

การสกัดสารไฮโดรคาร์บอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

นางสาว สรวงสุดา ลิปิยมงคล



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

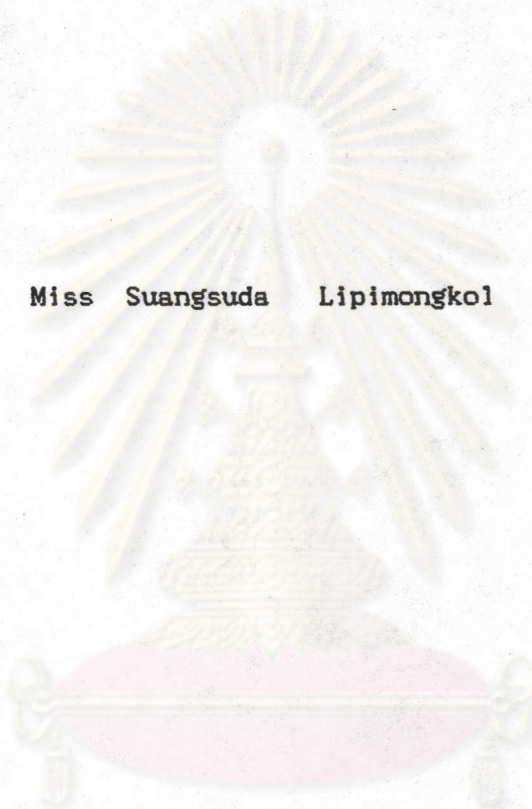
พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-418-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014414

HYDROCARBON EXTRACTION WITH LIQUID CARBONDIOXIDE



Miss Suangsuda Lipimongkol

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Program of Petrochemistry

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-418-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสกัดสารไฮโดรคาร์บอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

โดย

นส. สรวงสุดา ลิปิมงคล

สาขาวิชา

ปิโตรเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ดร. เพียรพรรค ทศคร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ ตันตยานนท์)

ประธานกรรมการ

.....  
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทศคร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรพันธ์ อรรถยุกติ)

กรรมการ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

กรรมการ



สรวงสุดา ลิปิยมงคล : การสกัดสารไฮโดรคาร์บอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว  
(HYDROCARBON EXTRACTION WITH LIQUID CARBONDIOXIDE)

อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร. เพียรพรรค ทิศคร., 143 หน้า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการสกัดแยกสารไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกจากสารผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวแปรเป็น ช่วงเวลาของการกวนผสมสารในช่วง ๑-12๐ นาที อุณหภูมิ 1๐°C. ถึง อุณหภูมิห้อง และความดัน ๓๐-1๐๐ บาร์ ผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ช่วงเวลาของการกวนผสมสาร 6๐ นาที อุณหภูมิห้อง และความดัน 8๐ บาร์ ปริมาณไซในสิ่งสกัดลดลงจากร้อยละ 2๐.6 เป็น 8.7 ในการสกัดสาร 5 ครั้ง ปริมาณไซในสิ่งสกัดลดลงจากร้อยละ 2๐.6 เป็น 3.1

การเปรียบเทียบการละลายของสารเฮปเทน และไซในคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของไหลภาวะวิกฤต ทำให้อัตราส่วนการละลายของเฮปเทนต่อไซในคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เหลว สามารถใช้เป็นตัวทำละลายได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

การศึกษาผลของตัวทำละลายร่วม พบว่า การใช้เอซีโตน หรือ เมทิลเอทิลคีโตน ทำให้อัตราส่วนการละลายของเฮปเทนต่อไซในคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัด และที่เหลือจากการสกัด พบว่า ไฮโดรคาร์บอนในสิ่งสกัดมีการกระจายโมเลกุลค่อนข้างไปทางสารอัลเคนโมเลกุลเล็ก ในขณะที่ไฮโดรคาร์บอนในส่วนที่เหลือ มีการกระจายโมเลกุลค่อนข้างไปทางสารอัลเคนโมเลกุลใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบผลของความดัน และอุณหภูมิต่อการสกัดสาร พบว่า ในการสกัดสารไฮโดรคาร์บอน ความดันมีผลมากกว่าอุณหภูมิ

ภาควิชา ....ปิโตรเคมี-โพลีเมอร์....

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ...ปิโตรเคมี....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Sanwim* .....

ปีการศึกษา ....2531....

SUANGSUDA LIPIMONGKOL : HYDROCARBON EXTRACTION WITH LIQUID  
CARBONDIOXIDE. THESIS ADVISOR : PIENPAK TASAKORN, Dr. 143 pp.

In the study, the extraction of low molecular weight hydrocarbons from a mixture containing hydrocarbons of higher molecular weight, using liquid carbondioxide, was investigated. Experiments were carried out with varying mixing times between 0-120 minutes, temperatures between 10°C to room temperature and pressures between 30-100 bar. It was found that a combination of 60 minutes mixing time, room temperature, and 80 bar pressure was the best condition. The quantity of wax in the first extract was decreased from 20.6 % to 8.7 %. After the fifth extraction, only 3.1 % wax remained.

The solubility ratio of heptane to wax in carbondioxide was increased when supercritical carbondioxide was used. Liquid carbondioxide behaved as a good solvent only at low temperatures.

A study of the influence of cosolvents indicates that the solubility ratio of heptane to wax in carbondioxide increased when acetone or methyl ethyl ketone was used as cosolvent.

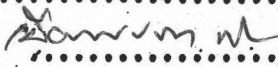
A composition of hydrocarbons in extract and residue shows that the distribution of hydrocarbons in the extract is shifted towards small alkane molecules, whereas the distribution of hydrocarbons in the residue is shifted towards larger molecules. A comparison of the influence of pressure and temperature indicates that pressure affects the extractability to a greater extent than temperature.

ภาควิชา ....ปิโตรเคมี-โพลีเมอร์....

สาขาวิชา ...ปิโตรเคมี....

ปีการศึกษา ....2531....

ลายมือชื่อผู้ผลิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา  .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทศคร อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง  
ทั้งในแง่ของวิชาการ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนวิธีและขั้นตอนการทดลอง  
ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วรพันธ์ อรรถยุกติ ซึ่งกรุณาให้ข้อมูลเพื่อส่งเสริมงานวิจัยนี้  
ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สิทธิชัย สนิพัตน์ไพบูลย์ ภาควิชาเคมี ซึ่งกรุณาให้ใช้เครื่อง  
gas chromatograph ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสามไว้ ณ. ที่นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายซ่อมสร้าง ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่กรุณาซ่อมแซมเครื่องมือ  
และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณหัวหน้าฝ่ายพัสดุ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชา  
เคมีเทคนิค และเจ้าหน้าที่ฝ่ายพัสดุ ภาควิชาเคมี ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการยืม  
อุปกรณ์ต่างๆ ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทนุอดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
และ กองวิจัย และพัฒนา การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่ได้สนับสนุนด้านเงินทุนเพื่อ  
การวิจัยนี้ ขอขอบคุณกองควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ในการสนับสนุน  
สารเคมีเอกเซน และเฮปเทน สำหรับการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ๆ ซึ่งสนับสนุนด้านการศึกษา  
มาโดยตลอด และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลืองานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรวงสุดา ลิปิมงคล

## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
รายการตารางประกอบ	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	ฎ
บทที่	

1. บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญของการสกัดสารไฮโดรคาร์บอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว..	1
1.2 ความเป็นมาในการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยครั้งนี้ .....	3
2. ไซบิโตรเลียม .....	4
2.1 ประเภทของไซ .....	4
2.2 ไซบิโตรเลียม .....	5
2.3 การผลิต และการทำไซให้บริสุทธิ์ .....	6
2.4 โครงสร้าง และส่วนประกอบของไซบิโตรเลียม .....	9
2.5 คุณสมบัติของไซบิโตรเลียม .....	11
2.6 การใช้ประโยชน์ และแนวทางตลาดของไซบิโตรเลียม .....	18

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว .....	22
3.1 การสกัดสารด้วยแก๊สภาวะวิกฤต .....	22
3.2 ความสามารถในการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย .....	25
3.3 การสกัดสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ .....	27
3.4 ทฤษฎีการสกัดสารด้วยของไหลภาวะวิกฤต .....	29
3.5 กระบวนการสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันสูง .....	40
3.6 ประโยชน์การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย .....	45
4. ทฤษฎีการละลายของสารประกอบนอร์มัล-อัลเคน .....	47
4.1 สารประกอบนอร์มัล-อัลเคน .....	47
4.2 การละลายของสารนอร์มัล-อัลเคนที่เป็นของแข็งในตัวทำละลายอินทรีย์ ..	51
4.3 สมการการละลายของสารประกอบนอร์มัล-อัลเคนที่เป็นของแข็งใน ตัวทำละลายอินทรีย์ .....	53
5. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง .....	59
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	59
5.2 สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....	63
5.3 วิธีการทดลอง .....	66
6. ผลการทดลอง การวิจารณ์ และวิเคราะห์ .....	70
6.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของไซนารานิน .....	70
6.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของไซนารานินในตัวทำละลายเฮกเซน เอปเทน โนเนน และไตรเดเคน รวมทั้งการหาสมการการละลาย .	72



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
6.3 การหาปริมาณไฮพารานินในสิ่งสกัด .....	77
6.4 การหาค่าประกอบของไฮพารานิน .....	82
6.5 เปรียบเทียบการละลายของเฮปเทน และไฮพารานินใน CO <sub>2</sub> .....	93
7. สรุปผล และข้อเสนอแนะ .....	97
7.1 สรุปผลการทดลอง .....	97
7.2 ข้อเสนอแนะ .....	100
เอกสารอ้างอิง .....	101
ภาคผนวก .....	106
ก. ไฮพารานิน .....	107
ข. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของ CO <sub>2</sub> .....	114
ค. คุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ .....	122
ง. วิธีการทดสอบ และการคำนวณ .....	127
จ. ตารางแสดงผลการทดลอง .....	137
ประวัติผู้เขียน .....	143

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของสารอัลเคน ..... 10
2.2	คุณสมบัติทางเคมีของสารปิโตรเลียม ..... 14
2.3	คุณสมบัติทางกายภาพของไฮปิโตรเลียม ..... 17
2.4	การทดสอบคุณสมบัติของไฮปิโตรเลียม ..... 20
3.1	การนำไปใช้ประโยชน์ของของไหลภาวะวิกฤต ..... 23
3.2	การละลายของสารประกอบต่างๆ ในคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ..... 26
3.3	จุดวิกฤตของสารประกอบต่างๆ ..... 36
3.4	ค่าการละลายของสารใน CO <sub>2</sub> โดยมีตัวทำละลายร่วมต่างๆ กัน ..... 39
3.5	พารามิเตอร์การละลายของสาร และตัวทำละลายร่วม ..... 39
3.6	ค่า configurational pair energy ของสารกับตัวทำละลายร่วม ..... 41
3.7	กระบวนการทางพหุศาสตร์ในการสกัดสารด้วยของไหลภาวะวิกฤต ..... 44
4.1	จุดเดือด จุดหลอมเหลว และความถ่วงจำเพาะของสารประกอบอัลเคน ... 48
4.2	ค่าคงที่ทางกายภาพของสารอัลเคนโมเลกุลใหญ่ ..... 50
4.3	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และโมเมนต์ขั้วคู่ของสารประกอบต่างๆ ..... 52
4.4	ปริมาตรโมลาร์ของตัวทำละลายที่ 25°C. .... 55
6.1	ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของไซพารานิน ..... 71
6.2	สมการเอกซ์โพเนนเชียลของการละลายของไซพารานิน ที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 72
ก.1	ปริมาณการนำเข้าไซพารานิน ..... 107
ก.2	ปริมาณการนำเข้าไซชนิดอื่น ..... 108
ก.3	ปริมาณไซในน้ำมันดิบแหล่งต่างๆ ทั่วโลก ..... 109
ก.4	การละลายของไซพารานินในตัวทำละลายต่างๆ ..... 111
ข.1	ความหนืดของ CO <sub>2</sub> ที่อุณหภูมิ และความดันต่างๆ ..... 118
ข.2	คุณสมบัติของของเหลว-ไอ ของ CO <sub>2</sub> ที่อิ่มตัว ..... 119
ข.3	คุณสมบัติของของแข็ง-ไอ ของ CO <sub>2</sub> ที่อิ่มตัว ..... 120
ข.4	ค่า compressibility ของ CO <sub>2</sub> ..... 121
ง.1	สถานะของการใช้เครื่อง gas chromatograph ในการหาองค์ประกอบ ของไซพารานิน ..... 127

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.1	อุณหภูมิการละลายของไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ..... 137
จ.2	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์ในสิ่งสกัด โดยมีเวลา ความดัน และอุณหภูมิ เป็นตัวแปร ..... 138
จ.3	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์ในสิ่งสกัด โดยมีจำนวนครั้ง ในการสกัดต่างๆ กัน ..... 140
จ.4	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์ในสิ่งสกัด โดยมี ตัวทำละลายร่วมต่างๆ ..... 140
จ.5	ผลของความดัน และความหนาแน่น ที่มีต่อการละลายของไฮดรอกไซด์ และเฮปแทน ใน $CO_2$ ..... 141
จ.6	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของเฮปแทน และไฮดรอกไซด์ ใน $CO_2$ ..... 141
จ.7	ผลของตัวทำละลายร่วมที่มีต่อการละลายของไฮดรอกไซด์ และเฮปแทน ใน $CO_2$ ..... 142

## รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	การผลิต และการทำให้บริสุทธิ์ .....	8
2.1	โครมาโตแกรมของไซพาราฟิน .....	12
2.3	ลักษณะผลึกไซทั้ง 3 แบบ แบบเกล็ด แบบเข็ม และแบบผสม .....	12
2.4	ลักษณะผลึกไซที่ได้จากการตกผลึก .....	13
3.1	องค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ .....	28
3.2	องค์ประกอบของสารที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ .....	28
3.3	องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมของเอทานอล และน้ำ .....	28
3.4	องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ของ เมทาลินคลอไรด์ .....	28
3.5	องค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ ...	28
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างการละลายกับความดัน .....	33
3.7	การละลายของกรดเบนโซอิกใน $CO_2$ โดยใช้ $SO_2$ เป็นตัวทำละลายร่วม ...	33
3.8	การละลายของกรดเบนโซอิกใน $CO_2$ โดยใช้ตัวทำละลายร่วม ร้อยละ 3.5 โมล ที่ $35^{\circ}C$ . .....	33
3.9	การละลายของ 2-อะมิโนเบนโซอิกใน $CO_2$ โดยใช้ตัวทำละลายร่วม ร้อยละ 3.5 โมล ที่ $35^{\circ}C$ . .....	33
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของ $CO_2$ .....	42
3.11	ขั้นตอนการสกัดสารด้วย $CO_2$ เหลว .....	46
4.1	การละลายของสารแอร์มีล-อัลเคนที่เป็นของแข็งในตัวทำละลาย อินทรีย์ต่างๆ .....	58
5.1	ส่วนประกอบของเครื่องมือการสกัดสาร .....	60
5.2	เครื่องมือการสกัดสาร .....	60
5.3	ท่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง .....	61
5.4	ถังพักคาร์บอนไดออกไซด์เหลว .....	61
5.5	เครื่องสูบลมแรงดันสูง .....	62
5.6	เครื่องปฏิกรณ์เคมี .....	62

รายการประกอบ (ต่อ)

5.7	ใบพัด 4 ชุด ของเครื่องปฏิกรณ์เคมี .....	64
5.8	ท่อคอลัมน์แฟลช .....	64
5.9	เครื่องหาจุดหลอมเหลวของไซพาราฟิน .....	65
6.1	เส้นโค้งการเย็นตัวของไซพาราฟิน .....	70
6.2	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟิน ที่ได้จากการทดลอง และสมการ เอ็กซ์โพเนนเชียล .....	73
6.3	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟิน ที่ได้จากการทดลอง และสมการ การละลายในอุดมคติ .....	75
6.4	ผลของช่วงเวลาในการกวนผสมต่อปริมาณไซพาราฟินในสิ่งสกัด .....	77
6.5	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณไซพาราฟินในสิ่งสกัด .....	78
6.6	ผลของความดันต่อปริมาณไซพาราฟินในสิ่งสกัด .....	79
6.7	ผลของจำนวนครั้งในการสกัด .....	80
6.8	ผลของตัวทำละลายร่วมต่อปริมาณไซพาราฟินในสิ่งสกัด .....	81
6.9	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และสิ่งสกัด ที่ความดัน 80 บาร์ และอุณหภูมิต่างๆ .....	83
6.10	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และส่วนที่เหลือจากการสกัด ที่ความดัน 80 บาร์ และอุณหภูมิต่างๆ .....	86
6.11	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และสิ่งสกัด ที่อุณหภูมิห้อง และความดันต่างๆ .....	88
6.12	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และส่วนที่เหลือจากการสกัด ที่อุณหภูมิห้อง และความดันต่างๆ .....	89
6.13	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และสิ่งสกัด โดยมีตัวทำละลายร่วมต่างๆ .....	91
6.14	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายโมเลกุลของไซพาราฟินตั้งต้น และส่วนที่เหลือจากการสกัด โดยมีตัวทำละลายร่วมต่างๆ .....	92
6.15	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟินกับเฮปเทน ใน CO <sub>2</sub> ที่อุณหภูมิห้อง และความดันต่างๆ .....	93
6.16	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟินกับเฮปเทน ใน CO <sub>2</sub> ที่อุณหภูมิห้อง และความหนาแน่นต่างๆ .....	94

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.16	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟินกับเฮปเทน ใน $\text{CO}_2$ ที่อุณหภูมิห้อง และความหนาแน่นต่างๆ .....	94
6.17	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟินกับเฮปเทน ใน $\text{CO}_2$ ที่ความดัน 80 บาร์ และอุณหภูมิต่างๆ .....	95
6.18	เปรียบเทียบการละลายของไซพาราฟินกับเฮปเทน โดยมีตัวทำละลายร่วมต่างๆ .....	96
ข.1	แผนผังวัฏภาคของ $\text{CO}_2$ .....	114
ข.2	ผลของความดันที่มีต่อความหนาแน่นของ $\text{CO}_2$ ที่บริเวณภาวะวิกฤต .....	114
ข.3	แผนผัง compressibility ของ $\text{CO}_2$ ที่ความหนาแน่นต่ำ .....	115
ข.4	แผนผัง compressibility ของ $\text{CO}_2$ ที่ความหนาแน่นปานกลาง .....	116
ข.5	แผนผัง compressibility ของ $\text{CO}_2$ ที่ความหนาแน่นสูง .....	117
ง.1	เครื่อง gas chromatograph .....	128
ง.2	กราฟมาตรฐานระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นของนอร์มัล-พาราฟิน ..	131
ง.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับจำนวนคาร์บอนอะตอมของ สารนอร์มัล-พาราฟิน .....	132
ง.4	โครมาโตแกรมของไซพาราฟินก่อน หลัง และที่เหลือจากการสกัด .....	136

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

$\xi$	=	ขนาดกลุ่ม (cluster sizes), dimensionless
N	=	จำนวนโมเลกุล, dimensionless
$d^0$	=	ความหนาแน่นของตัวทำละลายในสารละลายที่เจือจาง, $L^{-3}$
k	=	ค่าคงที่โบทซ์แมน
$K_T$	=	ค่า isothermal compressibility, $Lt^2M^{-1}$
Y	=	ความสามารถในการละลายของของแข็งในของไหลภาวะวิกฤต
E	=	enhancement factor
P	=	ความดัน
B	=	cross-virial coefficient
V	=	ปริมาตร, $cm^3 mol^{-1}$
$\mu$	=	ศักย์ทางเคมี
X	=	สัดส่วนโมล
$\Delta U$	=	configurational pair energy, $kJ/g-mol$
D	=	dispersion
O	=	orientation
I	=	induction
A	=	acid
B	=	base
C	=	cohesive energy density
$\delta$	=	solubility parameter, $(cal/cm^3)^{1/2}$
$w_B$	=	สัดส่วนน้ำหนัก
$\phi$	=	สัดส่วนปริมาตร
M	=	น้ำหนักโมเลกุล
$H_m$	=	ความร้อนของการหลอมเหลว, $J/mole$
$H_c$	=	ความร้อนของแทรนซิชัน, $J/mole$
R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส
$T_m$	=	อุณหภูมิหลอมเหลว, $^{\circ}K$
$T_c$	=	อุณหภูมิแทรนซิชัน, $^{\circ}K$
Z	=	compressibility factor