

Monoglyceride Synthesis from Methyl Ester in a Semibatch Reactor

Wanjack Chokrattanachai¹⁾ Sarunyaporn Kitchaiya²⁾ Dr.prakob Kitchaiya³⁾

¹⁾ Graduate Student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

²⁾ Pharmacist, Department of Medical Science, Ministry of Public Health

³⁾ Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The research is the study of transesterification of methyl ester and glycerine, both derived from palm stearin, for monoglyceride synthesis in a semibatch reactor. Glycerine was fed to the reactor and reacted with methyl ester which was initially filled inside the reactor. Three factors namely temperature, catalyst percentage and feed rate of glycerine were studied and each factor has two levels as follow : temperature at 180° C and 210° C, catalyst concentration at 0.25 and 0.5% by weight of methyl ester, and feed time of glycerine at 30 and 60 minutes. Temperature was found to be the most significant factor for monoglyceride synthesis. At 210° C, 0.5% potassium hydroxide and feed rate of 1 mole per 60 minutes, total and alpha monoglyceride content in the product were found to be 49.9 and 40.2% by weight respectively. The total and alpha monoglyceride content of the product from reaction that carried out at 210° C were in the range of 47- 50% and 39- 40% by weight and the total and alpha monoglyceride content from reaction that carried out at 180° C were in the range of 39- 43% and 35- 37% by weight, respectively.

บทนำ

โมโนกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญและใช้อย่างแพร่หลายมากในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการช่วยลดแรงตึงผิว ช่วยทำให้น้ำและน้ำมันรวมตัวกันได้ดีโดยมีค่า HLB เท่ากับ 3.8 โมโนกลีเซอไรด์มีอยู่ 2 ชนิดคือ อัลฟาโมโนกลีเซอไรด์ และเบตาโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีตำแหน่งของกรดไขมันที่เกาะอยู่กับกลีเซอรินที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ อัลฟาโมโนกลีเซอไรด์จะมีความสามารถในการเป็นอีมัลซิไฟเออร์มากกว่าเบตาโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งคุณภาพของโมโนกลีเซอไรด์ที่ซื้อขายกันอยู่นั้นจะถูกกำหนดด้วยปริมาณอัลฟาโมโนกลีเซอไรด์ นอกจากนี้โมโนกลีเซอไรด์ที่ขายทั่วไปนั้นจะขายในรูปของผสมที่มีไดกลีเซอไรด์

และไตรกลีเซอไรด์อยู่ด้วย ปริมาณร้อยละของโมโนกลีเซอไรด์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของงานที่จะนำไปใช้ โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมนิยมผลิตโมโนกลีเซอไรด์โดยการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส (glycerolysis) ซึ่งไขมันจะทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับกลีเซอริน ภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุมไว้ โดยปกติจะใช้อุณหภูมิสูง 200 - 260 องศาเซลเซียส และใช้โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการผลิตอาจทำได้ทั้งในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) สารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสนั้นอาจใช้ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน หรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งสภาวะที่ใช้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารตั้งต้น Nouredдини [Nouredдини H. and Medikonduru V. 1997] ได้ทำการศึกษาศักยภาพปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอนของน้ำมันถั่วเหลือง และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ โดยทำปฏิกิริยาครึ่งชั่วโมงในปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบบางส่วน (partial glycerolysis) ของเมทิลเอสเทอร์ ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองพบว่าปฏิกิริยาทั้งสองแบบให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ใกล้เคียงกัน อรพิน [อรพิน จิวนันต์, 2530] ได้ศึกษาปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขมันอิ่มตัวชนิดต่างๆ และเมทิลเอสเทอร์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขมันไม่อิ่มตัวอุณหภูมิ 230 - 260 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ 64.4% ส่วนปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งทำปฏิกิริยาที่ 200 - 230 องศาเซลเซียสได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ 51.4% นอกจากนี้ยังสามารถใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำได้ [เสาวนีย์ เหมทานนท์, 2541] ซึ่งจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในปฏิกิริยาได้ แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน

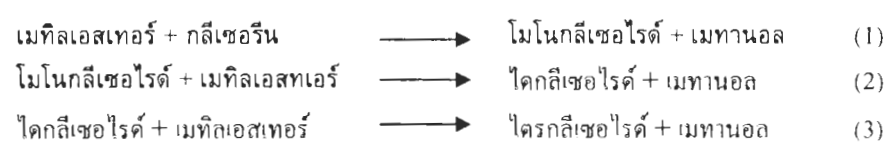
การสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์

ในงานวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์จากเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะแยกชั้นกันอยู่ ชั้นบนเป็นเอสเทอร์ชั้นล่างเป็นกลีเซอรินอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันคือ 60 - 70 องศาเซลเซียส มีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะมีกลีเซอไรด์ แอลกอฮอล์และต่างผสมอยู่เล็กน้อย โดยปกติจะเป็นเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 97 - 99% การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์อาจทำได้โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น

หลายๆ ครั้งเพื่อการจัดตั้งและแอลกอฮอล์ นอกจากนี้กลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะมีสีค่อนข้างคล้ำซึ่งจะประกอบด้วยต่าง และแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาละลายผสมอยู่ นอกจากนั้นอาจจะมีกลีเซอรอลไธด์ผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย โดยทั่วไปจะมีปริมาณของกลีเซอรินอยู่ประมาณ 60 – 80% ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งสามารถนำกลีเซอรินนี้ไปทำให้บริสุทธิ์ได้จนมีความเข้มข้นของกลีเซอริน 98% [ปิยนากู อินทนกุล, 2547]

เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ทางอุตสาหกรรม และงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดนั้น มักจะกระทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch) งานวิจัยที่ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทซ์ยังไม่พบว่า ได้มีรายงานไว้ เครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทซ์ ต่างจากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะคือ มีการป้อนสารตั้งต้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นอีกชนิดหนึ่งที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์แล้ว ซึ่งข้อได้เปรียบของเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทซ์คือ มีค่าการเลือก (selectivity) สูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสเพื่อสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์คือ สารตั้งต้นได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์และกลีเซอรินนั้น ไม่ละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง เพื่อเพิ่มค่าการละลายของเมทิลเอสเทอร์ในกลีเซอริน [อรพิน จิวานันต์, 2530] และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาต้องแยกเอากลีเซอรินที่เหลือจากปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือ ศึกษาการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ด้วยปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทซ์ เพื่อลดต้นทุนในการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นต้นทุนส่วนสำคัญส่วนหนึ่งคือ สารตั้งต้นกลีเซอริน มีราคาแพง งานวิจัยนี้จะใช้กลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันข้างต้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ดังกล่าว เพื่อสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ โดยการเลือกขั้นตอนในการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ในลักษณะนี้จะได้ประโยชน์ใน 3 ประการ คือ 1) สามารถใช้โซปาล์มสเดयरินซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ราคาถูกกว่าน้ำมันพืชประมาณ 1 เท่าตัวใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน 2) ได้กลีเซอรินซึ่งมีราคาถูกจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อใช้ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ และ 3) ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยใช้เมทิลเอสเทอร์ทดแทนไตรกลีเซอไรด์ในการทำปฏิกิริยากับกลีเซอรินจะสามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้ไตรกลีเซอไรด์ ในการทดลองจะทำการป้อนกลีเซอรินเข้าไปทำปฏิกิริยากับเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ปริมาณต่าง อัตราการป้อนกลีเซอริน และอุณหภูมิ เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ

เคมีแบบซ์ ปฏิกริยากลีเซอโรไลซิสที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เมื่อใช้เมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรินเป็นสารตั้งต้นเป็นดังต่อไปนี้



โดยปฏิกิริยาที่ 2 และ 3 เป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการ

การทดลอง

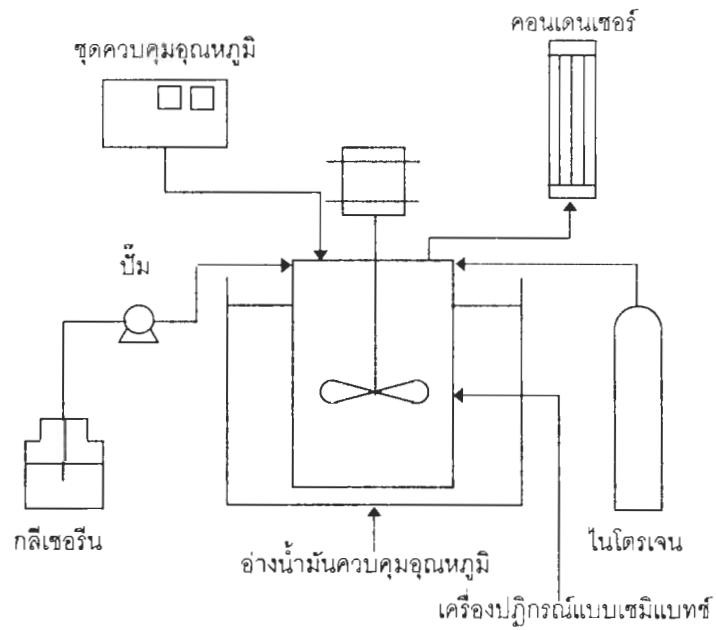
สารเคมีและอุปกรณ์

เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน เตรียมจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิชั่นของไฮปาล์มสเตียริน โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของปาล์มสเตียริน และอัตราส่วนโดยโมลของปาล์มสเตียรินต่อเมทานอล คือ 1 : 6 ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแยกชั้น โดยชั้นบนจะเป็นชั้นที่มีเมทิลเอสเทอร์อยู่เป็นส่วนใหญ่ และชั้นล่างเป็นชั้นที่มีกลีเซอรินเป็นส่วนใหญ่ เมทานอลที่เหลือและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในชั้นของกลีเซอริน จากการไทเทรตพบว่าในชั้นของกลีเซอรินมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5.21กรัม/1000 กรัมของสารละลายกลีเซอริน ในชั้นของเมทิลเอสเทอร์มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.14กรัม/1000 กรัมของสารละลายเมทิลเอสเทอร์ กลีเซอรินและเมทิลเอสเทอร์ที่ได้นี้จะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ต่อไปโดยอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงดังรูปที่ 1

วิธีการทดลอง

ป้อนเมทิลเอสเทอร์ลงในเครื่องปฏิกรณ์ ทำการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายอยู่ในเมทานอลลงไปเมทิลเอสเทอร์ให้ได้ปริมาณตามต้องการ ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มี 2 ค่า คือ 0.25 และ 0.5% โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ทำการเพิ่มอุณหภูมิของเมทิลเอสเทอร์โดยในระหว่างนี้เมทานอลที่ละลายอยู่ในเมทิลเอสเทอร์จะระเหยออกไป เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิ 180 และ 210 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เมทิลเอสเทอร์สามารถเกิดปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิสได้ จะทำการป้อนกลีเซอรินเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยปั๊ม อัตราส่วนโดยโมลของเมทิลเอส

เทอร์ตอลลีเซอรินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:1 โดยเวลาที่ใช้ในการป้อนกลีเซอรินจะมี 2 ค่าคือ 30 และ 60 นาที เพื่อเป็นการเลื่อนสมดุลของปฏิกิริยาไปทางขวาเมทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาจะถูกพ่นไล่ออกจากระบบด้วยแก๊สไนโตรเจน นอกจากนี้แก๊สไนโตรเจนยังช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรินที่อุณหภูมิสูง เมื่อทำการป้อนกลีเซอรินเสร็จสิ้นแล้วหยุดปฏิกิริยาด้วยกรดฟอสฟอริกจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณอัลฟาโมโนกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ทั้งหมด



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิธีการ analysis of variances (ANOVA) ซึ่งจะแสดงความมีนัยสำคัญของตัวแปรต่างๆ ในรูปของสมการดังต่อไปนี้ [Douglas C. M. 2001.]

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 b_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

โดยที่

- Y คือ ค่าตัวแปรตาม
- b_0 คือ intercept
- b_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระกำลังหนึ่ง
- b_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีปฏิสัมพันธ์ (interaction)
- x_i คือ ตัวแปรอิสระ

ผลการทดลอง

การทดลอง หมายเลขที่	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา(%)	เวลาที่ใช้ในการ ป้อนกลีเซอริน (นาที)	ปริมาณโมโนกลี เซอไรด์ทั้งหมด (%)	ปริมาณอัลฟาโม โนกลีเซอไรด์ (%)
1	180 (-1)	0.25 (-1)	30 (-1)	42.5	35.9
2	180 (-1)	0.25 (-1)	60 (+1)	39.4	35.1
3	180 (-1)	0.5 (+1)	30 (-1)	43.0	36.2
4	180 (-1)	0.5 (+1)	60 (+1)	41.7	36.9
5	210 (+1)	0.25 (-1)	30 (-1)	47.8	39.1
6	210 (+1)	0.25 (-1)	60 (+1)	49.2	38.5
7	210 (+1)	0.5 (+1)	30 (-1)	48.0	38.8
8	210 (+1)	0.5 (+1)	60 (+1)	49.9	40.2

*ตัวเลขในวงเล็บคือตัวเลขที่ใช้แทนในสมการที่ 4 และ 5 สำหรับตัวแปรอิสระต่าง ๆ

สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ได้
ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้กับค่าของตัวแปรต่าง ๆ ดังสมการ
ต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \%MG = & 45.14 + 39T + 0.47C - 0.24F - 0.13(T \times C) \\ & + 1.03(T \times F) + 0.28(C \times F) - 0.22(T \times C \times F) \end{aligned}$$

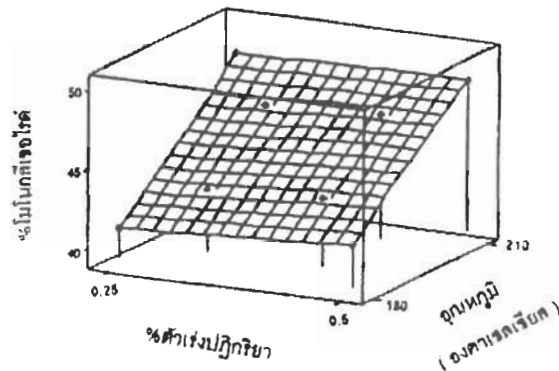
(5)

กำหนดให้

T คือ อุณหภูมิ

C คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

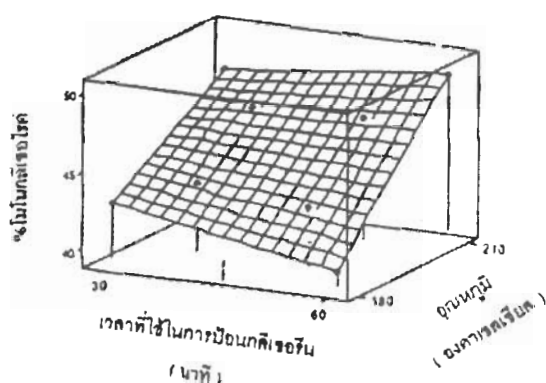
F คือ เวลาที่ใช้ในการป้อนกลีเซอริน



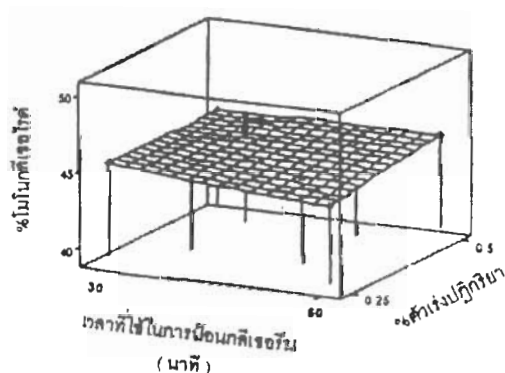
รูปที่ 2 Response surface ของอุณหภูมิและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์

ซึ่งตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์มากที่สุดคือ อุณหภูมิ ขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราการป้อนกลีเซอรินไม่ค่อยมีผลต่อการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์มากนัก รูปที่ 2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดง Response surface ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อเปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์ จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 180 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่า ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทอร์สามารถเกิดได้ดี ได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 39-43 และ 47-50 โดยที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทอร์มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ [Noureddini H. and Medikonduru V., 1997] คือ ประมาณร้อยละ 50 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [อรพิน จิวานันต์, 2530] ซึ่งทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ ที่อุณหภูมิในช่วง 170-200 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ทำปฏิกิริยา 30 นาที ได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ

22.8 และปริมาณเบต้าโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.5 พบว่า การทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงกว่า นอกจากนี้ เมื่อทำการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมีแบบทำการป้อนเมทิลเอสเทอร์ลงไปทำปฏิกิริยากับกลีเซอรินในเครื่องปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5 และอัตราการป้อนเมทิลเอสเทอร์ 1 โมลต่อ 60 นาที ได้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 32.8 และปริมาณแอลฟาโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 30.4 ซึ่งน้อยกว่าผลการทดลองที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบบแรก



รูปที่ 3 Response surface ของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการป้อนกลีเซอรินที่มีต่อการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์



รูปที่ 4 Response surface ของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาที่ใช้ในการป้อนกลีเซอรินที่มีต่อการสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์

เอกสารอ้างอิง

- ปิยนฎ อินทกุล. 2547. การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ. 2536. **อิมัลชันในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง** เชียงใหม่ : โครงการตำรา งานส่งเสริมการวิจัยและตำรา กองบริการการศึกษา สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เสาวนีย์ เหมทานนท์. 2541. การใช้ไลเปสจาก *Candida cylindracea* in Glycerolysis of Lard to Produce Monoglyceride **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อรพิน จิวนันต์. 2530. การใช้ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสเพื่อผลิตโมโนกลีเซอไรด์ **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Daniel S. 1982. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 5thed. New york: **John Wiley & Son.**
- Douglas C. M. 2001. Design and Analysis of Experiments. New york: **John Wiley & Son.**
- Noureddini H. and Medikonduru V. 1997. Glycerolysis of Fat and Methyl Ester. **Journal of American Oil Chemist's Society**. 74, 4: 419–425.
- Richard D. O. 1998. Fats and Oils Formulating and Processing for Application. Texas: **Technomic publishing.**