

5

การตกผลึกโพลิพาราฟินในน้ำมันไลโทลีสที่เลตจากโรงกลั่นฝาง



นายอภิชัย ศิริทัศน์กุล

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-865-1

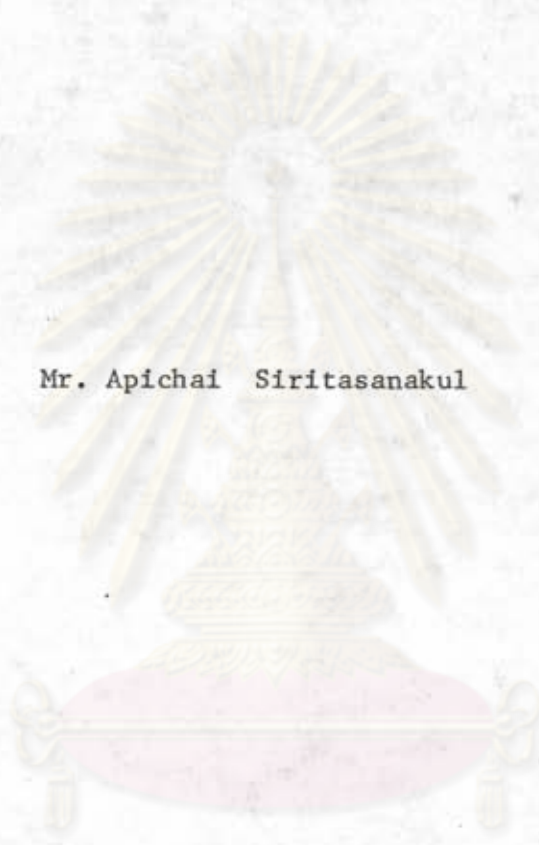
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012465

1029350A

CRYSTALLIZATION OF PARAFFIN WAXES IN LIGHT DISTILLATE
FROM FANG REFINERY

Mr. Apichai Siritasanakul



ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-865-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตกผลึกโพลิพาราฟินในไม้น้ำมันโลกที่ดัดสีที่เล็ดจากโรงกลั่นฝาง

โดย

นายอภิชัย ศิริทัศน์กุล

ภาควิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรรณ ทักคร

คำล่ำตราจารย์ ดร. เมตัจ ลิทธิสุนทร



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(คำล่ำตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรารักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองคำล่ำตราจารย์ ดร.สมชาย โอลู่วรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรรณ ทักคร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(คำล่ำตราจารย์ ดร. เมตัจ ลิทธิสุนทร)

.....กรรมการ

(รองคำล่ำตราจารย์ ดร.วิษา วนตุรงค์วรรณ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกผลึกโพลิพาราฟินในน้ำมันไลต์ดีลิกเลตจากโรงกลั่นฝาง
ชื่อนิสิต	นายอภิชัย ศิริทัศน์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรรณค ทัตเศียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คำสัตรอาจารย์ ดร. เมตติจ สิทธิสุนทร
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2529

บทคัดย่อ



น้ำมันดิบจากแหล่งฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณไฮบอนอยู่สูง เมื่อทำการกลั่นไฮจะปนในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมส่วนหนัก เช่น น้ำมันไลต์ดีลิกเลต ทำให้จุดไหลเทสูง จึงศึกษาการตกผลึกโพลิพาราฟินในน้ำมันไลต์ดีลิกเลตที่ได้จากโรงกลั่นฝางในเครื่องตกผลึกแบบจานเหล็กหมุนอย่างต่อเนื่อง ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ น้ำมันที่แยกไฮออกบางส่วน ซึ่งมีจุดไหลเทต่ำลง นำไปผสมกับน้ำมันดีเซลได้ ทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้คือ โพลิพาราฟินที่มีน้ำมันปนอยู่ปริมาณหนึ่ง ดำเนินการทดลองโดยให้อัตราการป้อนเข้า 0.5 ลิตรต่อนาที และอุณหภูมินำหล่อเป็น 16.0 °ซ คงที่ตลอดทุกการทดลอง แล้วให้อัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมันระหว่าง 1:1 ถึง 6:1 ความเร็วรอบของจาน 0.05 ถึง 1.28 รอบต่อนาที อุณหภูมิสารละลายน้ำมัน 30 ถึง 34 °ซ และจำนวนครั้งที่สารละลายน้ำมันไหลผ่านเครื่องตกผลึก 1 ถึง 10 ครั้ง

ผลการทดลอง พบว่าอัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมันเท่ากับ 5:1 ความเร็วรอบของจาน 0.5 รอบต่อนาที อุณหภูมิสารละลายน้ำมัน 30.0 °ซ จะได้น้ำมันที่แยกไฮออกบางส่วนมีจุดไหลเทลดลงจาก 35.0 เป็น 31.6 °ซ เมื่อสารละลายน้ำมันไหลผ่านเครื่องตกผลึกครั้งเดียวและเมื่อผ่าน 10 ครั้ง ลดลงเป็น 25.5 °ซ

จากการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของอัตราการเติบโตของโพลิเมอร์บนผิวจานเหล็กที่มีอุณหภูมิคงที่ พบว่า ความหนาของชั้นไฮเป็นฟังก์ชันกับเวลา ที่ลภาวะการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการ $dx/dt = 1/\sqrt{1.56 + 71.4 t}$

การวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนในการผลิตน้ำมันที่แยกไขออกบางส่วน
เมื่อผ่านเครื่องตกผลึกขนาดนี้ 10 ครั้ง คิดเป็นราคาของน้ำมันที่ผลิตได้ เท่ากับ 8.02 บาท
ต่อลิตร

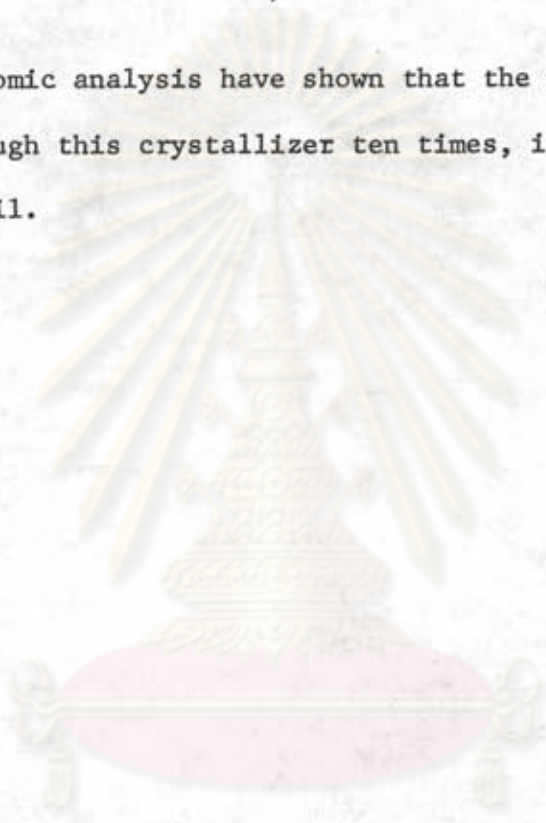


ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A mathematical model is proposed for the growth rate of wax on a constant temperature-surface. It can be shown that this thickness of wax layer is a function of time as follows

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\sqrt{1.56 + 71.4 t}}$$

Economic analysis have shown that the production costs after passing through this crystallizer ten times, is 8.02 baht per litre of dewaxed oil.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่าน อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะ และความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ทั้งในแง่ของ เครื่องมือที่ใช้ทดลอง ตลอดจน วิธีและขั้นตอนการทดลอง และท่านอาจารย์ คำสัตราจารย์ ดร. เมธิต์ สิทธิสุนทร อาจารย์ ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำแนะนำและส่งเสริมงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณหัวหน้าฝ่ายซ่อมสร้าง ภาควิชาเคมีเทคนิค คุณสังข์ ช่มชื่น ที่กรุณาช่วย สร้างและซ่อมแซม เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายซ่อมสร้างทุกคน นอกจากนี้ขอขอบคุณหัวหน้าฝ่ายผลิต คุณณรงค์ ชัยพันธุ์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่กรุณา อำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการวิจัยเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ สนับสนุนด้านเงินทุนเพื่อการวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอ ขอบคุณ อาจารย์ ยอดบุญ เลิศฤทธิ์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ที่สละเวลาช่วยแปลและเรียบเรียงเอกสาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้อำนาจใจและช่วยเหลืองานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	4
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปฏิทัศน์คัมและทฤษฎี.....	5
2.1 น้ำมันปิโตรเลียม.....	5
2.2 ไฮ.....	11
2.3 การแยกไฮในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม.....	19
2.4 การตกผลึกของ ไฮพาราฟิน.....	38
2.5 ค่าความร้อนของการตกผลึกไฮพาราฟิน.....	47
2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกันราบ.....	50
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	54
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.2 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	67
3.3 วิธีการทดลอง.....	67
4 ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และวิจารณ์.....	71
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไลทดีลล์เคต.....	71
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของไฮพาราฟิน.....	72
4.3 ผลการตกผลึกไฮในแบบจำลอง เครื่องตกผลึก.....	79
4.4 ผลการหาลักษณะที่เหมาะสมของการตกผลึกไฮพาราฟินในน้ำมัน ไลทดีลล์เคตด้วย เครื่องตกผลึกระดับห้องปฏิบัติการ.....	79

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.5 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	92
	4.6 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของอัตราการเติบโตของไซบนผิว อุณหภูมิคงที่	94
	4.7 การวิเคราะห์ผลการทดลองผสมสีกาโซพาราฟินในน้ำมันโลติดีสกีเลต ในทางเศรษฐศาสตร์	96
5	สรุปผลและข้อเสนอนะ	98
	เอกสารอ้างอิง	100
	ภาคผนวก	103
	ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	104
	ภาคผนวก ข สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	121
	ภาคผนวก ค การหาค่าความร้อนของการตกผลึกกาโซพาราฟิน การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	126
	ภาคผนวก ง ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกกาโซพาราฟิน และอื่น ๆ สถานภาพน้ำมันและแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย แหล่งน้ำมันดิบในโลก	141
	ประวัติผู้เขียน	150

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของน้ำมันดิบแหล่งแม่สุ่นหลวง.....	11
2.2	คุณสมบัติทางเคมีของไข.....	14
2.3	คุณสมบัติทางกายภาพของไข	15
2.4	Application of waxes	18
2.5	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ furfural, MP และ phenol ในการใช้เป็นตัวทำละลายสกัดแยกสาร.....	23
2.6	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ furfural, MP และ phenol ในกระบวนการแยกสกัดสาร	23
2.7	คุณสมบัติของตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการแยกไข ด้วยตัวทำละลาย	34
2.8	แสดงค่าความร้อนของการแข็งตัวและการผสมของไขกับน้ำมัน	48
2.9	แสดงค่าความร้อนของการรวมตัวของพาราฟิน	49
3.1	แสดงขั้นตอนและสภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง.....	69
4.1	แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันโกลด์คัสท์เลต	71
4.2	แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของไขพาราฟิน	72
4.3	แสดงการตกผลึกไขในแบบจำลองที่อุณหภูมิสารละลายต่าง ๆ	79
4.4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการทดลอง A1 ถึง A6	92
4.5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการทดลอง B1 ถึง B5	93
4.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการทดลอง C1 ถึง C3	93
ค.1	แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวจานเหล็กที่อุณหภูมิสารละลาย 30 °C	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.2	แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวงานเหล็กที่อุณหภูมิสารละลาย 30 °ซ 134	134
ค.3	แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ ยันชอบ เขตด้านอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิสารละลาย 30 °ซ 135	135
ค.4	แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ ยันชอบ เขตด้านอุณหภูมิสูงที่ ความเร็วรอบ 0.5 รอบต่อนาที 135	135
ค.5	แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของ ยันสิ่ง เกาะทางด้านอุณหภูมิสูง ของการทดลอง A1 ถึง A6..... 136	136
ค.6	แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของ ยันสิ่ง เกาะทางด้านอุณหภูมิสูง ของการทดลอง B1 ถึง B5 137	137
ค.7	แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของ ยันสิ่ง เกาะทางด้านอุณหภูมิสูง ของการทดลอง C1 ถึง C3 138	138
ง.1	แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกไฮพาราฟีน 141	141
ง.2	แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกไฮเกสโตรแรนด์อื่น ... 141	141
ง.3	แสดงการผลิตน้ำมันและแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย (2528).... 142	142
ง.4	แสดงการกลั่นน้ำมันในประเทศไทย 143	143
ง.5	แสดง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 143	143
ง.6	สรุปสถานการณ์น้ำมัน 144	144
ง.7	แสดงแหล่งน้ำมันที่ผลิตไหลเทสูง 145	145

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สูตร โครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน	6
2.2	การเคลื่อนที่ของตาข่ายแบบคิลล์	17
2.3	แผนภูมิการแยกสกัดสารอย่างง่าย	20
2.4	แผนผังแสดงกระบวนการแยกสกัดสารด้วย Furfural	24
2.5	แผนผังแสดงกระบวนการแยกสกัดสารด้วย MP	24
2.6	แผนผังแสดงกระบวนการแยกสกัดสารด้วย Phenol	25
2.7	แผนภูมิแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยตัวทำละลาย	28
2.8	แผนผังแสดงการแยกไฮโดรด้วยโพรมีเทน	28
2.9	แผนผังแสดงกระบวนการ Barisol	30
2.10	แผนผังแสดงกระบวนการ Dý Me	31
2.11	แผนผังแสดง Dillchill dewaxing process	32
2.12	แผนผังแสดง methyl ethyl ketone dewaxing process	33
2.13	แผนผังแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา	35
2.14	แผนภูมิแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา	36
2.15	แผนผังแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยยูเรียของ Shell Oil Co., Ltd. (Wilmington)	37
2.16	แผนผังแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยยูเรียของ Shell Petroleum Co., Ltd (England)	39
2.17	แผนผังแสดงกระบวนการแยกไฮโดรด้วยยูเรียของ Societe Francaise des-Petrols.	39
2.18	ideal solubility curve	43
2.19	tertiary equilibrium diagram ของ oil, wax และ solvents.....	43

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.20	ความสามารถในการละลายของไซ (m.p. 110°ฟ) ใน aliphatic ketones	44
2.21	ผลของสัดส่วน MEK/toluene ต่อ Solubility temperature	45
2.22	แสดงความสามารถในการละลายของไซ (m.p. 55.6°ซ) ใน aromatic hydrocarbons	45
2.23	แสดง solubility curve ของไซพาราดีนและน้ำมันใน MEK ..	46
2.24	rotary drum drystallizer	47
2.25	แผนผังแสดงเครื่องตกผลึกแบบทรงกระบอกกลมหมุน	47
2.26	แสดงการไหลของความร้อนจากของไหลร้อนผ่านผนังกั้นไปยังของไหลเย็น	50
3.1	แบบจำลองเครื่องตกผลึกไซพาราดีน	55
3.2	อ่างน้ำร้อนพร้อมเทอร์โมเสตท	55
3.3	เครื่องทำน้ำเย็น	56
3.4	แผนผังแสดงการตกผลึกไซด้วยแบบจำลอง เครื่องตกผลึกไซพาราดีน	57
3.5	เครื่องตกผลึกไซพาราดีนในห้องปฏิบัติการ.....	59
3.6	แผนผังแสดงการตกผลึกไซด้วยเครื่องตกผลึก	60
3.7	จานเหล็กไร้สนิมกลม	62
3.8	ชุดขับเคลื่อนจานเหล็ก	62
3.9	เครื่องควบคุมความเร็วของจาน	63
3.10	หน่วยป้อนน้ำมันสู่เครื่องตกผลึก	64
3.11	หน่วยทำน้ำร้อน	65
3.12	หน่วยทำน้ำหล่อเย็น	65

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	ใบมัดที่ใช้ยึดโยที่เกาะติดบนจานเหล็ก	66
3.14	screw conveyor และถังเก็บโย.....	66
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโลที่ดิสก์เลต กับจุดหลุมุมิ	71
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกของน้ำมันโลที่ดิสก์เลต กับจุดหลุมุมิในสเกลปกติ	74
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโลที่ดิสก์เลต กับจุดหลุมุมิในสเกล semi-log	75
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกของน้ำมันโลที่ดิสก์เลต กับปริมาณโยต่าง ๆ	76
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันโลที่ดิสก์เลตกับปริมาณ โยต่าง ๆ	77
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกของโซพาราฟีน (m.p 50.52 °ซ) กับจุดหลุมุมิ	78
4.7	แสดงผลของอัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมันโลที่ดิสก์เลตต่อ จุดไหลเทของน้ำมันที่แยกโยบางส่วน	81
4.8	แสดงผลของอัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมันโลที่ดิสก์เลตต่อ จุดไหลเทของโยในชั้นของแข็งที่เกาะบนผิวจานเหล็ก	82
4.9	แสดงผลของอัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมันโลที่ดิสก์เลตต่อ Separation efficiency และสัดส่วนน้ำหนักโยที่แยกได้ต่อ น้ำหนักโยที่ป้อนเข้า	83
4.10	แสดงผลของความเร็วรอบของจานเหล็กต่อจุดไหลเทของน้ำมันที่ แยกโยออกบางส่วน	84

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	แสดงผลของความเร็วรอบของจานเหล็กต่อจุดไหลเทของไฮโนอินของแข็งที่เกาะบนผิวจานเหล็ก.....	85
4.12	แสดงผลของความเร็วรอบของจานเหล็กต่อ Separation efficiency และน้ำหนักโยที่แยกได้	86
4.13	แสดงผลของอุณหภูมิสารละลายต่อจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกโยออกบางส่วน	88
4.14	แสดงผลของอุณหภูมิสารละลายต่อจุดไหลเทของไฮโนอินของแข็งที่เกาะบนผิวจานเหล็ก	88
4.15	แสดงผลของอุณหภูมิสารละลายต่อ Separation efficiency และน้ำหนักโยที่แยกได้	90
4.16	แสดงผลของจำนวนครั้งที่สารละลายน้ำมันไหลผ่านเครื่องตกผลึกต่อจุดไหลเทของน้ำมันที่แยกโยออกบางส่วน น้ำหนักโยที่แยกได้สะสม และน้ำหนักโยที่แยกได้ต่อพื้นที่เวลา	91
ก.1	แสดง เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ	107
ก.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำมันลู่กับอุณหภูมิ....	110
ก.3	แสดง เครื่องมือวัดจุดไหลเทของน้ำมัน	115
ก.4	แสดง เครื่องมือวัดจุดหลอมเหลวของโย	118
ก.5	แสดง adiabatic calorimeter	120
ก.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันทางออกของปั้มน้ำเป็นกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	120
ค.1	แสดง เครื่องมือหาค่าความร้อนของการตกผลึก	127
ค.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันทางออกของปั้มน้ำเป็นกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	132



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ถ่ายเทความร้อน, ft^2
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity), $Btu/ft \cdot hr \cdot ^\circ F$
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F$
h_o, h_i	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์ม (film heat transfer coefficient) ทางด้านจุดหมุ่สูงและทางด้านจุดหมุ่ต่ำ, $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F$
r_h, r_w, r_e	=	ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (heat transfer resistance) ของชั้นของสิ่งเกาะทางด้านจุดหมุ่สูง, ผนังกันและของชั้นของสิ่งเกาะทางด้านจุดหมุ่ต่ำ ตามลำดับ $ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F/Btu$.
S_h, S_w, S_l	=	ความหนาของชั้นสิ่งเกาะทางด้านจุดหมุ่สูง, ผนังกันและของสิ่งเกาะทางด้านจุดหมุ่ต่ำ, ft
Q, q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน, Btu/lb
U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient), $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F$
X	=	ความหนาของชั้นของแข็ง, ft
λ	=	ความร้อนของการตกผลึก, Btu/lb
t	=	เวลา, hr
T	=	จุดหมุ่, $^\circ C$
t_h	=	จุดหมุ่ของของไหลจุดหมุ่สูง, $^\circ C$
t_w	=	จุดหมุ่ของสิ่งเกาะติดบนผนังกันด้านจุดหมุ่สูง, $^\circ C$
t_o	=	จุดหมุ่ของผนังกันด้านจุดหมุ่สูง, $^\circ C$
t_i	=	จุดหมุ่ของผนังกันด้านจุดหมุ่ต่ำ, $^\circ C$
t_e	=	จุดหมุ่ของสิ่งเกาะติดบนผนังกันด้านจุดหมุ่ต่ำ, $^\circ C$

t_c	=	จุดหนีของของไหลจุดหนีต่ำ, °C
α	=	พารามิเตอร์ในสมการที่ (7)
β	=	พารามิเตอร์ในสมการที่ (8)
ϕ	=	พารามิเตอร์ในสมการที่ (9)
ΔH_f	=	ความร้อนแฝงของการรวมตัว
T_f	=	จุดหนีของการรวมตัว
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ
N_2	=	mole fraction
E	=	ประสิทธิภาพการแยก (Separation efficiency), %
W_1, W_s	=	สัดส่วนของน้ำหนักไฮโดรเจนต่อน้ำหนักน้ำในสารละลายและในชั้นของแข็ง ตามลำดับ
p	=	ความเข้มข้นของมวล, lb/ft ³
i	=	interface
b	=	สารละลาย
s	=	ชั้นของแข็ง
w	=	ผนังกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย