

การเลือกทำปฏิกิริยาเพื่อแยกสารเรซิมิกแมนทอล

โดยไลเปสในระบบปริเวิร์สไมเซลล์

นาย บุญชัย ฤกษ์ธนาภักดิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-014-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**SELECTIVE RESOLUTION OF RACEMIC MENTHOL
BY LIPASE IN THE REVERSE MICELLE SYSTEM.**



Mr. Boonchai Lerktanakit

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

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic year 1997


ISBN 974-639-014-7

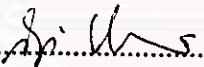
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเลือกทำปฏิกิริยาเพื่อแยกสารเรซิมิกเมนต์ของไดโพลในระบบ
รีเวิร์สไมเซลล์
โดย นาย บุญชัย ฤกษ์ธนาภักดิ์
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์

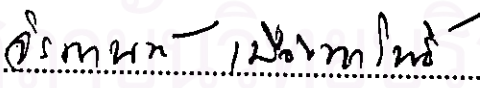
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

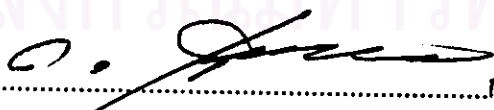

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพดล เจียมสวัสดิ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

บุญชัย ฤกษ์ชนากฤต : การเลือกทำปฏิกิริยาเพื่อแยกสารเรซิมิกเมนทอลโดยไลเปสในระบบปริเวิร์สไมเซลล์ (SELECTIVE RESOLUTION OF RACEMIC MENTHOL BY LIPASE IN THE REVERSE MICELLE SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. สิริ้ง ปริษานนท์, 131 หน้า. ISBN 974-639-014-7

วัตถุประสงค์สูงสุดของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาประยุกต์ใช้ระบบปริเวิร์สไมเซลล์สำหรับปฏิกิริยาที่มีไลเปสจาก *Candida cylindracea* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของเรซิมิกเมนทอลและไตรอะซิตินเป็นปฏิกิริยาดั้งแบบ และทำการเปรียบเทียบระบบปริเวิร์สไมเซลล์ที่ศึกษานี้กับระบบตัวทำละลายอินทรีย์ไอโซออกเทนในแง่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ หนึ่ง การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการละลายของไลเปสในระบบปริเวิร์สไมเซลล์ของ SDEHP ในไอโซออกเทน โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการละลายคือ 0.1 โมลาร์ SDEHP, 0.1 โมลาร์ โซเดียมคลอไรด์และ 0.05 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และสอง การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของเรซิมิกเมนทอลกับไตรอะซิตินโดยใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบปริเวิร์สไมเซลล์ของ SDEHP ในไอโซออกเทน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อ SDEHP (W_0) เท่ากับ 1.22, ความเข้มข้นของเรซิมิกเมนทอลเท่ากับ 38 มิลลิโมลาร์, ความเข้มข้นของไตรอะซิตินเท่ากับ 65.5 มิลลิโมลาร์, ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.7 และ อุณหภูมิเท่ากับ 33.9 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยานั้นพบว่ามีกลไกแบบแวนดอม ไบ-ไบ ซึ่งสามารถคำนวณค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ได้คือ $V'_{max} = 14.5 \mu\text{mol} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{g-enz}^{-1}$, $\alpha K'_A = 2.07 \text{ mM}$, $\alpha K'_B = 3.39 \text{ mM}$, $K'_A = 323.2 \text{ mM}$, $K'_B = 529.3 \text{ mM}$, $K'_{11} = 2.47 \text{ mM}$, และ $K'_{12} = 11.32 \text{ mM}$ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$\frac{1}{V} = \frac{75.6}{[A][B]} + \frac{1}{2.5} + \frac{0.23}{[B]} + \frac{0.07}{11.3}$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมในการเป็นตัวกลางการเกิดปฏิกิริยาในระบบปริเวิร์สไมเซลล์ของ SDEHP ในไอโซออกเทนกับระบบของตัวทำละลายอินทรีย์ไอโซออกเทน พบว่าระบบตัวทำละลายอินทรีย์มีความเหมาะสมกว่าทั้งในแง่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต บุญชัย ฤกษ์ชนากฤต.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Dr. Siring*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

#C816984 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
 KEY WORD: REVERSE MICELLE / ANIONIC SURFACTANT / LIPASE / RACEMIC MENTHOL / EXPERIMENTAL DESIGN
 BOONCHAI LERKTANAKIT : SELECTIVE RESOLUTION OF RACEMIC MENTHOL BY LIPASE IN THE REVERSE MICELLE SYSTEM. THESIS ADVISOR : DR. SEEROONG PRICHANONT, Ph.D., 131 pp., ISBN 974-639-014-7.

The ultimate aim of this research project was to investigate the applications of SDEHP/isooctane reverse micelle system for the lipase catalysed reactions. The transesterification of racemic menthol and triacetin was, therefore, used as a model reaction, and comparisons between the reverse micelle system studied in this work and the isooctane organic system were made in terms of specific reaction rate and percent conversion. The experiments were divided into two parts. The first part was to find appropriate condition for the dissolving of lipase in SDEHP isooctane reverse micelle. It was found that the appropriate conditions were 0.1 M SDEHP, 0.1 M NaCl, and 0.05 M phosphate buffer. The final part was to determine appropriate conditions for the transesterification of racemic menthol with triacetin using lipase as a catalyst in SDEHP isooctane reverse micelle. It was found that the appropriate conditions were 1.22 mole ratio of water and SDEHP (W_o), 38 mM racemic menthol, 65.5 mM triacetin, pH 6.7 and temperature 33.9 °c. For the reaction mechanism found was the random bi-bi type. The kinetic reaction parameters were $V_{max}^* = 14.5 \mu\text{mol}\cdot\text{hr}^{-1}\cdot\text{g-enz}^{-1}$, $\alpha K_A^* = 2.07 \text{ mM}$, $\alpha K_B^* = 3.39 \text{ mM}$, $K_A^* = 323.2 \text{ mM}$, $K_B^* = 529.3 \text{ mM}$, $K_{i1}^* = 2.47 \text{ mM}$, and $K_{i2}^* = 11.32 \text{ mM}$ which the reaction could be demonstrated as,

$$\frac{1}{V} = \frac{75.6}{[A][B]} (1 + \frac{[B]}{2.5}) + \frac{0.23}{[B]} (1 + \frac{[A]}{11.3}) + 0.07$$

Comparisons between SDEHP/isooctane reverse micelle system and isooctane organic solvent system for their appropriation as reaction media indicated that the isooctane organic solvent system was more superior both in terms of specific reaction rate and percent conversion.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี
 ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... นพดล ฤกษ์มงคลกุล.
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ดร. เสโรง ประจักษ์นง.
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปริชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. นพดล เจียมสวัสดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และแก้ไข เพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้สนับสนุนให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ธวัชชัย จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และคุณสุณี, คุณสุนันท์, และคุณอัมพร จากศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและการใช้เครื่องมือวิเคราะห์เกี่ยวกับการทำวิจัยในครั้งนี้

งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย ถ้าปราศจาก พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ มากมายหลายคนที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ห่มเทแรงกาย แรงใจ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ จนทำให้ผู้วิจัยทำงานชิ้นนี้ได้ลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 โลเปสในระบบของตัวทำละลายน้ำ.....	4
1.2 โลเปสในระบบของตัวทำละลายที่ไม่ใช่ น้ำ.....	4
1.3 การเปรียบเทียบผลของตัวกลางที่แตกต่างกันต่อตัวแปรที่มี อิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา.....	7
1.4 วัตถุประสงค์.....	9
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	9
2. ทราบเอกสาร.....	10
2.1 บทนำ.....	10
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของเมนทอล.....	10
2.3 การประยุกต์ใช้งานของโลเปส.....	15
2.4 ปฏิบัติการแยกของเรซิมิกเมนทอลโดยใช้โลเปส.....	22
3. ทฤษฎี.....	26
3.1 ระบบรีเวิร์สไมเซลล์.....	26
3.2 จลนพลศาสตร์อย่างง่ายของเอนไซม์.....	32
3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	40
4.1. สารเคมี.....	40
4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
4.3. วิธีการทดลอง.....	41
4.4. การวิเคราะห์.....	45
5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	47
5.1. ตัวแปรที่มีผลต่อการละลายของไลเปส.....	48
5.2. สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยเอนไซม์ไลเปส.....	53
5.3. การศึกษาทางจลนพลศาสตร์.....	68
5.4. เปรียบเทียบผลการทดลองกับระบบตัวทำละลายอินทรีย์.....	81
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
6.1. สรุปผลการทดลอง.....	84
6.2. ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	106
ภาคผนวก ค.....	127
ประวัติผู้แต่ง.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การเปรียบเทียบผลของตัวกลางที่แตกต่างกันต่อตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา.....	8
2.1	จำนวนชั้นน้ำที่ถูกตรึงและน้ำโมเลกุลอิสระต่อ AOT ที่ W_0 ต่างกัน.....	19
2.2	เปรียบเทียบปฏิกิริยาสำหรับการแยกเรซิมีกเมนทอลโดยใช้ไลเปสในตัวทำละลายอิมัลชันและตัวทำละลายอินทรีย์.....	23
4.1	ปริมาตรของสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่ในบัฟเฟอร์ตามค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต้องการ.....	42
5.1	ค่าอินทิกรัลตรงที่ความเข้มข้นของสารต่างๆ กัน.....	49
5.2	เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะสูงสุดในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ของ SDEHP ในไอโซออกเทนกับระบบตัวทำละลายอินทรีย์ ณ ภาวะที่เหมาะสมของระบบ.....	82
ก1	ค่ามาตรฐานของการดูดกลืนแสงของไลเปสที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	97
ก2	ค่ามาตรฐานของเมนิล ลอะซี เตต จากการวิเคราะห์ ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี.....	98
ก3	ความสามารถในการละลายของไลเปสที่ 0.1 โมลาร์ SDEHP.....	99
ก4	ความสามารถในการละลายของไลเปสที่ 0.1 โมลาร์ NaCl.....	100
ก5	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมนิลลอะซีเตต กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองแบบสองระดับ.....	101
ก6	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมนิลลอะซีเตต กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองแบบองค์ประกอบตรงกลาง.....	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก7	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ W_0 กับความเข้มข้นของเมนทอล.....	102
ก8	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ W_0 กับความเข้มข้นของไตรอะซิติน.....	102
ก9	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ W_0 กับอุณหภูมิ...	102
ก10	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ pH กับความเข้มข้นของไตรอะซิติน.....	102
ก11	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมนทอลกับไตรอะซิตินต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ.....	103
ก12	ความสัมพันธ์ของส่วนกลับความเข้มข้นของเมนทอลกับความเข้มข้นของไตรอะซิตินต่อส่วนกลับของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ.....	103
ก13	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยาในระบบรีเวิร์สไมเซลล์กับระบบตัวทำละลายอินทรีย์.....	104
ก14	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเรซิมิกเมนทอลและไตรอะซิตินตามค่า pH..	105
ก15	ความสามารถในการละลายน้ำของเรซิมิกเมนทอลกับไตรอะซิตินที่ pH = 7, อุณหภูมิ = 30 องศาเซลเซียส.....	105
ข1	การวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ $2^{(5-1)}$	108
ข2	ระดับและค่าจริงของตัวแปรในการออกแบบการทดลอง.....	109
ข3	การวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ CCD.....	110
ข4	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะจากการทดลองแบบสองระดับ.....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข5	ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะสำหรับการออกแบบการทดลองในระดับ 2^{5-1} ..	112
ข6	15 ลำดับของค่าอิทธิพลและความน่าจะเป็น (P).....	114
ข7	เปรียบเทียบค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้จากสมการที่ (ข1) และจากการทดลอง.....	116
ข8	ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองในองค์ประกอบตรงกลาง...	118
ข9	เมตริกที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งห้าตามวิธีของ Myers.....	120
ข10	แทนค่าตัวแปรทั้งห้าตามตารางที่ ข9.....	121
ข11	เปรียบเทียบค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้จากสมการที่ (ข2) และจากการทดลอง.....	122
ข12	การวิเคราะห์ความแตกต่างของสมการ (ข2) กับการทดลองโดยใช้ ANOVA.....	123

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของรีเวิร์สไมเซลล์.....	2
2.1 ไอโซเมอร์ของเมนทอล.....	11
2.2 ผลผลิตที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของ (+) ซิโตรเนลลัล.....	12
2.3 ผลผลิตของ (-)เมนทอลที่เกิดจาก (-)ไปเปอริโทน.....	12
2.4 แผนภาพโครงสร้างภายในไมเซลล์.....	18
2.5 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อแอกติวิตี้ของไลเปสในระบบที่ต่างกัน	20
3.1 แผนภาพไดอะแกรมของสามเฟส.....	26
3.2 แผนภาพไดอะแกรมของสามเฟสในระบบน้ำ-น้ำมัน และสารลดแรงตึง ผิว.....	27
3.3 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างอิมัลชันกับค่าดัชนีการบรรจุ.....	29
3.4 การละลายของเอนไซม์ในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ในตำแหน่งที่ต่างกัน.....	30
3.5 วิธีการละลายเอนไซม์ในระบบรีเวิร์สไมเซลล์.....	31
3.6 ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น.....	33
5.1 ผลของความเข้มข้นของไซเดียมคลอไรด์และสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการ ละลายของสารละลายไลเปสในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ที่สภาวะการ ทดลองของ 0.1 โมลาร์ SDEHP, pH = 7 และอุณหภูมิ = 30 °C.....	51
5.2 ผลของความเข้มข้นของ SDEHP และสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการ ละลายของสารละลายไลเปสในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ที่สภาวะการ ทดลองของ 0.1 โมลาร์ SDEHP, pH = 7 และอุณหภูมิ = 30 °C.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 ผลของ W_0 กับความเข้มข้นของเมนทอลในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ pH = 7, อุณหภูมิ = 35 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของไตรอะซิติน = 50 มิลลิโมลาร์.....	57
5.4 ผลของ W_0 กับความเข้มข้นของไตรอะซิตินในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ pH = 7, อุณหภูมิ = 35 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของเมนทอล = 30 มิลลิโมลาร์.....	61
5.5 ผลของ W_0 กับอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ pH = 7, ความเข้มข้นของไตรอะซิติน = 50 มิลลิโมลาร์ และความเข้มข้นของเมนทอล = 30 มิลลิโมลาร์.....	64
5.6 ผลของความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของไตรอะซิตินในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ $W_0 = 1.5$, อุณหภูมิ = 35 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของเมนทอล = 30 มิลลิโมลาร์.....	66
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะกับความเข้มข้นต่างๆของเมนทอลและไตรอะซิติน ที่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง = 7, $W_0 = 1.2$ และอุณหภูมิ = 33 องศาเซลเซียส.....	68
5.8 การพลอตส่วนกลับของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะกับเมนทอล.....	69
5.9 ความสัมพันธ์ของส่วนกลับอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะกับความเข้มข้นของเมนทอลเมื่อ a) ที่ความเข้มข้นของไตรอะซิตินต่ำ b) ที่ความเข้มข้นของไตรอะซิตินสูง.....	72
5.10 ความสัมพันธ์ของจุดตัดแกน Y กับส่วนกลับความเข้มข้นของไตรอะซิติน.....	73
5.11 ความสัมพันธ์ของค่าความชัน $1/\text{menhol}$ กับความเข้มข้นของไตรอะซิติน เมื่อ a) ความเข้มข้นของไตรอะซิตินต่ำ, b) ความเข้มข้นของไตรอะซิติน สูง.....	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.12	ความสัมพันธ์ของส่วนกลับอัตราการผลิตปฏิกิริยาจำเพาะกับความเข้มข้นของไตรอะซิติน เมื่อ a) ความเข้มข้นของเมนทอลต่ำ, b) ความเข้มข้นของเมนทอลสูง.....	78
5.13	ความสัมพันธ์ของค่าความชัน 1/ไตรอะซิติน กับความเข้มข้นของเมนทอล เมื่อ a) ความเข้มข้นของเมนทอลต่ำ, b) ความเข้มข้นของเมนทอลสูง.....	79
5.14	เปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยาเทียบกับเวลาในระบบตัวทำละลายอินทรีย์จากงานวิจัยของ Lokotsch กับระบบตัวทำละลายรีเวิร์สไมเซลล์ของ SDEHP ในภาวะที่เหมาะสม.....	83
ก1	ค่ามาตรฐานของการดูดกลืนแสงของไลเปสที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	97
ก2	ค่ามาตรฐานของเมทิลอะซิเตตจากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี.	98
ข1	การพลอตค่าความน่าจะเป็นกับค่าอิทธิพลจากการทดลองในระดับ 2^{5-1}	114
ข2	การพลอตค่าความน่าจะเป็นของผลต่างที่ได้จากสมการและการทดลอง	117