การแยกไขออกจากน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักโดยใช้ตัวทำละลาย

นายนพพร แซ่เตีย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ 2532

ISBN 974-576-210-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15504

SOLVENT DEWAXING OF HEAVY DISTILLATES

Mr. NOPPORN SAE TIA

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
1989

ISBN 974-576-210-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกไขออกจากน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักโดยใช้ตัวทำละลาย

โดย นายนพพร แซ่เตีย

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พล สาเกทอง)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร)

_____ กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ สิทธิสุนทร)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นพพร แซ่เตีย : การแยกไขออกจากน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักโดยใช้ตัวทำละลาย (SOLVENT DEWAXING OF HEAVY DISTILLATES) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.เพียรพรรค ทัศคร, 124 หน้า

น้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักจากโรงกลั่นน้ำมันฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีไขปนอยู่สูงถึงร้อยละ 47.5 โดยน้ำหนัก มีจุดไหลเท 51 °ซ เมื่อนำมาแยกไขโดยใช้ MEK และโทลูอีนเป็นตัวทำละลายด้วยการตกผลึกไขในถังกวนซึ่งมีใบกวนเป็นรูปตัวยู มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ scraped surface chiller แล้วกรองแยกผลึกไขในกรวยกรองที่มีลักษณะเป็นแบบ Buchner พบว่า เมื่อใช้อัตราการกวน 150 รอบต่อนาที และความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอทคงที่ สภาวะที่ดีที่สุดในการแยกไขคือ อัตราส่วน MEK/toluene ในตัวทำละลายผสมเท่ากับ 3/1 โดยปริมาตรที่ 20 °ซ อัตราส่วนน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสมเท่ากับ 1/9 โดยปริมาตรที่ 60 °ซ อุณหภูมิตกผลึกไข 0 °ซ และอัตราการลดอุณหภูมิของของผสม 0.75 °ซ ต่อนาที ได้น้ำมันที่ผ่านการแยกไขออกบางส่วนมีจุดไหลเท 18 °ซ มีปริมาณไขเหลืออยู่ในน้ำมันร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก ไขที่แยกได้มีจุดหลอมเหลว 54 °ซ มีปริมาณน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 33.2 โดยน้ำหนัก จากสภาวะดังกล่าว สามารถหาค่าความต้านทานการกรองของเค็กของไขได้เท่ากับ 1.13×10^{9} ซม.ต่อกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต นพพร แซ่เตีย

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

NOPPORN SAE TIA : SOLVENT DEWAXING OF HEAVY DISTILLATES

THESIS ADVISOR : PIENPAK TASAKORN, Ph.D., 124 pp.

Heavy distillates from Fang Refinery, Chiangmai, having high wax content of 47.5 percent by weight and a pour point of 51 °C, was dewaxed using MEK and toluene as solvent in a stirred tank crystallizer. The stirrer was a U-shape type and operated like a scraped surface chiller. The wax crystal was filtered in a Buchner funnel type filter. When the speed of the stirrer and pressure drop across the filter were kept constant at 150 rpm. and 4 in. Hg respectively, the best dewaxing condition was found to be a volume ratio of MEK/toluene 3/1 (at 20 °C), volume ratio of heavy distillates to solvent 1/9 (at 60 °C), the crystallization temperature at 0 °C, and cooling rate of mixture 0.75 °C/min. The dewaxed oil produced has a pour point of 18 °C with wax content of 13.2 percent by weight. Wax which has been separated contains 32.2 percent oil by weight, and its melting point is 57 °C. At this operating condition, the resistance of the wax cake was found to be 1.13×10^{9} cm/g.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ....เคมีเทคนิค.....
สาขาวิชา ....เคมีเทคนิค.....
ปีการศึกษา ...2531.....

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะและความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ทั้งในแง่ของเครื่องมือที่ใช้ทดลอง ตลอดจนวิธีและขั้นตอนการทดลอง

ขอขอบคุณหัวหน้าฝ่ายซ่อมสร้าง ภาควิชาเคมีเทคนิค คุณสังข์ ชมชื่น ที่กรุณาช่วยซ่อมและสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายซ่อมสร้างทุกคน ขอขอบคุณหัวหน้าฝ่ายพัสดุ คุณแรงค์ ชัยพันธุ์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่กรุณาอำนวยความสะดวกทั้งสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยพิมพ์ตลอดจนวาดรูปต่าง ๆ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัย จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาตลอดจนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

สัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 4

2.1 น้ำมันปิโตรเลียม 4

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม 4

2.1.2 ลำดับส่วนปิโตรเลียม 6

2.1.3 โรงกลั่นน้ำมันฝาง 10

2.2 ไข 12

2.2.1 ชนิดของไข 13

2.2.2 ไขปิโตรเลียม 13

2.2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพ 15

2.2.4 ประโยชน์ของไขในอุตสาหกรรม 19

2.3 ความสามารถในการละลายของไขในน้ำมันและสารต่าง ๆ 23

2.3.1 ความสามารถในการละลายของไขพาราฟินในน้ำมันหล่อลื่น .. 23

2.3.2 ความสามารถในการละลายของไขพาราฟินในตัวทำละลาย .. 24

2.3.3 สมดุลระหว่างน้ำมัน ไข และตัวทำละลาย 28

2.4 กระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการแยกไขออกจากน้ำมันในอุตสาหกรรม .. 33

2.4.1 การแยกไขโดยไม่ใช้ตัวทำให้เจือจาง 33

2.4.2 การแยกไขด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 35

2.4.3 การแยกไขด้วยยูเรีย 36

2.4.4 การแยกไขโดยใช้ตัวทำละลาย 37

2.5 การตกผลึกไข 44

สารบัญ (ต่อ)

2.6 การกรอง 42
2.6.1 ชนิดของกระบวนการกรอง 42
2.6.2 ทฤษฎีการกรอง 42
2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการแยกไข 48
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 51
3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง 51
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 51
3.2.1 เครื่องตกผลึก 51
3.2.2 เครื่องกรอง 55
3.2.3 หน่วยทำความเย็น 55
3.3 วิธีการทดลอง 59
3.3.1 หาสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันดิสทิลเลทชนิดหนัก 59
3.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกไข 59
3.3.3 ทดลองตกผลึกและกรองไขแบบต่อเนื่องที่สภาวะเหมาะสม ... 60
3.3.4 ศึกษาความต้านทานการกรองของเค็กของไข 60
3.3.5 ศึกษาสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลาย 60
3.3.6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของไขที่ได้จากการแยกและน้ำมันที่แยกไขแล้ว 60
3.3.7 วิธีวิเคราะห์ 60
4. ผลการทดลอง 61
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก 61
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ในการแยกไข 61
4.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ MEK/toluene 61
4.2.2 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอัตราส่วนของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม 61
4.2.3 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกผลึกแยกไข 64
4.2.4 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอัตราการลดอุณหภูมิของของผสมที่เหมาะสมในการแยกไข 64

สารบัญ (ต่อ)

4.3 ผลการทดลองแยกไขแบบต่อเนื่อง 71
4.4 ผลการทดลองซึ่งใช้คำนวณหาค่าความต้านทานการกรองเฉลี่ยของเค็กของไขที่สภาวะเหมาะสม 71
4.5 ผลการทดลองศึกษาสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลาย 74
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของไขที่แยกได้และน้ำมันที่ผ่านการทดลองแยกไขที่สภาวะเหมาะสม 74
4.7 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ดึงออกจากของผสมเพื่อตกผลึกไข 81
5. วิจารณ์ผลการทดลอง 82
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 90
เอกสารอ้างอิง 93
ภาคผนวก 97
ภาคผนวก ก. วิธีการหาสมบัติต่างๆของไข 98
ภาคผนวก ข. สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 107
ภาคผนวก ค. ความหนืด ดรรชนีความหนืด และสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น 112
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดลอง 116
ประวัติผู้เขียน 124

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของน้ำมันดิบแม่สูนหลวง	12
2.2	สมบัติทางเคมีของไข	16
2.3	จุดหลอมเหลวและค่าดรรชนีหักเหของไขปิโตรเลียม	17
2.4	ความร้อนแฝงของการหลอมตัวของ commercial waxes ชนิดต่าง ๆ	18
2.5	ความร้อนแฝงของการหลอมตัวของสัดส่วนไขปิโตรเลียมที่มีความบริสุทธิ์สูง	18
2.6	สมบัติทางกายภาพบางประการของไข	19
2.7	การใช้ไขชนิดต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรม	22
2.8	ค่า K_s สำหรับตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ	25
2.9	ความสามารถในการละลายของไขพาราฟิน (จุดหลอมเหลว 125-127 °ฟ) ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ	25
2.10	แบบต่าง ๆ ของตัวทำละลายที่ละลายน้ำมันเมื่อใช้ในกระบวนการแยกไข	31
2.11	สมบัติต่าง ๆ ของตัวทำละลาย	43
4.1	ผลการทดลองซึ่งใช้คำนวณหาค่าความต้านทานการกรองเฉลี่ยของเค็กของไข	71
ค.1	ช่วงของน้ำมันหล่อลื่นและสมบัติทางกายภาพ	114
ค.2	น้ำมันเครื่องแบบต่าง ๆ ในระบบ SAE	115
ง.1	ความหนืดดิเนมาติกของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก น้ำมันที่แยกไขแล้วบางส่วน และน้ำมันที่แทบจะปราศจากไขที่อุณหภูมิต่างๆ	116
ง.2	ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก น้ำมันที่แยกไขแล้วบางส่วน และน้ำมันที่แทบจะปราศจากไขที่อุณหภูมิต่างๆ	116
ง.3	ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ MEK/toluene ในตัวทำละลายผสม	117
ง.4	ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม	118
ง.5	ผลการทดลองหาอุณหภูมิตกผลึกไขที่เหมาะสม	119
ง.6	ผลการทดลองหาอัตราการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมของของผสม	120
ง.7	ผลการทดลองหาสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่างๆ	121
ง.8	อัตราส่วนของ MEK/toluene (ร้อยละโดยปริมาตรที่ 20 °ซ) ในตัวทำละลายผสมกับความถ่วงจำเพาะของตัวทำละลายผสม	122

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน	6
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์สุดท้าย intermediate และสารตั้งต้น	8
2.3	แบบต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตน้ำมัน	9
2.4	ผลึกของไขชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ขยาย 150 เท่า	14
2.5	รูปร่างต่าง ๆ ของผลึกไข	15
2.6	ความสามารถในการละลายของไขพาราฟินในน้ำมัน เปรียบเทียบกับสารละลายอุดมคติ	24
2.7	ความสามารถในการละลายของไข (จุดหลอมเหลว 110 °ช) ใน aliphatic ketones	26
2.8	ผลของสัดส่วน MEK/toluene ต่อ solubility temperature เมื่อค่าความสามารถในการละลายที่อัตราส่วนต่าง ๆ เท่ากันและเทียบเท่ากับค่าความสามารถในการละลายใน MPK ที่ 0 °ช	26
2.9	ความสามารถในการละลายของไขพาราฟิน (จุดหลอมเหลว 55.6 °ช) ในแอโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน	27
2.10	ความสามารถในการละลายของไขพาราฟินและน้ำมันใน MEK (เมทิลเอทิลคีโตน)	27
2.11	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลาย	29
2.12	เส้นโค้งการละลายแบบต่าง ๆ	32
2.13	กระบวนการ pressing และ sweating	34
2.14	กระบวนการแยกไขด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา	35
2.15	กระบวนการแยกไขด้วยยูเรีย	36
2.16	กระบวนการแยกไขโดยใช้ตัวทำละลาย	37
2.17	กระบวนการแยกไขด้วยโพรเพน	39
2.18	Dilchill dewaxing process	41
3.1	ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแยกไข	52
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	53
3.3	เครื่องตกผลึก	54
3.4	กรวยกรอง	56
3.5	ลักษณะของตะแกรงภายในกรวยกรอง	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	ตัวอย่างของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก และไขกับน้ำมันที่แยกได้	58
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราส่วนของ MEK/toluene ในตัวทำละลายผสม	62
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขที่เหลืออยู่ในน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราส่วนของ MEK/toluene ในตัวทำละลายผสม	62
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ MEK/toluene ในตัวทำละลายผสม กับเวลาที่ใช้ในการกรอง	63
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ MEK/toluene ในตัวทำละลายผสม กับอัตราการกรองที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	63
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันที่ผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราส่วนของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม	65
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขที่เหลืออยู่ในน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราส่วนของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม	65
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม กับเวลาที่ใช้ในการกรอง	66
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนักต่อตัวทำละลายผสม กับอัตราการกรองที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	66
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอุณหภูมิตกผลึก	67
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขที่เหลืออยู่ในน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอุณหภูมิตกผลึก	67
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกรองกับอุณหภูมิตกผลึกไข ที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	68
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรองกับอุณหภูมิตกผลึกไข ที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	68
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราการลดอุณหภูมิ	69
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขที่เหลืออยู่ในน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข กับอัตราการลดอุณหภูมิ	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกรองกับอัตราการลดอุณหภูมิ ที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	70
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรองกับอัตราการลดอุณหภูมิ ที่ความดันตกในการกรอง 4 นิ้วปรอท	70
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกรองกับปริมาตรของ filtrate ต่อหน่วยพื้นที่การกรอง	73
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง dt/dv กับ v+(dv/2)	73
4.19	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 28.5 °ซ	75
4.20	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 20 °ซ	76
4.21	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 10 °ซ	77
4.22	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 5 °ซ	78
4.23	แผนภูมิสมดุลของระบบน้ำมัน ไข และตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 0 °ซ	79
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก น้ำมันที่แยกไขแล้วบางส่วน และน้ำมันที่แทบจะปราศจากไข กับอุณหภูมิ	80
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิสทิเลทชนิดหนัก น้ำมันที่แยกไขแล้วบางส่วน และไขที่แยกได้ กับอุณหภูมิ	80
5.1	ผลของอัตราส่วน MEK/toluene ต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตกผลึกไขและจุดไหลเทของน้ำมันซึ่งผ่านการทดลองแยกไข ของการทดลองนี้ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Reeves และ Pattillo	84
5.2	ผลของอัตราส่วน MEK/toluene ต่ออัตราการกรองเฉลี่ย ของการทดลองนี้ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Reeves และ Pattillo	84
5.3	ผลของอัตราส่วนของ MEK ในตัวทำละลายผสมต่ออุณหภูมิการละลายเป็นเนื้อเดียวกันของตัวทำละลายและน้ำมัน	85
ก.1	เครื่องมือวัดจุดไหลเทของน้ำมัน	100
ก.2	เครื่องมือวัดจุดหลอมเหลวของไข	102
ก.3	เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ	104
ค.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกที่อุณหภูมิ 50 และ 100 °ซ กับดรรชนีความหนืดของน้ำมันที่ช่วงความหนืดต่ำ	112

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกที่อุณหภูมิ 50 และ 100 °ซ กับดรรชนีความหนืดของน้ำมันที่ช่วงความหนืดสูง	113
ง.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน MEK/toluene (โดยปริมาตรที่ 20 °ซ) ในตัวทำละลายผสม กับความถ่วงจำเพาะของตัวทำละลายผสมที่ 20 °ซ	123

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์และคำย่อ

N_2^* = สัดส่วนจำนวนโมล

ΔH_f = ความร้อนแฝงของการหลอมตัว (แคลอรี/กรัม-โมล)

T_f = อุณหภูมิของการหลอมตัว ($^\circ K$)

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ [แคลอรี/(กรัม-โมล. $^\circ K$)]

T = อุณหภูมิใด ๆ ($^\circ K$)

W_s = ค่าการละลาย (กรัมของไขต่อ 100 กรัมของตัวทำละลาย)

A = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของไข) ในสมการที่ 2.4

K_s = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย) ในสมการที่ 2.4

dv/dt = อัตราการกรอง [ลบ.ซม./(ตร.ซม.วินาที)]

v = ปริมาตรของ filtrate ต่อหน่วยพื้นที่การกรอง (ลบ.ซม./ตร.ซม)

t = เวลา (วินาที)

ΔP = ความดันตกในการกรอง [กรัมต่อซม.(วินาที)^2 = dyne/(ซม.)^2]

μ = ความหนืดของ filtrate [กรัม/(ซม.วินาที)]

α_{av} = ความต้านทานการกรองเฉลี่ยของเค็กของไข (ซม./กรัม)

w = มวลของของแข็งแห้งต่อหน่วยพื้นที่การกรอง (กรัม/ตร.ซม.)

c = มวลของของแข็งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของ filtrate (กรัม/ลบ.ซม.)

R_m = ความต้านทานการกรองของตัวกลาง ($ซม.^{-1}$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย