในการละลายและเส้นไทไลน์ (Solubility and tie-line)	24
4.2 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองสัมประสิทธิ์เอกทิวติ NRTL	33
4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับเพลทินัมด้วยวิธี พื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน.....	46
4.4 ความเสถียรของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในระบบเมมเบรนที่มีตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง	50
4.5 สรุปผลการทดลอง.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก ก.....	56
ก.1 ข้อมูลการทดลอง	56
1. ข้อมูลค่าการละลายของระบบสององค์ประกอบ.....	56
2. ข้อมูลค่าการละลายของระบบสามองค์ประกอบ.....	58
3. ข้อมูลค่าไทไลน์ของระบบสามองค์ประกอบ	60
4. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด	62
5. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ GM กับเส้นไทไลน์.....	65
ภาคผนวก ข.....	68
ข.1 การคำนวณข้อมูล.....	68

1. การคำนวณเศษส่วนมวลของระบบสององค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + สารอินทรีย์ (2)).....	68
2. การคำนวณเศษส่วนมวลของระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (2) + สารสกัด Aliquat 336 (3)).....	69
ประวัติผู้เขียน	72



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง













หน้า

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ที่มี 3 ตัวแปร.....	11
ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
ตารางที่ 3 ตัวแปรที่ศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสม.....	21
ตารางที่ 4 การทดลองที่โปรแกรมวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ออกแบบ.....	22
ตารางที่ 6 เศษส่วนมวล (Z) ของค่าการละลายระบบสององค์ประกอบ และเปรียบเทียบข้อมูลค่าการละลายระหว่างค่าการทดลองและค่าอ้างอิง ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล...24	
ตารางที่ 7 เศษส่วนมวล (Z) ของค่าการละลายระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่มีการปรับความเป็นกรด-เบส (1) + Aliquat 336 (2) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ในวัฏภาคน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 1 เมกะปาสกาล.....	26
ตารางที่ 8 เศษส่วนมวล (Z) ของข้อมูลระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + Aliquat 336 (2) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ในวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสกาล.....	29
ตารางที่ 9 ค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับ น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสกาล.....	35
ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของไทน์ไลน์ที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดลอง สำหรับระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล.....	43
ตารางที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัม โดยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วย เส้นใยกลวงที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน.....	47
ตารางที่ 12 การวิเคราะห์รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับการสกัดและนำกลับแพลทินัม ด้วยระบบเยื่อแผ่นที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน.....	49
ตารางที่ 13 ค่าการทำนายเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ.....	50

ตารางที่ 14 ค่าความสามารถการละลายของตัวทำละลายอินทรีย์ในน้ำปรับความเป็นกรด-เบส.....	56
ตารางที่ 15 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในตัวทำละลายอินทรีย์...	57
ตารางที่ 16 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ ไซโคลเฮกเซน.....	58
ตารางที่ 17 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ โดเดคานอล.....	58
ตารางที่ 18 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+เค โรซีน	59
ตารางที่ 19 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+โทลูอิน	59
ตารางที่ 20 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทล่อนของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ ไซโคลเฮกเซน.....	60
ตารางที่ 21 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทล่อนของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ โดเดคานอล.....	60
ตารางที่ 22 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทล่อนของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ เค โรซีน	61
ตารางที่ 23 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทล่อนของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336 + โทลูอิน	61
ตารางที่ 24 เศษส่วนมวลค่าการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในไซโคลเฮกเซน	68
ตารางที่ 25 เศษส่วนมวลค่าการละลายของไซโคลเฮกเซน ในน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส	68
ตารางที่ 26 เศษส่วนมวลค่าการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในสารละลายอินทรีย์ (Aliquat 336 + ไซโคลเฮกเซน).....	69
ตารางที่ 28 เศษส่วนมวลของข้อมูลไทล่อนสำหรับระบบสามองค์ประกอบ น้ำที่ปรับ ความเป็นกรด-เบส + Aliquat 336 + ไซโคลเฮกเซน ที่ได้จากรูป FTIR.....	71

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 รูปแบบการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว [16].....	7
รูปที่ 2 เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง [17].....	8
รูปที่ 3 แสดงการออกแบบบ็อกซ์-เบห็นเคน กรณีศึกษา 3 ปัจจัย [19].....	12
รูปที่ 4 การพิจารณาความเสถียรภาพโดยการวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อน ซึ่งมีการปรับสถานะปัจจัยทั้งในสารละลาย และเยื่อแผ่นเหลว [11].....	16
รูปที่ 5 สูตรโครงสร้างสารสกัด Aliquat 336 [6]	18
รูปที่ 6 การละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+สารตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และ 0.1 เมกะปาสคาล.....	27
รูปที่ 7 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือเส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, () = น้ำที่ pH 2.0, () = น้ำที่ pH 7.0, () = น้ำที่ pH 13.0.....	31
รูปที่ 8 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายโคเคทานอล ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, () = น้ำที่ pH 2.0, () = น้ำที่ pH 7.0, () = น้ำที่ pH 13.0.....	31
รูปที่ 9 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายเคโรซีน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, () = น้ำที่ pH 2.0, () = น้ำที่ pH 7.0, () = น้ำที่ pH 13.0.....	32
รูปที่ 10 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายโทลูอิน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, () = น้ำที่ pH 2.0, () = น้ำที่ pH 7.0, () = น้ำที่ pH 13.0.....	32

รูปที่ 11 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล37

รูปที่ 12 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกลาง pH = 7 (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล38

รูปที่ 13 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นเบส pH = 13 (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล39

รูปที่ 14 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล40

รูปที่ 15 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกลาง pH = 7 (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล41

รูปที่ 16 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นเบส pH = 13 (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย ไชโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล42

รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับระหว่างผลการทดลอง และผลการคำนวณ48

รูปที่ 18 ผลการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัม รวมทั้งค่าสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปร50

รูปที่ 19 เปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัม ณ ค่าความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) ของวัฏภาคสารละลายป้อนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม51

รูปที่ 20 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลาย โดเดคานอล (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล.....62

รูปที่ 21 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับ ความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายเคโรซีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล63

รูปที่ 22 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับ ความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายโทลูอิน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล.....64

รูปที่ 23 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลายโคเดคานอล (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล.....65

รูปที่ 24 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลาย เคโรซีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล.....66

รูปที่ 25 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) +สารสกัด Aliquat 336 (2) +สารตัวทำละลายโทลูอิน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล.....67

รูปที่ 27 กราฟ FTIR ของ ไชโคลเฮกเซน70

รูปที่ 28 ตำแหน่งความยาวคลื่นในการคำนวณองค์ประกอบของสาร; ตำแหน่งที่ 1 สำหรับ ไชโคลเฮกเซน และ ตำแหน่งที่ 2 สำหรับ Aliquat 33670

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ (Supported liquid membrane, SLM) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการแยก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกไอออนโลหะจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมหรือน้ำสังเคราะห์ [1] ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถเลือกแยกไอออนโลหะที่ต้องการได้สูง มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย ใช้สารสกัดในปริมาณน้อย และสามารถแยกไอออนโลหะที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้ เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM) เป็นเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับประเภทหนึ่งที่มีการนำมาใช้แยกไอออนโลหะหลายชนิด เพราะมีคุณสมบัติที่ได้เปรียบกว่าเยื่อแผ่นเหลวประเภทอื่น คือ มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสูง จึงส่งผลให้สามารถแยก ไอออน โลหะที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ได้ สำหรับระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับประกอบด้วย 3 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคสารละลายป้อน (Feed phase) ภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลว (Liquid membrane) และ ภูมิภาคสารละลายนำกลับ (Stripping phase) โดย ภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวเป็นสารละลายอินทรีย์ผสมของสารสกัดกับสารตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วถูกตรึงอยู่ในรูพรุนขนาดไมครอนของตัวรองรับด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary force) และอยู่กึ่งกลางระหว่างภูมิภาคสารละลายป้อนและภูมิภาคสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นน้ำ โดยการจัดเรียงตัวของภูมิภาคทั้งสามในระบบสามารถกล่าวให้เข้าใจง่ายๆ คือ น้ำ-น้ำมัน-น้ำ ไอออนโลหะที่ละลายในภูมิภาคสารละลายป้อนจะถูกแยกโดยการถ่ายโอนมวล ผ่านภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวไปสู่ภูมิภาคสารละลายนำกลับด้วยปฏิกิริยาการสกัดและปฏิกิริยานำกลับ ณ บริเวณผิวสัมผัสระหว่างภูมิภาคสารละลายป้อน-เยื่อแผ่นเหลวและบริเวณผิวสัมผัสระหว่างภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลว-สารละลายนำกลับตามลำดับ [2]

แม้ว่าระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับมีการนำมาใช้ศึกษาและวิจัยอย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายังไม่มีการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมมากนัก เนื่องจากมีข้อจำกัดคือ ความไม่เสถียรภาพของระบบ ซึ่งมีปัจจัยหลักเกิดจากการหลุดของภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวออกจากรูพรุนของตัวรองรับเมื่อดำเนินระบบเป็นเวลานาน โดยมีสาเหตุมาจากการละลายของเยื่อแผ่นเหลวกับน้ำเข้าด้วยกัน นอกจากนี้พบว่างานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้สารสกัด ไอออนิก ร่วมกับสารตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อแยกไอออนโลหะในระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ สารสกัด

ไอออนิกเป็นเกลืออินทรีย์ที่มีประจุ ซึ่งประกอบด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์และประจุลบของสารอนินทรีย์ สำหรับสารที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดอยู่ในกลุ่มของ Tetraalkylammonium และ Dialkylimidazolium [3] โดยการใช้งานในกระบวนการแยกจะมีการปรับความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกให้สูงขึ้น [4, 5] จากประเด็นดังกล่าวทำให้สนใจว่าการปรับค่าความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับ (วัฏภาคน้ำ) จะมีผลต่อการละลายระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวที่ใช้สารสกัด ไอออนิกมากขึ้นเพียงใด ซึ่งหากรู้ถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นย่อมทำให้เข้าใจถึงความสามารถในการคงความเสถียรภาพของสารที่เลือกใช้ในระบบได้ พร้อมทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการป้องกันปัญหาเรื่องความไม่เสถียรภาพต่อไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-เบสของน้ำต่อการละลายระหว่างวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่มีผลต่อความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง โดยใช้สารสกัดไอออนิก เริ่มจากการศึกษาค่าความสามารถการละลายของระบบสององค์ประกอบ (Binary system) คือ สารสกัดหรือสารตัวทำละลายอินทรีย์ และน้ำ และระบบสามองค์ประกอบ (Ternary system) คือ สารสกัด สารตัวทำละลายอินทรีย์ และน้ำ โดยวิธีการไทเทรต ในส่วนของน้ำจะมีการปรับความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) ด้วยสารละลาย HCl และ NaOH เมื่อได้ค่าการละลายนำมาสร้างกราฟการละลายเพื่อเปรียบเทียบดูความแตกต่างของการละลายในน้ำที่มีความเป็นกรด-เบสต่างกัน สำหรับสารสกัดใช้สารสกัดไอออนิก คือ Aliquat 336 ซึ่งมีประสิทธิภาพการสกัดไอออน โลหะ [6] และตัวทำละลายอินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ โทลูอิน (Toluene) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) 1-โดเดคานอล (1-Dodecanol) และเคโรซีน (Kerosene) เพราะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ (Dielectric constant) 1.8-7.3 [7-10] ทุกการทดลองจะศึกษาภายใต้อุณหภูมิ 303.13 เคลวิน (K) และความดันบรรยากาศ นอกจากนี้เส้นไทน์ไลน์ (Tie line) ของระบบสามองค์ประกอบจะถูกศึกษาหลังจากการทดลองหาค่าการละลาย เพื่อดูแนวโน้มการละลายของสารสกัดไอออนิกในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวและวัฏภาคน้ำ ซึ่งค่าการละลายน้ำที่ต่ำ จะสามารถช่วยเพิ่มความเสถียรภาพของระบบได้ [11] นอกจากนี้แบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกติวิตี NRTL ก็จะถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

จากนั้นศึกษาความเสถียร โดยเลือกระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง สำหรับแยกไอออนแพลทินัม (Pt) ออกจากน้ำสังเคราะห์และใช้เยื่อแผ่นเหลวเป็นสารสกัดไอออนิก

Aliquat 336 ผสมตัวทำละลายอินทรีย์คือ เคโรซีน [6] ในส่วนของสารละลายป้อนจะมีการปรับสถานะของน้ำให้เป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) และเบส ($\text{pH} = 13$) สารละลายนำกลับที่ใช้คือ ไทโอยูเรีย (Thiourea) ในการทดลองได้นำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง และสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลการทดลอง รวมทั้งสามารถหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง เรียกว่า วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) โดยใช้แบบ Box Behnken design สำหรับ 3 ตัวแปร [12, 13] เพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมของตัวแปร คือ ความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อน, ความเข้มข้นของสารสกัดไอออนิก และอัตราการไหลของสารละลายป้อนกับสารละลายนำกลับ จากนั้นตรวจสอบความเสถียร โดยการพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและนำกลับของไอออนแพลทินัม เทียบกับเวลาที่ทำการทดลอง

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 2.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-เบสของน้ำต่อการละลายระหว่างวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ
- 2.2. เพื่อศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-เบสของน้ำต่อเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลาง

3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1. ศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-เบสของน้ำ ที่มีผลต่อค่าการละลายของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ

3.1.1. ศึกษาค่าการละลาย (Solubility)

3.1.2. ศึกษาเส้นไทน์ไลน์ (Tie-line) ของค่าการละลาย

3.1.3. ศึกษาแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการละลาย ได้แก่ แบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี NRTL

3.2. ศึกษาอิทธิพลกรด-เบสของน้ำ ที่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง

3.2.1. ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและนำกลับแพลทินัมจากน้ำสังเคราะห์

3.2.2. ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.1 ในการศึกษาอิทธิพลกรด-เบสของน้ำต่อเสถียรภาพของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ของเหลวไอออนิก (Ionic liquid)

ของเหลวไอออนิก (Ionic liquid) คือสารประกอบไอออนิก หรือเกลืออินทรีย์ เป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส [14] ประกอบด้วย ไอออนบวกของสารอินทรีย์ และไอออนลบของสารอนินทรีย์ยึดกันด้วยแรงคูลอมบ์ (Coulomb interaction) คุณสมบัติของของเหลวไอออนิกที่เกิดจากการจับคู่ไอออนบวกและไอออนลบ เช่น ระเหยยาก ความหนืดและความหนาแน่นสูงกว่าตัวทำละลายทั่วไป และมีช่วงสถานะการเป็นของเหลวที่กว้าง [15] นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบโครงสร้างเพื่อความสามารถเฉพาะได้ด้วยเช่นความสามารถการละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของความยาวโซ่ข้าง (Side chain) บนไอออนบวกและชนิดของไอออนลบ เพิ่มความสามารถหรือหน้าที่เฉพาะความเป็นกรด-เบส ในกระบวนการสกัดก็มีการนำเอาของเหลวไอออนิกมาใช้เป็นสารสกัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไอออนโลหะกลุ่มของสารสกัดไอออนิกที่นิยมนำมาใช้ คือ Tetraalkylammonium และ Dialkylimidazolium [3]

2.1.2 การละลายของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์

ในระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับจะมีสองส่วน ส่วนแรกคือสารละลายอินทรีย์หรือน้ำมัน (วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว) และส่วนที่สองคือน้ำ (วัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับ) สารละลายอินทรีย์จะประกอบด้วย สารสกัดผสมกับสารตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วถูกตรึงอยู่ในรูพรุนขนาดไมครอนของตัวรองรับด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary force) การเลือกสารสกัดอินทรีย์ (Organic extractant) ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญของระบบ เพราะเป็นส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะได้ และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ส่งผลต่อการสกัดไอออนโลหะที่ต้องการ ดังนั้นการเลือกสารสกัดอินทรีย์ต้องคำนึงถึงความไวที่ดี (Sensitivity) ประสิทธิภาพในการสกัดไอออนโลหะ และความสามารถในการคัดเลือก (Selectivity) ไอออนโลหะที่ต้องการสกัดได้ สารสกัดที่ดีต้องละลายได้ดีในสารตัวทำละลายอินทรีย์ เกิดปฏิกิริยาการสกัดไอออนโลหะที่อยู่ในวัฏภาคสารละลายป้อนและเกิดปฏิกิริยานำกลับกับวัฏภาคสารละลายนำกลับได้ ส่วนสารตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว สารตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้จะต้องละลายสารสกัดได้ดีและไม่เกิดปฏิกิริยากับสารสกัด เมื่อสารสกัดเกิดสารประกอบ

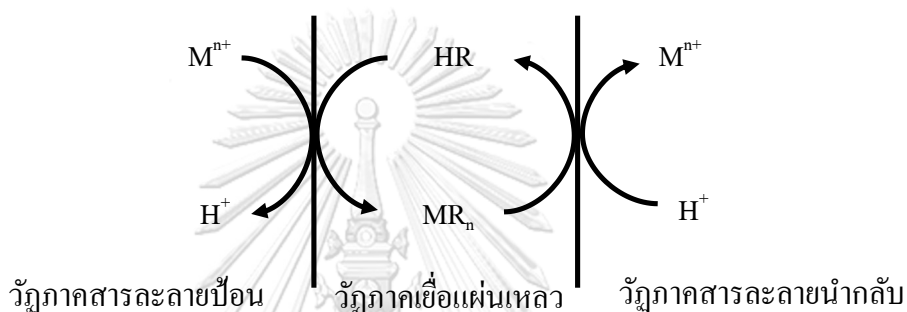
เชิงซ้อนกับไอออน โลหะสารตัวทำละลายอินทรีย์นี้ต้องละลายสารประกอบเชิงซ้อนได้ดี โดยไม่ก่อให้เกิดตะกอน [2]

2.1.3 เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM)

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการแยกไอออนโลหะ กระบวนการแยกสารไฮโดรคาร์บอน กระบวนการแยกสารประกอบชีวภาพ และกระบวนการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับนี้เป็นกระบวนการที่นำมาแก้ปัญหาของการสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถลดขั้นตอนการสกัดและการนำกลับให้เหลือขั้นตอนเดียวได้ ข้อดีของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับสามารถเลือกแยกไอออนโลหะที่ต้องการได้สูง มีขั้นตอนการใช้งานง่าย ใช้สารสกัดในปริมาณน้อย และสามารถแยกไอออนโลหะที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้ [16] เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับยังสามารถพัฒนาขยายขนาดไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดของการใช้งานคือ ความเสถียรภาพและระยะเวลาในการดำเนินการที่สั้น ซึ่งสาเหตุเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น ขนาดรูพรุน ชนิดของพอลิเมอร์ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในเยื่อแผ่นเหลว อัตราการไหลของวัฏภาคสารละลาย และรวมถึงวิธีการเตรียมด้วย เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับประกอบด้วย 3 วัฏภาค คือ วัฏภาคสารละลายป้อน (Feed phase) เป็นวัฏภาคที่มีไอออนโลหะที่ต้องการแยกละลายอยู่ วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว (Liquid membrane) เป็นสารละลายอินทรีย์ผสมของสารสกัด (Extractant) กับสารตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvents) แล้วถูกตรึงอยู่ในรูพรุนขนาดไมครอนของตัวรองรับด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary force) รูพรุนขนาดไมครอนสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือรูพรุนขนาดไมครอนชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic microporous) ซึ่งเป็นรูพรุนชนิดที่ยอมให้เฉพาะวัฏภาคที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเคลื่อนที่ผ่านหรือฝังยึดอยู่ในรูพรุนได้เท่านั้น ส่วนรูพรุนขนาดไมครอนอีกชนิดคือ รูพรุนขนาดไมครอนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic microporous) ซึ่งเป็นรูพรุนที่ยอมให้เฉพาะวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์เคลื่อนที่ผ่านหรือฝังยึดอยู่ในรูพรุนเท่านั้น วัฏภาคสุดท้ายคือวัฏภาคสารละลายนำกลับ (Stripping phase) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่นำกลับไอออนโลหะที่ต้องการแยก [16]

วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวจะอยู่กึ่งกลางระหว่างวัฏภาคของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นน้ำ การจัดเรียงทั้งสามกล่าวให้เข้าใจง่ายๆ คือ น้ำ-น้ำมัน-น้ำ ไอออนโลหะที่ละลาย

ในวัฏภาคสารละลายป้อนจะถูกแยกโดยการถ่ายเทมวลผ่านวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไปสู่วัฏภาคสารละลายนำกลับด้วยปฏิกิริยาการสกัดและปฏิกิริยานำกลับ ณ บริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคสารละลายป้อน-เยื่อแผ่นเหลวและบริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว-สารละลายนำกลับตามลำดับ ดังรูปที่ 1 แสดงรูปแบบการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว อย่างคร่าวๆ โดยที่ M^{n+} คือ ไอออนโลหะที่ละลายอยู่ในวัฏภาคสารละลายป้อน HR คือ สารสกัดที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว R แทนโมเลกุลอินทรีย์ของสารสกัด H^+ แทนไอออนของไฮโดรเจน และ MR_n คือ สารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว

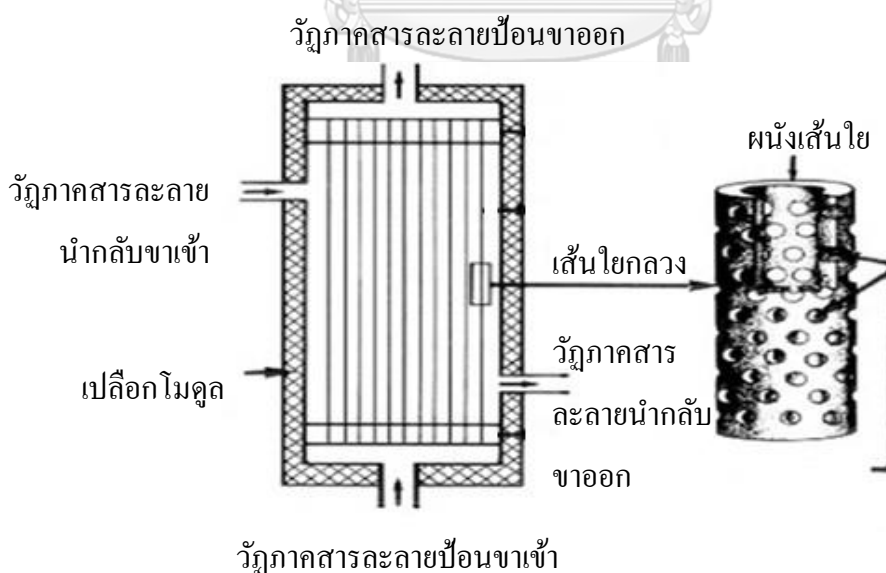


รูปที่ 1 รูปแบบการสกัด โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว [16]

การเลือกเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเลือกตัวรองรับที่เหมาะสมเนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด และเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลว คุณสมบัติของตัวรองรับที่ดีสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผนังบาง ความหนาควรไม่เกิน 50 ไมโครเมตร จะสามารถเกิดการถ่ายโอนมวลได้ดี ถ้าผนังบางเกินไปอาจทำให้เยื่อแผ่นเหลวเกิดการฉีกขาดได้ง่าย ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง
2. มีความพรุนที่สูง จะทำให้มีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายโอนมวลต่อปริมาตรสูง
3. มีรูพรุนขนาดเล็ก เนื่องจากเยื่อแผ่นเหลวจะถูกตรึงอยู่ในรูพรุนด้วยแรงคาปิลลารี ซึ่งแรงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุน ถ้ารูพรุนขนาดใหญ่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวน้อยลง ส่งผลให้เกิดการหลุดของเยื่อแผ่นเหลวออกจากรูพรุนได้ง่าย
4. ทนต่อสารเคมี และความเป็นกรด-เบส
5. ราคาไม่แพง

เยื่อแผ่นเหลวที่นิยมนำมาศึกษาอย่างแพร่หลายคือ เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM) เป็น เยื่อแผ่นเหลวที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการแยกไอออนโลหะหลายชนิด ได้รับการพัฒนามาจากตัวรองรับแบบแผ่นบาง (Flat sheet supported liquid membrane, FSSLM) โดยเป็นการนำเส้นใยที่มีขนาดเล็กมามัดรวมกัน ทำให้สามารถมีพื้นที่ในการถ่ายโอนมวลต่อปริมาตรสูงกว่าตัวรองรับชนิดอื่น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้ได้เปรียบกว่าเยื่อแผ่นเหลวประเภทอื่น เพราะการที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จะทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสูง ส่งผลให้สามารถแยกไอออนโลหะที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ได้ รูปที่ 2 แสดงเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง เยื่อแผ่นเหลวจะถูกตรึงอยู่ในรูพรุนขนาดไมครอนของตัวรองรับเส้นใยกลวง [17] โดยวิทยาศาสตร์ละลายป้อนจะถูกให้ไหลในท่อของเส้นใยกลวง และวิทยาศาสตร์ละลายนำกลับจะถูกให้ไหลนอกท่อของเส้นใยกลวง การดำเนินการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวแบบเส้นใยกลวงสามารถแบ่งให้เกิดการไหลผ่านครั้งเดียว (One-through operation) หรือไหลแบบต่อเนื่อง (Continuously circulate operation) ทิศทางการไหลของวิทยาศาสตร์ละลายทั้งสอง มีได้ 2 แบบ คือ ไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) และไหลแบบสวนทางกัน (Counter-current flow) โดยมีวิทยาศาสตร์เยื่อแผ่นเหลวอยู่ตรงกลางระหว่างสองวิทยาศาสตร์



รูปที่ 2 เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง [17]

2.1.4 วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Response Surface Methodology base on Box-Behnken design)

วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) เป็นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบเพื่อทราบสภาวะที่เหมาะสม โดยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบบการทดลองทั่วไปจะเป็นการศึกษาแบบลองผิดลองถูก หรือการศึกษาปัจจัยเพิ่มขึ้นหนึ่งตัวจะส่งต่อเวลา และสารเคมีที่ในการทดลองเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองจะเป็นการแก้ปัญหาในส่วนนี้ ซึ่งวิธีการพื้นผิวตอบสนองนี้ เป็นการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ที่ขึ้นอยู่กับความพอดีของแบบจำลองกับข้อมูลการทดลองที่ถูกออกแบบ เพื่ออธิบายระบบที่ต้องการศึกษาด้วยสมการเส้นตรงหรือพหุนามกำลังสองและเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยของเงื่อนไขการทดลอง รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ [18]

ขั้นตอนการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบมีดังนี้

1. เลือกตัวแปรอิสระ (Independent variables) ที่มีอิทธิพลต่อระบบที่ต้องการศึกษา และกำหนดขอบเขตของตัวแปรตามวัตถุประสงค์หรือประสบการณ์ของนักวิจัย
2. ออกแบบจำนวนการทดลองและทำการทดลองตามเมทริกซ์วิธีการที่เลือก
3. วิธีการทางคณิตศาสตร์-สถิติ ได้จากการข้อมูลผลการทดลอง โดยวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันของพหุนาม
4. การวิเคราะห์เพื่อประเมินผลผ่านแบบจำลอง
5. ตรวจสอบความเป็นไปได้และขอบเขตสภาวะที่เหมาะสม
6. ได้สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อระบบที่ศึกษา

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ โดยหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งแตกต่างจากวิธีการโดยทั่วไป นั่นคือ วิธีการโดยทั่วไปจะเป็นการทดลองแบบ ลองผิดลองถูก หรือใช้การปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time, OFAT) ทำให้ได้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดหมายช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงมีการเก็บข้อมูลที่มากและยังไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่น่าสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยกำหนดให้ X แทนปัจจัย และ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดว่า $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิว ได้คือ

$$\eta = f(x_1, x_2) \quad (2.2)$$

ซึ่งจะเรียกว่า “พื้นผิวตอบ (Response surface)” ส่วนใหญ่การแสดงผลผิวตอบจะแสดงในรูปของกราฟิก โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ x และ x เพื่อช่วยให้มองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น อาจพล็อตเป็นเส้นโครงร่าง (Contour plot) ของพื้นผิวผลตอบ ปัญหาส่วนใหญ่จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ในขั้นแรกจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระอาจจะเป็นแบบจำลองผลตอบมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองแบบกำลังหนึ่ง ดังสมการที่ 2.3

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.3)$$

แต่ถ้ามีส่วน โค้งเกี่ยวข้องในระบบจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นเช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการที่ 2.4

$$y = \beta_0 + \sum_{t=1}^k \beta_1 x_1 + \sum_{t=1}^k \beta_2 x_2 + \dots + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.4)$$

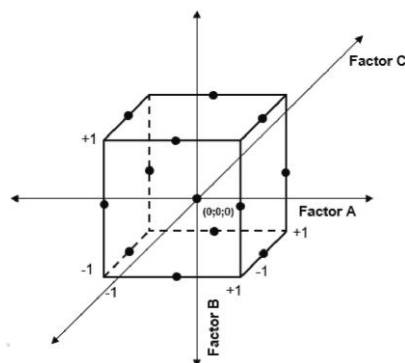
วิธีการที่น่าสนใจคือ การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken design) ใช้เพื่อศึกษาปัจจัยเชิงปริมาณ และอาจจะศึกษาปัจจัยเชิงคุณภาพได้บางกรณีขึ้นกับจำนวนปัจจัย สามารถประเมินค่าผลกระทบเชิงเส้น ผลกระทบกำลังสอง และผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัยได้ทุกค่า การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันมากในกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ โดยเฉพาะกรณีที่ต้องการสมการความสัมพันธ์เมื่อปัจจัยเป็นปัจจัยปริมาณ (Quantitative Factor) เช่น เวลา อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้น ฯลฯ การออกแบบนี้ได้พัฒนาประสิทธิภาพการออกแบบการทดลองแบบสามระดับสำหรับพื้นผิวผลตอบสนองที่มี

สมการอันดับสอง (second-order) ลักษณะของการออกแบบวิธี บ็อกซ์-เบห์นเคนจะใช้หลักการรวม การออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับจุดกึ่งกลาง (Center points) เข้าด้วยกัน โดย k คือจำนวนปัจจัย ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพในด้านจำนวนการทดลองที่ต้องการ ซึ่งการกระทำเช่นนี้มี ประโยชน์มากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์เป็นการรวมเอาปัจจัยระดับ (Factor-Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองที่เกิดจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพ ของกระบวนการ ในกรณี 3 ปัจจัย จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 15 การทดลอง ดังแสดง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ที่มี 3 ตัวแปร

การทดลอง	A	B	C
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

จากรูปเรขาคณิตของการออกแบบบ็อกซ์-เบห์เคน [19] ดังรูปที่ 3 ลักษณะเกือบจะเป็น Orthogonal จำนวนการทดลองแต่ละ combination ทำให้จำนวนครั้งที่ไม่เท่ากัน โดยเฉพาะจุดกึ่งกลาง ข้อดีคือมีค่า Resolution เท่ากับ IV ซึ่งสามารถทำให้ศึกษาผลกระทบเชิงเส้น ผลกระทบในเชิงเส้นกำลังสองและอันตรกิริยาหรือผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยได้



รูปที่ 3 แสดงการออกแบบบ็อกซ์-เบห์เคน ครณีศึกษา 3 ปัจจัย [19]

2.1.5 การหาค่าแบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกติวิตี Non-Random Two Liquid (NRTL)

การหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตี NRTL [20] เริ่มจากค่าตัวแปร τ สำหรับคู่ตัวแปร ในแบบจำลองแอกติวิตี NRTL โดยปรับค่าสัมประสิทธิ์อันตรกิริยาสองตัวแปร (Binary interaction parameter; b_{ij}) ในสมการ (3.1)

$$\tau_{ij} = \frac{b_{ij}}{T} \quad (3.1)$$

เมื่อได้ค่า τ และค่า α ($\alpha = 0.2$ เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบสมดุลของเหลว-ของเหลว) นำไปแทนในสมการ (3.2) เพื่อหาค่า G

$$G_{ij} = \exp(-\alpha_{ij}\tau_{ij}) \quad (3.2)$$

เมื่อได้ค่า G ค่าที่ได้แทนค่าในสมการ (3.3) และทำการแทนค่าเศษส่วนโมลการทดลอง (z) ของแต่ละระบบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตี NRTL (γ) ทั้งในวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \tau_{ji} G_{ji} z_j}{\sum_{k=1}^3 G_{ki} z_k} = \sum_{j=1}^3 \frac{z_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^3 G_{kj} z_k} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^3 z_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^3 G_{kj} z_k} \right) \quad (3.3)$$

แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์เอกทิวิตี (γ) ที่ได้มาแทนในสมการ (3.4) เพื่อหาค่าเศษส่วน โมลของสารแต่ละองค์ประกอบโดยทำให้ค่าทั้งสองข้างของสมการมีค่าเท่ากัน

$$z_i^I \gamma_i^I = z_i^{II} \gamma_i^{II} \quad (3.4)$$

ถ้าค่าที่ได้ไม่เท่ากันให้ทำการปรับสมค่าตัวแปรอันตรกิริยาสองชนิดตัวแปรใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เท่ากัน และทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของค่าตัวแปรอันตรกิริยาสองชนิดที่ได้ ด้วยวิธีของ Marcilla และคณะ [21]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kocherginsky, N.M. และคณะ (2007) [2] ได้อธิบายถึงเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (SLM) ว่ามีการศึกษาอย่างกว้างขวางในกระบวนการแยก รวมไปถึงข้อดีของระบบที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเยื่อแผ่นเหลวชนิดอื่น แต่การใช้งานของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับยังไม่มี การนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมันยังมีข้อจำกัดทางด้านของการใช้งาน คือ ความเสถียรภาพที่ต่ำ โดยเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ชนิดพอลิเมอร์ของตัวรองรับ ขนาดของรูพรุน ตัวทำละลายอินทรีย์ในเยื่อแผ่นเหลว และอัตราการไหลของวัฏภาคสารละลาย รวมไปถึงวิธีการเตรียม แต่สาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบที่สุดคือ การหลุดของตัวพา (carrier) และตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากรูพรุนของตัวรองรับ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเลือกสกัด ไอออน โลหะที่ต้องการ (selectivity) และค่าฟลักซ์ (flux)

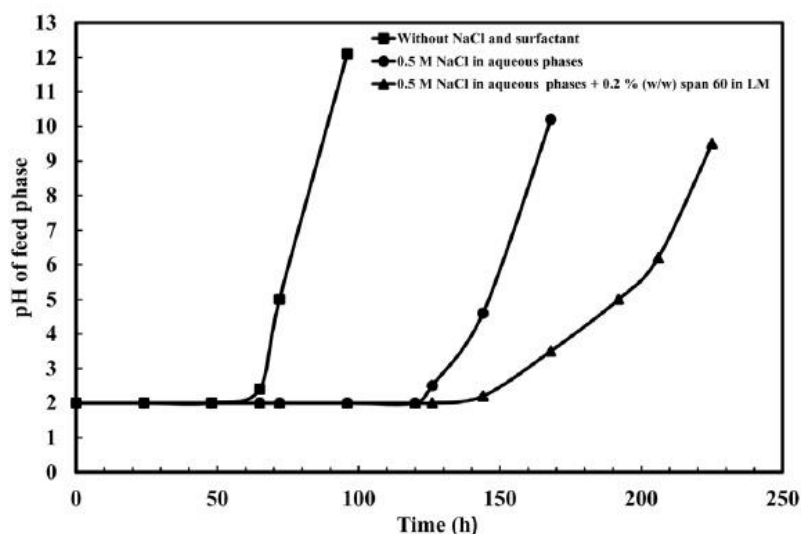
Jean และคณะ (2018) [22] ได้ศึกษาการสกัดไอออน โลหะ Hg(II), Cd(II) และ Cr(II) ในสารละลายกรด โดยใช้สารตัวพาเป็นของเหลวไอออนิกคือ isooctylmethylimidazolium bis-2-thylhexylphosphate (iOMim D2EHPA) และได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัด, ความเข้มข้นของไอออน โลหะ ความเป็นกรดของสารละลาย และอุณหภูมิ พบว่า ของเหลวไอออนิกมีความสามารถในการคัดเลือกไอออนของโลหะที่เป็น ไอออนบวกและเหมาะสมที่จะเป็นสารตัวพาในเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ เสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ ทำได้สูงสุด 4 รอบ โดย 1 รอบใช้เวลา 6 ชั่วโมง ความเป็นกรด-เบส ของสารละลายป้อนและนำกลับคือ 3/3, ความเข้มข้นของไอออน โลหะในสารละลายป้อน 0.5 โมลาร์ซึ่งหลังจาก 4 รอบมีการหลุดของสารตัวพาออกมาในสารละลาย แสดงถึงความเสถียรภาพของระบบดังกล่าว

De los Ríos A.P. และคณะ (2013) [5] ได้ศึกษาเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับแบบแผ่นม้วน ของเหลวไอออนิก Methyltrioctylammonium chloride ถูกใช้เป็นตัวพา สำหรับการคัดแยกสกัดโลหะไอออนที่ต้องการคือ Fe(III) Zn(II) Cd(II) และ Cu(II) จากสารละลายไฮโดรคลอไรด์ และปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนและนำกลับ และองค์ประกอบในสารละลายนำกลับ ได้แก่ น้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูง (Milli-Q water), โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 0.1 M) หรือ แอมโมเนีย (NH_3 6 M) พบว่าเมื่อสารละลายนำกลับใช้โซเดียมคาร์บอเนต สามารถนำกลับโลหะ Fe(II) ได้ และเมื่อใช้เป็นแอมโมเนีย สามารถนำกลับ Cd(II) ได้ แสดงว่าการปรับองค์ประกอบในสารละลายนำกลับ สามารถช่วยในการคัดแยกสกัดไอออนโลหะที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ของเหลวไอออนิกยังมีความเสถียรโดยช่วยป้องกันการหลุดของเยื่อแผ่นเหลว เมื่อมีการสัมผัสกับสารละลายป้อนและนำกลับที่มีการปรับสภาพของความเป็นกรด-เบส อีกด้วย

Thidarat และคณะ (2018) [20] ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติกายภาพ เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ความสามารถในการละลายน้ำ ของสารละลายผสมระหว่าง สารสกัดและสารตัวทำละลายอินทรีย์ (มีน้ำหรือไม่มีน้ำ) โดยมีการปรับความเข้มข้นของสารสกัดในช่วง 20-80 เปอร์เซ็นต์โดยมวล สารสกัดที่ใช้คือ ไตรบิวทิลฟอสเฟต (Tributyl phosphate) สารตัวทำละลายอินทรีย์ได้แก่ไซโคลเฮกเซน นอโมล-เฮปเทน เดโรซีน และโทลูอีน นอกจากสมบัติทางกายภาพแล้ว ยังศึกษาเส้นไทไลน์ (tie line) และอันตรกิริยาระหว่างสารละลายผสมจากการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพของสารผสมจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารสกัดในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น สำหรับกระบวนการแยกคุณสมบัติที่เหมาะสมของสารละลายผสม ควรจะมีค่าความหนืดและค่าแรงตึงผิวที่สูง ค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ยังจะช่วยสามารถในการป้องกันการหลุดของเยื่อแผ่นเหลวออกจากรูพรุนของตัวรองรับ การศึกษาเส้นไทไลน์ (Tie line) พบว่าสารสกัดที่ใช้มีแนวโน้มการละลายในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวมากกว่าวัฏภาคสารละลาย นอกจากนี้การศึกษาระบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี NRTL เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองไทไลน์กับแบบจำลอง ผลต่างกันไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการทดลองดังกล่าวสามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสารละลายผสม เพื่อความเสถียรภาพของระบบในกระบวนการแยก

Wongkaew. K. และคณะ (2016) [6] ได้ศึกษาความต้านทานการถ่ายโอนมวลและวิธีพื้นผิวผลตอบ สำหรับการแยกแพลทินัม โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ซึ่งมีการใช้สารสกัดที่ต่างกัน ได้แก่ Aliquat 366, ZIX84-I, TBP และ TOPO ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้คือ เคโรซีน พบว่าสามารถแยกแพลทินัมจากสารละลายได้ถึง 96 เปอร์เซ็นต์ และนำกลับได้ถึง 88 เปอร์เซ็นต์ โดยสารสกัด Aliquat 336 ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าสารสกัด Aliquat 336 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสกัดชนิดอื่น ภายใต้การต้านทานการถ่ายโอนมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลว วิธีพื้นผิวผลตอบสนอง (RSM) ได้นำมาศึกษาหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัม, ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 และความเข้มข้นของไทโอยูเรีย (Thiourea) ในสารละลายนำกลับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมที่ 5 ppm ความเข้มข้นของสารสกัดที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความเข้มข้นไทโอยูเรีย 0.8 โมลาร์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการสกัดไอออนโลหะแพลทินัม

Kumar. A. และคณะ (2016) [11] ได้ศึกษาถึงความเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (SLM) ด้วยหลายเทคนิค เพื่อที่จะลดการสูญเสียของเยื่อแผ่นเหลว (LM) ออกจากรูพรุนของตัวรองรับ ได้แก่ การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ (NaCl) ลงในสารละลาย การเติมสารลดแรงตึงผิว (Span 60) ลงในเยื่อแผ่นเหลว และการใช้พอลิเมอร์ที่มีชั้นเจลเคลือบบนผิวหน้าของตัวรองรับ เพื่อลดการเกิดอิมัลชัน โดยการวัดความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลวจะใช้การพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อนและนำกลับ สำหรับสารละลายป้อนคือสารละลายฟีนอล ที่มีค่าความเป็นกรด (pH = 2) เยื่อแผ่นเหลวคือสารสกัด TBP ผสมกับ โดเดคานอล ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนสารละลายนำกลับคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ มีความเป็นเบส (pH = 13.5) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาในการดำเนินการผ่านไป จะมีการสูญเสียของเยื่อแผ่นเหลวออกจากรูพรุนของตัวรองรับ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสารละลายป้อนและนำกลับ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสของทั้งสองฝั่งสารละลายป้อนเพิ่มขึ้น จนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 225 ชั่วโมง สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวแสดงดังรูปที่ 4 โดยการเปรียบเทียบจะมี 3 กรณีคือ ไม่มีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์และสารลดแรงตึงผิว เติมสารอิเล็กโทรไลต์ NaCl 0.5 โมลาร์ลงในสารละลาย และกรณีสุดท้าย เติมสารอิเล็กโทรไลต์ NaCl 0.5 โมลาร์ลงในสารละลายและเติมสารลดแรงตึงผิว 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยมวลลงในเยื่อแผ่นเหลว



รูปที่ 4 การพิจารณาความเสถียรภาพโดยการวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อน ซึ่งมีการปรับสภาวะปัจจัยทั้งในสารละลาย และเยื่อแผ่นเหลว [11]

จากกราฟปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับพบว่า ทั้ง 3 กรณี ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสจนถึงที่เวลา 65 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-เบสที่เวลา 120 ชั่วโมง เมื่อมีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ลงในสารละลายทั้งสอง และมีการเปลี่ยนแปลงที่เวลา 140 ชั่วโมงเมื่อมีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายทั้งสองและสารลดแรงดึงผิวลงในเยื่อแผ่นเหลว แสดงว่าการเติมสารอิเล็กโทรไลต์และสารลดแรงดึงผิว สามารถช่วยในเรื่องของความเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลวได้ โดยพิจารณาจากการวัดค่าความเป็นกรด-เบส

Leepipatpiboon, N. และคณะ (2013) [23] ได้ศึกษาการสกัดไอออนโลหะโคบอลต์ (Co) และนิกเกิล (Ni) โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (HFSLM) สารสกัดที่ใช้คือ Alamine 300 และตัวทำละลาย 7 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) เดคานอล (Decanol) คลอโรเบนซีน (Chlorobezene) เบนซีน (Benzene) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เอทิลีนไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ซึ่งสารตัวทำละลายทั้งหมดมีความเป็นขั้วที่ต่างต่างกัน โดยค่าความเป็นขั้วตั้งแต่ 0.1-4.1 ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน, ความเข้มข้นของสารสกัด Alamine 300 และความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายนำกลับ จากการทดลองพบว่าสามารถสกัดไอออนโลหะโคบอลต์ (Co) ออกจากสารละลายผสมระหว่าง โคบอลต์กับนิกเกิลได้ สภาวะปัจจัยที่เหมาะสมต่อการสกัดคือ ความเป็น

กรด-เบส (pH) เท่ากับ 4 ความเข้มข้นของสารสกัด Alamine 300 ที่ 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ 2.5 โมลาร์ โดยเปอร์เซ็นต์การสกัด และนำกลับสูงถึง 82 และ 75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลของสารตัวทำละลายอินทรีย์พบว่า ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีค่าความเป็นขี้ที่ต่ำ จะสามารถส่งผลทำให้ระบบมีความเสถียรภาพได้ ในที่นี้คือ เฮกเซน ซึ่งมีค่าความเป็นขี้อยู่ที่ 0.1 โดยมีความเสถียรภาพในการสกัดถึง 200 นาที แต่เมื่อค่าความเป็นขี้มากกว่า 3.5 จะทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดและนำกลับลดลง ซึ่งเกิดจากความสามารถในการละลายที่มากขึ้น ทำให้มีการหลุดของเยื่อแผ่นเหลวออกจากรูพรุนของตัวรองรับ



บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

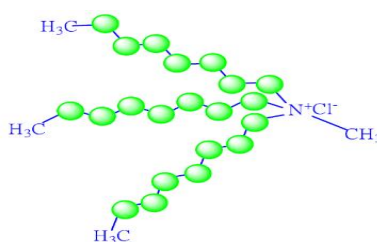
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 2 และสารสกัด Aliquat 336 มีสูตร โครงสร้างดังแสดงในรูป 5

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	บริษัท	ความบริสุทธิ์ (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)	ระดับคุณภาพที่ ใช้ในการทดลอง
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.2	Loba Chemie	99.5	GC
1-Dodecanol	C ₁₂ H ₂₆ O	186.3	Merck	98.0	GC
Kerosene	C ₉ -C ₁₆	≈ 170.0	Shell	99.0	N/A
Toluene	C ₇ H ₈	92.1	Fisher	99.9	GC
Thiourea	CH ₄ N ₂ S	76.1	Loba Chemie	99.0	N/A
Sodium hydroxide	NaOH	40.0	Loba Chemie	98.0	N/A
Hydrochloric acid solution	HCl	36.5	Qrec	37.0	N/A
Platinum standard solution	Pt	195.1	Sigma- Aldrich	1,000.0 ^a	N/A
Tricaprylylmethylammo-nium chloride (Aliquat 336)	C ₂₅ H ₅₄ ClN	404.2	Sigma- Aldrich	N/A	N/A

หมายเหตุ: ^a คือ ความเข้มข้นของแพลทินัมไอออนในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร และข้อมูลทั้งหมดที่แสดงในตารางนำมาจากฉลากข้างขวดสารเคมี



รูปที่ 5 สูตร โครงสร้างสารสกัด Aliquat 336 [6]

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องซั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter)
3. เครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR)
4. เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM)
5. เครื่องอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมา (Inductively couple plasma; ICP)
6. ขวดแก้วใสขนาด 15 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด
7. กระบอกนิตยขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
8. เข็มฉีดยา
9. ปั๊ม (Pump)

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การหาค่าการละลาย

ทุกองค์ประกอบของสารสำหรับหาค่าความสามารถการละลาย ซั่งน้ำหนักด้วยเครื่องซั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

การหาค่าการละลายในวัฏภาคน้ำมัน (Organic phase)

ระบบสององค์ประกอบ (Binary system) ประกอบด้วยสารสกัด Aliquat 336 หรือตัวทำละลายอินทรีย์ (ไซโคลเฮกเซน โดเดคานอล เควโรซีน และโทลูอิน) กับน้ำที่เป็นความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) เริ่มจากการเตรียมวัฏภาคน้ำมันโดยการเติมสารสกัดหรือตัวทำละลายอินทรีย์ลงในภาชนะขวดแก้วใสที่มีฝาปิด ให้มีปริมาตร 8 กรัม แล้วทำการหยดน้ำที่มีการปรับความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) หรือเบส (pH = 13) ด้วยวิธีการไทเทรตจนเกิดความขุ่นทำการบันทึกน้ำหนักของน้ำที่ทำให้เกิดความขุ่นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเศษส่วนมวลของสารแต่ละองค์ประกอบ

ระบบสามองค์ประกอบ (Ternary system) ประกอบด้วยสารสกัด Aliquat 336 ตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) หรือเบส ($\text{pH} = 13$) เริ่มจากการเตรียมวัฏภาคน้ำมันโดยการผสมระหว่างสารสกัด Aliquat 336 กับตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิด คือ ไซโคลเฮกเซน โดเดคานอล เคโรซีน และโทลูอิน ตามอัตราส่วน 25-75 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลลงในภาชนะขวดแก้วใสมีฝาปิด ให้มีปริมาตร 8 กรัมจากนั้นทำการเขย่าเพื่อให้สารผสมเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน แล้วทำการหยดน้ำที่มีการปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) และเบส ($\text{pH} = 13$) ด้วยวิธีการไทเทรตจนเกิดความขุ่นทำการบันทึกน้ำหนักของน้ำที่ทำให้เกิดความขุ่นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเศษส่วนมวลของสารแต่ละองค์ประกอบ

การหาค่าการละลายวัฏภาคน้ำ (Aqueous phase)

ระบบสององค์ประกอบ (Binary system) ประกอบด้วยน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) และเบส ($\text{pH} = 13$) กับสารสกัด Aliquat 336 หรือตัวทำละลายอินทรีย์ (ไซโคลเฮกเซน โดเดคานอล เคโรซีน และโทลูอิน) เริ่มจากการเตรียมวัฏภาคน้ำโดยการเติมน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) หรือเบส ($\text{pH} = 13$) ในภาชนะขวดแก้วใสมีฝาปิด ให้มีปริมาตร 8 กรัม แล้วทำการหยดสารสกัด Aliquat 336 หรือตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยวิธีการไทเทรตจนเกิดความขุ่นทำการบันทึกน้ำหนักของสารสกัด Aliquat 336 หรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความขุ่นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเศษส่วนมวลของสารแต่ละองค์ประกอบ

ระบบสามองค์ประกอบ (Ternary system) ประกอบด้วยน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) หรือกลาง ($\text{pH} = 7$) หรือเบส ($\text{pH} = 13$) สารสกัด Aliquat 336 และตัวทำละลายอินทรีย์ เริ่มจากการเตรียมวัฏภาคน้ำโดยการเติมน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) หรือเบส ($\text{pH} = 13$) ในภาชนะขวดแก้วใสมีฝาปิด ซึ่งน้ำหนักให้มีปริมาตร 8 กรัม แล้วทำการหยดสารสกัด Aliquat 336 ผสมตัวทำละลายอินทรีย์ที่อัตราส่วน 25-75 เปอร์เซ็นต์โดยมวลด้วยวิธีการไทเทรตจนเกิดความขุ่นทำการบันทึกน้ำหนักของสารสกัด Aliquat 336 ผสมตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความขุ่นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเศษส่วนมวลของสารแต่ละองค์ประกอบ

เมื่อได้ข้อมูลเศษส่วนมวลการละลายของทั้งระบบสององค์ประกอบและระบบสามองค์ประกอบนำข้อมูลเศษส่วนมวลไปพล็อตในโปรแกรม Prosim เพื่อสร้างกราฟการละลายและดูพฤติกรรมสมดุลของเหลว-ของเหลวที่ได้ รวมถึงดูแนวโน้มการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด ($\text{pH} = 2$) กลาง ($\text{pH} = 7$) และเบส ($\text{pH} = 13$)

การหาเส้นไทไลน์ (Tie line)

การหาเส้นไทน์ หลังการทดลองหาค่าการละลายของระบบสามองค์ประกอบนำตัวอย่างที่ได้มาทำการเติมน้ำที่ปรับความเป็นกรด (pH = 2) หรือกลาง (pH = 7) หรือเบส (pH = 13) ที่มากเกินพอของแต่ละระบบ ทำการเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน แยกวัฏภาคน้ำมันเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของสารสกัด Aliquat 336 ตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำที่ปรับความเป็นกรด (pH = 2) หรือกลาง (pH = 7) หรือเบส (pH = 13) ด้วยเครื่องมือ FTIR โดยพิจารณาจากตำแหน่งของกราฟแต่ละองค์ประกอบที่แสดงต่างกัน จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาข้อมูลเศษส่วนมวลของแต่ละองค์ประกอบ นำไปพล็อตในโปรแกรม Prosim เพื่อสร้างกราฟการละลาย ดูแนวโน้มการละลายของสารสกัด Aliquat 336 ในวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ

3.3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบล็อก-เบห์นเคน (RSM-BBD)

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน โดยศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อน (X_1), ความเข้มข้นสารสกัด (X_2) และอัตราการไหลของวัฏภาคสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ (X_3) แสดงได้ดังตารางที่ 3 จะได้ตารางการทดลองจากโปรแกรมดังตารางที่ 4 ซึ่งมีทั้งหมด 15 การทดลอง

ตารางที่ 3 ตัวแปรที่ศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสม

ตัวแปรที่ศึกษา		-1	0	1
ความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อน	X_1	2	7	12
ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)	X_2	5	10	15
อัตราการไหลของวัฏภาคสารละลายป้อนและนำกลับ (มิลลิลิตรต่อนาที)	X_3	200	300	400

ตารางที่ 4 การทดลองที่โปรแกรมวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ออกแบบ

การทดลอง	X_1	X_2	X_3	ความเป็นกรด-เบส	ความเข้มข้นสารสกัด (%)	อัตราการไหลของสารละลาย (มิลลิลิตรต่อนาที)
1	-1	-1	0	2	5	300
2	+1	-1	0	12	5	300
3	-1	+1	0	2	15	300
4	+1	+1	0	12	15	300
5	-1	0	-1	2	10	200
6	+1	0	-1	12	10	200
7	-1	0	+1	2	10	400
8	+1	0	+1	12	10	400
9	0	-1	-1	7	5	200
10	0	+1	-1	7	15	200
11	0	-1	+1	7	5	400
12	0	+1	+1	7	15	400
13	0	0	0	7	10	300
14	0	0	0	7	10	300
15	0	0	0	7	10	300

การทดลองแยกโลหะแพลทินัม โดยใช้ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

จากการออกแบบการทดลองที่ได้จากวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบวิธีบล็อกซ์-เบห์นเคน การทดลองจะเป็นกระบวนการแยกโลหะแพลทินัม (Pt) ด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดไอออนิก Aliquat 336 และตัวทำละลายอินทรีย์คือ เคโรซีน ตัวอย่างการทดลองที่ 1 จะได้ X_1 คือ -1 ความเป็นกรด-เบส ของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนมีค่าความเป็นกรด (pH = 2) X_2 คือ -1 ความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้คือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และ X_3 คือ 0 อัตราการไหลของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนและนำกลับคือ 200 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับการทดลองจะมีการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัม 5 ppm เวลาที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง 30 นาที วิทยาศาสตร์ละลายนำกลับใช้ไทโอยูเรีย ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทำการเก็บน้ำจากวิทยาศาสตร์ละลายป้อนและวิทยาศาสตร์ละลายนำกลับ เพื่อหาปริมาณของแพลทินัม โดยใช้เครื่องมือ

วิเคราะห์ ICP เมื่อได้ข้อมูลจะทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและเปอร์เซ็นต์การนำกลับของโลหะแพลทินัมดังสมการที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ [24] นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 17 เพื่อคำนวณเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์และข้อมูลทางสถิติทำให้สามารถทราบตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละตัวแปร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสกัด} = \frac{C_{\text{Initial,Feed}} - C_{\text{Final,Feed}}}{C_{\text{Initial,Feed}}} \times 100 \quad (3.5)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การนำกลับ} = \frac{C_{\text{Stripping}}}{C_{\text{Membrane}}} \times 100 \quad (3.6)$$

- เมื่อ $C_{\text{Initial,Feed}}$ คือ ความเข้มข้นแพลทินัมเริ่มต้นในสารละลายป้อน (ppm)
 $C_{\text{Final,Feed}}$ คือ ความเข้มข้นแพลทินัมสุดท้ายในสารละลายป้อน (ppm)
 $C_{\text{Stripping}}$ คือ ความเข้มข้นแพลทินัมสุดท้ายในสารละลายนำกลับ (ppm)
 C_{Membrane} คือ ความเข้มข้นแพลทินัมในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว (ppm)

3.3.3 การศึกษาความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

ค่าสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรจากวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยความเสถียรจะพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและนำกลับ เทียบกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง (15 ชั่วโมง) การทดลองจะทำการปรับความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนให้มีค่าเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) กำหนดความเข้มข้นโลหะแพลทินัมในวัฏภาคสารละลายป้อนเป็น 5 ppm วัฏภาคสารละลายนำกลับจะใช้ไทโอยูเรียความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง สารสกัดที่ใช้เป็นสารสกัดไอออนิก Aliquat 336 ผสมกับตัวทำละลายอินทรีย์คือ เควโรซีน

บทที่ 4

อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

4.1 ความสามารถในการละลายและเส้นไทไลน์ (Solubility and tie-line)

จากการทดลองหาค่าความสามารถในการละลายของระบบสององค์ประกอบ (Binary system) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 6 ผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง เพื่อยืนยันความแม่นยำของผลการทดลอง และแสดงผลการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (Percentages of average absolute deviation, %AAD) โดยใช้สมการที่ (4.1) ในการคำนวณ

$$\%AAD = \sum_{n=1}^m \frac{\left| \frac{Z_{Lit.} - Z_{I,n}}{Z_{I,n}} \right|}{m} \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ $Z_{Lit.}$ คือข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง $Z_{I,n}$ คือข้อมูลจากการทดลองที่ทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน, l คือองค์ประกอบ, m คือจำนวนตัวแปรอิสระ และ $n = 1, 2, \dots, m$

ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่า %AAD ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการทดลองว่ามีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 5 เศษส่วนมวล (Z) ของค่าการละลายระบบสององค์ประกอบ และเปรียบเทียบข้อมูลค่าการละลายระหว่างค่าการทดลองและค่าอ้างอิง ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

สารอินทรีย์	ค่าการทดลอง			ค่าอ้างอิง	%AAD	อ้างอิง
	pH _w = 2.0	pH _w = 7.0	pH _w = 13.0			
ค่าการละลายของน้ำในวัฏภาคน้ำมัน						
Aliquat 336	0.1741	0.1707	0.1463	-	-	-
Cyclohexane	0.0004	0.0004	0.0006	0.0004	6.4	[25]
1-Dodecanol	0.0207	0.0279	0.0139	0.0285	2.2	[26]
Kerosene	0.0008	0.0006	0.0004	0.0006	1.3	[20]
Toluene	0.0011	0.0006	0.0010	0.0006	4.1	[27]

ตารางที่ 6 เศษส่วนมวล (Z) ของค่าการละลายระบบสององค์ประกอบและเปรียบเทียบข้อมูลค่าการละลายระหว่างค่าการทดลองและค่าอ้างอิง ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล (ต่อ)

สารอินทรีย์	ค่าการทดลอง			ค่าอ้างอิง	%AAD	อ้างอิง
	pH _w = 2.0	pH _w = 7.0	pH _w = 13.0			
ค่าการละลายของน้ำมันในวัฏภาคน้ำ						
Aliquat 336	0.0020	0.0013	0.0018	0.0012	9.4	[28]
Cyclohexane	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	3.0	[29]
1-Dodecanol	0.0004	0.0004	0.0003	0.0004	0.6	[26]
Kerosene	0.0006	0.0005	0.0004	0.0005	4.3	[20]
Toluene	0.0003	0.0006	0.0002	0.0006	7.0	[27]

การทดลองหาค่าการละลายของระบบสามองค์ประกอบ (Ternary system) แสดงดังตารางที่ 7 ในตารางนี้แสดงเฉพาะค่าการละลายในวัฏภาคน้ำมัน โดยค่าการละลายในวัฏภาคน้ำไม่สามารถแสดงได้ เนื่องจากค่าการละลายมีความใกล้เคียงกับค่าการละลายของระบบสององค์ประกอบมาก และเมื่อนำไปพล็อตบนกราฟสามเหลี่ยม ดังจะนำเสนอต่อไปนั้น จะเห็นว่าจุดค่าการละลายในวัฏภาคน้ำเปรียบเสมือนมีเพียงจุดเดียว เมื่อได้ค่าการละลายของระบบสององค์ประกอบและสามองค์ประกอบแล้ว นำไปพล็อตบนกราฟสามเหลี่ยม เพื่อดูแนวโน้มการละลายของสารแต่ละระบบ กราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 6 เศษส่วนมวล (Z) ของค่าการละลายระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่มีการปรับความเป็นกรด-เบส (1) + Aliquat 336 (2) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ใน วัฏภาคน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 1 เมกะปาสกาล

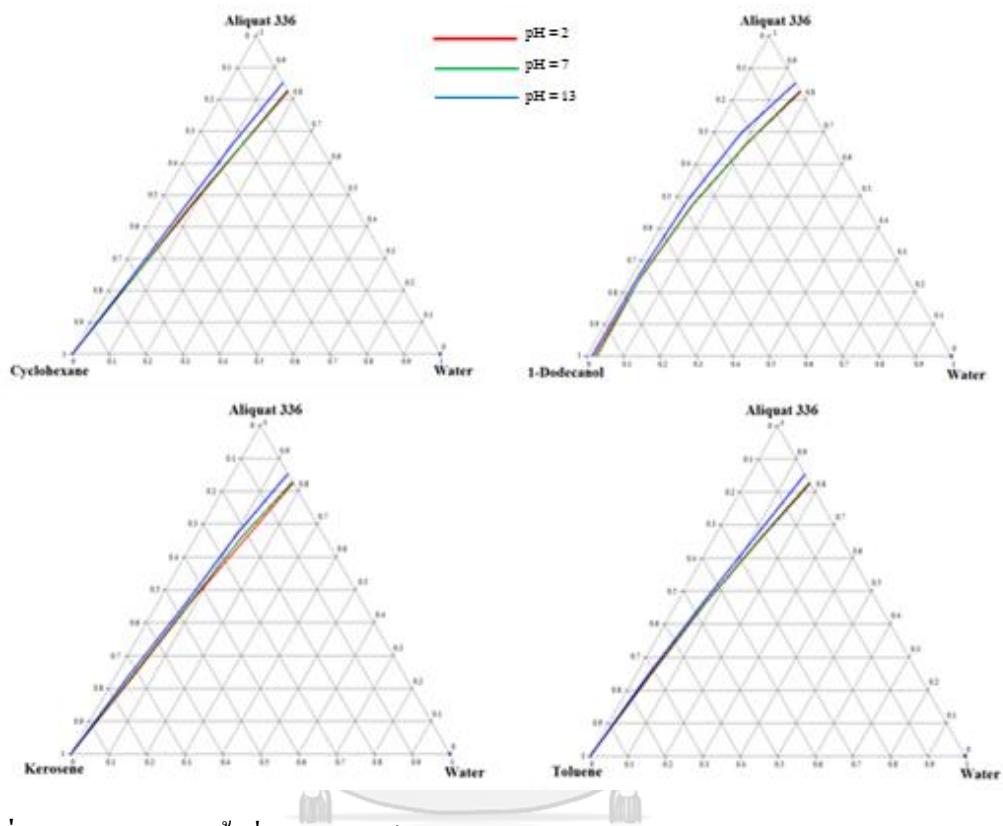
ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	Cyclohexane		1-Dodecanol		Kerosene		Toluene	
		Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
25	2.0	0.0476	0.2443	0.0248	0.2450	0.0476	0.2424	0.0385	0.2429
	7.0	0.0467	0.2383	0.0240	0.2488	0.0432	0.2392	0.0356	0.2423
	13.0	0.0409	0.2412	0.0167	0.2483	0.0352	0.2458	0.0312	0.2451
50	2.0	0.0896	0.4550	0.0541	0.4722	0.0847	0.4576	0.0764	0.4631
	7.0	0.0856	0.4600	0.0534	0.4742	0.0831	0.4594	0.0752	0.4627
	13.0	0.0740	0.4614	0.0332	0.4843	0.0751	0.4619	0.0692	0.4669
75	2.0	0.1313	0.6505	0.1085	0.6689	0.1320	0.6524	0.1237	0.6519
	7.0	0.1307	0.6508	0.1078	0.6684	0.1206	0.6590	0.1233	0.6574
	13.0	0.1071	0.6682	0.0741	0.6949	0.1039	0.6724	0.1088	0.6674

เมื่อ Z_1 คือ เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส

Z_2 คือ เศษส่วนมวลของสารสกัด Aliquat 336

จากรูปที่ 6 พบว่าแนวโน้มการละลายของน้ำในทุกะบบสารตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ไซโคลเฮกเซน โดเดคานอล เคโรซีน และโทลูอีนคล้ายกัน เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่า มีคู่สารที่ละลายเข้าด้วยกันได้อย่างสมบูรณ์คือ สารสกัด Aliquat 336+ตัวทำละลายอินทรีย์ และสารที่ละลายเข้ากันได้บางส่วนคือ น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ตัวทำละลายอินทรีย์ ลักษณะกราฟดังกล่าวพบว่าเป็นกราฟการละลายแบบที่ 2 ของพฤติกรรมสมดุลของเหลว-ของเหลว [30] นอกจากนี้อิทธิพลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสยังส่งผลต่อค่าการละลายที่ต่างกันด้วย ซึ่งหากเปรียบเทียบค่าการละลายในระบบเดียวกัน พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของการละลายของน้ำที่เป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และมีค่าน้อยกว่าในกรณีของน้ำที่เป็นเบส (pH = 13) แสดงว่าน้ำที่เป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) สามารถละลายในวัฏภาคน้ำมันที่มีสารสกัดไอออนิกอยู่ได้ดีกว่าน้ำที่เป็นเบส (pH = 13) แสดงว่าอิทธิพล

ความเป็นกรด-เบสของน้ำมีความสำคัญต่อค่าการละลายระหว่างกันของวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไอออนิก



รูปที่ 6 การละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+สารตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และ 0.1 เมกะปาสกาล

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าอิทธิพลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสส่งผลต่ออันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างน้ำกับสารสกัด Aliquat 336 ซึ่งเป็นสารสกัดไอออนิกที่มีโครงสร้างเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) จึงรับโปรตอน (H^+) ได้โดยสารที่ทำหน้าที่รับโปรตอนจะถือว่าเป็นเบสตามนิยามของเบรินเตด-ลาวรี [31] ดังนั้นน้ำที่เป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) จะมีปริมาณของโปรตอนอยู่มากกว่าน้ำที่เป็นเบส (pH = 13) จึงส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับสารสกัด Aliquat 336 ได้ดีกว่าน้ำที่เป็นเบส (pH = 13) ทำให้มีค่าการละลายมากกว่าด้วย สำหรับน้ำที่เป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) มีค่าการละลายที่ใกล้เคียงกัน เพราะว่าโครงสร้างแอมโมเนียมไอออนซึ่งเป็นเบสอ่อนสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำที่มีโปรตอนได้ดี จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า

ความเป็นกรด-เบสของน้ำมีผลต่อการละลายกับสารสกัดไอออนิก นอกจากนี้เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 พบว่าค่าการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสได้เพิ่มขึ้นด้วยโดยสังเกตจากพื้นที่ใต้กราฟการละลาย ทั้งนี้เกิดจากมีปริมาณของแอมโมเนียมไอออนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการรับโปรตอนเพิ่มขึ้นเพื่อเกิดอันตรกิริยากับน้ำที่เป็นกรดและกลางได้มากขึ้นด้วย นั่นแสดงว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ความเป็นกรด-เบสของน้ำมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายในวัฏภาคน้ำได้มากขึ้น เพราะความสามารถในการรับโปรตอนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลเส้นเชื่อมระหว่างวัฏภาคน้ำมันกับน้ำหรือเส้นไทไลน์ (Tie-line) สำหรับระบบสามองค์ประกอบ เมื่อนำค่าข้อมูลการทดลองที่ได้พล็อตลงบนกราฟการละลายจะได้ดังรูปที่ 7-10 พบว่าความชันของเส้นไทไลน์แสดงให้เห็นถึงความสามารถการละลายของสารสกัด Aliquat 336 ในวัฏภาคน้ำมันเกิดขึ้นได้ดีกว่าในวัฏภาคน้ำ



ตารางที่ 7 เศษส่วนมวล (Z) ของข้อมูลระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + Aliquat 336 (2) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ในวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Cyclohexane (3)							
25	2.0	0.0426	0.2181	0.7393	0.9996	0.0002	0.0002
	7.0	0.0454	0.2312	0.7234	0.9997	0.0001	0.0002
	13.0	0.0404	0.2381	0.7215	0.9996	0.0002	0.0002
50	2.0	0.0909	0.4629	0.4462	0.9992	0.0007	0.0001
	7.0	0.0892	0.4745	0.4363	0.9996	0.0002	0.0002
	13.0	0.0804	0.4985	0.4211	0.9991	0.0008	0.0001
75	2.0	0.1365	0.6722	0.1913	0.9984	0.0015	0.0001
	7.0	0.1385	0.6853	0.1762	0.9998	0.0001	0.0001
	13.0	0.1169	0.7149	0.1682	0.9992	0.0008	0.0000
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย 1-Dodecanol (3)							
25	2.0	0.0264	0.2526	0.7210	0.9993	0.0004	0.0003
	7.0	0.0249	0.2557	0.7194	0.9996	0.0002	0.0002
	13.0	0.0181	0.2609	0.7210	0.9994	0.0004	0.0002
50	2.0	0.0556	0.4765	0.4679	0.9989	0.0009	0.0002
	7.0	0.0541	0.4786	0.4673	0.9993	0.0006	0.0001
	13.0	0.0365	0.4978	0.4657	0.9990	0.0009	0.0001
75	2.0	0.1097	0.6726	0.2177	0.9985	0.0014	0.0001
	7.0	0.1120	0.6786	0.2094	0.9991	0.0008	0.0001
	13.0	0.0875	0.7130	0.1995	0.9987	0.0012	0.0001

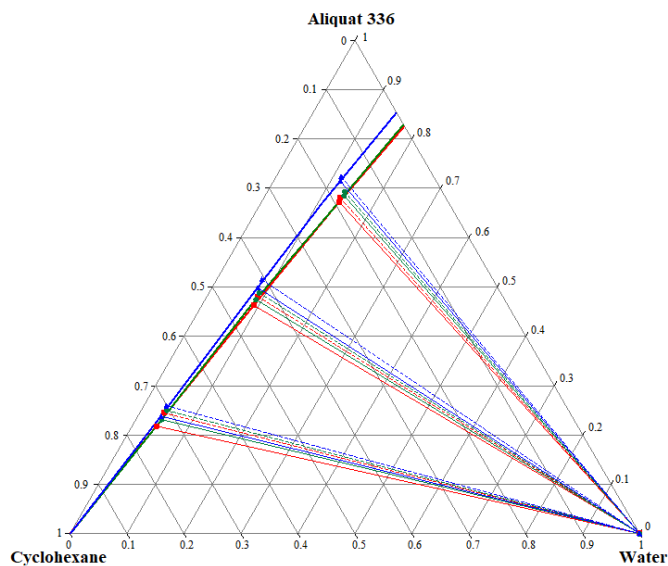
ตารางที่ 8 เศษส่วนมวล (Z) ของข้อมูลระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + Aliquat 336 (2) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ในวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสกาล (ต่อ)

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Kerosene (3)							
25	2.0	0.0449	0.2291	0.7260	0.9992	0.0003	0.0005
	7.0	0.0427	0.2355	0.7218	0.9992	0.0004	0.0004
	13.0	0.0374	0.2567	0.7059	0.9993	0.0004	0.0003
50	2.0	0.0865	0.4648	0.4487	0.9990	0.0005	0.0005
	7.0	0.0858	0.4731	0.4411	0.9990	0.0007	0.0003
	13.0	0.0797	0.4959	0.4244	0.9992	0.0005	0.0003
75	2.0	0.1315	0.6505	0.2180	0.9990	0.0006	0.0004
	7.0	0.1227	0.6646	0.2127	0.9986	0.0012	0.0002
	13.0	0.1068	0.6848	0.2084	0.9986	0.0013	0.0001
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Toluene (3)							
25	2.0	0.0386	0.2435	0.7179	0.9995	0.0002	0.0003
	7.0	0.0377	0.2551	0.7072	0.9995	0.0002	0.0003
	13.0	0.0348	0.2707	0.6945	0.9997	0.0001	0.0002
50	2.0	0.0756	0.4589	0.4655	0.9989	0.0008	0.0003
	7.0	0.0748	0.4614	0.4638	0.9994	0.0004	0.0002
	13.0	0.0697	0.4700	0.4603	0.9994	0.0004	0.0002
75	2.0	0.1256	0.6592	0.2152	0.9985	0.0014	0.0001
	7.0	0.1252	0.6633	0.2115	0.9991	0.0007	0.0002
	13.0	0.1106	0.6782	0.2112	0.9991	0.0008	0.0001

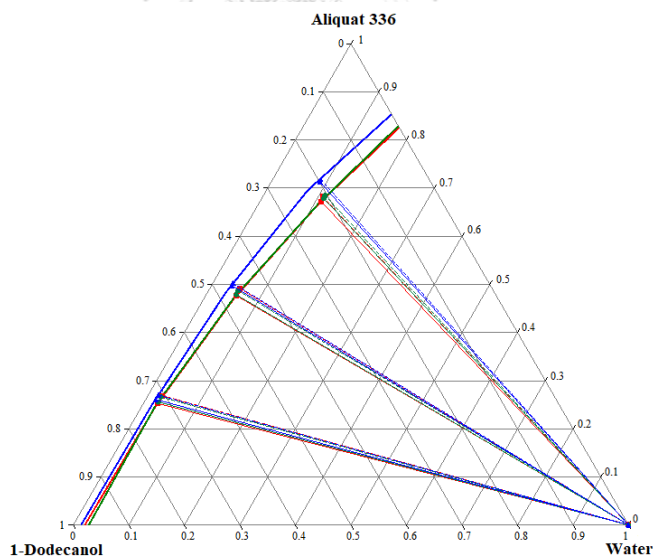
เมื่อ Z₁ คือ เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส

Z₂ คือ เศษส่วนมวลของสารสกัด Aliquat 336

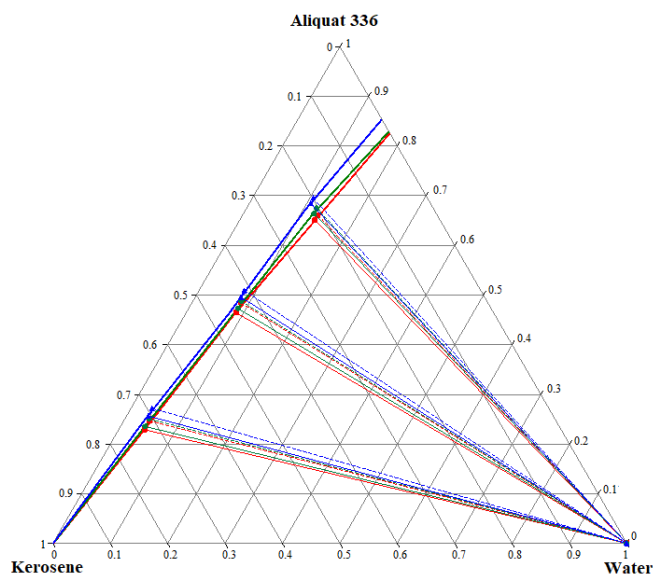
Z₃ คือ เศษส่วนมวลของตัวทำละลายอินทรีย์



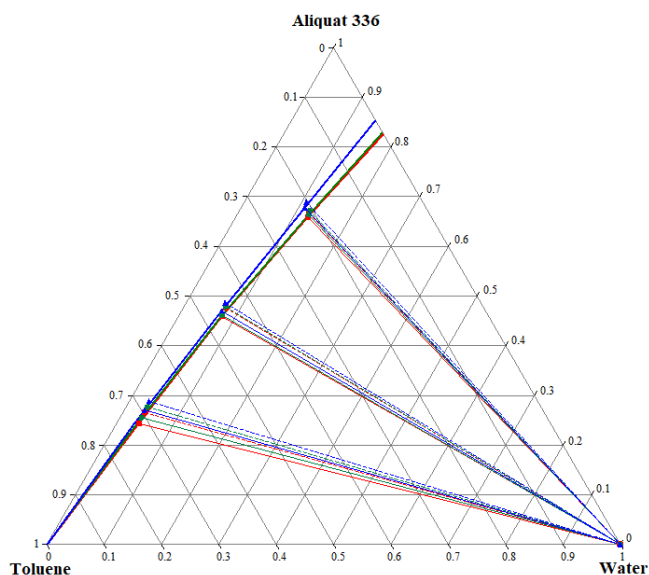
รูปที่ 7 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือเส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, (—) = น้ำที่ pH 2.0, (—) = น้ำที่ pH 7.0, (—) = น้ำที่ pH 13.0



รูปที่ 8 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายโดเดคานอล ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือเส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, (—) = น้ำที่ pH 2.0, (—) = น้ำที่ pH 7.0, (—) = น้ำที่ pH 13.0



รูปที่ 9 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายเคโรซีน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือเส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, (—) = น้ำที่ pH 2.0, (—) = น้ำที่ pH 7.0, (—) = น้ำที่ pH 13.0



รูปที่ 10 การละลายและเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+สารสกัด Aliquat 336+ สารตัวทำละลายโทลูอีน ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล; เส้นประคือเส้นไทไลน์ที่ได้จากการคำนวณ, เส้นทึบคือ เส้นไทไลน์ที่ได้จากการทดลอง, (—) = น้ำที่ pH 2.0, (—) = น้ำที่ pH 7.0, (—) = น้ำที่ pH 13.0

4.2 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี NRTL

แบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี NRTL ถูกนำมาใช้คำนวณหาค่าไทโไลน์ เพื่อดูความสัมพันธ์กับข้อมูลไทโไลน์ที่ได้จากการทดลอง ณ อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล แบบจำลองนี้แสดงค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี (Activity coefficient, γ_i) ที่สภาวะสมดุล โดยความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีและค่าเศษส่วนโมลของสารแต่ละชนิด (i) ในวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมัน แสดงได้ดังสมการที่ 4.2 และ 4.3

$$z_i^I \gamma_i^I = z_i^{II} \gamma_i^{II} \quad (4.2)$$

$$\sum z_i^I = \sum z_i^{II} = 1 \quad (4.3)$$

เมื่อ z_i^I , z_i^{II} , γ_i^I และ γ_i^{II} คือ เศษส่วนโมลและสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีของสาร i ในวัฏภาคน้ำ (I) และวัฏภาคน้ำมัน (II) ตามลำดับ

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี สามารถหาได้จากแบบจำลอง NRTL ซึ่งแสดงในเทอมของ γ_i ดังสมการที่ 4.4

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \tau_{ji} G_{ji} z_j}{\sum_{k=1}^3 G_{ki} z_k} = \sum_{j=1}^3 \frac{z_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^3 G_{kj} z_k} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^3 z_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^3 G_{kj} z_k} \right) \quad (4.4)$$

เมื่อ τ_{ij} , τ_{ji} , τ_{kj} , G_{ij} , G_{ji} , G_{ki} และ G_{kj} คือ ตัวแปรปรับค่า และ i, j, k คือดัชนีสำหรับสารทุกองค์ประกอบ

ตัวแปรปรับค่าถูกคำนวณตามสมการ (4.5) ถึง (4.7)

$$\tau_{ij} = \frac{b_{ij}}{T} \quad (4.5)$$

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ji} = c_{ij} \quad (4.6)$$

$$G_{ij} = \exp(-\alpha_{ij} \tau_{ij}) \quad (4.7)$$

เมื่อ a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} และ e_{ij} คือ ตัวแปรอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด (Binary interaction parameters) ตลอดจนตัวแปร α_{ij} และ α_{ji} คือตัวแปรแบบไม่สุ่ม (Non-randomness parameters)

ตารางที่ 9 แสดงค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด (b_{ij} และ b_{ji}) ในระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) โดยมีค่าของตัวแปรแบบไม่สุ่มที่เหมาะสมเท่ากับ 0.2 [20] เมื่อนำค่าตัวแปรต่างๆ แทนในสมการที่ (4.4) ร่วมกับการคำนวณด้วยสมการที่ (4.2) จะได้ค่าเศษส่วน โมลของสารแต่ละชนิด จากนั้นจึงนำไปแปลงค่าให้เป็นเศษส่วนมวลต่อไป จากผลการคำนวณพบว่าค่าเศษส่วนมวลมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง สำหรับความถูกต้องของค่าตัวแปรอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสามารถยืนยันได้โดยวิธีของ Marcilla และคณะ [21] ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบสองวิธีคือ (1) การตรวจสอบความสอดคล้องของค่าพลังงาน Gibb กับค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด และ (2) การตรวจสอบความสอดคล้องของค่าพลังงาน Gibb กับค่าไทไลน์ ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการยืนยันวิธีการทั้งสองคือ Graphical user interface writer in MatLab software code โดยผลการยืนยันความถูกต้องแสดงในรูปแบบของการพล็อตกราฟ G_M ดังแสดงในรูปที่ 11-13



ตารางที่ 8 ค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับ น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

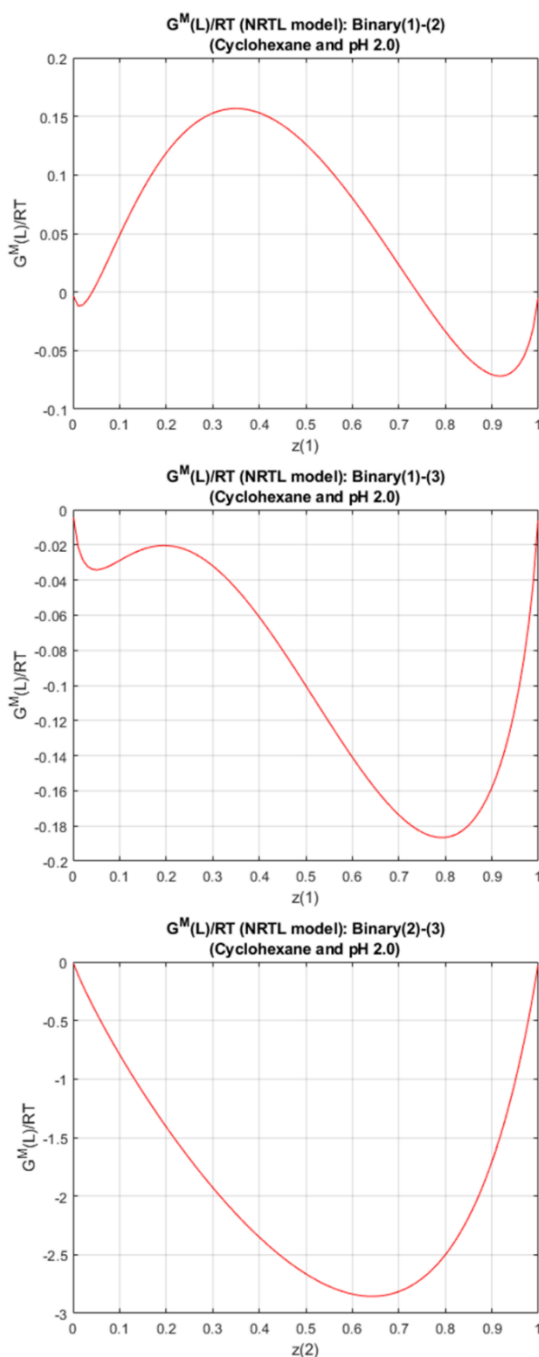
ระบบสามองค์ประกอบ	pH _w	i-j	$\alpha = 0.2$	
			b _{ij} (K)	b _{ji} (K)
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Cyclohexane (3)	2.0	1-2	299.8931	1180.0024
		1-3	20,271.9764	1104.6970
		2-3	819.0318	-1918.3200
	7.0	1-2	331.6821	701.4304
		1-3	21,034.2293	1183.4829
		2-3	706.0113	-1915.7492
	13.0	1-2	109.8093	1160.0558
		1-3	20,086.3072	1102.1693
		2-3	870.0572	-1958.6519
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย 1-Dodecanol (3)	2.0	1-2	216.3511	718.3927
		1-3	19,461.1258	1102.7163
		2-3	9.7711	-1884.2923
	7.0	1-2	217.6142	626.4153
		1-3	20,718.3381	1101.1600
		2-3	11.2633	-1887.9318
	13.0	1-2	415.4718	297.2462
		1-3	415.4718	297.2462
		2-3	20,0632.1033	1260.6827

ตารางที่ 9 ค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับ น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน และความดัน 0.1 เมกะปาสคาล (ต่อ)

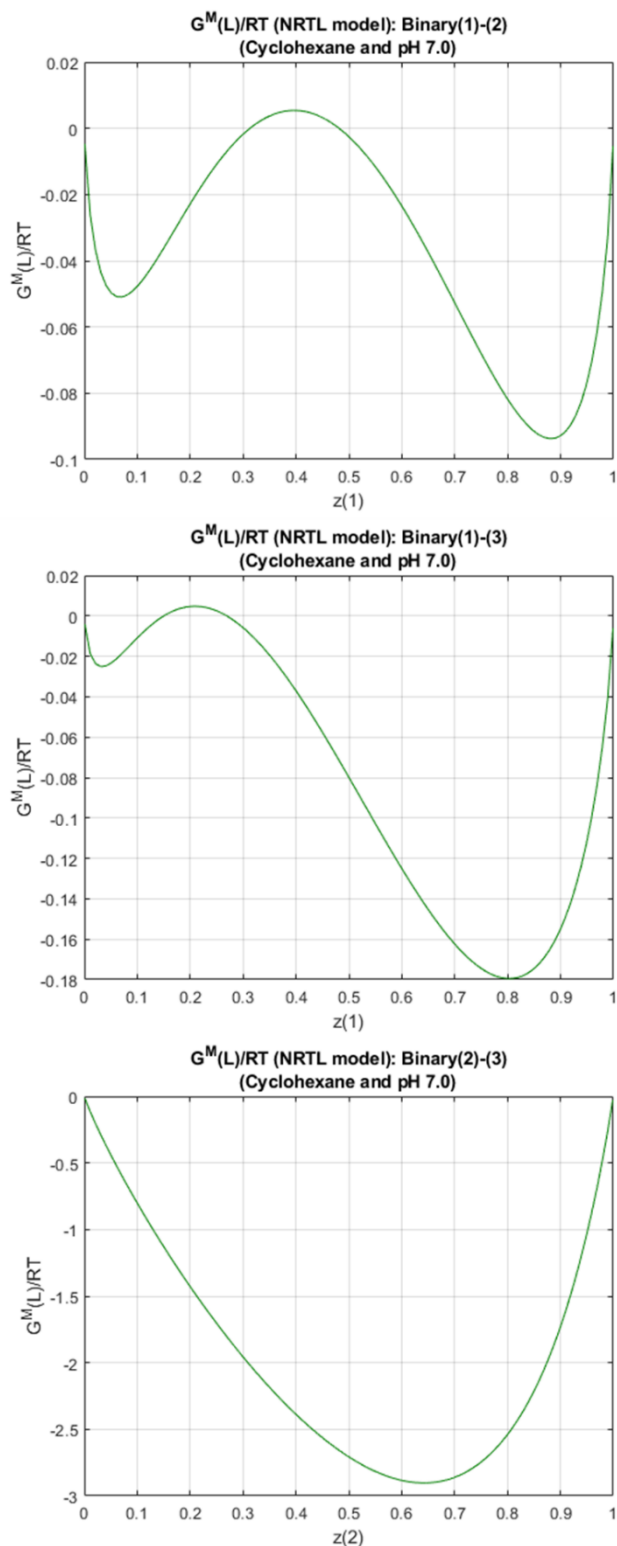
ระบบตามองค์ประกอบ	pH _w	i-j	$\alpha = 0.2$	
			b_{ij} (K)	b_{ji} (K)
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Kerosene (3)	2.0	1-2	201.6822	1004.2864
		1-3	18,282.1372	1169.3142
		2-3	917.2285	-1864.3318
	7.0	1-2	268.3417	885.1833
		1-3	18,953.2617	1157.4819
		2-3	612.7128	-1868.8211
	13.0	1-2	261.0718	893.4413
		1-3	18,984.1527	1157.2318
		2-3	621.0317	-1869.2972
น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Toluene (3)	2.0	1-2	146.3812	1052.1573
		1-3	18,829.3642	1089.5193
		2-3	826.5184	-2184.2618
	7.0	1-2	181.3924	1058.1265
		1-3	26,726.4263	1081.9215
		2-3	481.2912	-2023.1483
	13.0	1-2	111.6248	1069.1083
		1-3	29,462.3618	1080.2819
		2-3	472.1658	-2018.2113

จากรูปที่ 11-13 กราฟ G_M ของอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดคือ (1)-(2) (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสกับสารสกัด Aliquat 336) และ(1)-(3) (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสกับสารตัวทำละลายอินทรีย์) บอถึงการละลายเข้ากันได้บางส่วน ซึ่งพิจารณาจากจุดต่ำสุดของเส้นโค้งสองจุด และกราฟ G_M ของอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดคือ (2)-(3) (สารสกัด Aliquat 336 กับสารตัวทำละลายอินทรีย์) บอถึงการละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ โดยพิจารณาจากจุดต่ำสุดของเส้นโค้งที่มีเพียงจุดเดียว ซึ่งลักษณะของกราฟการละลายของทั้งสองแบบที่ได้สอดคล้องกับผลของค่าการละลาย ส่วนรูปที่ 14-16 แสดงความสอดคล้องของเส้นไทไลน์และกราฟ G_M พบว่า

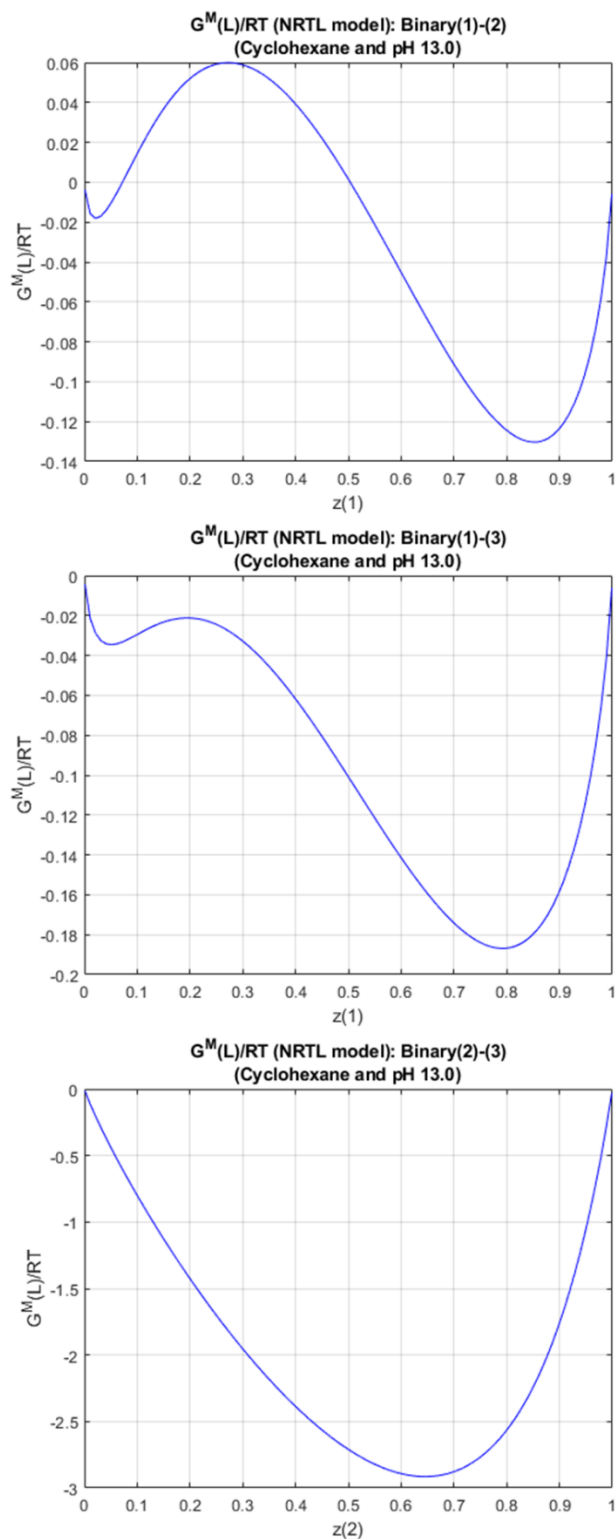
มีความสอดคล้องกัน เนื่องจากไม่เกิดการตัดกันของเส้นกราฟทั้งสอง จากวิธีการตรวจสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดมีความน่าเชื่อถือ



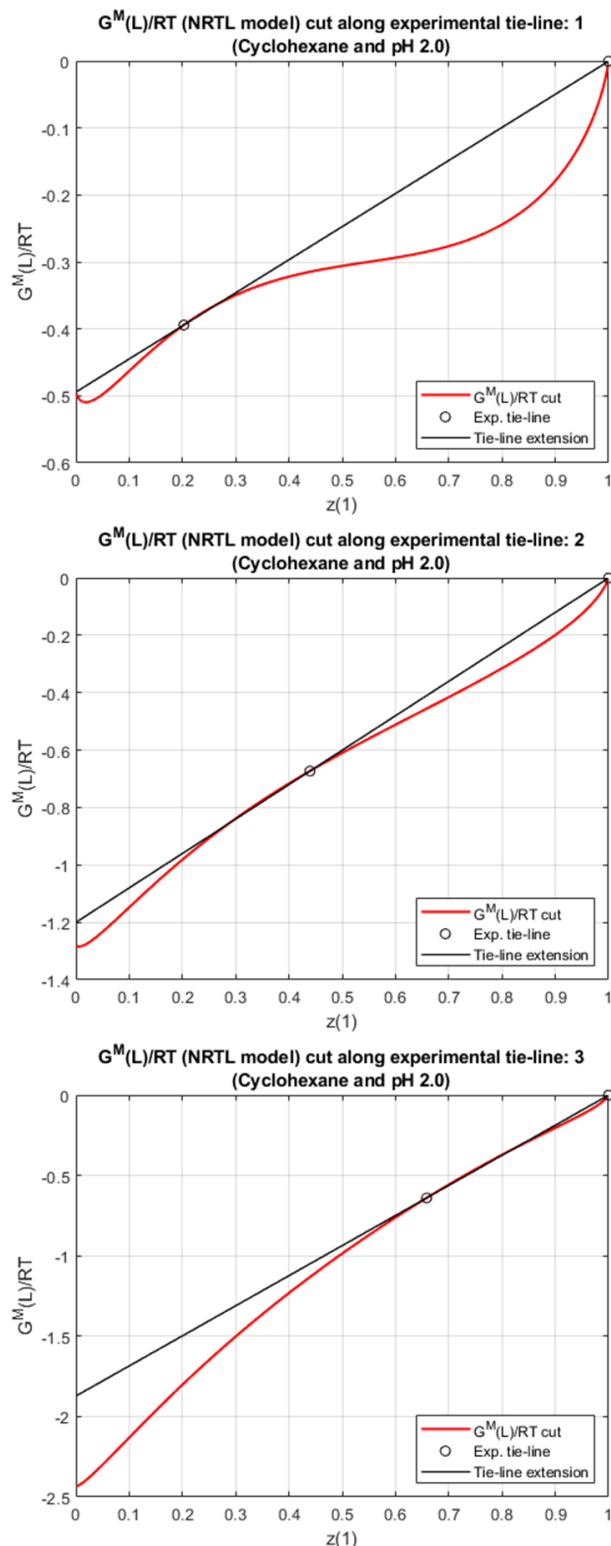
รูปที่ 11 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล



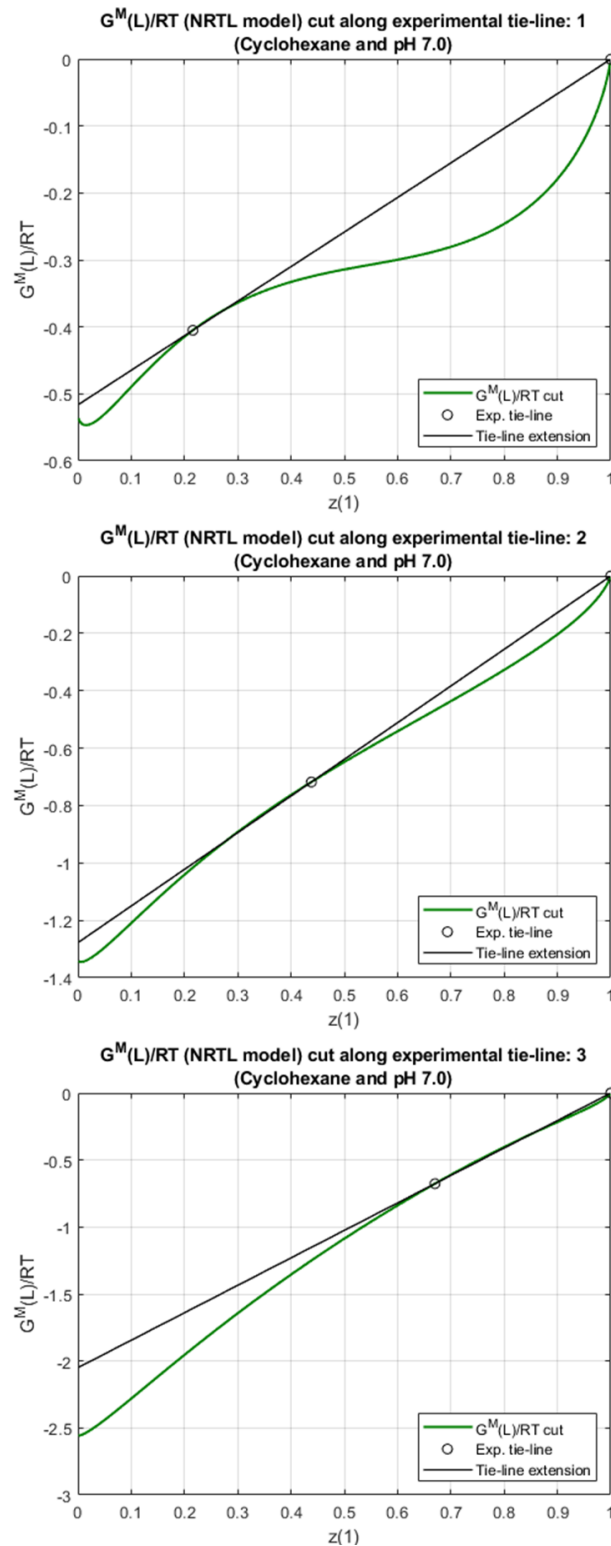
รูปที่ 12 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกลาง pH = 7 (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล



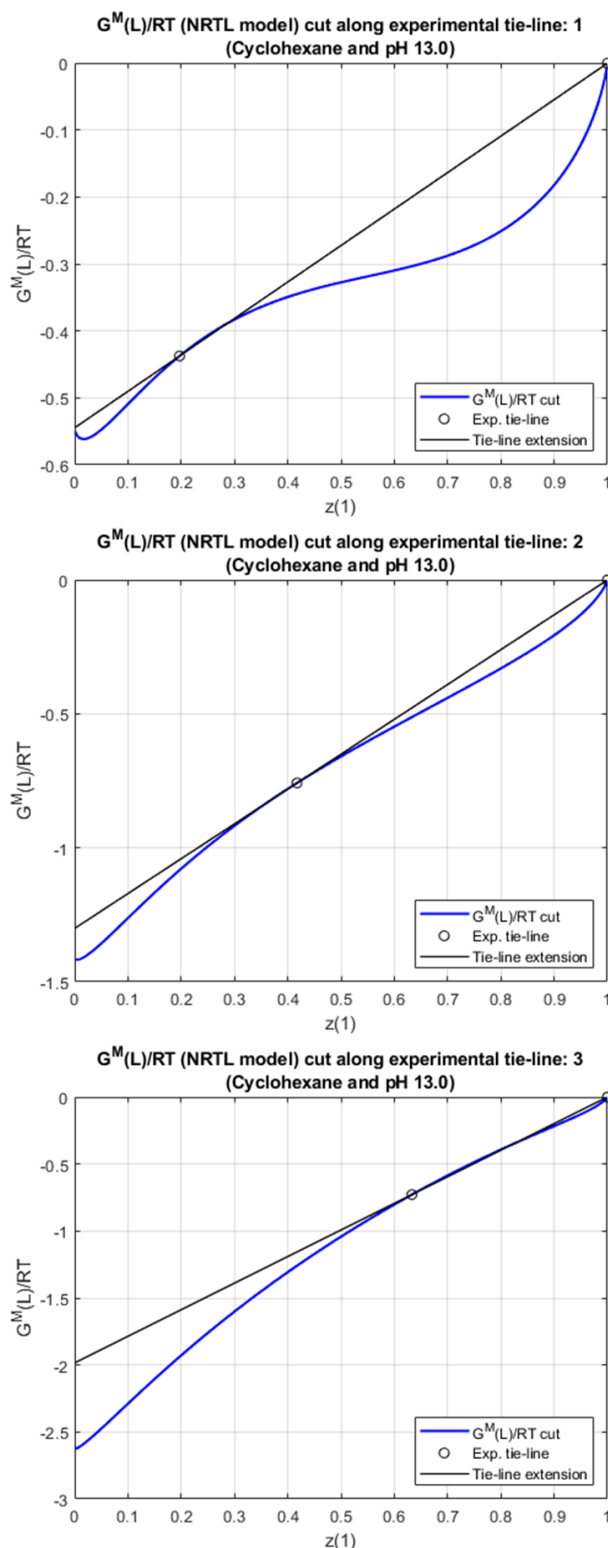
รูปที่ 13 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นเบส pH = 13 (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล



รูปที่ 14 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล



รูปที่ 15 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกลาง pH = 7 (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล



รูปที่ 16 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นเบส pH = 13 (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

ตารางที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของเส้นไทโคนที่หาได้จากแบบจำลอง และผลการทดลองในระบบสามองค์ประกอบ ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ถูกแสดงไว้แล้วใน รูปที่ 4.2 ถึง 4.5 โดยความสัมพันธ์ถูกยืนยันด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Percent root-mean square deviation, %rmsd) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ 4.8

$$\%rmsd = \left(\frac{\sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 (Z_{ijk}^{Expt.} - Z_{ijk}^{Cal.})^2}{6q} \right)^{1/2} \times 100 \quad (4.8)$$

เมื่อ q คือ จำนวนเส้นไทโคนที่ $Z^{Expt.}$ และ $Z^{Cal.}$ คือ เศษส่วนมวลที่ได้จากการทดลอง และแบบจำลอง ตามลำดับ, i คือ ชนิดสาร, j คือ วัฏภาค และ k คือ 1, 2, ..., q จากตารางที่ 10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.94 % แสดงว่าค่าจากการทดลองใกล้เคียงกับค่าจากแบบจำลองจึงยืนยันได้ว่าแบบจำลอง NRTL สามารถทำนายผลของไทโคนที่ในการทดลองได้อย่างแม่นยำ [20]

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของไทโคนที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดลอง สำหรับระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Cyclohexane (3)										
ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน				วัฏภาคน้ำ				rmsd (%)
		Z ₁₃		Z ₂₃		Z ₁₁		Z ₂₁		
		NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	
25	2.0	0.0420	0.0426	0.2448	0.2181	0.9996	0.9992	0.0002	0.0002	0.94
	7.0	0.0448	0.0454	0.2499	0.2312	0.9984	0.9997	0.0001	0.0001	
	13.0	0.0395	0.0404	0.2593	0.2381	0.9998	0.9996	0.0002	0.0002	
50	2.0	0.0885	0.0909	0.4811	0.4629	0.9992	0.9992	0.0007	0.0007	
	7.0	0.0883	0.0892	0.4879	0.4745	0.9996	0.9996	0.0002	0.0002	
	13.0	0.0787	0.0804	0.5154	0.4985	0.9991	0.9991	0.0008	0.0008	
75	2.0	0.1330	0.1365	0.6816	0.6722	0.9984	0.9984	0.0015	0.0015	
	7.0	0.1352	0.1385	0.6933	0.6853	0.9998	0.9998	0.0001	0.0001	
	13.0	0.1142	0.1169	0.7239	0.7149	0.9992	0.9992	0.0008	0.0008	

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของโหนดที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดลอง สำหรับระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล (ต่อ)

น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย 1-Dodecanol (3)										
ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน				วัฏภาคน้ำ				rmsd (%)
		Z ₁₃		Z ₂₃		Z ₁₁		Z ₂₁		
		NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	
25	2.0	0.0261	0.0264	0.2688	0.2526	0.9993	0.9993	0.0004	0.0004	0.58
	7.0	0.0246	0.0249	0.2661	0.2557	0.9996	0.9996	0.0002	0.0002	
	13.0	0.0179	0.0181	0.2701	0.2609	0.9994	0.9994	0.0004	0.0004	
50	2.0	0.0549	0.0556	0.4913	0.4765	0.9989	0.9989	0.0009	0.0009	
	7.0	0.0534	0.0541	0.4869	0.4786	0.9993	0.9993	0.0006	0.0006	
	13.0	0.0361	0.0365	0.5025	0.4978	0.9990	0.9990	0.0009	0.0009	
75	2.0	0.1080	0.1097	0.6825	0.6726	0.9985	0.9985	0.0014	0.0014	
	7.0	0.1106	0.1120	0.6851	0.6786	0.9991	0.9991	0.0008	0.0008	
	13.0	0.0867	0.0875	0.7181	0.7130	0.9987	0.9987	0.0012	0.0012	

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของไอน้ำไอน้ำที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดลอง สำหรับระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล (ต่อ)

น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Kerosene (3)										
ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน				วัฏภาคน้ำ				rmsd (%)
		Z ₁₃		Z ₂₃		Z ₁₁		Z ₂₁		
		NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	
25	2.0	0.0442	0.0449	0.2470	0.2291	0.9992	0.9992	0.0003	0.0003	0.82
	7.0	0.0421	0.0427	0.2508	0.2355	0.9992	0.9992	0.0004	0.0004	
	13.0	0.0368	0.0374	0.2719	0.2567	0.9993	0.9993	0.0004	0.0004	
50	2.0	0.0846	0.0865	0.4850	0.4648	0.9990	0.9990	0.0005	0.0005	
	7.0	0.0843	0.0858	0.4876	0.4731	0.9990	0.9990	0.0007	0.0007	
	13.0	0.0784	0.0797	0.5093	0.4959	0.9992	0.9992	0.0005	0.0005	
75	2.0	0.1309	0.1315	0.6614	0.6505	0.9990	0.9990	0.0006	0.0006	
	7.0	0.1217	0.1227	0.6753	0.6646	0.9986	0.9986	0.0012	0.0012	
	13.0	0.1059	0.1068	0.6953	0.6848	0.9986	0.9986	0.0013	0.0013	

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ของค่าเศษส่วนมวลของโชนีไนด์ที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดลอง สำหรับระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+ สารตัวทำละลายอินทรีย์ (3)) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล (ต่อ)

น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลาย Toluene (3)										
ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	วัฏภาคน้ำมัน				วัฏภาคน้ำ				rmsd (%)
		Z ₁₃		Z ₂₃		Z ₁₁		Z ₂₁		
		NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	NRTL	Expt.	
25	2.0	0.0375	0.0386	0.2656	0.2435	0.9995	0.9995	0.0002	0.0002	0.91
	7.0	0.0367	0.0377	0.2770	0.2551	0.9995	0.9995	0.0002	0.0002	
	13.0	0.0341	0.0348	0.2881	0.2707	0.9997	0.9997	0.0001	0.0001	
50	2.0	0.0735	0.0756	0.4763	0.4589	0.9990	0.9990	0.0008	0.0008	
	7.0	0.0728	0.0748	0.4782	0.4614	0.9994	0.9994	0.0004	0.0004	
	13.0	0.0675	0.0697	0.4864	0.4700	0.9995	0.9995	0.0004	0.0004	
75	2.0	0.1225	0.1256	0.6682	0.6592	0.9985	0.9985	0.0014	0.0014	
	7.0	0.1218	0.1252	0.6721	0.6633	0.9991	0.9991	0.0007	0.0007	
	13.0	0.1076	0.1106	0.6892	0.6782	0.9991	0.9991	0.0008	0.0008	

เมื่อ Z_{13} คือ เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในวัฏภาคน้ำมัน

Z_{23} คือ เศษส่วนมวลของสารสกัด Aliquat 336 ในวัฏภาคน้ำมัน

Z_{11} คือ เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในวัฏภาคน้ำ

Z_{13} คือ เศษส่วนมวลของน้ำสารสกัด Aliquat 336 ในวัฏภาคน้ำ

4.3 การหาค่าสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับแพลทินัมด้วยวิธีพื้นผิว ตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

แบบจำลองพหุนามกำลังสอง (Second-order polynomial model) ถูกนำมาใช้สำหรับการทำนายผลของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมดังสมการที่ (4.9) และ (4.10) ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสกัด (\%Extraction)} = 42.76 + 24.98X_1 + 3.64X_2 + 0.96X_3 + 2.39X_1X_1 - 9.32X_2X_2$$

$$+ 9.59X_3X_3 + 7.78X_1X_2 + 1.44X_1X_3 + 3.99X_2X_3 \quad (4.9)$$

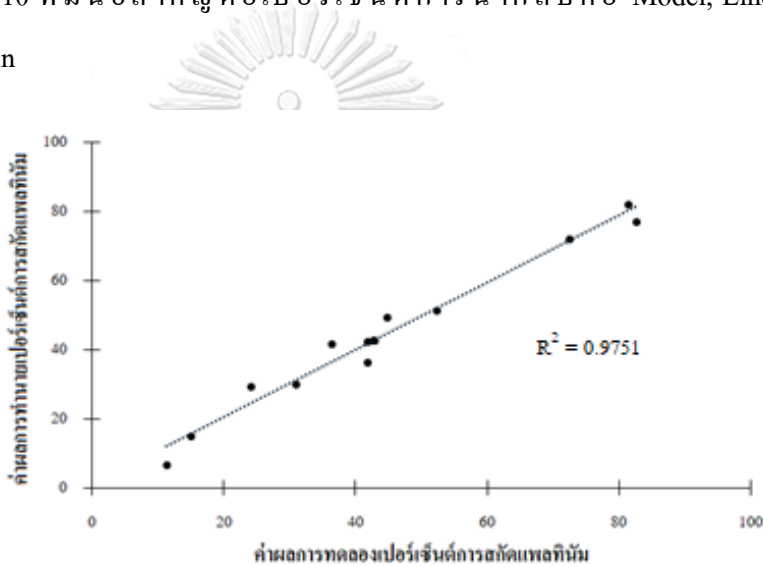
$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การนำกลับ (\%Stripping)} = & 6.94 - 15.28X_1 + 0.25X_2 + 3.28X_3 + 41.62X_1X_1 \\ & + 17.57X_2X_2 - 9.64X_3X_3 - 2.67X_1X_2 + 8.92X_1X_3 \\ & + 0.48X_2X_3 \end{aligned} \quad (4.10)$$

ตารางที่ 10 ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมโดยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยวิธีพื้นผิวตอบแบบบ็อก-เบห์นเคน

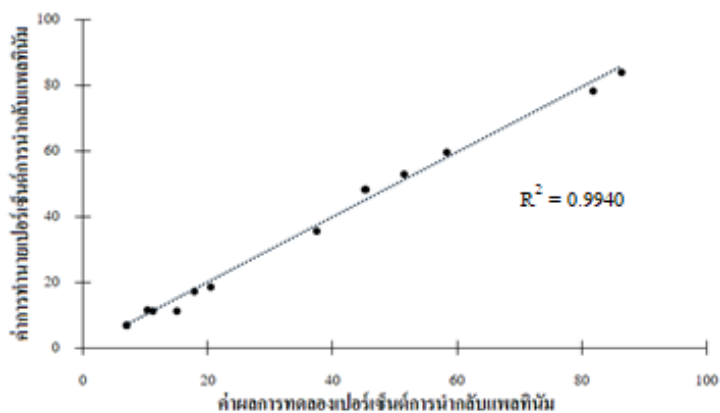
การทดลอง	ระดับตัวแปร			เปอร์เซ็นต์การสกัด		เปอร์เซ็นต์การนำกลับ	
	X ₁	X ₂	X ₃	การทดลอง	การทำนาย	การทดลอง	การทำนาย
1	-1	-1	0	14.92	14.99	81.66	78.49
2	+1	-1	0	44.78	49.39	51.39	53.27
3	-1	+1	0	11.33	6.71	86.22	84.33
4	+1	+1	0	72.31	72.23	45.26	48.43
5	-1	0	-1	30.97	30.24	58.26	59.84
6	+1	0	-1	82.59	77.32	14.92	11.44
7	-1	0	+1	24.01	29.28	45.09	48.56
8	+1	0	+1	81.40	82.12	37.42	35.84
9	0	-1	-1	41.76	42.42	10.21	11.82
10	0	+1	-1	36.39	41.72	11.06	11.36
11	0	-1	+1	41.70	36.36	17.74	17.42
12	0	+1	+1	52.29	51.62	20.49	18.88
13	0	0	0	42.71	42.76	6.95	6.94
14	0	0	0	42.77	42.76	6.88	6.94
15	0	0	0	42.79	42.76	7.00	6.94

จากตารางที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับที่ได้จากการทำนายจะถูกเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง สำหรับความแม่นยำในการเปรียบเทียบถูกแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficients of determination, R²) ดังรูปที่ 17 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับมีค่า 0.9751 และ 0.9940 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีความแม่นยำสูง และเมื่อนำผลค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด

และการนำกลับแพลทินัมที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 17 เพื่อหาผลกระทบของตัวแปร ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และสร้างสมการเชิงถดถอย (Regression equation) เพื่ออธิบายเหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับแพลทินัม โดยพิจารณาค่าสภาวะที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและนำกลับสูงสุด นอกจากนี้ยังคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยซึ่งกำหนดให้ระดับความน่าเชื่อถือของสมการมีค่าร้อยละ 95 และระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 [32] และค่าวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 12 โดยพบว่าพจน์ของสมการที่ 4.9 ที่มีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดคือ Model, Linear และ Square ส่วนพจน์ของสมการที่ 4.10 ที่มีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การนำกลับคือ Model, Linear, Square และ 2-Way reaction



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



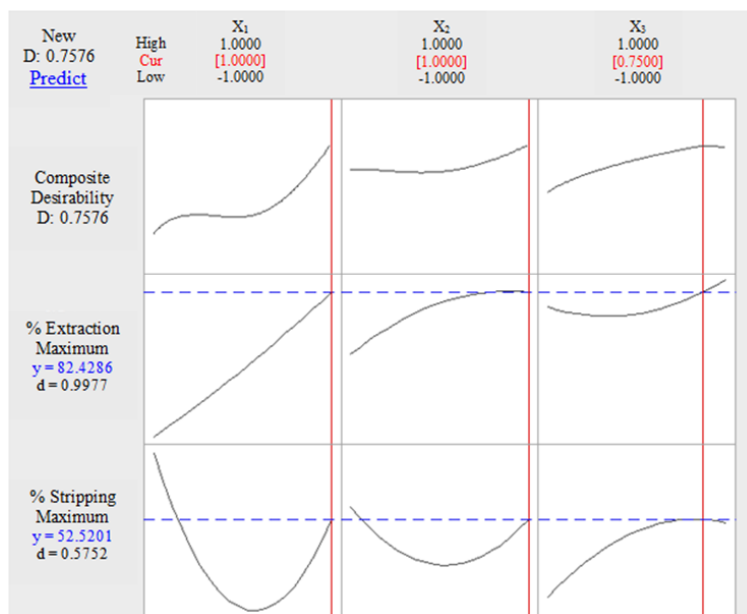
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณ

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับการสกัดและนำกลับแพลทินัม ด้วยระบบเยื่อแผ่นที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

พจน์	ค่า F	ค่า p
การสกัดแพลทินัม		
Model	21.780	0.002
Linear	54.180	0.000
Square	7.810	0.0025
2-Way interaction	3.330	0.114*
การนำกลับแพลทินัม		
Model	91.580	0.000
Linear	52.750	0.000
Square	212.630	0.000
2-Way interaction	9.380	0.017

หมายเหตุ: * คือ ค่าที่ไม่มีนัยสำคัญ

รูปที่ 18 แสดงการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรคือ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เท่ากับ 15.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 375.0 มิลลิลิตรต่อนาที นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมที่ได้จากรูปที่ 4.13 ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งพบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน จึงแสดงถึงความน่าเชื่อถือของวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนที่นำมาใช้



รูปที่ 18 ผลการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัม รวมทั้งค่าสถานะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปร

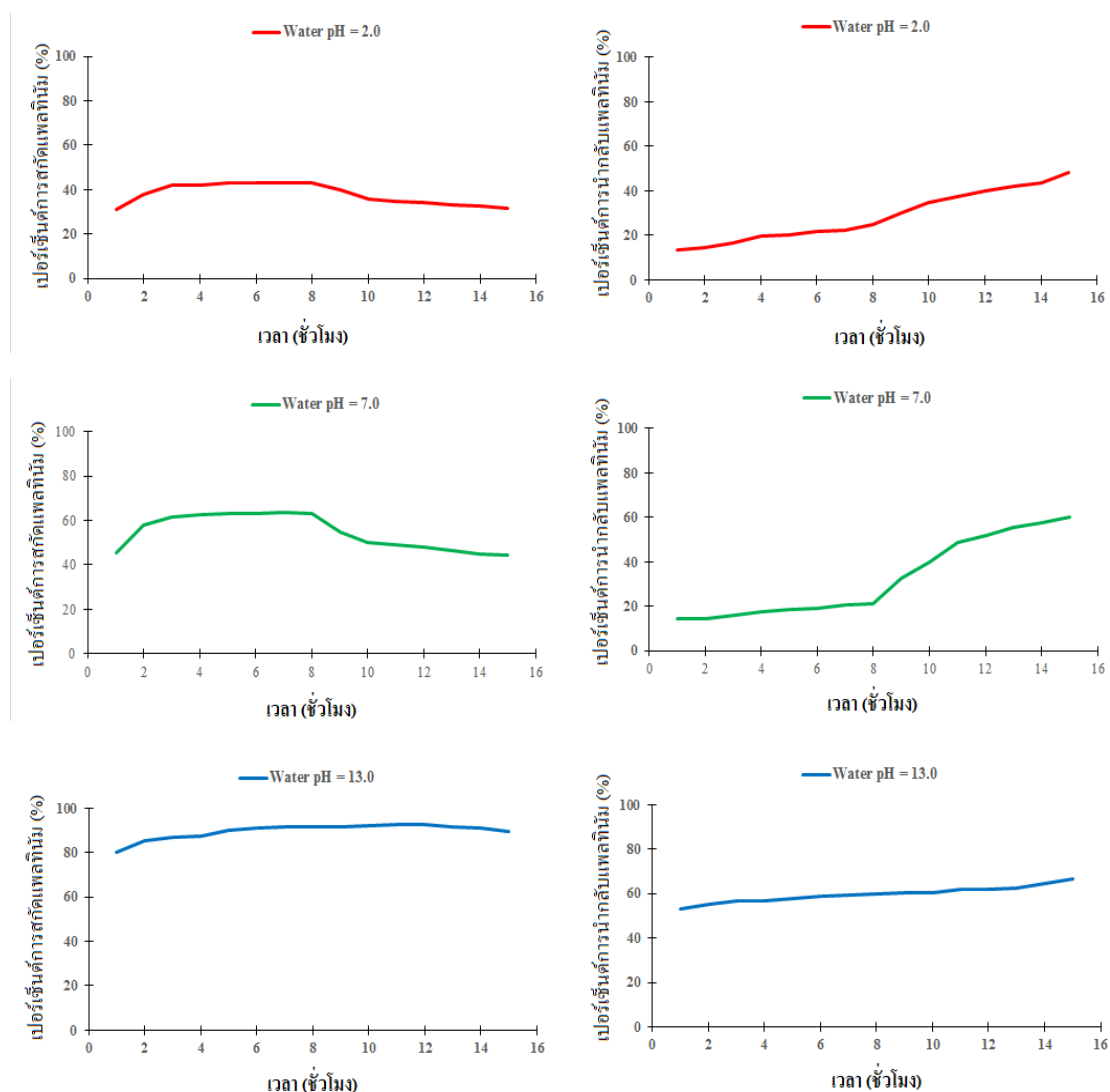
ตารางที่ 12 ค่าการทำนายเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมภายใต้สถานะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ

Model desirability	ความเป็นกรด-เบสสารละลายป้อน	ความเข้มข้นของสารสกัดไอออนิก	อัตราการไหลของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การสกัด		เปอร์เซ็นต์การนำกลับ	
				ผลการทดลอง	ผลการทำนาย	ผลการทดลอง	ผลการทำนาย
0.7576	12.0	15.0	375.0	80.24	82.43	52.91	52.52

4.4 ความเสถียรของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในระบบเมมเบรนที่มีตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง

รูปที่ 19 แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัมเทียบกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบ โดยกำหนดให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายนำกลับเท่ากับ 0.2 เพื่อตรวจสอบความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลวที่อยู่ในรูพรุนของตัวรองรับ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ทั้งสองในกรณีของค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 2.0 และ 7.0 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง แต่ในกรณีของค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 13.0 เส้นกราฟยังมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง ซึ่งแนวโน้มที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่า

สารละลายป้อนที่มีคุณสมบัติเป็นเบสช่วยให้เยื่อแผ่นเหลวมีความเสถียรมากกว่าสารละลายป้อนที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและกลาง ในขณะที่ค่าการละลายระหว่างวัฏภาคน้ำที่เป็นเบสกับวัฏภาคน้ำมันมีค่าน้อย เมื่อพิจารณาจากกราฟการละลาย จึงกล่าวได้อีกอย่างคือ ความเสถียรของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวสามารถประเมินได้จากการศึกษาการละลาย และอิทธิพลของความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคน้ำ



รูปที่ 19 เปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับแพลทินัม ณ ค่าความเป็นกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) ของวัฏภาคสารละลายป้อนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

4.5 สรุปผลการทดลอง

น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสส่งผลต่อค่าการละลาย และความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยกำหนดความเป็นกรด-เบสของน้ำที่ใช้ในการศึกษาคือกรด (pH = 2) กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) พบว่าน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) สามารถละลายกับน้ำมันได้ใกล้เคียงกัน และมีค่าการละลายมากกว่าน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นเบส (pH = 13) อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการละลายยังขึ้นอยู่กับปริมาณของสารสกัด Aliquat 336 และความชันของเส้นไทไลน์ แสดงถึงความสามารถในการละลายของสารสกัด Aliquat 336 ใน วัฏภาคน้ำมันได้ดีกว่าใน วัฏภาคน้ำ นอกจากนี้แบบจำลองแยกทวิติ NRTL มีความน่าเชื่อถือในการทำนายค่าเศษส่วนมวลของไทไลน์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเสถียรของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ และผลการศึกษาภายใต้ค่าสถานะที่เหมาะสมซึ่งหาจากวิธีพื้นผิวดอปสนองแบบบ็อก-เบห์น คอนนั้น สรุปได้ว่าน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นเบส (pH = 13) ส่งผลให้การสกัดและการนำกลับแพลทินัม ในงานนี้มีความเสถียรมากกว่าน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (pH = 2) และกลาง (pH = 7) โดยผลการทดลองนี้สัมพันธ์กับผลข้อมูลค่าการละลาย ดังนั้นน้ำที่มีความเป็นกรด-เบสต่างกันจึงมีอิทธิพลต่อการละลายกับน้ำมัน แล้วส่งผลต่อเนื่องไปยังความเสถียรของระบบเยื่อแผ่นเหลวได้

บรรณานุกรม

1. Fortunato, R., et al., *Supported liquid membranes using ionic liquids: study of stability and transport mechanisms*. Journal of Membrane Science, 2004. **242**(1-2): p. 197-209.
2. Kocherginsky, N., Q. Yang, and L. Seelam, *Recent advances in supported liquid membrane technology*. Separation and Purification technology, 2007. **53**(2): p. 171-177.
3. Hernández-Fernández, F., et al., *Preparation of supported ionic liquid membranes: Influence of the ionic liquid immobilization method on their operational stability*. Journal of Membrane Science, 2009. **341**(1-2): p. 172-177.
4. de Gyves, J. and E. Rodríguez de San Miguel, *Metal ion separations by supported liquid membranes*. Industrial & engineering chemistry research, 1999. **38**(6): p. 2182-2202.
5. De Los Ríos, A., et al., *On the selective separation of metal ions from hydrochloride aqueous solution by pertraction through supported ionic liquid membranes*. Journal of membrane science, 2013. **444**: p. 469-481.
6. Wongkaew, K., et al., *Mass transfer resistance and response surface methodology for separation of platinum (IV) across hollow fiber supported liquid membrane*. Journal of industrial and engineering chemistry, 2016. **42**: p. 23-35.
7. Khan, F., et al., *Dielectric studies of methyl methacrylate and butyl methacrylate with primary alcohols using time domain reflectometry*. 2007.
8. Kokare, B., A. Mandhare, and M. Anuse, *Liquid-liquid extraction of cerium (IV) from salicylate media using N-7V-octylaniline in xylene as an extractant*. Journal of the Chilean Chemical Society, 2010. **55**(4): p. 431-435.
9. Nath, J. and S.K. Mishra, *Relative permittivities and refractive indices of binary mixtures of cyclohexanone with dichloromethane, trichloromethane, 1, 2-dichloroethane, trichloroethene and cyclohexane at T= 303.15 K*. Fluid phase equilibria, 1998. **145**(1): p. 89-97.
10. Ramana, C.V., et al., *Dielectric and excess dielectric constants in non polar+ polar binary liquid mixtures of toluene with alcohols at 303, 313 and 323 K*. Thermochemica acta, 2013. **566**: p. 130-136.
11. Kumar, A., et al., *Study of the supported liquid membrane for the estimation of the*

- synergistic effects of influential parameters on its stability*. Journal of environmental chemical engineering, 2016. **4**(1): p. 943-949.
12. BaŞ, D. and I.H. Boyacı, *Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology*. Journal of food engineering, 2007. **78**(3): p. 836-845.
 13. Mondal, S.K. and P. Saha, *Separation of hexavalent chromium from industrial effluent through liquid membrane using environmentally benign solvent: A study of experimental optimization through response surface methodology*. Chemical Engineering Research and Design, 2018. **132**: p. 564-583.
 14. Freemantle, M., *An Introduction to Ionic Liquids*; RSC Pub. Cambridge, UK, 2010.
 15. เอี่ยมละมัย, ค.เ., มาทำความรู้จักกับของเหลวไอออนิกกันเถอะ. บทความ, 2558. ตุลาคม-ธันวาคม: p. 71-77.
 16. รามกุล, ผ.ค.ป., การสกัดไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่มีเส้นใยกลวงรองรับ. 2560.
 17. Pancharoen, U., N. Leepipatpiboon, and P. Ramakul, *Innovative approach to enhance uranium ion flux by consecutive extraction via hollow fiber supported liquid membrane*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2011. **17**(4): p. 647-650.
 18. Ittipon Worapun, C.C.a.C.T., *Optimal Conditions of Friction Welding Process for AISI 1015 Steel using Response Surface Methodology*. Res. DJ., 2013. **18**(6): p. 909-924.
 19. de Castro Peixoto, A.L., et al., *Design of Experiments Applied to Antibiotics Degradation by Fenton's Reagent*, in *Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. 2017, IntechOpen.
 20. Wongsawa, T., et al., *The experimental investigations on viscosity, surface tension, interfacial tension and solubility of the binary and ternary systems for tributyl phosphate (TBP) extractant in various organic solvents with water: Thermodynamic NRTL model and molecular interaction approach*. Journal of Molecular Liquids, 2018. **251**: p. 229-237.
 21. Marcilla, A., J.A. Reyes-Labarta, and M.d.M. Olaya, *Should we trust all the published LLE correlation parameters in phase equilibria? Necessity of their assessment prior to publication*. Fluid Phase Equilibria, 2017. **433**: p. 243-252.
 22. Jean, E., et al., *Heavy metal ions extraction using new supported liquid membranes containing ionic liquid as carrier*. Separation and Purification Technology, 2018. **201**: p. 1-9.

23. Leepipatpiboon, N., U. Pancharoen, and P. Ramakul, *Separation of Co (II) and Ni (II) from thiocyanate media by hollow fiber supported liquid membrane containing Alamine300 as carrier—investigation on polarity of diluent and membrane stability*. Korean Journal of Chemical Engineering, 2013. **30**(1): p. 194-200.
24. Chang, S.H., et al., *Selection of design parameters and optimization of operating parameters of soybean oil-based bulk liquid membrane for Cu (II) removal and recovery from aqueous solutions*. Journal of hazardous materials, 2011. **190**(1-3): p. 197-204.
25. Maczynski, A., et al., *IUPAC-NIST solubility data series. 81. Hydrocarbons with water and seawater-Revised and updated. Part 3. C₆H₈-C₆H₁₂ hydrocarbons with water and heavy water*. Journal of physical and chemical reference data, 2005. **34**(2): p. 657-708.
26. Stephenson, R. and J. Stuart, *Mutual binary solubilities: water-alcohols and water-esters*. Journal of Chemical and Engineering Data, 1986. **31**(1): p. 56-70.
27. Revathy, T., M. Jayasri, and K. Suthindhiran, *Biodegradation of PAHs by Burkholderia sp. VITRSB1 isolated from marine sediments*. Scientifica, 2015. **2015**.
28. Yang, S.T., S.A. White, and S.T. Hsu, *Extraction of carboxylic acids with tertiary and quaternary amines: effect of pH*. Industrial & engineering chemistry research, 1991. **30**(6): p. 1335-1342.
29. Xie, H.-S., et al., *Conversion of Dagang Vacuum Residue into Oxygen-Containing Organic Compounds by Photo-Oxidation with over*. International Journal of Photoenergy, 2011. **2011**.
30. Marcilla, A., et al., *GE models and algorithms for condensed phase equilibrium data regression in ternary systems: limitations and proposals*. 2011.
31. Kauffman, G.B., *The Bronsted-Lowry acid base concept*. Journal of Chemical Education, 1988. **65**(1): p. 28.
32. Björkegren, S., et al., *A new emulsion liquid membrane based on a palm oil for the extraction of heavy metals*. Membranes, 2015. **5**(2): p. 168-179.

ภาคผนวก ก

ก.1 ข้อมูลการทดลอง

วิทยุภาคน้ำมีการปรับความเป็นกรด-เบส ด้วยสารละลาย HCl และ NaOH สำหรับค่าความเป็นกรด-เบสของวิทยุภาคน้ำที่ศึกษาคือ กรด (pH = 2.0) กลาง (pH = 7.0) และเบส (pH = 13.0)

1. ข้อมูลค่าการละลายของระบบสององค์ประกอบ

ตารางที่ 13 ค่าความสามารถการละลายของตัวทำละลายอินทรีย์ในน้ำปรับความเป็นกรด-เบส

ตัวทำละลายอินทรีย์	ความเป็นกรด-เบส ของน้ำ (pH _w)	มวลตัวทำละลาย อินทรีย์ (g)	มวลน้ำ (g)
Cyclohexane	2.0	0.0012	5.0219
	7.0	0.0011	12.0088
	13.0	0.0008	5.0226
1-Dodecanol	2.0	0.0018	5.0073
	7.0	0.0020	5.0296
	13.0	0.0016	5.0252
Kerosene	2.0	0.0030	5.1075
	7.0	0.0024	5.0026
	13.0	0.0018	5.0042
Toluene	2.0	0.0016	5.0077
	7.0	0.0051	8.3154
	13.0	0.0012	5.0157
Aliquat 336	2.0	0.0098	5.0074
	7.0	0.0067	5.0508
	13.0	0.0092	5.0214

ตารางที่ 14 ค่าความสามารถการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในตัวทำละลายอินทรีย์

ตัวทำละลายอินทรีย์	ความเป็นกรด-เบส ของน้ำ (pH _w)	มวลตัวทำละลาย อินทรีย์ (g)	มวลน้ำ (g)
Cyclohexane	2.0	8.0093	0.0036
	7.0	8.0236	0.0032
	13.0	8.0110	0.0045
1-Dodecanol	2.0	8.0084	0.1691
	7.0	5.0139	0.1439
	13.0	8.0012	0.1127
Kerosene	2.0	8.0304	0.0068
	7.0	9.2764	0.0055
	13.0	8.0266	0.0035
Toluene	2.0	8.0026	0.0086
	7.0	10.9096	0.0070
	13.0	8.0107	0.0077
Aliquat 336	2.0	8.0204	1.6909
	7.0	8.0296	1.6526
	13.0	8.1060	1.3887

2. ข้อมูลค่าการละลายของระบบสามองค์ประกอบ

ตารางที่ 15 ค่าความสามารถละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ไซโคลเฮกเซน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบส	มวล Aliquat 336 (g)	มวล Cyclohexane (g)	มวล น้ำ (g)
25	2.0	2.0739	6.0118	0.4041
	7.0	2.0008	6.0030	0.3921
	13.0	2.0224	6.0184	0.3432
50	2.0	4.0154	4.0194	0.7912
	7.0	4.1778	4.1265	0.7772
	13.0	4.0280	4.0570	0.6457
75	2.0	6.0182	2.0182	1.2150
	7.0	6.0550	2.0329	1.2164
	13.0	6.0051	2.0190	0.9627

ตารางที่ 16 ค่าความสามารถละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+โดเดคานอล

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบส	มวล Aliquat 336 (g)	มวล 1-Dodecanol (g)	มวล น้ำ (g)
25	2.0	2.0217	6.0237	0.2048
	7.0	2.0534	6.0026	0.1981
	13.0	2.0277	6.0011	0.1363
50	2.0	4.0037	4.0167	0.4588
	7.0	4.0181	4.0035	0.4523
	13.0	4.0289	4.0131	0.2765
75	2.0	6.0140	2.0020	0.9751
	7.0	6.0125	2.0127	0.9696
	13.0	6.0327	2.0054	0.6432

ตารางที่ 17 ค่าความสามารถละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+เคโรซีน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบส	มวล Aliquat 336 (g)	มวล Kerosene (g)	มวล น้ำ (g)
25	2.0	2.0557	6.0218	0.4038
	7.0	2.0064	6.0185	0.3626
	13.0	2.0522	6.0027	0.2936
50	2.0	4.0151	4.0164	0.7435
	7.0	4.0385	4.0211	0.8239
	13.0	4.0018	4.0105	0.6506
75	2.0	6.0823	2.0098	1.2306
	7.0	6.0154	2.0117	1.1011
	13.0	6.0374	2.0086	0.9328

ตารางที่ 18 ค่าความสามารถละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+โทลูอีน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบส	มวล Aliquat 336 (g)	มวล Toluene (g)	มวล น้ำ (g)
25	2.0	2.0335	6.0148	0.3226
	7.0	2.0192	6.0165	0.2966
	13.0	2.0341	6.0060	0.2589
50	2.0	4.0270	4.0055	0.6641
	7.0	4.0104	4.0061	0.6514
	13.0	4.0305	4.0035	0.5977
75	2.0	6.0214	2.0720	1.1430
	7.0	6.0019	2.0022	1.1256
	13.0	6.0004	2.0123	0.9785

3. ข้อมูลค่าไทลน้ของระบบสามองค์ประกอบ

ตารางที่ 19 ค่าการละลายสำหรับเส้น ไทลน้ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ไซโคลเฮกเซน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH _w)	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		มวล Cyclohexane (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)	มวล Cyclohexane (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)
25	2.0	5.9778	1.7635	0.3445	0.0007	0.0007	3.446
	7.0	5.7899	1.8505	0.3634	0.0007	0.0003	3.4142
	13.0	5.8338	1.9252	0.3267	0.0007	0.0007	3.4474
50	2.0	3.5851	3.7193	0.7304	0.0004	0.0027	3.8139
	7.0	3.6232	3.9404	0.7407	0.0008	0.0008	3.9099
	13.0	3.3835	4.0053	0.6460	0.0004	0.0031	3.8173
75	2.0	1.5374	5.4021	1.0970	0.0004	0.0064	4.2401
	7.0	1.4251	5.5426	1.1202	0.0004	0.00042	4.2304
	13.0	1.3517	5.7452	0.9395	0.0001	0.0063	8.0364

ตารางที่ 20 ค่าการละลายสำหรับเส้น ไทลน้ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+โดเดคานอล

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH _w)	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		มวล 1-Dodecanol (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)	มวล 1-Dodecanol (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)
25	2.0	2.9293	1.0263	0.1073	0.0009	0.0012	3.1169
	7.0	2.8943	1.0287	0.1002	0.0006	0.0006	3.0884
	13.0	2.9089	1.0526	0.0730	0.0006	0.0012	3.0727
50	2.0	1.8952	1.9300	0.2252	0.0006	0.0028	3.1238
	7.0	1.8826	1.9281	0.2180	0.0003	0.0019	3.0895
	13.0	1.9160	2.0480	0.1500	0.0006	0.0012	3.0727
75	2.0	0.8860	2.7372	0.4464	0.0003	0.0042	3.0280
	7.0	0.8483	2.7489	0.4537	0.0003	0.0027	3.4319
	13.0	0.8130	2.9058	0.3564	0.0003	0.0039	3.2200

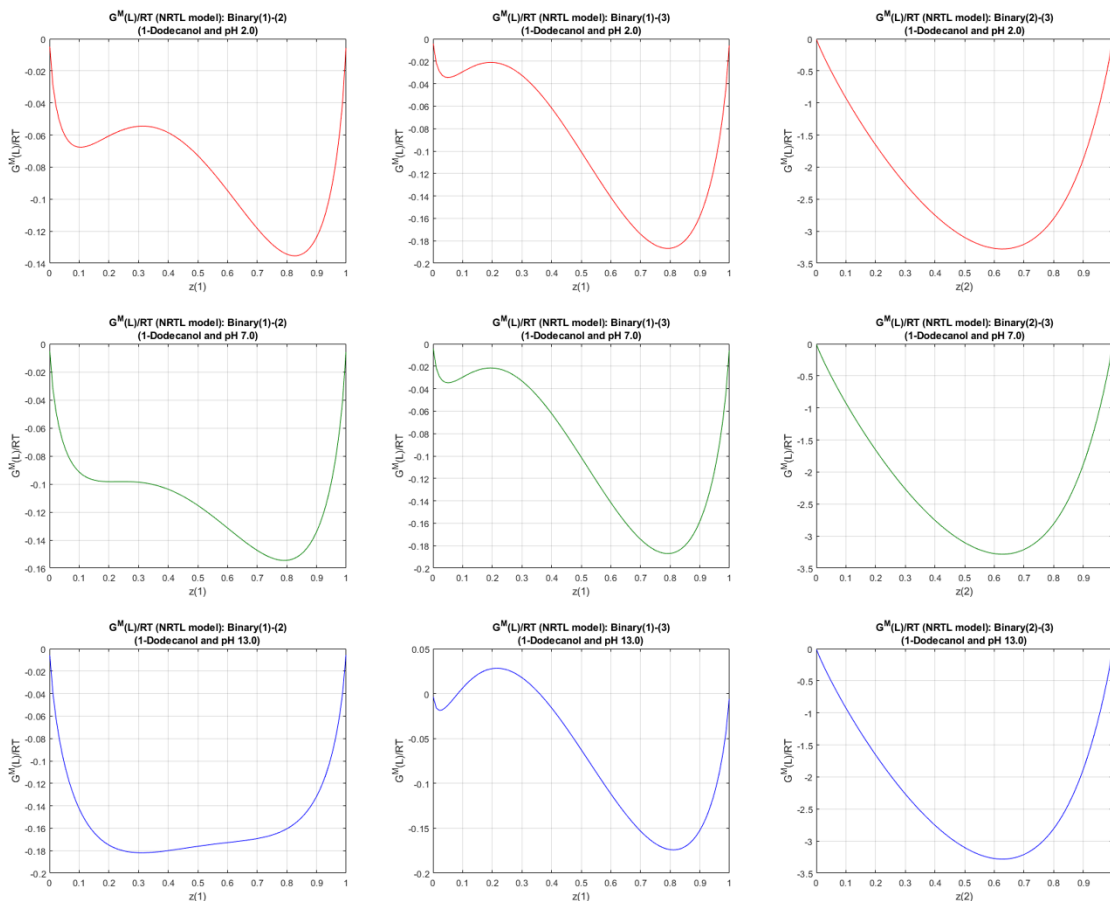
ตารางที่ 21 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336+ เกลือโรซีน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด- เบสของน้ำ (pH _w)	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		มวล Kerosene (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)	มวล Kerosene (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)
25	2.0	2.9173	0.9206	0.1804	0.0016	0.001	3.1812
	7.0	2.9166	0.9516	0.1725	0.0012	0.0012	3.0477
	13.0	2.8489	1.0360	0.1509	0.0009	0.0012	3.0124
50	2.0	1.8079	1.8727	0.3485	0.0015	0.0015	3.0429
	7.0	1.7816	1.9109	0.3465	0.0010	0.0022	3.1782
	13.0	1.7135	2.0021	0.3218	0.0009	0.0015	3.0836
75	2.0	0.8791	2.6232	0.5303	0.0012	0.0019	3.0944
	7.0	0.8549	2.6712	0.4932	0.0006	0.0038	3.1412
	13.0	0.8412	2.7643	0.4311	0.0003	0.0039	3.035

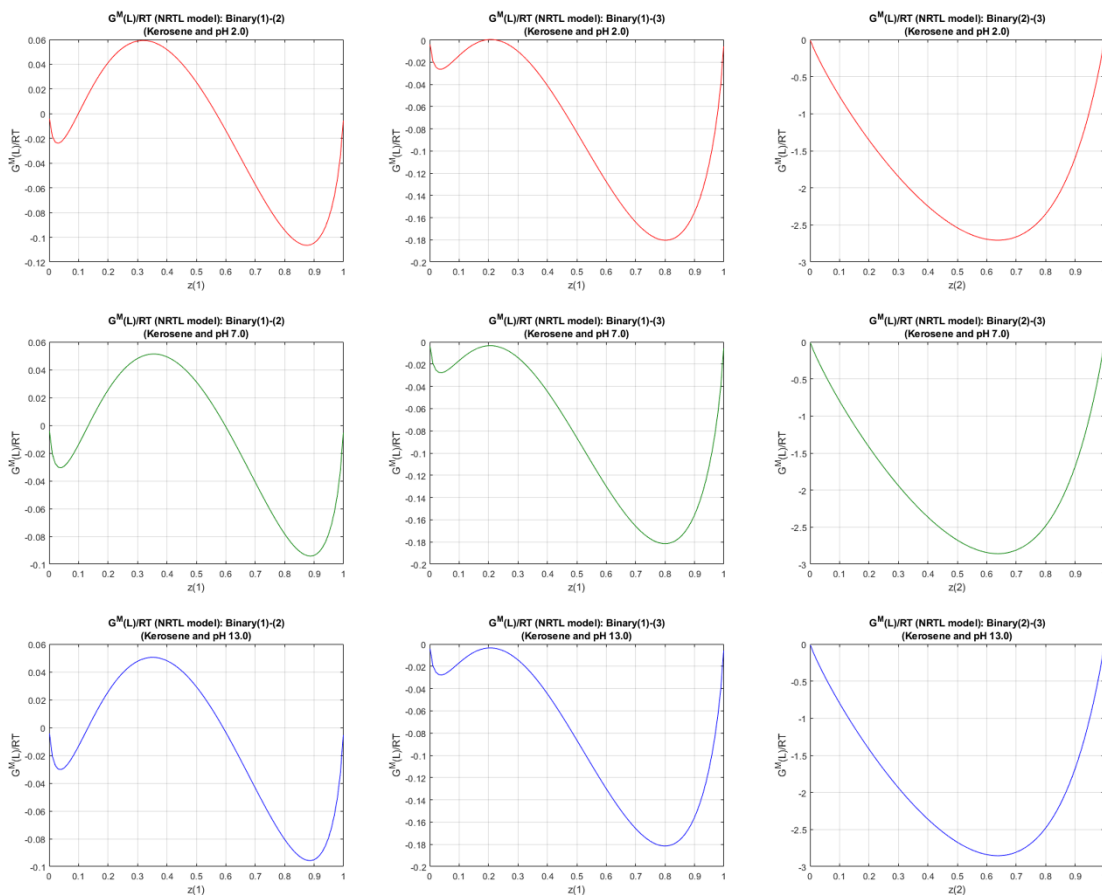
ตารางที่ 22 ค่าการละลายสำหรับเส้นไทไลน์ของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส+Aliquat 336 + โทลูอิน

ความเข้มข้นสารสกัด Aliquat 336 (%)	ความเป็นกรด- เบสของน้ำ (pH _w)	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		มวล Toluene (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)	มวล Toluene (g)	มวล Aliquat 336 (g)	มวลน้ำ (g)
25	2.0	2.8920	0.9807	0.1555	0.0009	0.0006	3.1736
	7.0	3.0731	1.1085	0.1638	0.0009	0.0006	3.0578
	13.0	2.9131	1.1356	0.1459	0.0007	0.0002	3.4587
50	2.0	1.8782	1.8516	0.3050	0.0009	0.0024	3.1917
	7.0	1.8792	1.8695	0.3031	0.0006	0.0013	3.1416
	13.0	1.8447	1.8836	0.2793	0.0005	0.0011	3.1196
75	2.0	0.8690	2.6618	0.5072	0.0003	0.0043	3.0267
	7.0	0.8593	2.6948	0.5087	0.0006	0.0022	3.0885
	13.0	0.8526	2.7378	0.4465	0.0003	0.0026	3.2393

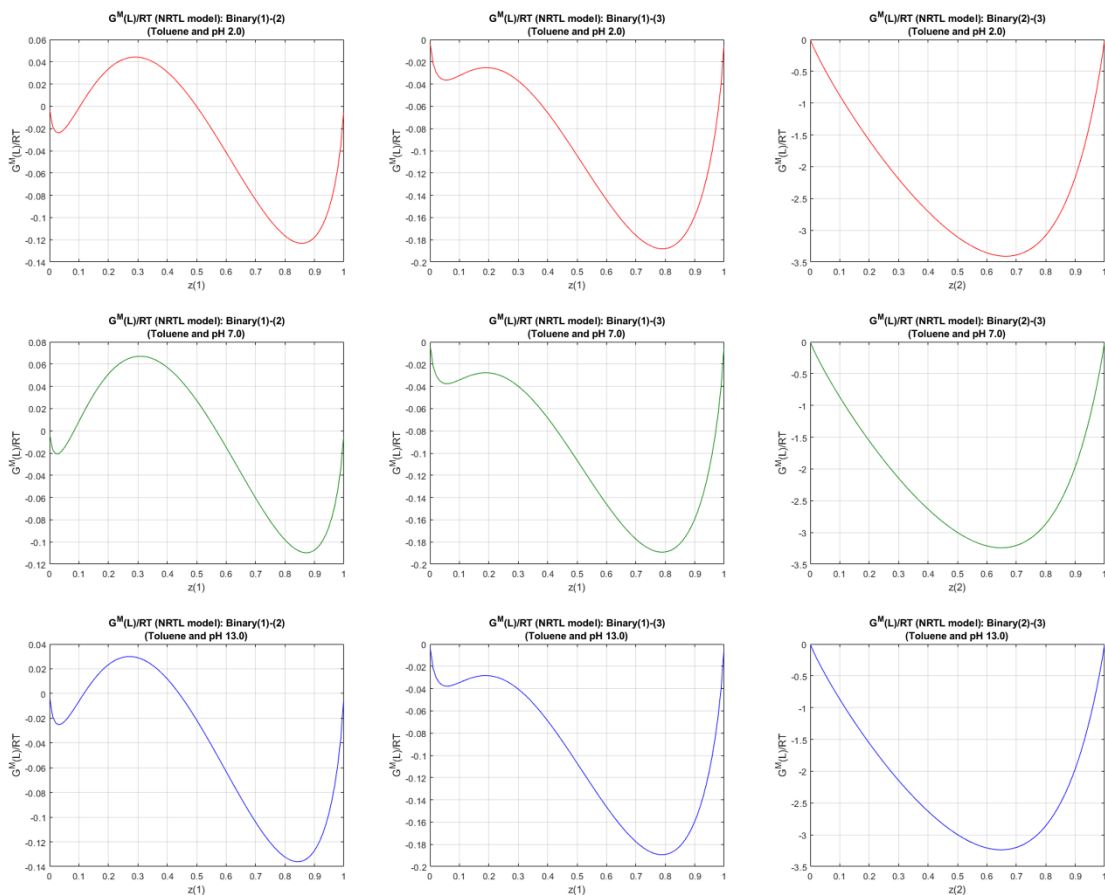
4. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิด



รูปที่ 20 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายโดเดคานอล (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

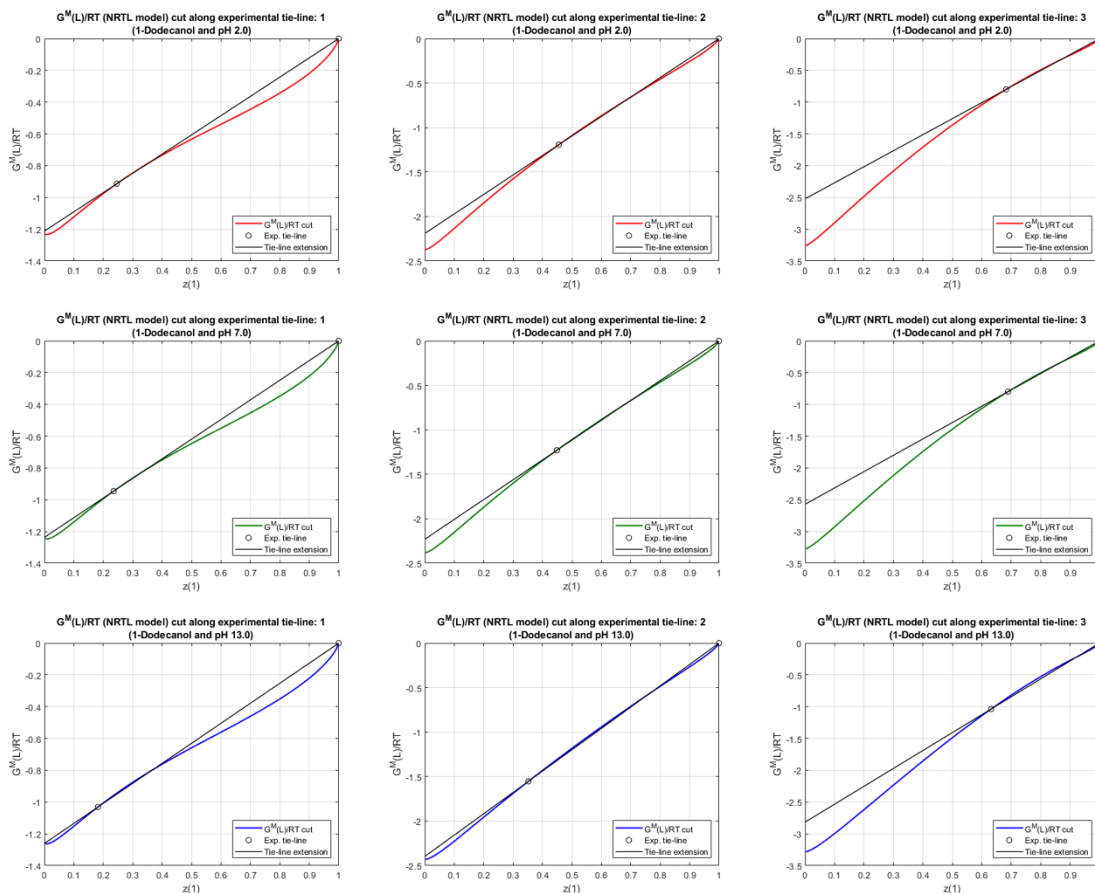


รูปที่ 21 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายเคโรซีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล

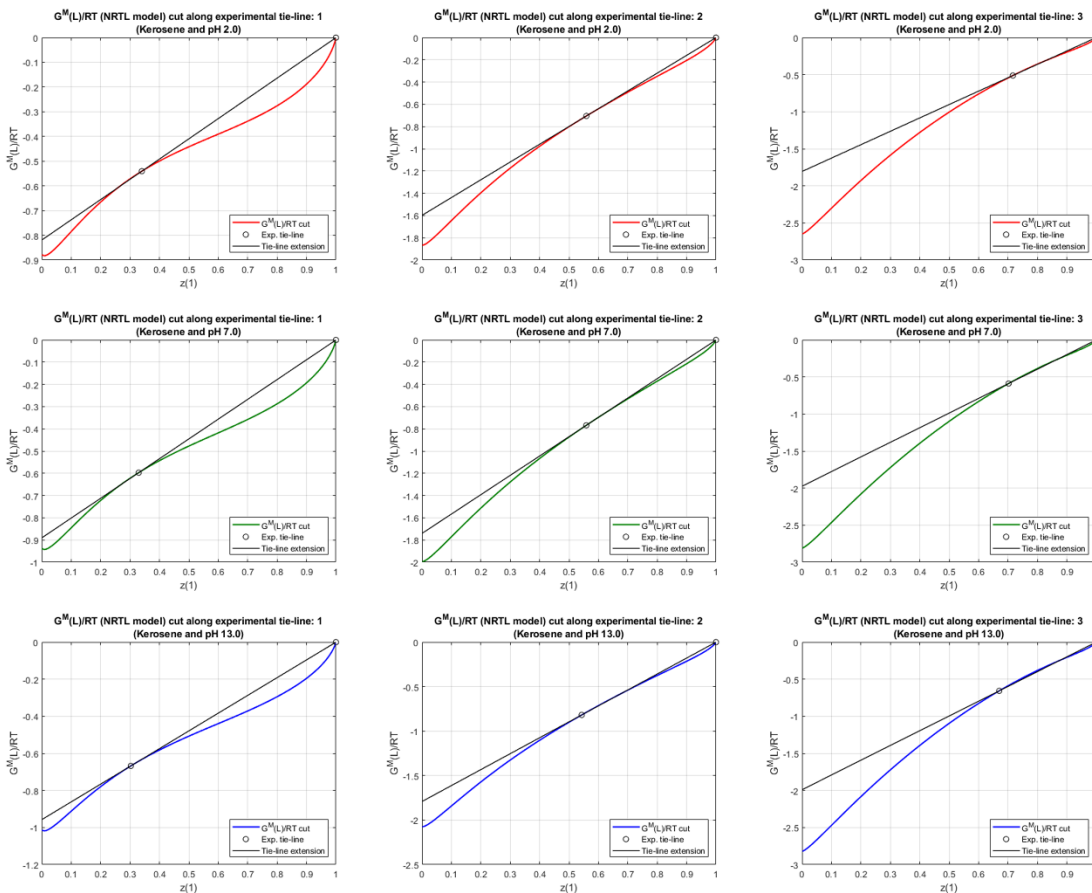


รูปที่ 22 ความสอดคล้องของกราฟ G_M กับอันตรกิริยาระหว่างสารสองชนิดสำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด $pH = 2$ กลาง ($pH = 7$) และเบส ($pH = 13$) (1)+สารสกัด Aliquat 336 (2)+สารตัวทำละลายโทลูอีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

5. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ GM กับเส้นไท่ไลน์

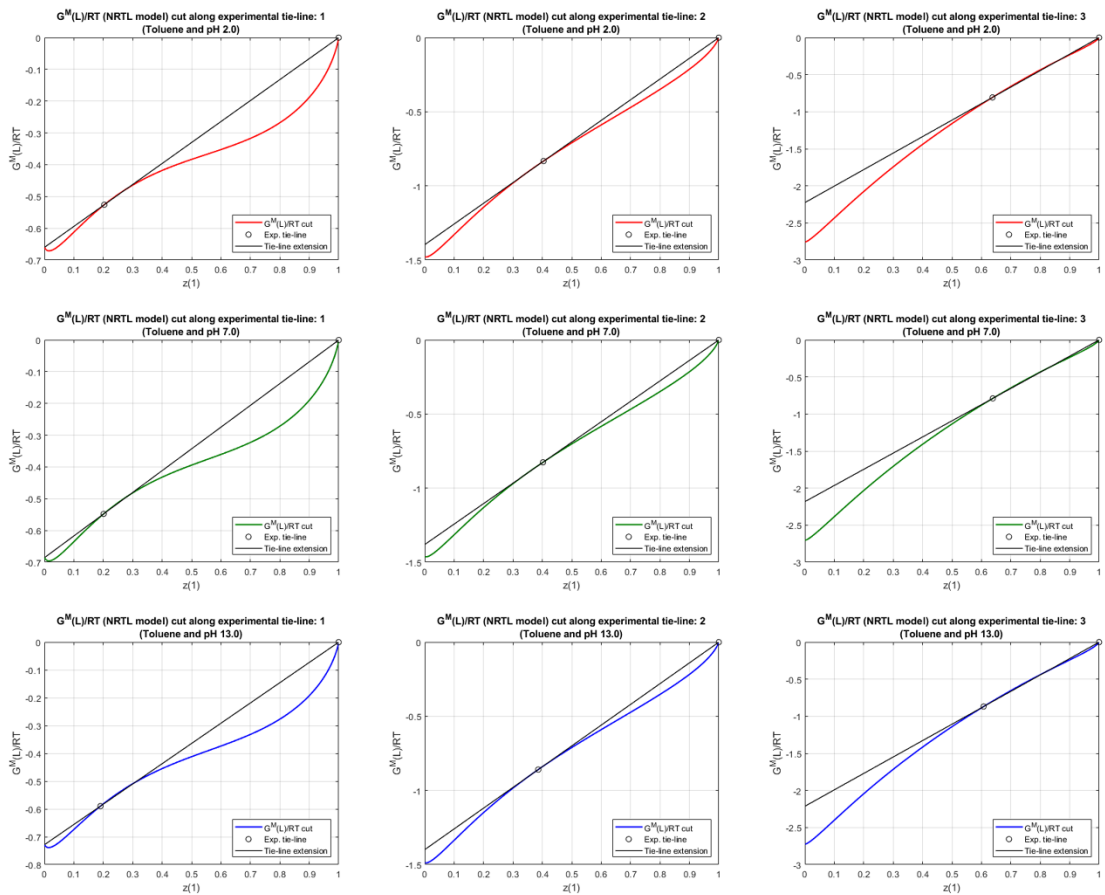


รูปที่ 23 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไท่ไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลาย โดเดคานอล (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล



รูปที่ 24 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G_M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายเคโรซีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล





รูปที่ 25 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของกราฟ G^M กับเส้นไทไลน์สำหรับน้ำที่ปรับความเป็นกรด pH = 2 กลาง (pH = 7) และเบส (pH = 13) (1) + สารสกัด Aliquat 336 (2) + สารตัวทำละลายโทลูอีน (3) ที่อุณหภูมิ 303.2 เคลวิน ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล

ภาคผนวก ข

ข.1 การคำนวณข้อมูล

1. การคำนวณเศษส่วนมวลของระบบสององค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + สารอินทรีย์ (2))

$$\text{เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรดเบส} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของน้ำ (กรัม)} + \text{มวลของสารอินทรีย์ (กรัม)}} \quad (\text{ข.1})$$

$$\text{เศษส่วนมวลของสารอินทรีย์} = \frac{\text{มวลของสารอินทรีย์ (กรัม)}}{\text{มวลของน้ำ (กรัม)} + \text{มวลของสารอินทรีย์ (กรัม)}} \quad (\text{ข.2})$$

ตารางที่ 23 เศษส่วนมวลค่าการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในไซโคลเฮกเซน

สารอินทรีย์	pH _w	มวลน้ำ (g)	มวล Cyclohexane (g)	เศษส่วนมวล น้ำ	เศษส่วนมวล Cyclohexane
Cyclohexane	2.0	0.0036	8.0093	0.0004	0.9996
	7.0	0.0032	8.0236	0.0004	0.9996
	13.0	0.0045	8.0110	0.0006	0.9994

ตารางที่ 24 เศษส่วนมวลค่าการละลายของไซโคลเฮกเซน ในน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส

สารอินทรีย์	pH _w	มวลน้ำ (g)	มวล Cyclohexane (g)	เศษส่วนมวล น้ำ	เศษส่วนมวล Cyclohexane
Cyclohexane	2.0	5.0219	0.0012	0.9998	0.0002
	7.0	12.0088	0.0011	0.9999	0.0001
	13.0	5.0226	0.0008	0.9998	0.0002

2. การคำนวณเศษส่วนมวลของระบบสามองค์ประกอบ (น้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบส (1) + ตัวทำละลายอินทรีย์ (2) + สารสกัด Aliquat 336 (3))

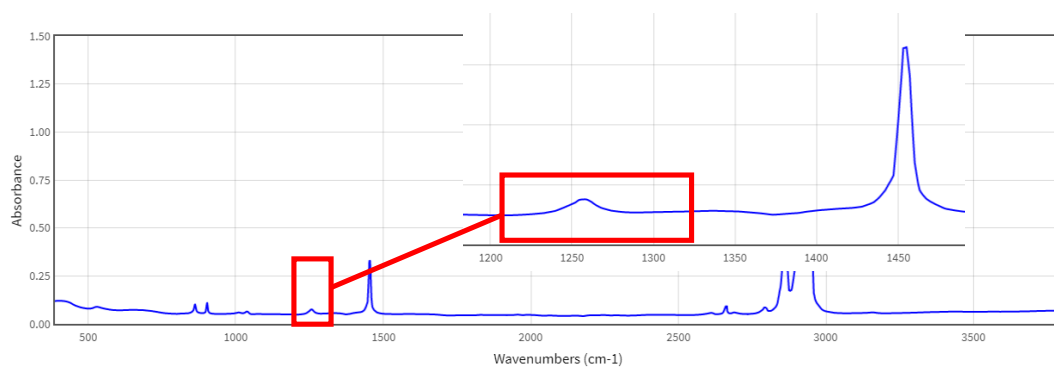
$$\text{เศษส่วนมวลของน้ำที่ปรับความเป็นกรดเบส} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของน้ำ (กรัม) + มวลของตัวทำละลายอินทรีย์ (กรัม) + มวลของสารสกัดไอออนิก (กรัม)}} \quad (\text{ข.3})$$

$$\text{เศษส่วนมวลของตัวทำละลายอินทรีย์} = \frac{\text{มวลของตัวทำละลายอินทรีย์ (กรัม)}}{\text{มวลของน้ำ (กรัม) + มวลของตัวทำละลายอินทรีย์ (กรัม) + มวลของสารสกัดไอออนิก (กรัม)}} \quad (\text{ข.4})$$

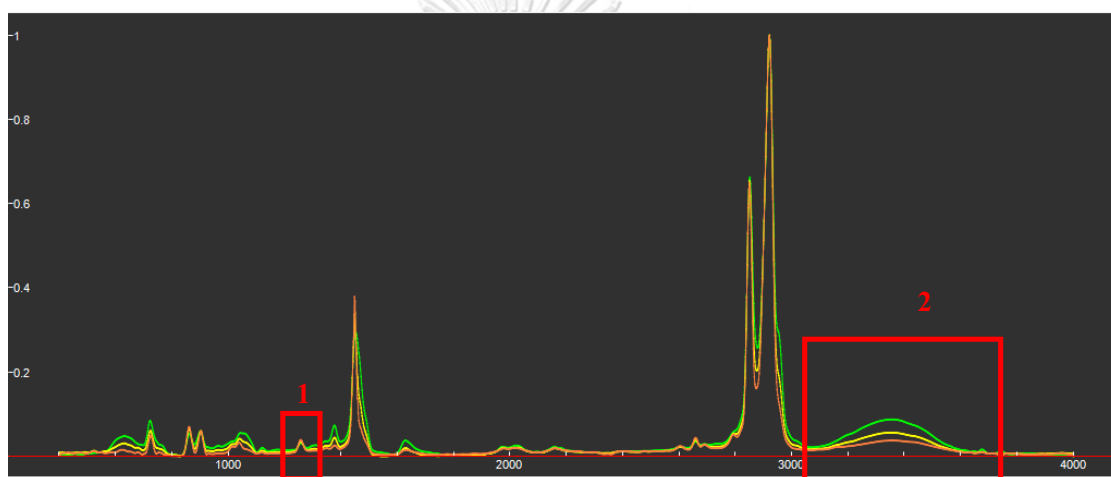
$$\text{เศษส่วนมวลของสารสกัด ไอออนิก} = \frac{\text{มวลของสารสกัด ไอออนิก (กรัม)}}{\text{มวลของน้ำ (กรัม) + มวลของตัวทำละลายอินทรีย์ (กรัม) + มวลของสารสกัด ไอออนิก (กรัม)}} \quad (\text{ข.5})$$

ตารางที่ 25 เศษส่วนมวลค่าการละลายของน้ำที่ปรับความเป็นกรด-เบสในสารละลายอินทรีย์ (Aliquat 336 + ไซโคลเฮกเซน)

ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	pH _w	มวลน้ำ (g)	มวล	มวล	เศษส่วนมวล น้ำ	เศษส่วนมวล Cyclohexane	เศษส่วน มวล Aliquat 336
			Cyclohexane (g)	Aliquat 336			
25	2.0	0.4041	6.0118	2.0739	0.0476	0.7081	0.2443
	7.0	0.3921	6.0030	2.0008	0.0467	0.7150	0.2383
	13.0	0.3432	6.0184	2.0224	0.0409	0.7178	0.2412
50	2.0	0.7912	4.0194	4.0154	0.0896	0.4554	0.4550
	7.0	0.7772	4.1265	4.1778	0.0856	0.4544	0.4600
	13.0	0.6457	4.0570	4.0280	0.0740	0.4647	0.4614
75	2.0	1.2150	2.0182	6.0182	0.1313	0.2182	0.6505
	7.0	1.2164	2.0329	6.0550	0.1307	0.2185	0.6508
	13.0	0.9627	2.0190	6.0051	0.1071	0.2247	0.6682



รูปที่ 26 กราฟ FTIR ของ โพลีไอโซไซยูเรต



รูปที่ 27 ตำแหน่งความยาวคลื่นในการคำนวณองค์ประกอบของสาร; ตำแหน่งที่ 1 สำหรับ โพลีไอโซไซยูเรต และ ตำแหน่งที่ 2 สำหรับ Aliquat 336

ตารางที่ 26 เศษส่วนมวลของข้อมูลไทลด์น้สำหรับระบบสามองค์ประกอบ น้ำที่ปรับ
ความเป็นกรด-เบส + Aliquat 336 + ไซโคลเฮกเซน ที่ได้จากกราฟ FTIR

ความเข้มข้น สารสกัด Aliquat 336 (%)	ความ เป็น กรด- เบส ของน้ำ (pH _w)	วัฏภาคน้ำมัน			วัฏภาคน้ำ		
		เศษส่วนมวล Cyclohexane	เศษส่วน มวล Aliquat 336	เศษส่วน มวลน้ำ	เศษส่วนมวล Cyclohexane	เศษส่วน มวล Aliquat 336	เศษส่วน มวลน้ำ
25%	กรด	0.7393	0.2181	0.0426	0.00020	0.00020	0.99959
	กลาง	0.7234	0.2312	0.0454	0.00020	0.00009	0.99971
	เบส	0.7215	0.2381	0.0404	0.00020	0.00020	0.99959
50%	กรด	0.4462	0.4629	0.0909	0.00010	0.00071	0.99919
	กลาง	0.4363	0.4745	0.0892	0.00020	0.00020	0.99959
	เบส	0.4211	0.4985	0.0804	0.00010	0.00081	0.99908
75%	กรด	0.1913	0.6722	0.1365	0.00009	0.00151	0.99840
	กลาง	0.1762	0.6853	0.1385	0.00009	0.00010	0.99981
	เบส	0.1682	0.7149	0.1169	0.00001	0.00078	0.99920

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนากร กุนแสง
วัน เดือน ปี เกิด	03 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองพะเยา
วุฒิการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพะเยาพิทยาคม จังหวัดพะเยา ระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	26 หมู่ 10 ตำบลบ้านต๋อม อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
ผลงานตีพิมพ์	Koonsang, T., Aunnankat, K., Maneeintr, K., Pancharoen, U., & Wongsawa, T. (2019). The mutual solubility of organic-liquid membrane and aqueous phases at different water pH for the stability of SLM using Aliquat 336 as an ionic-liquid extractant. <i>Journal of Molecular Liquids</i> , 292, 111363.