กระบวนการทัศนภาพเพื่อการประเมินการถ่ายโอนไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าไปในยางธรรมชาติ

นางสาวชุติมา โชติเวศย์ศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-428-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18366077

IMAGE PROCESSING FOR EVALUATION OF LIQUID HYDROCARBONS TRANSFER INTO NATURAL RUBBER

Miss Chutima Chotlwatsin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-639-428-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการทัศนภาพเพื่อการประเมินการถ่ายโอนไฮโดรคาร์บอนแหลวเข้าไปในยางธรรมชาติ
โดย	นางสาว ชุติมา โชติเวศย์ศิลป์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชุติมา โรติเวศย์ศิลป์: การใช้ระบบทัศนภาพในการประเมินการถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าไปในยางธรรมชาติ (IMAGE PROCESSING FOR EVALUATION OF MASS TRANSFER OF LIQUID HYDROCARBONS INTO NATURAL RUBBER.)
อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. เพียรพรรค ทัศคร ; 93 หน้า. ISBN 974-639-428-2.

ยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายของโพลีไอโซพรีน มีสมบัติในการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนได้ และการถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดการพองตัวของยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถติดตามได้โดยการใช้ระบบทัศนภาพเข้ามาช่วยในการหาอัตราการพองตัวของยางที่เกิดขึ้น โดยวัดขนาดรัศมีของชิ้นตัวอย่างยางรูปแผ่นกลมที่เปลี่ยนไปกับเวลา เมื่อให้สารอินทรีย์เหลวแทรกซึมเข้าไปตามแนวรัศมี

การถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติ เป็นไปตามทฤษฎีการแทรกซึม (penetration theory) โดยอัตราการดูดซึมสารแปรผันกับรากที่สองของเวลา ($t^{1/2}$)

ผลการวิจัยทำให้สามารถเสนอพารามิเตอร์โมดีล γ เป็นดัชนีเฉพาะของสารแต่ละชนิด ทำให้สามารถเปรียบเทียบอัตราการถ่ายโอนมวลของสารอินทรีย์เหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติโดยเปรียบเทียบกับสาร aromatics ค่า γ ของสารอินทรีย์ที่ใช้ทดสอบคือกลุ่ม aliphatics (C_7- C_9) aromatics (BTX) อีเทอร์ (THF) linear-alkyl benzene (LAB) แอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) ไกลคอล (2-ethyl-hexanediol และ propylene glycol) มีค่า γ เท่ากับ 0.74, 1, 1.24, 1.32, 0.18, 0.21 และ 0.23 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต ชุติมา โรติเวศย์ศิลป์
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

3970453823 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: NATURAL RUBBER / ASOPTION / PENETRATION /SWELL / HYDROCARBONS / SOLUBILITY PARAMETER
CHUTIMA CHOTIWATSIN: IMAGE PROCESSING FOR EVALUATION OF MASS TRANSFER OF LIQUID HYDROCARBONS INTO NATURAL RUBBER. THESIS ADVISOR: PIENPAK TASAKORN, Ph.D. 93 pp.
ISBN 974-639-428-2.

Natural rubber (NR) consists of polyisoprene which absorbs liquid organics. As a result NR swells and the rate of swelling can be observed using an image processing technique. The rate of radius in a specimen was monitored with time while liquid organic substance was allowed to penetrate the NR disc radially.

Mass transfer of liquid hydrocarbons into NR followed the penetration theory by which the rate of absorption was inversely proportional to the square root of time ($t^{1/2}$).

Experimental results suggest the introduction of a new parameter, γ, which is a specific parameter for each organic liquid. This enables a comparison of the mass transfer rate into NR of an organic liquid to that of aromatics. Organics tested were aliphatics (C_1- C_9), aromatics (BTX), ether (THF), linear-alkyl benzene (LAB), alcohol (isopropyl alcohol) and glycol (2-ethyl-hexanediol, propylene glycol) for which the parameter γ was determined to be 0.74, 1, 1.24, 1.32, 0.18, 0.21, 0.23 respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ เพียรพรรค ทัศคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำสั่งสอน และความช่วยเหลือทุกอย่างเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา และ รับฟังปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย รวมถึงความเอาใจใส่ต่อนิสิตปริญญาโททุกคน

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาที่ดี

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษา และ งานวิจัยแก่นิสิตตลอด 2 ปี

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ และบุคลากรของภาควิชาเคมีเทคนิค ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการทำงานวิจัย ทั้งสารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงให้ความดูแลเอาใจใส่นิสิตเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ พนวสันต์ เอี่ยมจันทน์ ที่ให้คำแนะนำ และ คำปรึกษาที่ดี รวมถึงกำลังใจที่มีให้แก่นิสิตมาตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณประพัตร แสนยากร และ เจ้าหน้าที่ฝ่ายกิจการนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือทุกอย่าง รวมถึงกำลังใจที่ดี เสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกคน สำหรับ ความเข้าใจ กำลังใจ และ ความช่วยเหลือที่มอบให้แก่กันและกันตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ชาวค่ายอาสา คณะวิทยาศาสตร์ฯ ที่เป็นกำลังใจแก่นิสิต ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ผู้ที่ให้กำเนิด และเลี้ยงดูนิสิตด้วยความรักความเข้าใจตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฏ

บทที่

1. บทนำ.....1
   1.1 วัตถุประสงค์.....2
   1.2 ขอบเขตงานวิจัย.....2
   1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....2
2 วารสารปริทรรศน์.....3
   2.1 การถ่ายโอนมวล.....3
   2.2 ขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่.....6
   2.3 การออกแบบเครื่องจักรเชิงทัศนภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม.....11
   2.4 คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....20
   2.5 แรงดึงระหว่างโมเลกุล และค่าการละลาย.....24
   2.6 การพองตัวของพอลิเมอร์ร่างตาข่าย.....29
   2.7 งานวิจัยในอดีต.....30
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....32
   3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....32
      3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....33
      3.1.2 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในงานวิจัย.....33
   3.2 ยางธรรมชาติและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....38
      3.2.1 ยางธรรมชาติ.....37

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ ในการทดลอง.....37

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....38

3.4 การดำเนินงานวิจัย.....38

3.4.1 การบดยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยาง.....38

3.4.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล และการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ของยางธรรมชาติ.....39

3.4.3 การถ่ายโอนสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าไปในยางธรรมชาติ.....39

3.4.4 การแปลงสัญญาณภาพจากกล้องวีดีโอเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์.....40

3.4.5 การหาขอบเขตของภาพและแปลงเป็นข้อมูลแบบเวคเตอร์.....40

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....43

4.1 ผลจากการบดด้วยเครื่องบดผสมยาง.....43

4.2 การดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวโดยยางธรรมชาติ.....45

4.2.1 การใช้แผ่นยางธรรมชาติในการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลว ประเภทน้ำมัน.....45

4.2.2 การใช้แผ่นยางธรรมชาติในการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวบริสุทธิ์.....47

4.2.3 การใช้แผ่นยางธรรมชาติในการดูดซึมสารอินทรีย์อื่นที่มีขั้ว และที่มี hydroxy group.....51

4.3 รัศมีของยางธรรมชาติที่เปลี่ยนไปหลังเกิดการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลว aliphaticss และ aromaticss.....54

4.4 อัตราการพองตัวของยางธรรมชาติ.....57

4.5 สมมุติฐานเกี่ยวกับทฤษฎีการแทรกซึม.....59

4.6 ผลของค่าพารามิเตอร์การละลาย กับ อัตราการถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลว เข้าสู่ยางธรรมชาติ.....61

4.7 การจัดอันดับอัตราการถ่ายโอนมวลของสารอินทรีย์เหลว.....62

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

5 สรุปผลการทดลอง.....70

5.1 ผลจากการบดด้วยเครื่องบดผสมยาง.....70

5.2 การดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวประเภทน้ำมัน.....71

5.3 การดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวพวก aliphatics และ aromatics 71

5.4 การดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวพวกที่มี hydroxy group.....71

5.5 รัศมีที่เปลี่ยนไปหลังเกิดการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวพวก aliphatics และ aromatics.....72

5.6 อัตราการพองตัวของยางธรรมชาติ.....72

5.7 พารามิเตอร์ γ.....73

ข้อเสนอแนะ.....73

รายการอ้างอิง.....74

ภาคผนวก.....77

ภาคผนวก ก สมบัติทางเคมีและโครงสร้างทางเคมี.....78

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง.....82

ภาคผนวก ค สมบัติทางฟิสิกส์ของสารไฮโดรคาร์บอน.....89

ภาคผนวก ง วิธีทดสอบ.....91

ประวัติผู้เขียน.....93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ.....21

2.2 ค่าคงที่ของของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล.....27

2.3 พารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายไม่มีขั้ว.....28

2.4 พารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายมีขั้ว.....28

4.1 ตารางแสดงน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติที่ผ่านและไม่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดผสมยาง.....43

4.2 แสดงปริมาณของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในยาง และรัศมีของยางที่เวลา 60 นาที.....46

4.3 แสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซึมและรัศมีที่เปลี่ยนไปเทียบกับรัศมีเริ่มต้นของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน.....48

4.4 แสดงน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซึม และรัศมีที่เปลี่ยนไปเทียบกับรัศมีเริ่มต้น.....51

4.5 แสดงค่าอัตราการพองตัวของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ.....57

4.6 ตารางแสดงค่าความชันของกราฟระหว่าง($\Delta M_t/M_0$) กับ เวลา$^{1/2}$.....60

4.7 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ γ ของสารชนิดต่าง ๆ.....68

ข.1 ข้อมูลการทดลองแสดงปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึม ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ.....82

ข.2 ข้อมูลการทดลองแสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอนเหลวกลุ่ม aromaticsที่ถูกดูดซึมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ.....83

ข.3 ข้อมูลการทดลองแสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอนเหลวกลุ่ม aliphatics ที่ถูกดูดซึมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ.....84

ข.4 ข้อมูลการทดลองค่ารัศมีของตัวอย่างยางที่เปลี่ยนไปหลังการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนเหลวชนิดต่าง ๆ.....85

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ข.5 ข้อมูลการทดลองแสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอนเหลว ที่ถูกดูดซึม
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ.....87
ข.6 ข้อมูลการทดลองการหาค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวอย่างยางธรรมชาติ.....88
ค.1 สมบัติทางฟิสิกส์ของสารไฮโดรคาร์บอน.....89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 ภาพฟองอากาศไหลขึ้น....4
2.2 Two-film model 4
2.3 การแพร่ที่ทำให้เกิดชอบเขตเคลื่อนที่โดยโมเลกุลของน้ำไม่มีการเคลื่อนที่....6
2.4 ความคิดรวบยอดของระบบ (a)แสดงขอบเขตของระบบ (b) ระบบสมบูรณ์ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างระบบย่อย....12
2.5 โมดูลต่างๆในระบบทัศนภาพ....13
2.6 การตัดตอนภาพด้วยวิธี thresholding และ edge-based (a) ภาพเกรย์สเกล 512×256 จุด (b) ตัดตอนภาพด้วยวิธี edge-based (c) ภาพแบบไบนารีที่จุดกึ่งกลางที่ระดับ 47 (d) ภาพแบบไบนารีที่จุดกึ่งกลางที่ระดับ 28....16
2.7 การสกัดภาพ (a) ภาพแบบไบนารีที่มีข้อมูลจุดกึ่งกลางและพื้นที่ (b) เส้นรอบรูป (c) รูปสี่เหลี่ยมเล็กที่สุดที่ครอบคลุมภาพได้ (d) จำนวนของโพรงที่ปรากฏในภาพ....17
2.8 ทิศทางของ chain code ทิศตามเข็มนาฬิกา....18
2.9 ตัวอย่างรูปปิดที่ต้องการหาพื้นที่....18
2.10 การหาพื้นที่จาก chain code....19
2.11 อนุภาคยางในน้ำยาง....22
2.12 แบบจำลองอนุภาคของยางธรรมชาติ....23
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดที่จุดสมดุลของพอลิเมอร์กับค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายต่างๆ....26
3.1 ชุดเครื่องมือทดลองที่ใช้ในการทดลอง....34
3.2 แผ่นแก้วประกบแผ่นยางธรรมชาติที่ในการทดลอง....35
3.3 ภาพรวมของการทดลองการถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติ....36

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.4 เครื่องบดผสมยาง (two-roll mill) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....38
3.5 การจับภาพของแผ่นยางที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Media studio video captures.....41
3.6 Corel OCR-trace 8 เปลี่ยนข้อมูลจาก bitmap เป็นเวกเตอร์ และหาขอบเขตของภาพ..42
3.7 การใช้โปรแกรม AutoCAD โดยการเรียกฟังก์ชัน area ในการหาพื้นที่.....42
4.1 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ยังไม่ผ่านการบด
ด้วยเครื่องบดผสมยาง.....44
4. 2 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ยังไม่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดผสมยาง
เทียบกับหลังการบดที่เวลาต่าง ๆ กัน.....45
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในยาง
อุณหภูมิ 35 °C ความดันบรรยากาศ.....46
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของน้ำมันที่ถูกดูดซึมและรัศมีของยางหลัง
การพองตัว กับ น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมัน.....47
4.5 กราฟแสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซึมและรัศมีที่เปลี่ยนไปเทียบกับรัศมีเริ่มต้นกับ
สารไฮโดรคาร์บอนเหลวทั้ง aliphatics และ aromatics ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน.....49
4.6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่ถูกดูดซึมด้วยตัวอย่าง
ยางธรรมชาติ และ ค่า r/r_0 50
4.7 กราฟแสดงปริมาณสารอินทรีย์ชนิดต่างๆที่ยางดูดซึม และรัศมีที่เปลี่ยนไป
ของยางจุดสมดุล.....51
4.8 แบบจำลองโครงสร้างอนุภาคของยางธรรมชาติ.....52
4.9 แบบจำลองโครงสร้างอนุภาคของยางธรรมชาติที่มีโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มี
hydroxy group เข้าไปแทรกภายในโมเลกุลในตำแหน่งที่มีขั้วของอนุภาคยาง.....53
4.10 รัศมีที่เปลี่ยนไปเทียบกับรัศมีเริ่มต้น ($\Delta r/r_0$) ที่เวลาต่าง ๆ
ของสาร aliphatics.....54

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.11 รัศมีที่เปลี่ยนไปเทียบกับรัศมีเริ่มต้น ($\Delta r/r_0$) ที่เวลาต่าง ๆ ของสารaromatics.....55

4.12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของรัศมีที่เปลี่ยนไป ($\Delta r/r_0$) ของสาร aliphatics กับ น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซึมเข้าไปในยางเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างยางเริ่มต้น ($\Delta M_t/M_0$) 56

4.13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของรัศมีที่เปลี่ยนไป ($\Delta r/r_0$) ของสาร aromatics กับ น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซึมเข้าไปในยางเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างยางเริ่มต้น ($\Delta M_t/M_0$).....56

4.14 แสดงค่าอัตราการพองตัวของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ.....58

4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($\Delta M_t/M_0$) กับ เวลา$^{1/2}$ของสาร aliphatics.....59

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($\Delta M_t/M_0$) กับ เวลา$^{1/2}$ของสาร aromatics.....60

4.17 กราฟแสดงการหาค่าพารามิเตอร์การละลายของยางธรรมชาติจากข้อมูลการทดลอง....62

4.18 กราฟระหว่างค่าความชัน (S) และ δ' ของสาร aliphatics.....63

4.19 กราฟระหว่างค่าความชัน (S) และ δ' ของสาร aromatics.....63

4.20 กราฟระหว่าง $(\Delta M_t/M_0)_{experiment}$ กับ $(\Delta M_t/M_0)_{calculate}$ ของสารพวก aliphatics.....65

4.21 กราฟระหว่าง $(\Delta M_t/M_0)_{experiment}$ กับ $(\Delta M_t/M_0)_{calculate}$ ของสารพวก aromatics.....65

4.22 แสดงกราฟจากข้อมูลการทดลองระหว่าง $(\Delta M_t/M_0)_{aliphatics}/\gamma$ กับ $(\Delta M_t/M_0)_{aromatics}$..66

4.23 กราฟระหว่าง ($\Delta M_t/M_0$) กับ (เวลา$^{1/2}$)ของสารประเภทอีเทอร์ (tetrahydrofuran).....66

4.24 กราฟระหว่าง ($\Delta M_t/M_0$) กับ (เวลา$^{1/2}$)ของสารที่มี hydroxy group.....67

4.25 กราฟระหว่าง ($\Delta M_t/M_0$) กับ (เวลา$^{1/2}$)ของสาร LAB(linear alkyl benzene).....68

ก. 1 แสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของเบนซิน.....78

ก. 2 แสดงโครงสร้างของโทลูอีน.....79

ก. 3 แสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของไซลีน.....79

ก. 4 แสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของเพนแทน.....80

ก. 5 แสดงโครงสร้างของ นอล์มอลเฮกเซน.....80

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

ก. 6 Conformations ของไซโคเฮกเซน 81

ก. 7 แสดงโครงสร้างของ THF.....81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย