# บทที่ 1

# บทนำ

ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับการแยกของผสมเรซิมิก (racemic mixture) [Bovara และคณะ, 1993., Chen และคณะ, 1987., Foumeron และคณะ, 1990., Langrand และคณะ, 1986., Lokotsch และคณะ, 1989., Stamatis และคณะ, 1993 a,b,c., Therisod และคณะ, 1987., Wang และคณะ, 1988.] ได้มีการนำมาใช้งานในระบบที่ต่างกัน [Borzeix และคณะ, 1992., Valis และคณะ, 1992.] เพราะประโยชน์จากการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีหลายประการคือ

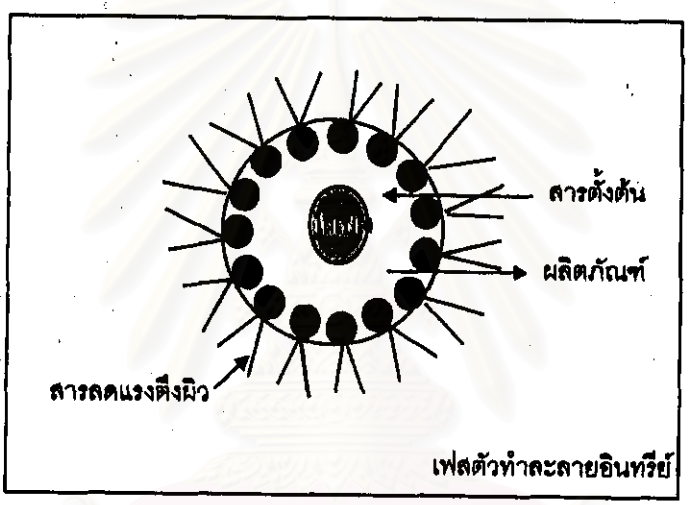
-เอนไซม์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งจำเพาะ (specificity) บนโมเลกุลของเอนไซม์ ทำให้สามารถควบคุมผลผลิตของผลิตภัณฑ์ และลดโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (side product) ของระบบ

-เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีภายใต้ภาวะอุณหภูมิ และความดันปกติ (25 ถึง 40 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ) ทำให้สามารถลดต้นทุนในส่วนของพลังงาน รวมทั้งลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ไม่ต้องการ

อย่างไรก็ตามผลผลิตที่มีคุณค่าสูง ซึ่งถูกผลิตขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพ มักจะไม่ละลายในน้ำ แต่น้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีในระบบเพราะน้ำจัดเป็นตัวทำละลายตามธรรมชาติของเอนไซม์ที่ทำให้เอนไซม์สามารถทำงานได้ตามปกติ ซึ่งสารตั้งต้นจะต้องมีการแพร่ผ่านเข้าไปในตัวทำละลายน้ำเพื่อทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นในน้ำมีน้อย (เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำต่ำ) จะทำให้ได้อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ต่ำ และปฏิกิริยาจะดำเนินไปได้อย่างไม่ยั่งยืน ซึ่งการแก้ไขปัญหานี้ก็คือ การนำตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เข้ามาใช้แทนตัวทำละลายน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้ได้อัตราการผลิตผลผลิตสูงขึ้น และปฏิกิริยาดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน สำหรับในโครง

งานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ ซึ่งมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก

ในระบบรีเวิร์สไมเซลล์เอนไซม์จะถูกละลายอยู่ในหยดน้ำ (water pool) ของรีเวิร์สไมเซลล์ และถูกปกป้องจากภาวะแวดล้อมของตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยชั้นของน้ำ และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ในขณะที่สารตั้งต้นซึ่งละลายน้ำได้น้อย จะแพร่ผ่านเข้าไปในหยดน้ำของไมเซลล์ และจับกับส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ แล้วหลุดออกจากการจับกันของเอนไซม์และแพร่ผ่านกลับเข้าสู่ตัวทำละลายอินทรีย์อีกครั้งดังรูป 1.1




รูปที่ 1.1 โครงสร้างของรีเวิร์สไมเซลล์

ปฏิกิริยาที่สนใจทำการศึกษาในโครงงานวิจัยนี้คือ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) ของเรซิมิกเมนทอล ((±)เมนทอล) กับไตรอะซิติน (triacetin) ในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ โดยใช้ไอโซ-ออกเทน (iso-octane) เป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) และเอนไซม์ไลเปสในสารละลายบัฟเฟอร์เป็นเฟสแพร่กระจาย (dispersed phase) ซึ่งเป็นตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยา แล้วทำให้ (-)เมนทอล เปลี่ยนไปเป็น (-)เมนทิลอะซิเตท ส่วน (+)เมนทอลคือส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา กับไดอะซิตินซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้ (by product) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเขียนได้เป็นสมการทางเคมีได้ดังนี้

$$(\pm)\text{เมนทอล} + \text{ไตรอะซิติน} \xrightarrow{\text{ไลเปส}} (-)\text{เมนทิลอะซิเตท} + (+)\text{เมนทอล} + \text{ไดอะซิติน}$$

ไลเปสจาก Candida cylindracea จะถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะมันจะมีผลต่อการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับพันธะของเอสเทอร์ และยังมีคุณสมบัติรีจิโอ-ซิเลคทีฟ[1] (regioselective) และสเตอริโอซีเลคทีฟ[2] (stereoselective) อีกด้วย โดยไลเปสสามารถที่จะระบุถึงความแตกต่างระหว่างสองไอโซเมอร์ และจะเลือกทำปฏิกิริยาเพียงแค่ไอโซเมอร์เดียว สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เรซิมิกเมนทอลเป็นสารตั้งต้น ที่นำมาทำปฏิกิริยากับไลเปสในระบบบรีเวิร์สไมเซลล์ ซึ่งไลเปสจะมีคุณสมบัติสเตอริโอซีเลคทีฟกับเมนทอลที่เป็นไอโซเมอร์ลบมากกว่าไอโซเมอร์บวก ทำให้ปฏิกิริยาการแยก (-)เมนทอลออกจากเรซิมิกเมนทอลจึงใช้ไลเปสจาก Candida cylindracea เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา

ปริมาณของน้ำในระบบที่ต่างกัน จะมีผลต่อปฏิกิริยาการแยกที่มีไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการเลือกการเกิดปฏิกิริยา (selectivity) ของไลเปส ดังนั้นคณะวิจัยต่างๆ จึงมีความสนใจในการประยุกต์ใช้ไลเปสทั้งในระบบตัวทำละลายน้ำ (aqueous system) และระบบตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ (nonaqueous system) ซึ่งจะนำมาอธิบายต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[1] รีจิโอซิเลคทีฟ เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เอนไซม์จะมีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารที่มีความแตกต่างในกลุ่มฟังก์ชัน (function group) ของสารที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน [Faber, 1995].

[2] สเตอริโอซิเลคทีฟ เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เอนไซม์จะมีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารที่มีความแตกต่างของคู่ไอโซเมอร์ในการจัดตัวของอะตอมในระนาบ โดยจะมีเพียงไอโซเมอร์เดียวที่เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว หรือถูกย่อยสลายได้ง่าย (Parker, 1984).

### 1.1 ไลเปสในระบบของตัวทำละลายน้ำ (aqueous system)

เอนไซม์จัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถทำงานได้ดีในตัวทำละลายน้ำ ดังนั้นสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ จึงควรเป็นสารที่มีขั้วสามารถละลายน้ำได้ จึงจะทำปฏิกิริยากับไลเปสได้ดี แต่ก็มีสารบางตัวที่ละลายน้ำได้น้อย แล้วถูกนำมาทำปฏิกิริยากับไลเปสในระบบตัวทำละลายน้ำได้ เช่น สารจำพวกเอสเทอร์ ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้เมื่อมีเอนไซม์เป็นตัวกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา โดยลักษณะของระบบที่ใช้ก็จะเป็นเหมือนกับอิมัลชันของหยดน้ำมันในน้ำ คือระบบมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ส่วนถ้าเป็นในปฏิกิริยาอื่นของสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนระบบการทดลองใหม่เป็นระบบของตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำซึ่งจะกล่าวต่อไป

### 1.2 ไลเปสในระบบของตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ (nonaqueous system)

ปฏิกิริยาที่มีไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำการทดลองในตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำได้ (ตัวอย่างเช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ (water-miscible organic solvent), ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (water-immiscible organic solvent) และสารละลายรีเวิร์สไมเซลล์ (reverse micelle solution)) ซึ่งระบบดังกล่าวจะน่าสนใจกว่าในระบบตัวทำละลายน้ำเพราะ

-เป็นระบบที่สามารถเพิ่มการละลายของสารตั้งต้นที่ละลายน้ำได้น้อย

-เป็นระบบที่ไลเปสจะทำปฏิกิริยาควบคู่ไปกับการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากเอนไซม์ในขั้นตอนเดียวทำให้สามารถลดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้น (substrate inhibition) และผลิตภัณฑ์ (product inhibition)

ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพไม่สามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ภายใต้สภาวะที่ขาดน้ำ (anhydrous) แต่ปัจจุบันก็ได้มีการศึกษา และแสดงให้เห็นว่าปริมาณของน้ำที่ใช้ในระบบสามารถมีได้เพียงเล็กน้อย (1 ถึง 2 % โดยปริมาตร) [Coubou and Klibanov, 1984.] โดยเชื่อว่าโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพจะได้รับการปกป้องเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกห้อมล้อมด้วยชั้นบางๆของน้ำ (essential water layer) ทั้งนี้ปริมาณของน้ำที่น้อยที่สุดที่ต้อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การขึ้นกับลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา, ชนิดของปฏิกิริยา และการกระจายตัวของน้ำในตัวกลางของปฏิกิริยา ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ, ตัวพยุง (support), และตัวกลาง (media).

ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้สำหรับปฏิกิริยาที่มีไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถพิจารณาได้ในระบบที่แตกต่างกันสี่ระบบคือ

1.2.1 **ระบบเฟสเดียว** (monophasic system)

ไลเปส, สารตั้งต้น และ/หรือ ผลผลิต จะละลายอยู่ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมที่ละลายน้ำ เช่น ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulphoxide), ไดเมทิล ฟอร์มาไมด์ (dimethyl formamide), เตตระไฮโดรฟูรอน (tetrahydrofuran), ไดออกเซน (dioxane), อะซิโตน (acetone) หรืออัลกอฮอล์ที่มีโซ่สั้น โดยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะทำให้สารตั้งต้นที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงขึ้น แต่อาจทำให้เกิดการยับยั้งและการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ได้ ยิ่งไปกว่านั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สามารถเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำรอบตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสูญเสียสภาพไป

1.2.2 **ระบบสองเฟส** (biphasic system)

ระบบดังกล่าวจะประกอบด้วยสองเฟสคือ เฟสของตัวทำละลายน้ำที่มีไลเปสละลายอยู่ ส่วนอีกเฟสคือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว (เช่น สารที่ชอบน้ำมัน (lipophilic), และสารที่มีมวลโมเลกุลมากๆ) เช่น สารประกอบของไฮโดรคาร์บอน, อีเธอร์ (ether), หรือคลอริเนตไฮโดรคาร์บอน (chlorinate hydrocarbon) ซึ่งเป็นระบบที่อาจจะได้เปรียบกว่าระบบเฟสเดียว ตรงที่ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพจะถูกแยกออกจากเฟสของตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดี

ในระบบดังกล่าวจะมีไลเปสละลายอยู่ในน้ำ โดยไลเปสจะไม่สัมผัสกับสารตั้งต้นที่ละลายอยู่ในเฟสของตัวทำละลายอินทรีย์โดยตรงคือ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นบริเวณระหว่างเฟสของตัวทำละลายน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ และในน้ำ ดังนั้นการถ่ายเทมวล (mass

transfer) ของสารตั้งต้นและผลผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีความสำคัญ ซึ่งตัวแปรสำคัญที่จะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ในระบบดังกล่าวคือ การเขย่า (shaking) หรือการกวน (stirring) เพราะการเขย่าหรือการกวนจะทำให้ระบบมีการถ่ายเทมวลสารได้เร็วขึ้น แต่อัตราการกวนหรือเขย่าที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นบนโมเลกุลของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปจากเดิม มีผลให้เอนไซม์ต้องสูญเสียแอคติวิตี้ไป

1.2.3 **ระบบตัวทำละลายอินทรีย์** (organic solvent system)

โดยปกติไลเปสจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายอยู่ในเฟสของตัวทำละลายน้ำ แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแทนตัวทำละลายน้ำ ก็จะทำให้ไลเปสแขวนลอยอยู่ในสารละลายอินทรีย์เฟสเดียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโมเลกุลของน้ำที่จะรักษาสภาพตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยา (active site) ของตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ โดยให้มีปริมาณน้ำอยู่ในระบบอย่างน้อยประมาณ 2% โดยปริมาตร ดังนั้นแนวทางเบื้องต้นที่ควรจะนำมาพิจารณาสำหรับการประยุกต์ใช้ไลเปสในตัวทำละลายอินทรีย์คือ

-ตัวทำละลายที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic solvent) คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ต้องมีค่าล็อกของสัมประสิทธิ์การกระจายตัวระหว่างเฟส (logarithum of the partition coefficient, (P = สัดส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในออกทานอลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำ)) มากกว่า 4 (คือความสามารถในการละลายน้ำน้อยกว่า 0.04% โดยน้ำหนัก [Laane และคณะ, 1987])

-ต้องมีชั้นของน้ำห้อมล้อมเอนไซม์เพื่อรักษาสภาพของเอนไซม์ และจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ดีขึ้นเมื่อใช้ตัวทำละลายที่อิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว

-การกวนหรือการเขย่ามีความสำคัญต่ออัตราการแพร่ของสารตั้งต้นไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามาก

1.2.4 **ระบบตัวทำละลายรีเวิร์สไมเซลล์** (reverse micelle solution)

รีเวิร์สไมเซลล์เป็นระบบที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายๆประการคือ หนึ่ง, รีเวิร์สไมเซลล์เป็นระบบที่มีองค์ประกอบอย่างน้อย 3 องค์ประกอบ ซึ่งคือ น้ำ, น้ำมัน (ตัวทำละลาย

อินทรีย์), และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ทำให้ระบบรีเวิร์สไมเซลล์เป็นตัวทำละลายเอนกประสงค์ที่สามารถทำละลายสารนานาชนิดที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกันได้ สอง, ระบบนี้ประกอบด้วยรีเวิร์สไมเซลล์จำนวนมากมายซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมของหยดน้ำ (เป็น dispersed phase) ที่ถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว และมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) เส้นผ่าศูนย์กลางของรีเวิร์สไมเวลล์จะอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร [Verhaert และคณะ, 1990] ซึ่งทำให้ระบบนี้มีพื้นที่สำหรับการถ่ายเทมวลสารสูงมาก และประการสุดท้ายระบบรีเวิร์สไมเซลล์เป็นระบบที่มีความเสถียรสูง และแม้จะไม่ได้รับพลังงานจากการปั่นกวนใดๆก็สามารถคงตัวอยู่ได้โดยไม่มีการแยกเฟส

สารละลายรีเวิร์สไมเซลล์จะมีลักษณะเป็นสารละลายใส (transparent) โดยมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นเฟสต่อเนื่อง และมีตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพละลายอยู่ในหยดน้ำขนาดเล็กในสารละลาย โดยหยดน้ำดังกล่าวจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว เช่น แอโรซอล-โอที (AOT = sodium bis-2-ethylhexyl sulfosuccinate), ซีติลไตรเมทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ (CTAB) ซึ่งโครงสร้างทั้งหมดนี้จะกระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ และเรียกว่าเป็นไมเซลล์ โดยถ้าส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วหันเข้าไปในหยดน้ำด้านใน เราจะเรียกว่าเป็นสารละลายรีเวิร์สไมเซลล์

### 1.3 การเปรียบเทียบผลของตัวกลาง (reaction media) ที่แตกต่างกันต่อตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในตัวกลางต่างๆ นั้นได้มีผู้ศึกษากันจำนวนมาก เช่น ในตัวทำละลายน้ำ [Borzeix และคณะ, 1992], ตัวทำละลายอินทรีย์ [Kamiya และคณะ, 1995., Lokotsch และคณะ, 1989.] (เช่นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำ หรือไม่ละลายน้ำได้) ซึ่งการศึกษาเหล่านั้นก็ไม่ได้เปรียบเทียบถึงผลของตัวกลางแต่ละระบบที่นำมาใช้งานสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ทางชีวภาพ เช่น ระบบตัวทำละลายน้ำ (aqueous system), ระบบตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent system), ระบบเฟสเดียว (monophasic system), ระบบสองเฟส (biphasic system), และระบบ

รีเวิร์สไมเซลล์ (reversed micelle system) ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงเปรียบเทียบถึงผลการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในตัวกลางที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบผลของตัวกลาง (reaction media) ที่แตกต่างกันต่อตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

| | ตัวทำละลายน้ำ | ตัวทำละลายอินทรีย์ | เฟสเดียว | สองเฟส | รีเวิร์สไมเซลล์ |
|---|---|---|---|---|---|
| การละลายของสารที่ละลายน้ำได้ | สูง | ต่ำ | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง |
| การละลายของสารที่ละลายน้ำไม่ได้ | ต่ำ | สูง | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง |
| อัตราการกวนที่เหมาะสม | ต่ำ | สูง | ต่ำ | สูง | ต่ำ |
| พื้นที่ผิวระหว่างเฟส | ไม่มีผล | ไม่มีผล | ไม่มีผล | ต่ำ | สูง |
| การแยกผลิตภัณฑ์ | ง่าย | ยาก | ยาก | ง่าย | ยาก |

จากตารางที่ 1.1 สังเกตุเห็นว่าระบบรีเวิร์สไมเซลล์อาจจะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาที่มีไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะเป็นระบบที่มีพื้นผิวระหว่างเฟสสูง (interface area) ทำให้สารตั้งต้นสามารถถ่ายเทข้ามเฟสได้รวดเร็ว จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้ดี แต่ข้อเสียของระบบรีเวิร์สไมเซลล์ก็คือกระบวนการแยกผลิตภัณฑ์ค่อนข้างยุ่งยาก

## 1.4 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้ระบบรีเวิร์สไมเซลล์สำหรับปฏิกิริยาที่มีไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้การแยกของเรซิมิกเมนทอลเป็นปฏิกิริยาต้นแบบ

2.เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate) และเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา (percent conversion) ของการแยกเรซิมิกเมนทอลโดยใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบรีเวิร์สไมเซลล์กับระบบตัวทำละลายน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ ณ สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละระบบ

## 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการแยกของเรซิมิกเมนทอลโดยใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาในตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

-สัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารลดแรงตึงผิว ($W_0$) ในช่วง 0.5 ถึง 2.5

-ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ ในช่วง 0.025 ถึง 0.2 โมลาร์

-ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ 6 ถึง 8

-อุณหภูมิ ในช่วง 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส

-ความเข้มข้นของเมนทอล ในช่วง 10 ถึง 50 มิลลิโมลาร์

-ความเข้มข้นของไตรอะซิติน ในช่วง 20 ถึง 80 มิลลิโมลาร์

2.ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาการแยกของเรซิมิกเมนทอลโดยใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบรีเวิร์สไมเซลล์