บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

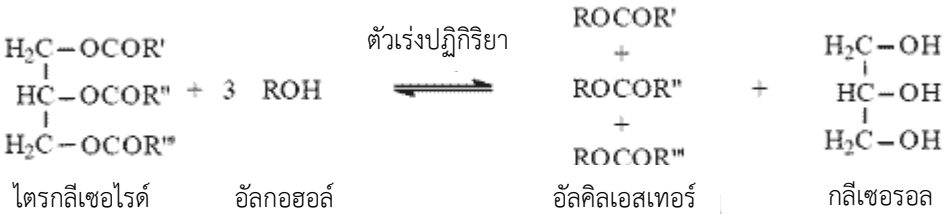
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนแนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. กลีเซอรอลดิบจากการผลิตไบโอดีเซล
2. ตลาดกลีเซอรอลดิบในปัจจุบันและการนำไปใช้
3. การเพิ่มความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลดิบ
4. การผลิตกลีเซอรอล โมโนลอเรทและการประยุกต์ใช้
5. ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสซึ่งเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปส
6. การเก็บเกี่ยวผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์
5. ไลเปสจากยางมะละกอ
6. น้ำมันมะพร้าว
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลีเซอรีอลดิบจากการผลิตไบโอดีเซล

กลีเซอรอลดิบเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล ได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณของกลีเซอรอลดิบที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีควรจะได้ในปริมาณร้อยละ10 โดยน้ำหนัก (Chi, Pyle, Wen, Frear & Chen. 2007 : 1537) อย่างไรก็ตามปริมาณที่คำนวณได้คือ ปริมาณของกลีเซอรอลที่บริสุทธิ์ร้อยละ 100 แต่กลีเซอรอลดิบที่แยกได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยทั่วไปจะมีความบริสุทธิ์อยู่ระหว่างร้อยละ 55 และ 90 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีขนาดใหญ่มักจะได้กลีเซอรอลดิบที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 75-80 ซึ่งองค์ประกอบที่ยังคงอยู่ในกลีเซอรอลดิบได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือ เมทานอลที่เหลือ ไบโอดีเซล สบู่ และ อื่นๆ ดังแสดงในตาราง 2.1 องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในกลีเซอรอลดิบ เช่น เมทานอลสามารถนำกลับไปใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซลได้เพียงเล็กน้อย ขณะที่ปริมาณของโซเดียม และ โพแทสเซียม ที่พบสามารถบอกได้ว่าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน นอกจากนี้โลหะเช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม

อาจพบในน้ำมันพืชที่นำมาใช้ได้อีกด้วย สำหรับซัลเฟต และ ฟอสเฟต อาจจะพบในกลีเซอรอลดิบโดยได้จากการใช้กรดซัลฟิวริก หรือ กรดฟอสฟอริกในการปรับกลีเซอรอลดิบให้เป็นกลาง



ภาพที่ 2.1 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับอัลกอฮอล์ซึ่งให้อัลคิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอลเป็นผลผลิตของปฏิกิริยา

ที่มา: Chi, Pyle, Wen, Frear & Chen. 2007 : 1537

ตาราง 2.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของกลีเซอรอลดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล

องค์ประกอบ/คุณสมบัติ	ปริมาณ/ค่า
กลีเซอรอล	77-90 ร้อยละโดยน้ำหนัก
เถ้า	3.5-7 ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	0.1-13.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าความร้อน	14.9-17.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
ความหนืด	120 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
3-มอโนโพรพีลีนไดออล	200-13,500 พีพีเอ็ม
เมทานอล	0.01-3.0 ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล	1.6-7.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก
พีเอช	4.5-7.4
ซัลเฟต	0.01-1.04 ร้อยละโดยน้ำหนัก
ฟอสเฟต	0.02-1.45 ร้อยละโดยน้ำหนัก
แอซีเทต	0.01-6.0 ร้อยละโดยน้ำหนัก
โซเดียม	0.4-20 กรัมต่อกิโลกรัม
โพแทสเซียม	0.03-40 กรัมต่อกิโลกรัม
แคลเซียม	0.1-65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แมกนีเซียม	0.02-55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เหล็ก	0.1-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา : Hoogendoom, Adriaans, Kasteren & Jayaraj. 2007 : 14.

ตลาดกลีเซอรอลในปัจจุบันและการนำไปใช้

ตลาดกลีเซอรอลทั่วโลกยังคงเป็นของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มและไขมันจากสัตว์ อยู่ที่ 0.9-1.0 ล้านตันต่อปี ขณะที่ปริมาณของกลีเซอรอลดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 50-80 อยู่ที่ 1.9 ล้านตันต่อปี และถึงแม้จะมีคุณภาพต่ำแต่ก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ใช้ในการผลิตไบโอแก๊ส ใช้ทำอาหารสัตว์ (Thompson & He. 2006 : 261-265) และถ้าทำกลีเซอรอลดิบที่ได้ให้บริสุทธิ์ขึ้นถึงร้อยละ 99.5 ก็สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร และ อุตสาหกรรมยาและสารเคมีได้ การใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอลสรุปได้ดังนี้ (Chiu, Dasari, Sutterlin & Suppes. 2006 : 791-795)

1. ใช้ในการเตรียมยา (ร้อยละ 18) โดยจะใช้ปรับปรุงความเนียนเรียบ หล่อลื่น และให้ความชุ่มชื้น ใช้ลดความดันในเส้นประสาทสมอง และ ในลูกตา ใช้เป็นส่วนผสมของยาที่เป็นน้ำเชื่อม

2. ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดส่วนบุคคล (ร้อยละ 16) ได้แก่ ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผมและสบู่ ช่วยทำให้ผิวอ่อนนุ่ม ให้ความชุ่มชื้น โดยใช้เป็นตัวทำละลายและสารหล่อลื่นซึ่งจะมีข้อดีกว่าการใช้ซอร์บิทอลเพราะว่ากลีเซอรอลละลายน้ำได้ดีกว่า

3. ใช้ในอาหารและเครื่องดื่ม (ร้อยละ 11) ใช้เป็นสารให้ความชุ่มชื้น เป็นตัวทำละลาย และสารให้ความหวาน ช่วยในการถนอมอาหาร ใช้เป็นตัวทำละลายของกลิ่น เช่น กลิ่นวานิลลา และ สีเติมแต่งอาหาร ใช้เป็นสารให้ความชุ่มชื้นและสารทำให้อ่อนนุ่มในลูกกวาด เค้ก และ ใช้ห่อหุ้มเนื้อสัตว์และเนยแข็ง ใช้ในการผลิตมอโน- และ ได-กลีเซอไรด์ สำหรับใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ใช้ในการผลิตพอลีไกลคอลเอสเทอร์ซึ่งใช้ทำเนยเทียม ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อในอาหารไขมันต่ำ เช่น คุ้กกี้ไขมันต่ำ กลีเซอรีนให้พลังงาน 27 แคลอรีต่อ 1 ช้อนชา และ ให้ความหวานเท่ากับน้ำตาลทราย

4. ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลียูรีเทน (ร้อยละ 14)

5. ใช้เป็นส่วนผสมในสีทาบ้าน น้ำยาปรับผ้านุ่ม พลาสติก สารห่อหุ้มอาหาร และ ยา (ร้อยละ8)

6. ใช้ทำระเบิด (ร้อยละ 2)

7. อื่นๆ (ร้อยละ 31)

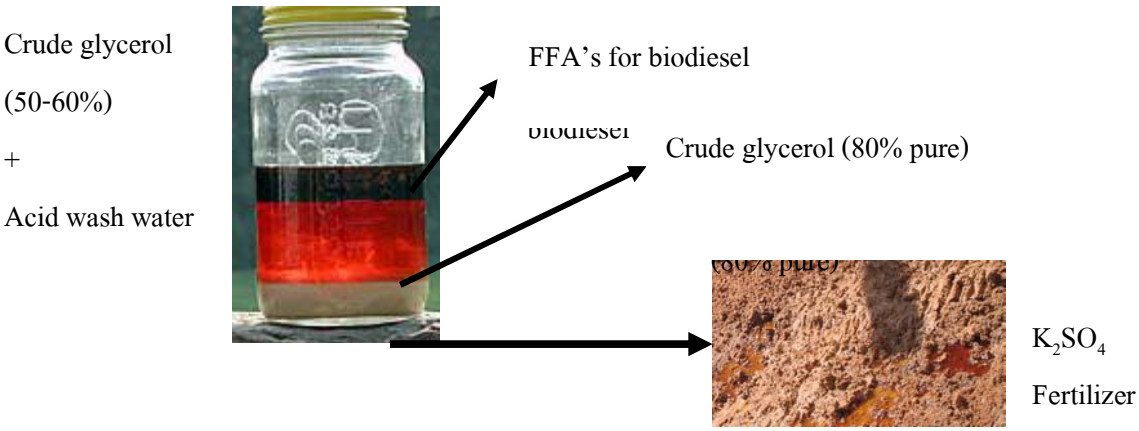
การเพิ่มความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลดิบ

กลีเซอรอลดิบ (crude glycerin) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันพืชใช้แล้ว หรือ น้ำมันพืช หรือ ไขมันจากสัตว์ กับ แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลและเอทานอล ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียม-

ไฮดรอกไซด์ หรือ กรด เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Fukuda, Kondo & Noda. 2001 : 405) โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลทุก 10 กิโลกรัม จะให้กลีเซอรอลดิบประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (Chi, Pyle, Wen, Frear and Chen. 2007 : 1537) กลีเซอรอลดิบที่ได้จะมีปริมาณกลีเซอรอลประมาณร้อยละ 50 ซึ่งผสมอยู่กับเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา และ สบู่ ดังนั้นการนำกลีเซอรอลดิบไปใช้เป็นวัตถุดิบจะต้องมีการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นก่อน มีกระบวนการหลายกระบวนการที่ทำให้กลีเซอรอลดิบบริสุทธิ์ขึ้น เช่น การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange) การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอน (precipitation) การสกัด (extraction) การตกผลึก (crystallization) ไดแอไลซีส (dialysis) เป็นต้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแยกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การกำจัดเกลือ และ กำจัดเมทานอล โดยจะต้องมีการแยกส่วนของสบู่ออกไปก่อน วิธีการทำให้กลีเซอรอลดิบมีความบริสุทธิ์ขึ้นมีหลายวิธี เช่น (Brockmann, Jeromin, Johannisbauer, Meyer, Michel & Plachenka. 1987 : no page)

1. วิธีการกำจัดสบู่ออกจากกลีเซอรอลดิบโดยใช้กรด

เป็นการทำให้สบู่แตกตัว ในขั้นตอนนี้เป็นการใช้กรดปรับพีเอชของกลีเซอรอลดิบให้เป็นกลาง จะเป็นการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่ออกจากกลีเซอรอลดิบ ปฏิกิริยาของกรดกับสบู่จะทำให้ได้กรดไขมันอิสระและเกลือ ซึ่งกรดไขมันอิสระไม่ละลายในกลีเซอรอลโดยจะแยกชั้นลอยตัวขึ้นไปข้างบนมีลักษณะคล้ายครีม เกลือบางส่วนซึ่งไม่ละลายในกลีเซอรอลจะตกตะกอนออกมา (ภาพที่ 2.2) หลังจากนั้นทำการระเหยเมทานอลออกจากกลีเซอรอล ในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 85 ในขั้นตอนสุดท้ายกลีเซอรอลถูกทำให้บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น (99.5%) โดยการใช้หลากหลายวิธี เช่น การดูดซับ (adsorption) การกลั่นภายใต้สุญญากาศ (vacuum distillation) และ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange process)



ภาพที่ 2.2 การแยกกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากกลีเซอรอลดิบ
ที่มา : Hoogendoorn, Adriaans, Kasteren & Jayaraj. 2007 : 9.

2. กระบวนการทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์แบบดั้งเดิม

กระบวนการแบบดั้งเดิมนี้ประกอบด้วย (1) ขั้นตอนการเตรียมกลีเซอรอลดิบ เป็นการกำจัดสี กลิ่น และ ไขมัน ออกจากกลีเซอรอล โดยปฏิกิริยาซัปโฟนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดไขมัน และใช้เอกติเวตเตต คาร์บอน (activated carbon) กำจัดสี (2) ขั้นตอนการทำให้เข้มข้นขึ้น (concentration) เป็นการกำจัดสารที่มีประจุออกไปโดยใช้โครมาโตกราฟีชนิดกำจัดไอออน (ion exclusion chromatography) วิธีนี้อาศัยหลักการว่าสารที่มีประจุจะไม่เข้าไปในรูพรุนของเรซิน (resin) จะถูกชะออกจากคอลัมน์ก่อน สำหรับสารที่ไม่มีประจุสามารถเข้าไปในคอลัมน์ได้ ซึ่งจะถูกชะออกมาทีหลัง สารที่ใช้ชะคือน้ำ (3) ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ (purification) ใช้การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) วิธีนี้อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างสารที่มีประจุในกลีเซอรอลกับตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cationic exchanger) หรือ ตัวแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anionic exchange) กรณีตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกใช้แลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออน ขณะที่ตัวแลกเปลี่ยนไอออนลบใช้แลกเปลี่ยนไฮดรอกไซด์ไอออน ขั้นตอนนี้สามารถกำจัดเกลืออนินทรีย์ ไขมัน สบู่ สี และ กลิ่นได้ และ (4) ขั้นตอนการทำให้ดีขึ้น (refining) โดยใช้เครื่องระเหยอย่างรวดเร็วภายใต้สุญญากาศ (10-15 กิโลปาสคาล) จะทำให้ได้กลีเซอรอลเข้มข้นขึ้นเป็น 90-95 เปอร์เซนต์

3. กระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ที่ได้รับการพัฒนา

ไอเคน จอนห์ อี (Aiken John E. 2006 : no page) ได้ปรับปรุงกระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ดังนี้

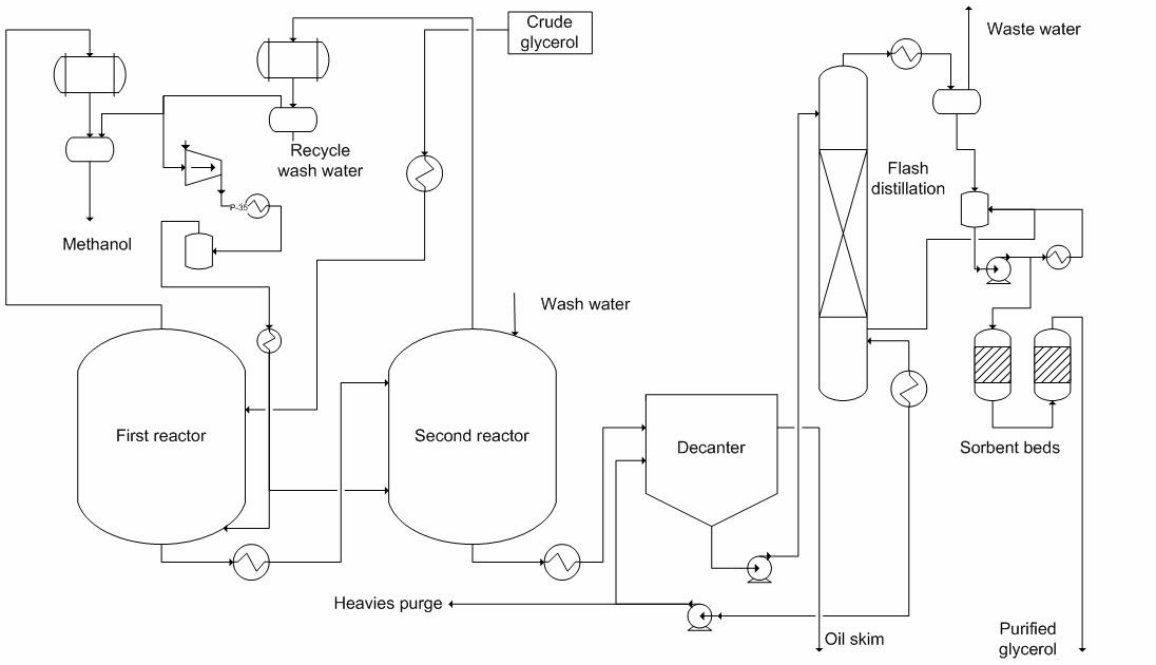
3.1 ขั้นตอนในถังปฏิกรณ์แรก เป็นการป้อนกลีเซอรอลดิบ (มีความบริสุทธิ์ 86-92 เปอร์เซนต์) ที่ถูกทำให้ร้อนแล้วเข้าไป ในขั้นตอนนี้จะเกิดการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์จากการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเทอร์ และ กลีเซอรอล ทำให้ได้กลีเซอไรด์ และ เมทานอล ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ไนโตรเจนถูกพรมเข้าไปเพื่อช่วยในการกวนทำให้แยกเมทานอลและน้ำออกมาได้ ปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับทำให้ได้กลีเซอไรด์มากขึ้น อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 120-160 °ซ แก๊สไนโตรเจนที่ผ่านออกมาจะถูกควบแน่นแล้วนำกลับไปใช้ใหม่ได้อีก หลังจากแยกเมทานอลและน้ำออกแล้ว (ภาพที่ 2.3)

3.2 ถังปฏิกรณ์ที่สอง ของเหลวที่ออกมาจากถังปฏิกรณ์ที่หนึ่งจะถูกส่งมายังถังปฏิกรณ์ที่สอง ซึ่งมีอุณหภูมิ 120-160 °ซ ในขั้นตอนนี้เมทิลเอสเทอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นกลีเซอไรด์และเมทานอลอีกครั้ง เติมน้ำที่มีกลีเซอรอลลงไป ไนโตรเจนถูกพรมเข้าไปเพื่อช่วยในการกวนเพื่อแยกเมทานอลและน้ำออกมาโดยการควบแน่น เมื่อไนโตรเจนเหลวถูกแยกออกมาแล้วเติมน้ำที่มีกลีเซอรอลลงไปอีกครั้ง แล้วดำเนินการดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในขั้นตอนนี้กลีเซอรอลที่ได้จะมีปริมาณเมทานอลและน้ำเจือปนไม่เกินร้อยละ 0.5 และ 5 ตามลำดับ

3.3 ถังพัก ในขั้นตอนนี้มีถังเก็บของเหลวที่ได้จากถังปฏิกรณ์ที่สองเพื่อพักให้ของเหลวเกิดการแยกเป็นชั้น ชั้นน้ำมันถูกกำจัดโดยปรับค่าพีเอชของของเหลวให้น้อยกว่า 7 น้ำมันจะแยกออกจากกลีเซอรอลมาอยู่ชั้นบน แล้วนำของเหลวไปแยกในขั้นตอนต่อไป

3.4 การกลั่นอย่างรวดเร็ว เครื่องกลั่นประกอบด้วยคอลัมน์ที่มีอุณหภูมิ 185°ซ และความดัน 5-20 มิลลิเมตรปรอท ไม่มีการกลั่นกลับคืน (reflux) ที่ส่วนบนของคอลัมน์ ในขั้นตอนนี้จะได้กลีเซอรอลประมาณร้อยละ 80-90 ที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์ แล้วเข้าสู่ตัวควบแน่นอีก 2 ชุด คอนเดนเซอร์ชุดที่หนึ่งใช้ควบแน่นกลีเซอรอล ขณะที่คอนเดนเซอร์ชุดที่สองใช้ควบแน่นน้ำให้ออกมากับน้ำทิ้ง ส่วนของเหลวที่อยู่ข้างล่างของคอลัมน์ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลและสารประกอบซึ่งมีน้ำหนักมากจะถูกส่งกลับไปยังถังพักในขั้นตอนที่ 3

3.5 คอลัมน์ดูดซับ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ เป็นการกำจัดเอาสีและสิ่งเจือปนเล็กๆน้อยๆออก ในขั้นตอนนี้มีตัวดูดซับหลายชนิดที่สามารถเลือกใช้ได้เช่น เอกติเวตเตต คาร์บอน, เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และ ตัวกรองโมเลกุล เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 กระบวนการทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์

ที่มา : Hoogendoorn, Adriaans, Kasteren & Jayaraj. 2007 : 43.

4. โครมาโตกราฟีและการดูดซับของคอลัมน์ที่ปฏิรูปใหม่

การแยกกลีเซอรอลโดยเทคนิคของการดูดซับเป็นเทคนิคที่มีการยอมรับ โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลบางแห่งจะใช้เอกติเวตเตต คาร์บอนในการแยกส่วนประกอบต่างๆ คือ กลีเซอรอล น้ำ ไอออน (โพแทสเซียมไอออน) สารที่เหลือตกค้างจากปฏิกิริยาซัปโฟนิฟิเคชัน และเมทานอล ผงเอกติเวตเตต คาร์บอนมีพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 500-1500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดน้อยกว่า 150 ไมครอน ซึ่งสามารถใช้ดูดซับสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี แต่ราคาค่อนข้างแพง ตาราง 2.2 แสดงถึงวิธีการ ความสามารถในการแยกของโครมาโตกราฟีแต่ละชนิด

ตาราง 2.2 กระบวนการแยกโดยโครมาโตกราฟี

วิธีการ	หลักการแยก	ตัวแปรที่สำคัญ	ความสารมารถในการแยก	ความจุ
เจล เพอร์เมียชัน	ขนาด	ความยาวคอลัมน์	ปานกลาง	ปานกลาง
โครมาโตกราฟีชนิดแลกเปลี่ยนไอออน	ประจุ	พีเอช หรือ ความแรงของไอออน	ต่ำ/ปานกลาง	สูงมาก
แรงไฮโดรโฟบิก	ความไม่ชอบน้ำ	ขั้ว หรือ ความแรงของไอออน	สูง	สูง
วัฏภาคผันกลับ	ความไม่ชอบน้ำ	ขั้ว หรือ ความแรงของไอออน	สูงมาก	สูง
โครมาโตกราฟีแบบสัมพรรคภาพ	แรงกระทำที่จำเพาะทางชีวภาพ	ลิแกนด์ หรือ ตัวชะ	สูงมาก	สูง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Krijgsman. 1992 : no page.

การผลิตกลีเซอรอลโมโนลอเรทและการประยุกต์ใช้

กลีเซอรอลโมโนลอเรท (glycerolmonolaurate) เป็นสารในกลุ่มโมโนเอซิลกลีเซอรอล (monoacylglycerol) ซึ่งมักถูกใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์อย่างกว่างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และ เครื่องสำอาง (Thude, Shukun, Said & Bornscheuer. 1997 : 246-250) ในอุตสาหกรรมยาใช้โมโนเอซิลกลีเซอรอลเป็นตัวประสานในเม็ดยา ช่วยให้ผิวสัมผัสนวลนุ่มและปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ (Jackson & King. 1997 : 103-106) ในอุตสาหกรรมอาหารโมโนเอซิลกลีเซอรอลและไดเอซิลกลีเซอรอลใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร (McEvily & Zaks. 1991 : 193-209) เช่น

ใช้เป็นส่วนที่ทำให้ไขมันกับน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกันในซอสและขนมอบ ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางนิยมใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสาร เช่น โมโนเพนตะเดคาโนอิลกลีเซอรอล ใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์บำรุงผม (Bornscheuer. 1995 : 578-586) โมโนกลีเซอไรด์ของกรดออกตะโนอิกและกรดเดคาโนอิกนิยมใช้ในยาย้อมผม และ น้ำหอม นอกจากนี้ยังใช้เป็นยาละลายนิ่วในผู้ป่วยได้อีกด้วย (Gandhi. 1997 : 621-634) สำหรับโอลีอิลโมโนโอลีเอตนิยมใช้ในครีมอาบน้ำ โลชั่นทาผิว ผลิตภัณฑ์บำรุงผม ผลิตภัณฑ์แต่งหน้า ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวและยา

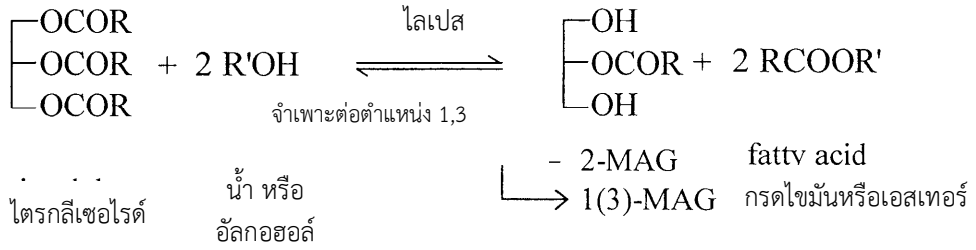
ปัจจุบันการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ในระดับอุตสาหกรรมทำโดยปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันและไขมันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ลดความดันโดยทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนและใช้อุณหภูมิสูง (Sonntag. 1982 : 795A-802A) ข้อด้อยของปฏิกิริยาดังกล่าวมีหลายประการคือ (1) ใช้กลีเซอรอลในปริมาณมากเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า 220 °ซ (2) ได้ผลผลิตข้างเคียงที่มีสีดำและมีกลิ่นไหม้ (3) ผลผลิตของโมโนกลีเซอไรด์ค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 30-40 (McNeill & Yamane. 1991 : 6-10) และ (4) ในกระบวนการทำโมโนกลีเซอไรด์ให้บริสุทธิ์จำเป็นต้องใช้การกลั่นระดับโมเลกุล ในกรณีที่ใช้เอนไซม์ไลเปสในการเร่งปฏิกิริยาจะมีข้อดีกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้ (1) สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง (2) ไม่จำเป็นต้องลดความดันในขณะเกิดปฏิกิริยา (3) ลดการสิ้นเปลืองพลังงานจากการใช้ความร้อนสูง (4) ไม่เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากด่างขณะเกิดปฏิกิริยา (5) ลดการเกิดผลผลิตข้างเคียงอื่นๆ เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงสูง และ (6) ไม่เพียงแต่ลดค่าวัสดุที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังลดค่าการจัดการสารเคมีเนื่องจากไม่มีการใช้ด่างในปฏิกิริยา (Kennedy & Cabral. 1987: 347-404)

วิธีการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามี 3 วิธี คือ (1) ไฮโดรไลซีส (hydrolysis) หรือ อัลกอฮอลไลซีส (alcoholysis) ของไตรกลีเซอไรด์ วิธีนี้ทำให้ได้ 2-โมโนกลีเซอไรด์ (2) กลีเซอโรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์ และ (3) เอสเทอริฟิเคชัน หรือ ทรานส์เอสเทอริฟเคชันของกลีเซอรอลกับกรดไขมันหรือเอสเทอร์ ทั้งสองวิธีนี้ได้ผลผลิตเป็นสารผสมของโมโนกลีเซอไรด์ โดยพบ 1(3)-โมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณมากที่สุด รายละเอียดของวิธีการสังเคราะห์ทั้ง 3 วิธี อธิบายได้ดังนี้ (Bornscheuer. 1995 : 578-586)

1. ไฮโดรไลซีส หรือ อัลกอฮอไลซีสของไตรกลีเซอไรด์

ไฮโดรไลซีส หรือ อัลกอฮอไลซีสของไตรกลีเซอไรด์ ถ้าเร่งด้วยไลเปสที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ได้ผลผลิตเป็น 2-โมโนกลีเซอไรด์ (ภาพที่ 2.4) ในบางครั้งอาจเกิดการเคลื่อนย้ายหมู่เอซิล (acyl migration) ร่วมด้วยหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสทำให้ได้ผลผลิตเป็น 1(3)-โมโนกลีเซอไรด์ จะทำให้ได้ปริมาณของ 2-โมโนกลีเซอไรด์ปานกลาง (78%) สำหรับอัลกอฮอไลซีสต้องทำในสภาวะที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นการเคลื่อนย้ายหมู่เอซิลจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าในปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสจึงทำให้ปฏิกิริยาอัลกอฮอไลซีส

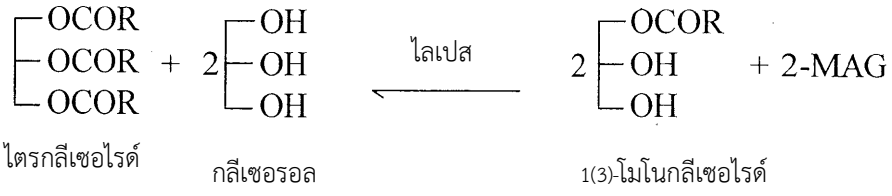
ให้ผลผลิตของ 2-โมโนกลีเซอไรด์มากกว่า (97%) นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาอัลกอฮอไลซีสเกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายปฏิกิริยาขณะที่เกิดปฏิกิริยาและเอนไซม์ไลเปสไม่ถูกยับยั้งโดยกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ 2.4 ไฮโดรไลซีส หรือ อัลกอฮอไลซีส ของไตรกลีเซอไรด์ ในการผลิต 2-โมโนกลีเซอไรด์
ที่มา : Bornscheuer. 1995 : 578-586.

2. กลีเซอโรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์กับกลีเซอรอล

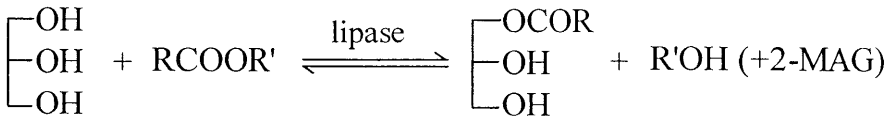
เมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์และปฏิกิริยาอัลกอฮอไลซีสของไตรกลีเซอไรด์ พบว่าปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์เป็นปฏิกิริยาที่คุ้มค่ากว่าในการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ เนื่องจากกรดไขมันทั้งสามของไตรกลีเซอไรด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นโมโนกลีเซอไรด์ได้ทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยานี้สามารถใช้เอนไซม์ไลเปสที่ไม่มีความจำเพาะเร่งปฏิกิริยาได้ ถึงแม้ว่าจะใช้เอนไซม์ไลเปสที่มีความจำเพาะแบบ 1,3 ผลผลิตที่ได้คือ 2-โมโนกลีเซอไรด์ 1 โมล และ 1(3)-โมโนกลีเซอไรด์ อีก 2 โมล ในทางปฏิบัติปฏิกิริยานี้มักจะเกิดการเคลื่อนย้ายหมู่เอซิลแล้วทำให้ได้สารผสมของโมโนกลีเซอไรด์ชนิด 1(3)-โมโนกลีเซอไรด์ และ 2-โมโนกลีเซอไรด์ ในอัตราส่วน 9 : 1



ภาพที่ 2.5 กลีเซอโรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์ในการผลิตโมโนกลีเซอไรด์
ที่มา : Bornscheuer. 1995 : 578-586.

3. เอสเทอริฟิเคชันของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน หรือ เอสเทอร์ของกรดไขมัน

เอสเทอริฟิเคชันของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน หรือ เอสเทอร์ของกรดไขมันจะทำให้ได้เฉพาะโมโนกลีเซอไรด์ไม่ได้กรดไขมัน (ภาพที่ 2.6) สารผสมในปฏิกิริยาประกอบด้วยสารตั้งต้นที่มีขั้วและให้โปรตอนได้และส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนย้ายหมู่เอซิล ผลผลิตที่ได้จึงเป็นสารผสมของโมโนกลีเซอไรด์ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาจะต้องมีการดึงเอาน้ำหรือแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกจากปฏิกิริยาเพื่อเป็นการควบคุมให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า (Miller, Austin, Posorske & Gonzlez. 1988 : 927-931)



ภาพที่ 2.6 เอสเทอริฟิเคชันของกลีเซอรอลให้ผลผลิตเป็นสารผสมของ 1(3)-และ 2-โมโนกลีเซอไรด์
ที่มา : Bornscheuer. 1995 : 578-586.

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสซึ่งเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปส

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสที่เร่งด้วยเอนไซม์ไลเปสมีดังนี้

1. แหล่งของเอนไซม์ไลเปส

ยามาเน่และคณะ (Yamane, Hoq, Itoh & Shimizu. 1986 : 625-631) พบว่าไลเปสทางการค้าหลายชนิดมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสได้ เช่น ไลเปสจาก *Alcaligenes* sp., *Arthrobacter ureafaciens*, *Phycomyces nitens*, *Pseudomonas fluorescens* และ ไลเปสจาก *Rhizopus delemar* มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสค่อนข้างสูง โดยเฉพาะไลเปสจาก *Chromobacterium viscosum* มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้สูงที่สุด ในขณะที่ไลเปสจาก *Aspergillus niger*, *Candida cylindracea*, *Mucor javanicus* และ *Penicillium cyclopium* มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสได้น้อย ไลเปสจากแบคทีเรียสามารถเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสแล้วให้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ได้สูงกว่าไลเปสจากยีสต์และเชื้อรา (Bornscheuer & Yamane. 1994 : 864-869)

2. ปริมาณน้ำ

ลี และ วาร์ด (Li & Ward. 1993 : 745-748) กล่าวว่า การเติมน้ำปริมาณเล็กน้อยลงไปในวัฏภาคของกลีเซอรอลจะทำให้ไลเปสมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสได้เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำต้องไม่มากเกินไปเพื่อป้องกันการเกิดกรดไขมันที่มากเกินในปฏิกิริยา ถ้าปริมาณน้ำที่อยู่ในวัฏภาคกลีเซอรอลมากกว่าร้อยละ 8 จะทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันร้อยละ 12 และ ถ้าในวัฏภาคกลีเซอรอลมีปริมาณน้ำอยู่ร้อยละ 12 จะทำให้ปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์เกิดได้น้อยลง

3. อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อไตรกลีเซอไรด์

ตามทฤษฎีปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล และ กลีเซอรอล 2 โมล เพื่อผลิตโมโนกลีเซอไรด์ 3 โมล สำหรับกลีเซอโรไลซีสของไตรโอเลอินในระบบวัฏภาคของของแข็งพบว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อไตรโอเลอินเท่ากับ 2.7 : 1 จะทำให้ได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์เท่ากับร้อยละ 96 (Bornscheuer & Yamane. 1994 : 864-869) จากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของไขวัว ถ้าใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อไขวัวเท่ากับ 1.5 : 1 ถึง 2.5 : 1 จะได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 70 แต่ถ้าใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อไขวัวเท่ากับ 5 : 1 หรือมากกว่า จะไม่มีผลต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้น (McNeill, Shimizu & Yamane. 1990 : 779-783) ยามาเน่และคณะ (Yamane, Kang, Kawahara & Koizumi. 1994 : 339-342) รายงานว่าถ้าใช้ปริมาณกลีเซอรอลน้อยจะทำให้เกิดไดกลีเซอไรด์เป็นผลผลิตหลักแทนโมโนกลีเซอไรด์ เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นตัวช่วยรักษาสภาพของเอนไซม์ไลเปสให้เร่งปฏิกิริยาได้

4. อุณหภูมิ

แมคนีล และ คณะ (McNeill, Shimizu & Yamane. 1990 : 779-783) รายงานว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยามีผลต่อการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ โดยที่อุณหภูมิสูง (48-50 °ซ) ทำให้ได้ปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 30 ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ (38-46 °ซ) จะได้ปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 70 จากการพยายามปรับปรุงผลผลิตของโมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของไขมัน เช่น ไขวัว น้ำมันปาล์ม และ ปาล์มสเตียริน พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาเช่นใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 42 °ซ เป็นเวลา 8-16 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 5 °ซ เป็นเวลา 4 วัน จะทำให้ได้ผลผลิตของโมโนกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 90 (McNeill & Yamane. 1991 : 6-10)

5. ตัวทำละลายอินทรีย์

ฟูกุย และ คณะ (Fukui, Kawamoto, Sonomoto & Tanaka. 1990 : 330-334) กล่าวว่าในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบที่ไม่มีขั้วไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งจำเป็นจะต้องเติมตัวทำละลายอินทรีย์ลงไปในปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มการละลายของสารตั้งต้นเหล่านี้ นอกจากนี้ตัวทำละลายอินทรีย์สามารถช่วยให้สมดุลของปฏิกิริยาเกิดไปทางการสังเคราะห์ได้ดีกว่า

ปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำโดยจะไปลดปริมาณของน้ำในระบบลง อย่างไรก็ตามตัวทำละลายอินทรีย์มีผลต่อโมเลกุลของเอนไซม์ไลเปสหลายประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์และชนิดของเอนไซม์ที่ใช้อีกด้วย ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่นไอโซออกเทนมักนิยมใช้ในปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำ ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน และ ปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีส นอกจากนี้พบว่าในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ไอโซออกเทน และ เฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมมากกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น แต่ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วเช่น เบนซีน และ อะซีโตน ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์

การเก็บเกี่ยวผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์

การผลิตโมโนกลีเซอไรด์ในระบบไมโครอิมัลชัน พบว่าในขั้นตอนสุดท้ายสารละลายปฏิกิริยาจะประกอบด้วยสารอิมัลซิฟายเออร์ เอนไซม์ ตัวทำละลาย กรดไขมัน และ เอสเทอร์ ซึ่งจะต้องผ่านการแยกหลายขั้นตอนและทำให้เอนไซม์เสียสภาพไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกต่อไป (Padt, Keurentjes, Sewalt, van Dam, van Dorp & van't Riet. 1992 : 748-754)

ควอน และ คณะ (Kwon, Han & Rhee. 1995 : 700-704) ได้พยายามใช้เฮกเซนในการละลายสารผสมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา โดยอาศัยหลักการว่าโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ละลายได้น้อยในเฮกเซน เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมัน และ ไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นผลผลิตที่เราต้องการจะตกตะกอนแยกออกมาจากปฏิกิริยา

สตีเวนสันและคณะ (Stevenson, Stanley & Furneaux. 1993 : 1043-1048) ได้ใช้เฮกเซนในการเก็บเกี่ยวผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ เนื่องจากสารผสมของปฏิกิริยาอื่นๆจะละลายในเฮกเซน โมโนกลีเซอไรด์ส่วนใหญ่จะตกตะกอนออกมาที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$ซ

สำหรับระบบที่เป็นวัฏภาคของแข็ง การแยกผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์อาจทำได้โดยการให้ความร้อนเพื่อทำการหลอมละลายโมโนกลีเซอไรด์ (McNeill & Yamane. 1991 : 6-10) นอกจากนี้อาจใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายในการสกัด แล้วทำการแยกที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$ซ กำจัดน้ำในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยโซเดียมซัลเฟตที่แห้ง ทำการกรองเพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตทิ้งไป ทำสารละลายที่ได้ให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายทิ้งไป นำสารละลายที่เข้มข้นไปผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยซิลิกาเจล โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวชะ จะทำให้ได้โมโนกลีเซอไรด์บริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 (Thude, Shukun, Said & Bornscheuer. 1997 : 246-250)

ไลเปสจากยางมะละกอ

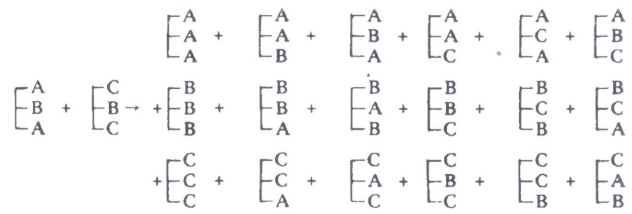
ไลเปส (Lipase: EC 3.1.1.3) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลไขมัน เมื่อไขมันถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน นอกจากเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ของไขมันแล้วไลเปสยังเร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะเอสเทอร์ซึ่งเป็นการย้อนกลับของปฏิกิริยานี้ด้วย และด้วยคุณสมบัติของไลเปสจึงทำให้ไลเปสเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมผลิตสารลดแรงตึงผิว อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสีย และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น (Houde, Kademi & Leblanc. 2004 : 155-170) ไลเปสที่เป็นที่ต้องการในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นั้น จะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติที่เฉพาะต่อกระบวนการผลิตนั้นๆ เช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร กระบวนการผลิตมักต้องใช้อุณหภูมิสูง และสภาพความเป็นด่างสูง นอกจากนี้ในบางกระบวนการผลิตมีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในกระบวนการผลิตด้วยดังนั้นไลเปสที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล่านี้จะต้องทนอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.5-11 และทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ด้วย ดังนั้นในการนำไลเปสมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาควรจะมีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physico-Chemicals Properties) เบื้องต้นของไลเปสด้วย

ความจำเพาะของเอนไซม์ไลเปสมี 3 ลักษณะ คือ (1) ความจำเพาะต่อตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Position Specificity) (2) ความจำเพาะต่อชนิดกรดไขมันหรือชนิดซับสเตรท (Substrate Specificity) และ (3) ความจำเพาะต่อไอโซเมอร์ (Stereochemical Specificity) (Brockerhoff & Jensen. 1974 : 32-34) ความจำเพาะต่อตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์และความจำเพาะต่อซับสเตรทเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ (Brockerhoff & Jensen. 1974 : 32-34)

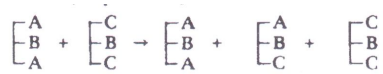
1. ความจำเพาะต่อตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

ไลเปสที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งมี 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นกลุ่มที่จำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 (1,3 *Sn* Specificity) บนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ไลเปสกลุ่มนี้จะเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ตรงตำแหน่งที่ 1 และ 3 ในโมเลกุลน้ำมันหรือไขมัน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 เอนไซม์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้จากแบคทีเรีย กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่จำเพาะต่อตำแหน่งที่ 2 (2 *Sn* Specificity) บนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ไลเปสในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่พบในเนื้อเยื่อสัตว์และเชื้อรา กลุ่มที่สามเป็นกลุ่มที่ไม่จำเพาะต่อตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ไลเปสกลุ่มนี้สามารถเร่งปฏิกิริยาตรงพันธะเอสเทอร์ทั้ง 3 ตำแหน่ง จากปฏิกิริยานี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ

(ก)



(ข)



ภาพที่ 2.7 (ก) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันของสารผสมไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยสารเคมีหรือเอนไซม์ไลเปสที่ไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่ง และ (ข) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันของสารผสมไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ไลเปสชนิดที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์
ที่มา : Macrae & Hammond. 1985: 193-217.

2. ความจำเพาะต่อชนิดกรดไขมันหรือชนิดซับสเตรท

การทราบว่าเอนไซม์แต่ละแหล่งมีความจำเพาะต่อซับสเตรทชนิดใดนั้นเป็นข้อมูลที่ช่วยให้มีการเลือกใช้เอนไซม์ให้เหมาะสมกับซับสเตรท จากการศึกษาซับสเตรทที่เหมาะสมต่อเอนไซม์ไลเปสจาก *Geotrichum candidum* ซึ่งมีไอโซไซม์ 2 ชนิด คือ ชนิด A และ B พบว่าชนิด A ไม่มีความจำเพาะต่อชนิดของกรดไขมัน ส่วนชนิด B มีความจำเพาะต่อกรดโอเลอิก (Jacobsen & Poulsen. 1992 :75-80) ขณะที่เอนไซม์ไลเปสจาก *Pseudomonas* sp สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายน้ำมันมัสตาดและน้ำมันลินซีด (Linseed Oil) ได้ดีกว่าน้ำมันสะเดา น้ำมันละหุ่งและน้ำมันมะพร้าว (Rathi, Saxena & Gupta. 2001 : 187-192) สำหรับไลเปสจาก *Pseudomonas luteola* มีความจำเพาะต่อซับสเตรทที่เป็นมอโนเอสเทอร์ (Monoester) (Litthauer, Ginster & Skein. 2002 : 209-215) ส่วนไลเปสจาก *Candida deformans* มีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 ของเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสายสั้น (Vaysse, Ly, Moulin & Dubreucq. 2002 : 648-655) นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติความจำเพาะของไลเปสต่อขนาดของกรดไขมันมีผลต่อตำแหน่งที่จะสร้างพันธะเอสเทอร์บนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Xu. 2000 : 287-303) จากความรู้นี้ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์กลุ่มใหม่ที่เรียกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่กำหนดโครงสร้างได้ (Structured Triglycerides) ดังเช่นการสังเคราะห์น้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed Oil) ที่

ให้พลังงานน้อยลง โดยการแทนที่กรดไขมันบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ด้วยกรดคาโปรอิก (Caproic Acid) โดยใช้ไลเปสที่จำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 ทำให้น้ำมันชนิดใหม่นี้มีปริมาณกรดคาโปรอิกมากขึ้น (Zhou, Xu, Mu, Hoy & Adler-Nissen. 2001 : 5771-5777)

ยางมะละกอเป็นของไหลมีลักษณะคล้ายน้ำนมซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 85 และส่วนที่เป็นตะกอนไม่ละลายน้ำอีกร้อยละ 25 ส่วนที่ละลายน้ำประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10 เกลือร้อยละ 10 และไขมันร้อยละ 5 นอกจากนี้มีสารชีวโมเลกุลอื่นๆ อีกเช่น กลูตาไธโอนและ ซีสเตอีนโปรติเอส (ร้อยละ 30) และโปรตีนอื่นๆ อีกร้อยละ 10 เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ได้จากยางมะละกอได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่นใช้ทำให้เนื้อนุ่ม ใช้ในการผลิตเบียร์ และใช้ในการผลิตยา (Moussaoui, Nijs, Paul, Wintjens, Vincentelli, Azarkan & Looze. 2001 : 556-570) การใช้เอนไซม์จากพืชมีข้อดีที่เหนือกว่าการใช้เอนไซม์จากสัตว์และจุลินทรีย์คือ แหล่งของเอนไซม์มีมากกว่า ราคาถูกกว่า สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่ายกว่า และมีความจำเพาะที่มากกว่า (Villeneuve, Skarbek, Pina, Graille & Foglia. 1997 : 637-639; Villeneuve, Pina, Skarbek, Graille & Foglia. 1997 : 91-94) ความสามารถของเอนไซม์ไลเปสในพืชมักพบในส่วนของเมล็ดที่กำลังงอก และในเมล็ดของพืชน้ำมัน สำหรับไลเปสในยางมะละกอได้มีรายงานการพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2538 (Giordani, Moulin & Verger. 1991 : 1069-1072)

ในส่วนตะกอนของยางมะละกอซึ่งไม่ละลายน้ำ จะพบความสามารถของเอนไซม์ไลเปสจากการศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรบิวทีโรอิลกลีเซอรอล (Tributyroylglycerol) จากส่วนต่างๆของยางมะละกอ แสดงให้เห็นว่าในส่วนสารละลายของยางมะละกออบแห้งทั้งหมด (Homogenated of Spray-Dried Latex) มีความสามารถในการย่อยสลายไตรบิวทีโรอิลกลีเซอรอลเท่ากับ 2,500 ยูนิตต่อกรัม เมื่อนำส่วนสารละลายยางมะละกออบแห้งมาปั่นแยกทำให้สารละลายแยกออกเป็นสองส่วนคือส่วนลอย (Supernatant) และส่วนตะกอน (Pellet) และนำทั้งสองส่วนไปศึกษาความสามารถในการย่อยสลายไตรบิวทีโรอิลกลีเซอรอล พบว่าในส่วนลอยไม่พบความสามารถในการย่อยสลายไตรบิวทีโรอิลกลีเซอรอล ซึ่งตรงข้ามกับส่วนตะกอนที่มีความสามารถในการย่อยสลายไตรบิวทีโรอิลกลีเซอรอลเท่ากับ 2,500 ยูนิตต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ไลเปสน่าจะอยู่ในส่วนที่เป็นตะกอนของยางมะละกอ (Caro, Villeneuve, Pina, Reynes & Graille. 2000 : 891-901)

สำหรับความจำเพาะของไลเปสจากยางมะละกอพบว่าไลเปสจากยางมะละกอมีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่หนึ่งและสามบนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ นอกจากนี้ยังมีความจำเพาะต่อชนิดของกรดไขมันซึ่งมีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งที่ 5 หรือ ตำแหน่งที่ 9 และกรดไขมันที่มีความยาวของสายคาร์บอนขนาดกลาง ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จัดเป็นซับสเตรทที่ดีของไลเพสจากยางมะละกอ (Mukherjee & Kiewitt. 1996 : 1948-1952) นอกจากนี้ยังพบว่าไลเปสจากยางมะละกอมีความจำเพาะต่อไอโซเมอร์อีกด้วยโดยแสดงความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 3 ของสเตอริโอไอโซเมอร์ (*sn*

3 Stereospecificity) (Villeneuve, Pina, Montet & Graille. 1995 : 109-113) ดังนั้นการใช้เอนไซม์ไลเปสจากยางมะละกอเพื่อดัดแปลงโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์ม โดยการแทนที่กรดไขมันบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในตำแหน่งที่ 1 หรือ ตำแหน่งที่ 3 ของน้ำมันปาล์มด้วยหมู่สเตียริลจะทำให้ได้ไตรกลีเซอไรด์ชนิดใหม่ที่มีโครงสร้างเหมือนกับไตรกลีเซอไรด์ที่พบในเนยโกโก้แท้

น้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติ ปราศจากสารเคมีสังเคราะห์ใดๆเจือปน โดยเฉพาะสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งมักจะมีเจือปนอยู่ในน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ เราสามารถใช้น้ำมันมะพร้าวในสภาพที่สกัดได้ตามธรรมชาติทันที โดยไม่ต้องทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสี และกำจัดกลิ่น ดังเช่นน้ำมันพืชอื่นๆ จึงปลอดภัยจากอันตรายของสารเคมี น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติที่ดีเด่นที่ไม่มีในน้ำมันพืชอื่นใดในโลก ดังต่อไปนี้ (ณรงค์ โฉมเฉลา. 2554 : 6 – 10)

1. เป็นกรดไขมันอิ่มตัว

น้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ประมาณร้อยละ 92 ส่วนที่เหลือ (ร้อยละ 8) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าว ได้แก่ กรดคาโพรอิก กรดคาไพรลิก กรดคาพริก กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก สำหรับการกระจายตัวของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่พบเป็นส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าวแสดงไว้ในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 การกระจายตัวของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่พบเป็นส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าว

กรดไขมัน	ปริมาณ (โมล %)		
	ตำแหน่ง 1 ของไตรกลีเซอไรด์	ตำแหน่ง 2 ของไตรกลีเซอไรด์	ตำแหน่ง 3 ของไตรกลีเซอไรด์
กรดคาโพรอิก (C6:0)	1.0	0.3	3.0
กรดคาไพรลิก (C8:0)	4.0	2.0	32.0
กรดคาพริก (C10:0)	4.0	5.0	13.0
กรดลอริก (C12:0)	39.0	78.0	38.0
กรดไมริสติก (C14:0)	29.0	8.0	8.0
กรดปาล์มิติก (C16:0)	16.0	1.0	1.0
กรดสเตียริก (C18:0)	3.0	0.5	0.5
กรดโอเลอิก (C18:1)	4.0	3.0	3.0
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	0	2.0	2.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nawar. 1996 : 225-319.

2. เป็นกรดไขมันขนาดกลาง

น้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ (ร้อยละ 62.5) เป็นกรดไขมันขนาดกลาง (Medium-Chain Fatty Acids – MCFAs) ร่างกายตอบสนองไขมันขนาดต่างๆแตกต่างกัน ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษในด้านการแพทย์และโภชนาการ การเป็นกรดไขมันขนาดกลางมีข้อได้เปรียบ คือ

2.1 เปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว น้ำมันมะพร้าวถูกดูดซึมและเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วเมื่อบริโภคเข้าไปจะผ่านกระเพาะไปยังลำไส้เข้าไปในกระแสเลือดแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานที่ตับอย่างรวดเร็ว (ภายในหนึ่งชั่วโมง) ทำให้ไม่เกิดเป็นไขมันสะสมในร่างกาย

2.2 เพิ่มอัตราเมตาบอลิสซึม น้ำมันมะพร้าวช่วยเร่งอัตราเมตาบอลิสซึม (Metabolism) จากการเพิ่มประสิทธิภาพของต่อมธัยรอยด์ ผลของความร้อนที่เกิดขึ้น (Thermogenic Effect) เกิดขึ้นเป็นเวลานาน (กว่า 24 ชม.) จึงได้พลังงานมากขึ้นและมีอัตราเผาผลาญที่เร็วขึ้น นอกจากตัวมันเองจะถูกเผาผลาญในอัตราที่เร็วแล้ว ยังช่วยเผาผลาญอาหารที่รับประทานเข้าไปพร้อมกัน ทำให้ไม่ไปสะสมเป็นไขมัน อีกทั้งยังไปเผาผลาญไขมันที่สะสมไว้แต่เดิมทำให้ร่างกายผอมลง

3. **มีสารฆ่าเชื้อโรค**

น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริก (Lauric Acid; C=12) อยู่สูง (48-53%) เมื่อบริโภคเข้าไปในร่างกาย จะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ ชื่อโมโนลอรินที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน และยังมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค

อีนิก (Enig. 1998 : 81-97) ได้รายงานว่าน้ำมันมะพร้าวสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รา ยีสต์ โปรโตซัว และแม้กระทั่งเชื้อไวรัส ผลงานวิจัยของ Dayrit (2000) พบว่า กรดลอริกและโมโนลอรินสามารถช่วยลดปริมาณของเชื้อไวรัส (HIV) ในคนไข้โรคเอดส์ได้ อย่างไรก็ตาม โมโนลอรินก็ไม่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด จะฆ่าได้ก็เฉพาะเชื้อโรคที่มีเยื่อหุ้มเซลล์ที่เป็นไขมัน เช่น เชื้อไข้หวัดใหญ่ โรคเริม คางทูม โรคซาร์ และโรคเอดส์ การที่โมโนลอรินไม่ฆ่าจุลินทรีย์ทุกชนิดก็เป็นข้อดี เพราะแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในกระเพาะจะไม่ถูกทำลาย

นอกจากกรดลอริกแล้ว น้ำมันมะพร้าวยังมีกรดไขมันขนาดกลางอีก 2 ตัว คือ กรดคาพริก (Capric Acid; C-10, 7%) และ กรดคาไพรลิก (Caprylic Acid; C-8, 8%) ที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคได้เช่นกัน และต่างก็ช่วยเสริมกรดลอริกในการเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคเหล่านี้ก่อให้เกิดโรคแก่ร่างกาย หรือฆ่าเชื้อโรคเหล่านี้เมื่อปรากฏตัวขึ้น

4. **มีสารแอนตีออกซิแดนต์**

น้ำมันมะพร้าวมีสารแอนตีออกซิแดนต์ (Antioxidant) หลายประเภทที่มีประสิทธิภาพสูงและในปริมาณมาก สารเหล่านี้ทำหน้าที่ต่อต้านการเติมออกซิเจน (Oxidation) ที่เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free Radicals) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่เปลี่ยนสภาพ เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนในวงแหวนรอบนอก กลายเป็น “โมเลกุลเกเร” เที่ยวไปโจมตีโมเลกุลอื่นๆ โดยไปดึงอีเล็กตรอนจากโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงตัวหนึ่ง และโมเลกุลนี้ก็ไปดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียงอื่นๆต่อไป เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้เซลล์ผิดปกติ เช่น เยื่อบุเซลล์ฉีกขาด ผิวหนังเหี่ยวย่น เปลี่ยนสารพันธุกรรมในนิวเคลียส ทำให้เกิดการกลายพันธุ์อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อมของร่างกายไม่ต่ำกว่า 60 โรค โดยเฉพาะโรคหัวใจ มะเร็ง ไขข้ออักเสบ เบาหวาน ภูมิแพ้ และชราภาพ

อนุมูลอิสระเกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม และในอาหาร เครื่องดื่ม การสูบบุหรี่ ความเครียด ฯลฯ และโดยเฉพาะในน้ำมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะถูกเติมออกซิเจน (Oxidized) ได้โดยง่ายเพราะมีพันธะคู่ (Double Bond) ในโมเลกุลตั้งแต่เริ่มสกัด ตลอดจนระหว่างทางก่อนถูกนำไปบริโภค จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้ไปลดสารแอนตีออกซิแดนต์ที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทีทำให้เกิดผลเสียแก่เซลล์และเนื้อเยื่อ

น้ำมันมะพร้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามกระบวนการผลิตดังนี้

1. น้ำมันมะพร้าว RBD สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวห้าวโดยการบีบ หรือ ใช้ตัวทำละลายผ่านความร้อนสูงและกระบวนการทางเคมี RBD คือ การทำให้บริสุทธิ์ (refining) ฟอกสี (bleaching) และกำจัดกลิ่น (deodorization) หลังจากที่สกัดได้เพื่อให้เหมาะสำหรับการบริโภคได้น้ำมันสีเหลืองอ่อนไม่มีกลิ่นและรส ปราศจากวิตามินอี มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 0.1 ปัจจุบันไม่ค่อยมีจำหน่าย เพราะโรงงานสกัดน้ำมันมะพร้าวประเภทนี้ส่วนใหญ่เลิกดำเนินกิจการไปนานแล้ว

2. น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (cold-pressed coconut oil) โดยขบวนการบีบไม่ผ่านความร้อนสูง ผลิตจากเนื้อมะพร้าวสดเป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ที่สุด สีใสเหมือนน้ำ มีวิตามินอี และไม่ผ่านขบวนการเติมออกซิเดชัน มีค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระต่ำมีกลิ่นมะพร้าวอย่างอ่อนๆ ถึงแรง (ขึ้นอยู่กับขบวนการผลิต) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 0.1 เรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้ว่า น้ำมันมะพร้าวพรหมจรรย์ (virgin coconut oil) เป็นน้ำมันที่ผลิตโดยอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือ ในครัวเรือน

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า น้ำมันมะพร้าวมีบทบาทอย่างมากต่อสุขภาพ และความงามของมนุษย์ไม่ว่าจะใช้ในการบริโภคเป็นอาหาร หรือ อาหารที่เป็นยาด้วย และการใช้ภายนอกโดยการใช้ถูนวดตัว หรือ ชโลมผม เป็นต้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำน้ำมันมะพร้าวมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลีเซอรอล โมโนลอเรทโดยปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสซึ่งเร่งด้วยไลเปสจากยางมะละกอ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันมะพร้าว ซึ่งประเทศไทยมีสภาพที่เหมาะสมในการเป็นแหล่งเพาะปลูกมะพร้าว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาวิจัยหลายเรื่องที่บ่งบอกว่าการผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสม กล่าวคือ จะให้ร้อยละผลผลิตของโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับกลีเซอรอล ชนิด/ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาประกอบเป็นแนวคิดในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้เสนอผลการศึกษาวิจัยในพื้นที่อื่นของประเทศไทยและงานวิจัยในต่างประเทศ ดังนี้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมัน

ปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันถั่วเหลือง ภายใต้สภาวะวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทดลองเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันจาก 15-25 ที่อุณหภูมิ 250 °ซ ความดัน 20.7 เมกะปาสคาล ปริมาณน้ำร้อยละ 4 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลผลิตของโมโนกลีเซอไรด์สูงขึ้น โดยได้ผลผลิตสูงที่สุด (49.2%) ที่อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันเท่ากับ 25 (Temelli, King & List. 1996 : 699-706) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของไขวัวซึ่งเร่งโดยไลเปสจาก *Psudomonas* sp. ที่อุณหภูมิ 42 °ซ ให้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงสุด (70%) เมื่อใช้สารละลายผสมของกลีเซอรอล 2.84 กรัม ต่อ ไขวัว 13.07 กรัม (McNeill & Yamane. 1991 : 6-10) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันจากเนยในถังปฏิกิริยาที่มีการป้อนสารตั้งต้นอย่างต่อเนื่องโดยมีเอนไซม์

ไลเปสตรึงจาก *P. cepacia* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 40 °ซ พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อน้ำมันเนยที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 2 ทำให้ได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์มากกว่าร้อยละ 70 (Garcia, Yang & Parkin. 1996 : 605-609) กลีเซอโรไลซีสของน้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวันซึ่งเร่งโดยไลเปสตรึงจาก *Candida Antarctica* ในระบบที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ ให้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 68-82 ภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง เมื่อใช้ปริมาณของกลีเซอรอล 5.26 กรัม และ น้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวัน 10 กรัม (Damstrup, Jensen, Sparso, Kiil, Jensen & Xu. 2005 : 559-564) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันถั่วเหลืองในระบบที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งเร่งปฏิกิริยาโดยไลเปสตรึง Lipozyme TL IM ให้ผลผลิตมากที่สุดร้อยละ 72 เมื่อใช้สารตั้งต้นที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลและน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 3.5 : 1 (Zhong, Li, Xu, Cheong, Li, Hu & Zhao. 2009 : 783-789) กลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปาล์มซึ่งเร่งด้วยไลเปสตรึงจาก *Pseudomonas* sp. ที่อุณหภูมิ 45 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดร้อยละ 20.74 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 2.7 (Kaewthong, Sirisansaneeyakul, Prasertsan & H-Kittikun. 2005 : 1525-1530) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันมะกอกในสภาวะของปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ที่อุณหภูมิ 5 °ซ ซึ่งเร่งโดยไลเปสตรึงจาก *Pseudomonas* sp. เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ผลผลิตสูงสุดร้อยละ 90 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันมะกอกเท่ากับ 4.8 : 1 (Rosu, Uozaki, Iwasaki & Yamane. 1997 : 445-450) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของปาล์มโอเลอินในปฏิกิริยาที่มีการเติมสารตั้งต้นอย่างต่อเนื่องและเร่งด้วยไลเปสตรึงจาก *Pseudomonas* sp. ที่อุณหภูมิ 45 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อปาล์มโอเลอินจาก 0 : 1 ถึง 16 : 1 พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อปาล์มโอเลอินเท่ากับ 12 : 1 ให้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงที่สุด (70.1%) (H-Kittikun, Kaewthong & Cheirsilp. 2008 : 116-120) จากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปลาซึ่งเร่งโดยไลเปสจาก *Candida antarctica* ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันปลาเท่ากับ 1 : 1.5 จะทำให้ได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงที่สุด (Torres, Lin & Hill. 2002 : 667-673) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และ น้ำมันจากเนื้อปาล์ม โดยการเร่งปฏิกิริยาของไลเปสจาก *Humicola lanuginose* ที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 18 และ ร้อยละ 31 ตามลำดับ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อน้ำมันเท่ากับ 2 : 1 (Tuter & Aksoy. 2000 : 31-34)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของชนิดหรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปาล์มโอเลอินซึ่งเร่งด้วยไลเปสตรึงจาก *Pseudomonas* sp. ที่อุณหภูมิ 45 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้พบว่าการผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเอนไซม์เพิ่ม

มากขึ้น และที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับร้อยละ 50 ของน้ำมันที่ใช้จะให้ผลผลิตสูงสุด (54.83%) (Kaewthong & H-Kittikun. 2004 : 218-222) ในการศึกษาการเร่งปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปลาโดยไลเปสตรึง 4 ชนิด คือ Chirazyme L2, PS-Amano, Lipozyme TL IM และ Chirazyme L9 พบว่าไลเปสชนิด Chirazyme L2 สามารถผลิตโมโนกลีเซอไรด์ได้สูงสุด (50%) และปริมาณที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาคือร้อยละ 7 ของน้ำมันที่ใช้ (Torres, Lin & Hill. 2002 : 667-673)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของอุณหภูมิ

การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และ น้ำมันจากเนื้อปาล์ม โดยการเร่งปฏิกิริยาของไลเปสจาก *Humicola lanuginose* พบว่าที่อุณหภูมิ 40 °ซ ทำให้ได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 18 และ ร้อยละ 31 ตามลำดับ (Tuter & Aksoy. 2000 : 31-34) ปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของน้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวันซึ่งเร่งด้วยไลเปส Novozym 435 ในระบบที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °ซ ได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 68-82 (Damstrup, Jensen, Sparso, Kiil, Jensen & Xu. 2005 : 559-564) การผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากกลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปาล์มโอเลอินซึ่งเร่งด้วยไลเปสตรึงจาก *Pseudomonas* sp. เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 25-45 °ซ พบว่าการผลิตโมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 45 °ซ จะให้ผลผลิตสูงสุด (Kaewthong & H-Kittikun. 2004 : 218-222) สำหรับการปรับปรุงผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ด้วยการลดอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพดังเช่นปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีสของไขวัวและน้ำมันปาล์มซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปสจาก *Pseudomonas* sp. และ ไลเปสจาก *Mucor miehei* พบว่าเมื่อเริ่มต้นทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 42 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงก่อน แล้วทำการลดอุณหภูมิลงให้เหลือ 5 °ซ ทันที แล้วทำปฏิกิริยาต่ออีก 4 วัน ทำให้ได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์สูงสุดคือ ร้อยละ 90 และ ร้อยละ 80 ตามลำดับ (McNeill & Yamane. 1991 : 6-10) กลีเซอโรไลซีสของน้ำมันปลา ซึ่งเร่งด้วยไลเปส Chirazyme L2 เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 4, 45 และ 60 °ซ พบว่าได้ผลผลิตโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 2, 12 และ 20 ตามลำดับ (Torres, Lin & Hill. 2002 : 667-673)