

การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอริน
ที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

ปริญญานิพนธ์
ของ
ณฐมน ดีปะติ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ตุลาคม 2551

การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอริน
ที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

ปริญญานิพนธ์

ของ

ณฐมน ดีปะติ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ตุลาคม 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอริน
ที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

บทคัดย่อ
ของ
ณฐมน ดีปะติ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ตุลาคม 2551

ณัฐมน ดีปะติ. (2551). การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนม. วิทยานิพนธ์ วท.ม.(เคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย. อาจารย์ ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ.

กลีเซอรินถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอาง ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมกลีเซอรินจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนมด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมกลีเซอรินและวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีและศึกษาการทำให้บริสุทธิ์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น ในการทำให้บริสุทธิ์นี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการกำจัดสี กลิ่นด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ ซึ่งทำการติดตามตรวจสอบหาชนิดของหมู่ฟังก์ชันัลในกลีเซอรินด้วยเทคนิคฟูเรียร์สเปกตรัมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน ได้แก่ กรดปาล์มมิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิกโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี เนื่องจากน้ำมันที่สกัดได้จากกากของเสียมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ซึ่งมีผลต่อความบริสุทธิ์ของ กลีเซอริน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนที่จะนำไปทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยการใช้ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ทำให้ลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้ร้อยละ 68 จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกลีเซอริน พบว่า เมื่อใช้น้ำมัน 50 กรัม ใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เมทานอล 150 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จะได้กลีเซอรินดิบร้อยละ 67.27 ± 0.52 และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร น้ำมัน 50 กรัม เมทานอล 150 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พบว่า ได้กลีเซอรินดิบร้อยละ 67.00 ± 0.52 และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้ไปศึกษาการทำให้บริสุทธิ์ 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนสุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิให้กับกลีเซอรินที่อุณหภูมิ 40°C นาน 2 ชั่วโมง ได้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ซึ่งกลีเซอรินที่ได้จากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีความบริสุทธิ์ร้อยละ 96.04 ± 0.44 สำหรับถ่านคาร์บอนกัมมันต์ และ 95.37 ± 0.43 สำหรับดินเบนทอไนต์ ส่วนกลีเซอรินที่ได้จากการใช้กรด ซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.98 ± 0.34 สำหรับถ่านคาร์บอนกัมมันต์ และ 95.03 ± 0.23 สำหรับดินเบนทอไนต์ และเมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระทั้ง 4 ชนิดในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี พบว่า ไม่ปรากฏฟีกของกรดไขมันอิสระ แสดงให้เห็นว่า ในการทดลองนี้สามารถเตรียมกลีเซอรินได้จากกากของเสียและสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์หรือดินเบนทอไนต์ ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

PRODUCTION AND PURIFICATION PROCESS DEVELOPMENT OF
GLYCERINE FROM DAIRY WASTE PRODUCTS

AN ABSTRACT
BY
NATAMON DEEPATI

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Master of Science Degree in Chemistry
At Srinakharinwirot University
October 2008

Natamon Deepati. (2008). *Production and purification process development of glycerine from dairy waste products*. Master thesis. M.Sc. (Chemistry). Bangkok :
Graduate School. Srinakharinwirot University. Advisor Committee :
Associate Professor Dr. Pornpimol Muangthai., Dr. Piyada Jittangprasert.

Nowadays, glycerine is widely used in many industries such as food industry, pharmaceutical and cosmetics industries. The aim of this research is to study the preparation method of glycerine from the dairy waste product of milk industry using transesterification reaction. The optimum conditions in preparation step were studied and the glycerine content was analyzed by redox titration. In addition, the purification steps were also studied for 3 steps as the evaporation of methanol, hexane extraction of residues lipid, decolorization and deodorization using activated carbon and bentonite clay as adsorbent. The functional groups of glycerine were monitored by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). The residues fatty acid as palmitic acid, stearic acid, oleic acid and linoleic acid were detected by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). In this work the high content of free fatty acid in oil was saponified before transesterification process and found that free fatty acid was reduced to 68%. The results showed that the optimum condition for preparation of crude glycerine was using 50 g of oil reacted with 150 mL of methanol and 2 g of KOH by heating at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 1 hour resulting $67.27 \pm 0.52\%$ of crude glycerine. If, sulfuric acid was used as catalyst, 50 g of oil reacted with methanol 150 mL and concentrated H_2SO_4 3 mL by heating at $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 1 hour resulting crude glycerine $67.00 \pm 0.52\%$. In the decolorization and deodorization step crude glycerine was heated with adsorbent at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 2 hours. The purified glycerine was $96.04 \pm 0.44\%$ by activated carbon and $95.37 \pm 0.43\%$ by bentonite clay when using KOH as catalyst. If H_2SO_4 was used as catalyst, the percentage yield of purified glycerine was $95.98 \pm 0.34\%$ and $95.03 \pm 0.23\%$ by activated carbon and bentonite clay, respectively. The four fatty acids could not be detected in all purified glycerines analyzing by GC-MS. This work clearly proved that glycerine can be prepared from dairy waste product and purified by either activated carbon or bentonite clay which gave the satisfactory results.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอริน
ที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนม

ของ
ณฐมน ดีปะติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่..... เดือน พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย)

..... กรรมการ
(ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย)

..... กรรมการ
(ดร. วินัย อวงพิพัฒน์)

..... กรรมการ
(ดร. พนารัตน์ อรุณรัตติยากร)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้จัดสรรเงินทุนงบประมาณรายได้ประจำปี 2551

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และชี้แนะ ข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนการแก้ปัญหาอันเกิดจากการวิจัยและการเขียนปริญญานิพนธ์นี้แก่ผู้วิจัย เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ ที่ให้ความกรุณาในการเป็นประธาน กรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ดร.พนารัตน์ อรุณรัตติยากร และ ดร.วินัย อวงพิพัฒน์ ที่ให้ความกรุณาในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำและชี้แนะ ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชา เคมีทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้ความเมตตาและเอาใจใส่แก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมีและเจ้าหน้าที่ศูนย์ เครื่องมือของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบริษัทจอมธนา จำกัด ผู้ผลิตไอศกรีมครีโม ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากของเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้ทุนสนับสนุนการทำ ปริญญานิพนธ์สำหรับนิสิตในระดับบัณฑิตศึกษาจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี พ.ศ.2551และขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี เพื่อน พี่ น้องๆ และนิสิต ปริญญาโททุกท่านที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอด การศึกษาและทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดามารดาและครอบครัวดีป๊ะดีทุกท่าน ที่ได้อบรมเลี้ยงดู ให้ความรัก ความเอื้ออาทร กำลังใจ และให้ทุนสนับสนุนการเรียนและการวิจัยแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอด มา และขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ณฐมน ดีปะดี

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ขั้นตอนของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	 4
นมและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม.....	4
น้ำนมและคุณสมบัติของน้ำนม.....	4
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทย.....	8
ไขมันในน้ำนม.....	9
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	13
กลีเซอริน.....	18
คุณสมบัติของกลีเซอริน.....	19
การผลิตกลีเซอริน.....	20
กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์.....	21
การจำแนกคุณภาพและการวิเคราะห์กลีเซอริน.....	27
เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโทเมตรี.....	32
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	 40
อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	40
กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	41
กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์.....	43
การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโทเมตรี.....	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัย	48
		
	การสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้แก่ กรดซัลฟูริก	48
	โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และเอโนไซด์เปส.....	57
	กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์	
		70
	การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี	73
		
		73
5	สรุปผล อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
	กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	78
	กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์.....	79
	กระบวนการตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน อิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี...	80
	ข้อเสนอแนะ	
		85
	บรรณานุกรม.....	87
		90
	ภาคผนวก.....	94
	ภาคผนวก	96
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก	103
	ภาคผนวก	
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ส่วนประกอบของน้ำมัน.....	6
2 ส่วนประกอบของเถา.....	7
3 ส่วนประกอบของไขมันนม.....	11
4 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอริน.....	19
5 อุณหภูมิในการกำจัดกรดไขมันอิสระของน้ำมันชนิดต่าง ๆ	23
6 ผลของอุณหภูมิและความดันในการกำจัดกลีเซอรินในน้ำมันชนิดต่าง ๆ	26
7 เกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพของกลีเซอรินบริสุทธิ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	28
8 สภาวะที่เหมาะสมของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี ในการ วิเคราะห์กรดปาล์มมิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก.....	46
9 ค่าร้อยละผลผลิตของไขมันที่ได้จากการสกัดแบบเบสจากกากของเสียโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมด้วยเอ็กเซน.....	48
10 ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระของไขมันที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์นม วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40.....	49
11 ค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละกรดไขมันอิสระหลังการทำการทำปฏิกิริยาสapon นิฟิเคชัน โดยวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40.....	50
12 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณต่าง ๆ	51
13 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันปริมาตร เมทานอลต่าง ๆ.....	51
14 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ.....	52
15 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่าง ๆ.....	52
16 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาตรต่าง ๆ.....	53

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
17 คำร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันปริมาตรเมทานอลต่าง ๆ...	54
18 คำร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ.....	54
19 คำร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่าง ๆ.....	55
20 คำร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ.....	56
21 คำร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่าง ๆ	56
22 ข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินมาตรฐาน.....	57
23 คำร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่าง ๆ กัน	62
24 คำร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่าง ๆ กัน.....	62
25 คำร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และ ดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:5 แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ กัน	63
26 คำร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และ ดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:5 แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	63
27 คำร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่าง ๆ กัน.....	65
28 คำร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่าง ๆ กัน.....	66
29 คำร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 ที่แปรผันอุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	66

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
30 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอน กัมมันต์และดินเบนทอนไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 ที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ กัน.....	67
31 ค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำ ให้บริสุทธิ์ โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	69
32 ค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำ ให้บริสุทธิ์ โดยใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	69
33 ค่าเวลารีเทนชันของสารมาตรฐานกรดไขมันอิสระได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก.....	70
34 น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน ปริมาตรของแอลกอฮอล์และความเข้มข้นของด่างที่ ต้องใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	87
35 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลาย มาตรฐานปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต.....	88
36 สรุปค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้ บริสุทธิ์ต่างๆ โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	89
37 สรุปค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้ บริสุทธิ์ต่างๆ โดยใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	89

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน.....	3
2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	4
3 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์.....	10
4 กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	16
5 กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	17
6 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ.....	32
7 ใต้อะแกรมของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	33
8 ใต้อะแกรมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	34
9 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการระเหยเมทานอล.....	58
10 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการระเหยเมทานอล.....	59
11 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน	60
12 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการแยกไขมันที่ตกค้างออก.....	61
13 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	64
14 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอนไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	65

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
15 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วย ถ่านคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	68
16 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วย ดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	68
17 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกรดไขมันอิสระ ได้แก่ กรดปาล์มิติก (16:0) กรดสเตียริก(18:0) กรดโอเลอิก(18:1) และกรดลิโนเลอิก(18:2).....	70
18 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C	71
19 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์ อัตราส่วน 1:5 ที่ อุณหภูมิ 40°C	71
20 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วน 1:5 ที่ อุณหภูมิ 40°C	72
21 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C.....	72
22 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์ของ Agilent รุ่น 6890 N และ Agilent Mass Selective Detector 5973N.....	97
23 ตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม.....	98
24 น้ำมันที่สกัดได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม.....	98
25 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ชุดเครื่อง กวนเชิงกล ความเร็ว 115 รอบต่อนาที.....	99
26 กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอล โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	100
27 กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	100

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28 กลีเซอรินที่เกิดจากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการปรับสภาวะให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน.....	101
29 กลีเซอรินที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการปรับสภาวะให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน.....	101
30 กลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์.....	102
31 กลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอนไนต์.....	102

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

กลีเซอรินเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จึงละลายน้ำได้ดี กลีเซอรินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบผิว อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างคล้ายน้ำตาล จึงทำให้มีรสหวาน และมีลักษณะข้นหนืด เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของกลีเซอริน โดยทั่วไปการผลิตกลีเซอรินมี 2 วิธี คือ การผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขมันหรือน้ำมัน การเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน จะใช้น้ำมันหรือไขมันทำปฏิกิริยากับเบสและได้สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ โดยมีกลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ส่วนการเตรียมโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจะใช้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมัน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบสเป็นตัวช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะได้กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นร่วมกับสารประกอบเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตไบโอดีเซลกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะจัดเป็นแหล่งผลิตพลังงานทางเลือก (alternative energy) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Lee, K.T.; Frogila, T.A.; & Chang, K.S. 2002 : 191-195) เนื่องจากมีปัญหาการขาดแคลนแหล่งวัตถุดิบในการผลิตน้ำมัน จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หลายประเทศให้ความสนใจที่จะหาแหล่งวัตถุดิบอื่นๆ ซึ่งพืชที่ให้ไขมัน ได้แก่ ปาล์ม ถั่วเหลือง เรปซีด และทานตะวัน เป็นพืชกลุ่มที่จะถูกผลิตเป็นแหล่งผลิตพลังงานทดแทน นอกจากนี้ยังรวมถึงการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (renewable sources) (คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. 2545 : 25 - 28) (Tomasevic, A.V.; & Silver - Marinkovic, S.S. 2003 : 1-6) อีกด้วย ซึ่งการใช้วัตถุดิบที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Schuchardt, U.; Sercheli, R.; & Vargas, R.M. 1998 : 199 - 210) (Meher; et al. 2006 : abstract) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ร่วมคือกลีเซอริน (www.biodieselaustria.com: 2002) กลีเซอรินที่ได้ส่วนใหญ่จะนำไปผลิตเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมเทียนไข อุตสาหกรรมกระดาษ มีส่วนน้อยที่จะนำไปทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกลีเซอรินได้อีกทางหนึ่ง (ณัฐกานต์ บุศรพงษ์พานิช และ ณรงค์ฤทธิ์ คงอยู่. 2548 : 2)

ไขมันจากนมสัตว์โดยเฉพาะไขมันจากนมวัวก็เป็นแหล่งวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้ (House, S.D.; et al. 1994 : 960) โดยเฉพาะประเทศไทยในปัจจุบันรัฐบาลได้ส่งเสริมให้มีการเลี้ยงโคนมมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมขยายตัวตามลำดับ เมื่อมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมสิ่งตามมาคือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตนั้นวันจะมีปริมาณสะสมมากขึ้นจนกลายเป็น

ดังนั้น ผู้วิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเตรียมกลีเซอรินจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ตลอดจนศึกษาวิธีการทำกลีเซอรินที่เตรียมได้ให้มีความบริสุทธิ์ และตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้างในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
2. เพื่อศึกษาปัจจัยแปรผัน ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
3. เพื่อศึกษากระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์และตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้างในกลีเซอรินที่เตรียมได้ ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) กรดสเตียริก (stearic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

ความสำคัญของการวิจัย

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
2. ทราบปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
3. สามารถหาวิธีการที่เหมาะสมในการทำกลีเซอรินที่ได้ให้บริสุทธิ์และตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่ตกค้าง ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนม
2. ศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ กรดซัลฟูริก โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และเอนไซม์ไลเปส

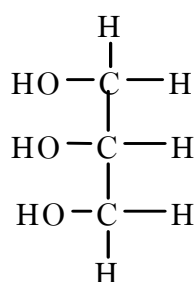
3. ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์และตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้าง ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

ขั้นตอนของการวิจัย

1. ศึกษาและหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมกลีเซอริน
2. จัดเก็บตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
3. เตรียมอุปกรณ์ สารเคมี วัสดุอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง
4. วางแผนการทดลองและทำการทดลองเพื่อหาวิธีการเตรียมกลีเซอริน โดยเริ่มการทดลองกับน้ำมันใหม่ เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้นแบบ และไว้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับกากของเสียตัวอย่างจริง
5. ทำการศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก และเอนไซม์ไลเปส
6. เตรียมกลีเซอรินตามปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 5
7. ศึกษากระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการระเหยเมทานอล การกำจัดไขมันตกค้าง และการกำจัดสี กลิ่น และตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2538 วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้างด้วยการไทเทรตตามวิธีของ AOCS. Ca. 5a - 40 และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้าง ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

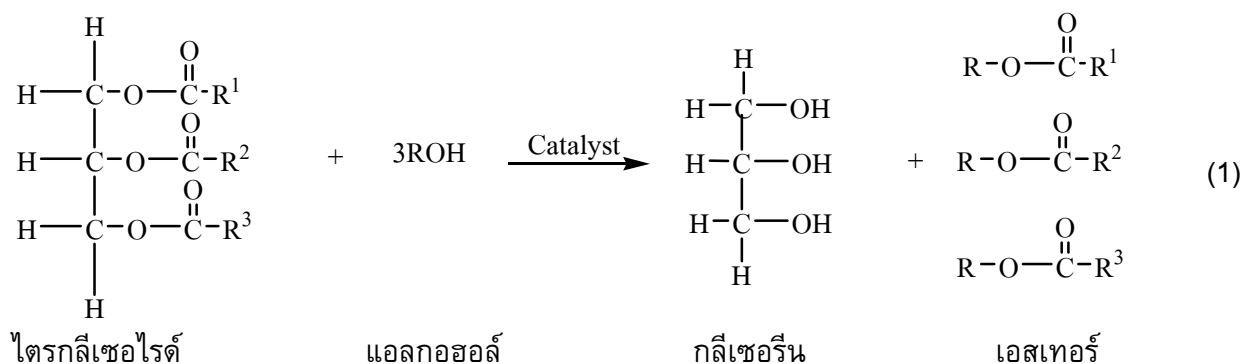
นิยามศัพท์เฉพาะ

กลีเซอริน (glycerine หรือ glycerin) หรือที่เรียกว่า กลีเซอรอล (glycerol) หมายถึง สารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรเคมีเป็น $C_3H_8O_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 – โพรเพนไตรออล (1,2,3 – propantriol) และมีสูตรโครงสร้าง ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) หมายถึง กระบวนการของปฏิกิริยาเคมีที่มีการแทนที่หมู่แอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่งดังภาพประกอบ 2 หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันที่มาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์หรือที่เรียกว่า น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน ดังสมการ 1 เอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับชนิดแอลกอฮอล์ที่นำมาทำปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม (dairy waste products) หมายถึง ตะกอนของเสียจากน้ำทิ้ง ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งกึ่งเหลวที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการชะล้างในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) หมายถึง กรดอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน ประกอบด้วยสายของไฮโดรคาร์บอน กรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ อยู่ในช่วง 4 - 30 อะตอม แต่ที่พบในปริมาณมาก จะเป็นกรดไขมันที่มีอะตอมคาร์บอน 16 - 18 อะตอม ซึ่งได้แก่ กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. นมและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
 - 1.1 นำนมและคุณสมบัติของนํานม
 - 1.2 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทย
 - 1.3 ไขมันในนํานม
2. ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
3. กลีเซอริน
 - 3.1 คุณสมบัติของกลีเซอริน
 - 3.2 การผลิตกลีเซอริน
 - 3.3 กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์
 - 3.4 การจำแนกคุณภาพและการวิเคราะห์กลีเซอริน
4. เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. นมและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

1.1 นำนมและสมบัติของนํานม

นํานม หมายถึง ของเหลวสะอาดบริสุทธิ์ กลั่นได้จากเต้านมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีสุขภาพสมบูรณ์ นมเป็นอาหารธรรมชาติที่มีความสมบูรณ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยธาตุอาหารครบทุกหมู่ คือ โปรตีน วิตามิน เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลนมหรือแลคโตส (lactose) และ โปรตีนที่เรียกว่า เคซีน (casein) จะพบในธรรมชาติคือในนมหรือนํานมเท่านั้น นมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาร่างกายและสมองของเด็กและเยาวชน

ส่วนประกอบหลักของนํานมได้แก่ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลแลคโตส วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ส่วนประกอบทั้งหมดนอกจากน้ำ เรียกรวมว่า ของแข็งทั้งหมดในนํานม (total solid) ซึ่งแสดงส่วนประกอบของนํานมในตาราง 1

ตาราง 1 ส่วนประกอบของน้ำมัน

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยปริมาตร)
โปรตีน	3.50
ไขมัน	3.70
น้ำตาลแลคโตส	4.90
เถ้า	0.70
น้ำ	87.20

ที่มา : มณฑล ธรรมวีระพงษ์ และมณฑิรา ฮวดเจริญ. 2546: 1

น้ำ เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันประมาณร้อยละ 86-88 ของส่วนประกอบทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเป็นสื่อกลางให้สารอาหารหลายชนิดละลายอยู่ และสารหลายชนิดอยู่ในสภาพแขวนลอย มีน้ำจำนวนเล็กน้อยที่อยู่ในรูปของสารประกอบของเกลือหรือน้ำตาลแลคโตส และเป็นส่วนประกอบของโปรตีน

ไขมันและสารประกอบไขมัน ไขมันหรือที่รู้จักในนามของมันเนย จัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของน้ำมัน ทั้งในแง่โภชนาการ อีกทั้งยังมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิดละลายได้ในมันเนย เช่น สารพวกลูโคโรทิน ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ค่าปริมาณมันเนยเป็นตัวกำหนดราคาซื้อขายน้ำมัน ส่วนประกอบส่วนใหญ่ในมันเนยจะอยู่ในรูปของกรดไขมันประมาณร้อยละ 98-99 ของมันเนยทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4 ตัว ไปจนถึง 20 ตัว แยกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 57 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณร้อยละ 43 ไขมันและสารประกอบไขมันในน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อการเตรียมกลีเซอริน จึงขอกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 1.3

น้ำตาลแลคโตส เป็นน้ำตาลที่พบในน้ำมันเท่านั้น สำหรับในน้ำมันวัวจะมีปริมาณน้ำตาลแลคโตสประมาณร้อยละ 4.7 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันที่พบในมนุษย์ ซึ่งมีประมาณมากถึงร้อยละ 6.3 น้ำตาลแลคโตสเป็นหนึ่งในสารอาหารที่สำคัญในน้ำมัน น้ำตาลแลคโตสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงจึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตอาหารเลี้ยงเด็กอ่อน น้ำตาลแลคโตสเป็นแหล่งของน้ำตาลกาแลคโตสซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของซีรีโบไซด์ (cerebrosides) ที่เป็นส่วนหนึ่งของมันสมองและเซลล์ประสาท นอกจากนั้นน้ำตาลแลคโตสยังใช้ในการผลิตยาปฏิชีวนะเพนิซิลิน และใช้เป็นส่วนประกอบของการผลิตยารักษาโรคชนิดอื่นๆ อีกด้วย

วิตามินในน้ำมัน พบทั้งประเภทที่ละลายในไขมันและไม่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี 2 วิตามินบีรวม วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 วิตามินซี วิตามินดี และ วิตามินดี 3 ซึ่งช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง อัมพาต โรคผิวหนัง โรคลำไส้ โรคฟันผุ เป็นต้น

โปรตีน ในน้ำนมเกือบทั้งหมดประกอบด้วยสารอาหารโปรตีน เรียกว่า เคซีน โกลบูลิน (globulin) และ อัลบูมิน (albumin) ในปริมาณค่อนข้างสูง และมีกรดอะมิโน (amino acid) อยู่ 19 ชนิด ซึ่งมีประโยชน์ต่อการสร้างเนื้อเยื่อ เลือด และกระดูก นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ชนิดต่างๆ อีกด้วย

สารประกอบที่มีไนโตรเจน ตามปกติในน้ำนมจะมีแร่ธาตุไนโตรเจนอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.5

แร่ธาตุในน้ำนม ประกอบด้วยโพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ ซิเตรต เหล็ก ทองแดง และไอโอดีน ถ้าเอาน้ำนมอบในเตาอบที่มีความร้อนสูง ส่วนประกอบอื่นๆ จะถูกเผาไหม้ไป ส่วนที่เหลือเรียกว่าเถ้า ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเถ้าจะประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำนม ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ส่วนประกอบของเถ้า

แร่ธาตุ	ปริมาณ (%)
โปแตสเซียม	0.190
แคลเซียม	0.176
โซเดียม	0.068
แมกนีเซียม	0.018
ฟอสฟอรัส	0.233
คลอไรด์	0.106
ซิเตรต	0.180
เหล็ก	1 – 2 ส่วนต่อล้านส่วน
คอปเปอร์	0.12 ส่วนต่อล้านส่วน
ไอโอดีน	0.02 – 0.14 ส่วนต่อล้านส่วน

ที่มา : มณฑล ธรรมวีระพงษ์ และมณฑิรา ฮวดเจริญ. 2546: 7

คุณสมบัติของน้ำนม

สี โดยทั่วไปน้ำนมมีสีขาว เนื่องจากสารที่อยู่ในน้ำนมอยู่ในสภาพแขวนลอย เช่น เคซีน และกรดไขมัน หรือถ้าเป็นฤดูฝนอาจจะมีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากแม่วัวได้รับหญ้าที่มีสีเขียวสด

กลิ่น น้ำนมที่รีดมาใหม่ๆ จะมีกลิ่นหอม ซึ่งบ่งบอกถึงความสดของน้ำนม ซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะตัว น้ำนมจะคุดกลิ่นต่างๆ ได้ดี ดังนั้นถ้ามีกลิ่นอะไรแรงๆ จะทำให้น้ำนมมีกลิ่นนั้นๆ

ความถ่วงจำเพาะ ของน้ำนมโดยเฉลี่ยจะเท่ากับ 1.032 ที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของน้ำนมจะผันแปรอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งในน้ำนม

จุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำนม จุดเยือกแข็งจะอยู่ระหว่าง -0.525 ถึง 0.565 องศาเซลเซียส ส่วนจุดเดือดจะใกล้เคียงกับน้ำ คือ ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำนม

ความหนืด จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งในน้ำนม โดยเฉพาะโปรตีนจะมีผลต่อความหนืดมาก

ค่าดัชนีการหักเหของแสง จะอยู่ระหว่าง $N^2_0D = 1.3440 - 1.3480$

เมื่อ N คือ ค่าของดัชนีหักเหของแสง

20 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในขณะวัด (องศาเซลเซียส)

D คือ เป็นเส้นของปริซึมของโซเดียม (589.3μ)

1.2 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทย

อุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องกันนับตั้งแต่การผลิตทางการเกษตร จนกระทั่งถึงการผลิตในทางอุตสาหกรรมเป็นผลิตภัณฑ์นมประเภทต่างๆ ซึ่งใช้น้ำนมดิบเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมอาจแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) การเลี้ยงโคนม 2) การผลิตนมสดพาสเจอร์ไรส์ นมคั้นรูปพาสเจอร์ไรส์และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม 3) การผลิตนมผง และ 4) การผลิตนมข้นและนมระเหย แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 6 ถึง 10 รัฐบาลไทยได้มีการส่งเสริมการเลี้ยงโคนม เพื่อผลิตน้ำนมดิบในการบริโภคภายในประเทศ และส่วนหนึ่งเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมจากต่างประเทศ ซึ่งในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าหลายหมื่นล้านบาท จากสถิติการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมในหมวดอาหารของประเทศไทย ในปี 2541 พบว่า สินค้าอาหารประเภทผลิตภัณฑ์นม ประเทศไทยมีการนำเข้ามากเป็นอันดับ 2 คิดเป็นร้อยละ 14.45 ของสินค้าในผลิตภัณฑ์อาหารนำเข้าทั้งหมด ประกอบกับรัฐบาลต้องการเร่งพัฒนาร่างกายและสมองของเด็กและเยาวชน จึงได้มีการสนับสนุนให้มีการบริโภคนมในโรงเรียนมากขึ้น จากการที่ภาครัฐได้มีการส่งเสริมและพัฒนากลุ่มเลี้ยงโคนมอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการเลี้ยงโคนมได้ขยายตัวตาม เช่น การตั้งศูนย์รับซื้อน้ำนมดิบ การสร้างโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมแปรรูป เป็นต้น

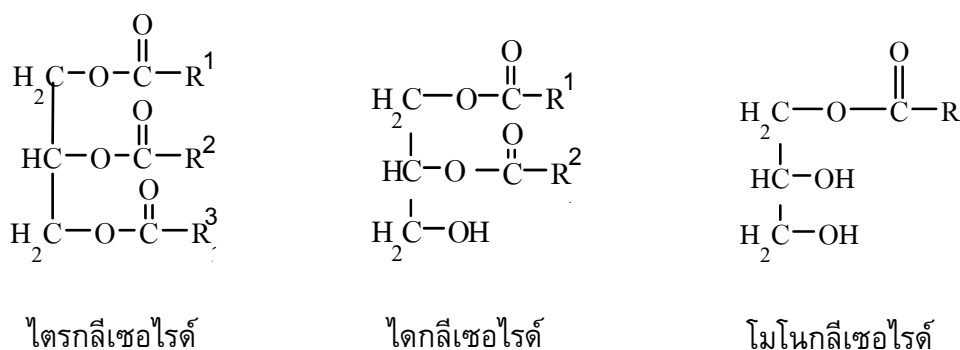
ผลิตภัณฑ์นมแปรรูปที่สำคัญ ได้แก่ นำนมพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ สเตอริไลซ์ยูเอชที ครีม เนยเหลว เนยแข็ง ไอศกรีม นมเปรี้ยว นมข้น นมข้นหวาน หางนมข้นหวาน นมผง หางนมผง (whey) และน้ำนมคั้นรูปเวย์ เป็นต้น จากการขยายตัวเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ นั่นคือของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมส่วนใหญ่จะมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณสูง เพราะวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ น้ำนมดิบ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีเสถียรภาพสูง และถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ง่าย เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดจะรบกวนการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนจากน้ำ ของเสียส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งและเป็นปัญหาต่อ

ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเหล่านี้ เรียกรวมกันว่า กากของเสีย ซึ่งรวมถึง ไขมัน น้ำมัน กรดไขมัน และสารประกอบที่ไม่ระเหยอื่นๆ ทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ น้ำเสียจากชุมชนส่วนใหญ่จะมีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบประมาณ ร้อยละ 10 ไขมันและกรดไขมันเหล่านี้จะต้องดำเนินการกำจัดออกก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป ซึ่งน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ จะต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จากผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับอุตสาหกรรมนมในแต่ละอุตสาหกรรมมีการสูญเสียของปริมาณไขมันในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงคาดว่าน่าจะมีไขมันตกค้างในกากของเสียในปริมาณหนึ่ง จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการศึกษาการนำกากไขมันจากปอดักไขมันของฝ่ายโภชนาการของบริษัท การบินไทย จำกัดมหาชนไปใช้ประโยชน์ โดยนำมาผสมกับซีลี้อยู่เพื่อเป็นเชื้อเพลิง (ภูธร เรืองยิ่ง. 2548 : 26) และพบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเชื้อเพลิงได้เทียบเท่ากับฟืนและถ่าน โดยอัตราส่วนของการผสมเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากไขมันต่อซีลี้อยู่ที่เหมาะสม คือ 1:3 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีการนำกากไขมันที่มีเนื้อเยื่อไขมันจากปอดักไขมันและวัตถุดิบประกอบอื่นมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม แต่ยังไม่พบว่ามีกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกลีเซอริน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจนำกากของเสียมาแยกส่วนไขมันหรือน้ำมันเพื่อผลิตกลีเซอริน ซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจและเป็นไปได้ อีกทั้งยังเป็นการลดของเสียและเพิ่มมูลค่าอีกทางหนึ่ง ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงความรู้เกี่ยวกับไขมันในน้ำมันดังต่อไปนี้

1.3 ไขมันในน้ำมัน

ไขมันในน้ำมัน ไขมันจากน้ำมันมักเรียกว่า มันเนย ซึ่งไขมันนมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันที่ให้ประโยชน์หลายประการ เช่น ใช้ในการผลิตครีมและเนย เป็นแหล่งพลังงานได้ถึงร้อยละ 48 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้จากน้ำมัน เป็นแหล่งวิตามินและเป็นตัวบ่งชี้กลิ่นหอมเฉพาะของน้ำมัน และเป็นองค์ประกอบที่ทำให้น้ำมันมีรสชาติ ในไขมันนมประกอบด้วยเม็ดไขมันมากมาย ในน้ำมัน 1 หยด จะมีเม็ดไขมันอยู่ 100,000,000 เม็ด ซึ่งความแตกต่างของขนาดเม็ดไขมันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำมัน หากนำเม็ดไขมันมาพิจารณาจะพบว่า บริเวณที่ผิวของเม็ดไขมันจะมีเยื่อบาง ๆ อยู่ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ฟอสโฟลิปิด วิตามินที่ละลายในไขมันและกรดไขมัน

ไขมันนมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 12.5 และกรดไขมันร้อยละ 87.5 หนึ่งโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยหนึ่งโมเลกุลของกลีเซอรอล และสามโมเลกุลของกรดไขมัน ถ้ากำจัดกรดไขมันออกไปจำนวนหนึ่งหน่วยจากไตรกลีเซอไรด์จะได้โมเลกุลที่มีชื่อว่า ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) หากกำจัดกรดไขมันออกไปสองหน่วยจะได้โมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์

ไขมันนมมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32 ถึง 36 องศาเซลเซียส ซึ่งจุดหลอมเหลวจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะ 0.93 และที่อุณหภูมิ 57 ถึง 60 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะ 0.89 ไขมันนมจะละลายได้ดีในเอทิลอีเทอร์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม และละลายได้เล็กน้อยในอะซิโตนและแอลกอฮอล์ ไขมันนมมีค่าเลขไอโอดีน (iodine number) อยู่ระหว่าง 26 ถึง 35 เมื่อปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเลขไอโอดีนเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันนมมีค่าเลขสaponification number) ระหว่าง 210 ถึง 233 สำหรับไขมันนมที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีโมเลกุลต่ำจะมีค่าเลขสaponification สูงเช่นกัน

จากการศึกษาไขมันนมพบว่า ในน้ำมันมีกรดไขมันประมาณ 64 ชนิด ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 23 ชนิด ส่วนที่เหลือเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่พบมาก เช่น กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก มีประมาณร้อยละ 45 ถึง 50 ของกรดไขมันทั้งหมด ส่วนประกอบของไขมันนมทั้งหมดแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 ส่วนประกอบของไขมันนม

ชนิดของไขมัน	ปริมาณของสาร (ร้อยละต่อน้ำหนักของไขมันทั้งหมด)
ไตรกลีเซอไรด์	95-96
ไดกลีเซอไรด์	1.26-1.59
โมนोगลิเซอไรด์	0.016-0.038
กรดไขมันอิสระ	0.01-0.44
ฟอสโฟลิปิดทั้งหมด	0.20-1.00
เซรีโพรไซด์	0.013-0.006
สเตอรอล	0.22-0.41
สควอลีน	0.007
แคโรทีนอยด์	0.0007-0.0009
วิตามินเอ	0.0006-0.0009
วิตามินดี	น้อยมาก
วิตามินอี	0.0024
วิตามินเค	0.0001

ที่มา : วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. 2541 : 45 - 48.

ปัจจัยที่มีผลต่อส่วนประกอบของไขมันนม ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไขมันนมซึ่งมีความแปรปรวน อาจเกิดจากสายพันธุ์ของสัตว์ และอาหาร ซึ่งมีผลทำให้ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงและทำให้จุดหลอมเหลวของไขมันเปลี่ยนไป ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ลักษณะทางกายภาพของไขมันนมเปลี่ยนไปเช่นกัน โดยไขมันนมที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงจะทำให้ไขมันนมมีความอ่อนนุ่ม แต่ถ้ามีกรดไขมันอิ่มตัวสูงไขมันนมก็มีลักษณะแข็ง ถูุกาลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อส่วนประกอบในไขมันนม เช่น ในฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน ไขมันนมจะมีกรดไขมันที่ระเหยง่ายและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงกว่าในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว และปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในไขมันนมก็ส่งผลต่อส่วนประกอบของไขมันนมเช่นกัน เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะมีปริมาณมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันเพื่อการแปรรูป ทั้งนี้เป็นผลมาจากเอนไซม์ในน้ำมันทำให้กรดไขมันแยกตัวออกจากกลีเซอรอลในไขมันนม จึงทำให้น้ำมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมีกลิ่นเหม็นหืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดบิวทิริก (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. 2541 : 47 - 48) ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงกรดไขมันในไขมันนมดังนี้

กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ มีสูตรทั่วไปคือ RCOOH มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนเมื่ออยู่ในสารละลาย และสามารถแตกตัวได้ดังสมการ 2



กรดไขมันทุกตัวจะมีค่า pKa ใกล้เคียงกับค่า pKa ของกรดอะซิติก คือ 4.76 ในธรรมชาติส่วนใหญ่กรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมจำนวน 16 ถึง 18 อะตอม การที่มีคาร์บอนอะตอมมากจึงเป็นสารประกอบไม่มีขั้ว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์หรือสารที่เป็นลิปิด สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของกรดไขมันจะขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอมและโครงสร้างของหมู่ R กรดไขมันต่างชนิดกันจะแตกต่างกันที่ความยาวของสายโซ่ในหมู่ R และจำนวนพันธะคู่ในหมู่ R

กรดไขมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) กรดไขมันประเภทนี้ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มมิก กรดสเตียริก และกรดไมริสติก และกรดไขมันอีกประเภทหนึ่งคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) กรดไขมันประเภทนี้จะมีพันธะคู่ตั้งแต่หนึ่งตำแหน่งขึ้นไปในโมเลกุล ในจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เท่ากัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงมีจุดเดือดต่ำกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากได้แก่ กรดโอเลอิก กรดลิโนลิก เป็นต้น

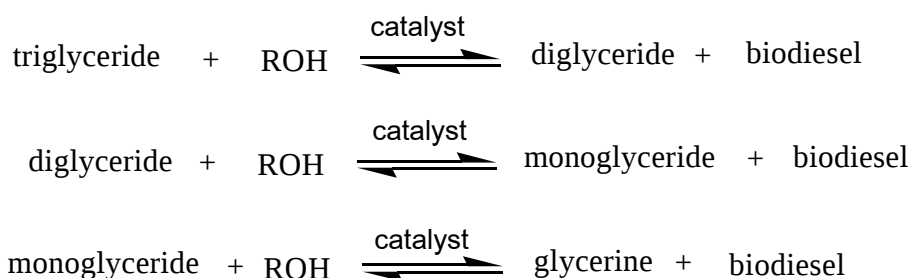
ชนิดของกรดไขมันที่แท้จริงทั้งหมดในน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ได้มีผู้ทำการศึกษาพบว่า ไขมันนมมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนสิบอะตอม (C_{10}) และกรดไขมันโมเลกุลต่ำๆ หลายชนิด จึงทำให้กรดไขมันนมมีความซับซ้อนกว่าไขมันชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากได้ตรวจพบไฮดรอกซิล (hydroxyl) และคีโตนแฟคตีแอซิก (keto fatty acids) อยู่ด้วย จึงทำให้ไขมันนมมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากไขมันชนิดอื่นๆ ในไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 60 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 40 สัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไขมันนม (Freedman, B.; Pryde, E.H.; & Mounts, T.L. 1984 : 1638 - 1643) ตลอดจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติของน้ำนม ถ้าไขมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่มากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น ปฏิกริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักจะเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเหม็นหืน กรดไขมันที่พบในไขมันนมส่วนมากเป็นโมเลกุลที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ ตั้งแต่คาร์บอน 4 อะตอม ถึง 26 อะตอม (Ali, L.H.; et al. 1997 : 149 -160) และพบว่า กรดปาล์มมิก กรดสเตียริก และกรดไมริสติก มีอยู่ประมาณร้อยละ 72 - 78 ของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบกรดโอเลอิกประมาณร้อยละ 30

กรดไขมันในธรรมชาติส่วนมากมักเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลมีลักษณะเป็นลูกโซ่คาร์บอน เช่น ไตรกลีเซอรอล และฟอสโฟลิปิด ซึ่งพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์จะสลายตัวในกรดหรือเบสได้ง่าย ทั้งนี้คุณสมบัติทางเคมีของกรดไขมันจะขึ้นกับปฏิกิริยาในโมเลกุลไขมันตรงตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ และในโมเลกุลของกรดไขมันสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน และปฏิกิริยาการเพิ่มฮาโลเจน เป็นต้น ปัจจุบันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์หรือที่เรียกว่า น้ำมันไบโอดีเซล ก่อนข้างสูงกว่าปฏิกิริยาอื่น โดยใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ได้ผลิตภัณฑ์รวมเป็นกลีเซอรินดิบ (crude glycerine) ซึ่งแอลกอฮอล์ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ เมทานอล หรือเอทานอล ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่ได้นั้นอาจเป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือ เอทิลเอสเทอร์ตามแต่ชนิดของแอลกอฮอล์ที่เลือกใช้ (Encinar, J.M.; et al. 2002 : 443 - 450) ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันดังนี้

2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification reaction) คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (alkoxyl group, RO-) ของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่า หรืออาจเรียกว่า ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (alcoholysis reaction) ปฏิกิริยานี้จะใช้เตรียมเอสเทอร์ในกรณีที่ไม่สามารถเตรียมได้ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification reaction) ได้โดยตรง จึงถูกนำมาใช้เตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน สำหรับแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ได้จะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1 ถึง 8 อะตอม ส่วนมากจะเป็นเมทานอลและเอทานอล ซึ่งเมทานอลจะมีข้อได้เปรียบเรื่องราคา และการทำปฏิกิริยาดีกว่า เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ส่วนเอทานอลได้เปรียบที่สามารถผลิตได้จากการเกษตร และย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ประกอบกับมีอันตรายน้อยกว่าเมทานอล ส่วนใหญ่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องการอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ คือ 3 : 1 แต่ในทางปฏิบัติต้องการอัตราส่วนที่มากเกินไปเพื่อผลักดันสมดุลของปฏิกิริยาให้เกิดผลผลิตเป็นเอสเทอร์สูงที่สุด (Ma, F.; & Hanna, M.A. 1999 : 1 - 15) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถใช้ได้คือ กรด เบส และเอนไซม์ ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น NaOH, K_2CO_3 และโซเดียมหรือโพแทสเซียมแอลคอกไซด์ เช่น CH_3ONa , C_2H_5ONa , C_3H_7ONa และ C_4H_9ONa ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น H_2SO_4 , H_2SO_3 และ HCl และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ส่วนตัวเร่งที่เป็นเอนไซม์จะใช้เวลานานที่สุด (Lotero, E.; et al. 2005 : 5353 - 5360)

สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยในขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และน้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel) และไดกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และเป็นกลีเซอริน (glycerine) ในที่สุด ตามสมการ 3 สมการ 4 และสมการ 5 ตามลำดับ



ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แต่สมดุลของปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มของทิศทางไปทางด้านการเกิดผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอริน

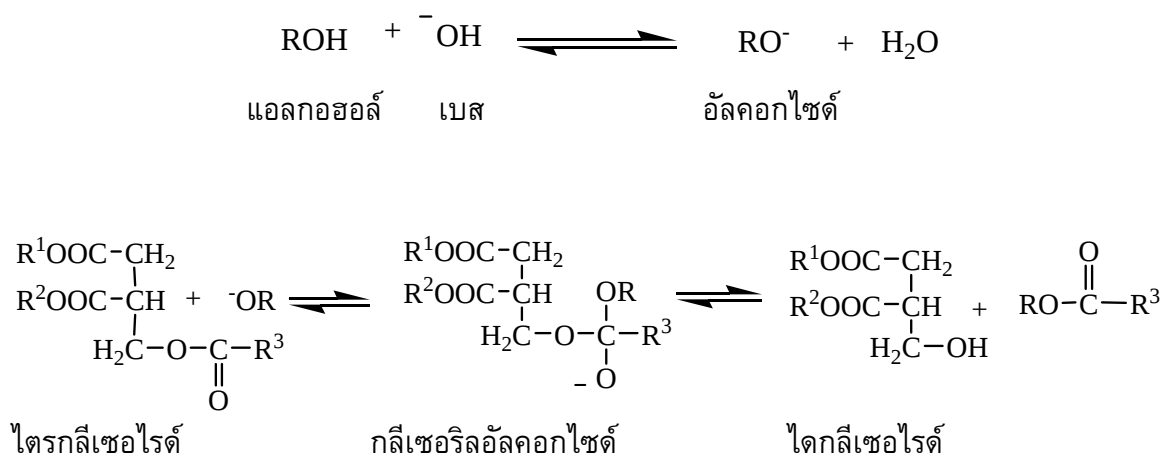
ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีหลายปัจจัยดังนี้

(1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันควรมีค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ (Wright, H.J.; et al. 1944: 145 - 148) เนื่องจากการดัดไขมันที่สูงจะเกิดปฏิกิริยาค้างเคืองคือปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เกิดสบู่ขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุให้มีความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเจลและยากต่อการแยกชั้นของกลีเซอรินและเอสเทอร์ของกรดไขมัน

(2) แอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีหลายชนิด ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้คือ เมทานอลและเอทานอล โดยเฉพาะเมทานอลนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก ขนาดโมเลกุลเล็ก และมีขั้วสูงกว่า ทำให้สามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย อย่างไรก็ตามในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันควรใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากเกินไป เพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยาดำเนินไปทางขวา และทำให้ได้ร้อยละของผลผลิตสูง

(3) ตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีหลายชนิด ได้แก่ เบส กรด และเอนไซม์ เป็นต้น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดได้ดีเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อย เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาค้างเคืองคือปฏิกิริยาการเกิดสบู่หรือปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันทำให้ได้ผลผลิตลดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดอื่น ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด อัตราเร็วของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์นั้นใช้เวลานานกว่า โดยไตรกลีเซอไรด์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสลงไปผสมกับแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของหมู่อัลคอกไซด์ (RO^-) หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาโดยขั้นตอนแรกหมู่อัลคอกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของอะตอมคาร์บอนของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์เพื่อจัดรูปเกิดเป็นสารมัธยันตร์ที่ไม่เสถียรอยู่ในรูปของลิเซอริลอัลคอกไซด์มีโครงสร้างเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า จากนั้นสารที่ไม่เสถียรนี้จะแตกตัวได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและไดกลีเซอไรด์ หลังจากนั้นไดกลีเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นกลีเซอริน สามารถสรุปปฏิกิริยาได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4



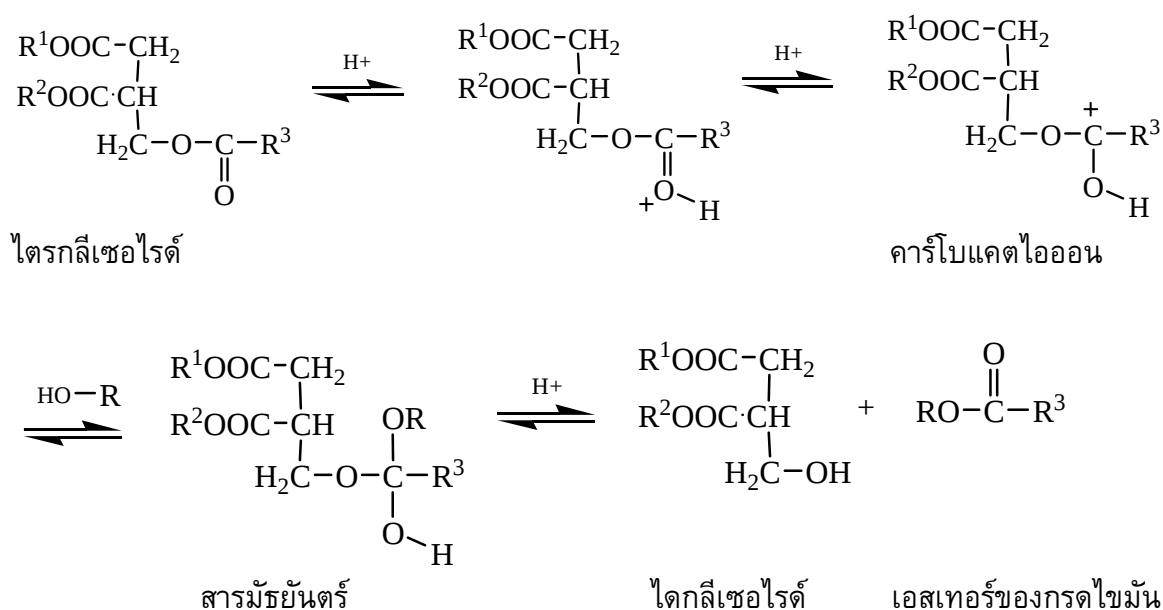
^-OH คือ base catalyst

$\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3$ คือ carbon chain of the fatty acids

R คือ alkyl group

ภาพประกอบ 4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ที่มา : ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์. 2548 : 23

ส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังภาพประกอบ 5 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเติมกรดลงไปในแอลกอฮอล์ในขั้นตอนแรกโปรตอนของกรดจะเข้าไปทำให้ไอออนของหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์เกิดการเคลื่อนที่ และจัดเรียงตัวใหม่กลายเป็นคาร์โบแคตไอออน จากนั้นแอลกอฮอล์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนเกิดเป็นสารมัธยันตร์ก่อนที่จะแตกตัวอีกครั้งให้เป็นผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมัน และโปรตอนของกรดหลังจากนั้นไดกลีเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาเป็นกลีเซอริน ซึ่งมีรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาในทำนองเดียวกันกับเบส



$\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3$ คือ carbon chain of the fatty acids

R คือ alkyl group

ภาพประกอบ 5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ที่มา : คิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์. 2548 : 25

(4) อุณหภูมิและเวลา ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ในปี ค.ศ.1984 ฟีดแมน และคนอื่นๆ ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลในอัตราส่วน 1 : 6 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า อุณหภูมิและเวลามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกันจะให้ร้อยละของผลผลิตที่ต่างกัน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วยเช่นกัน

(5) การกวนผสม เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสของของเหลว สารตั้งต้นระหว่างน้ำมันกับ แอลกอฮอล์จะละลายเข้ากันได้ดีจึงต้องอาศัยการกวน และเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น

หลังการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย เอสเทอร์ กลีเซอริน แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงต้องผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้

นอกจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนี้แล้ว ยังมีกระบวนการผลิตกลีเซอรินด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การหมักน้ำตาล และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่นิยมในทางอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้น หากสามารถนำกลีเซอรินที่เตรียมได้มาทำการบำบัดให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จะเป็นแนวทางในการนำกลีเซอรินที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ และช่วยให้กระบวนการผลิตมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

3. กลีเซอริน

กลีเซอรินมีการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1779 โดย ซีลี (Scheele) พบว่า กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของปฏิกิริยาการผลิตสบู่ระหว่างน้ำมันมะกอกกับออกไซด์ของตะกั่ว ต่อมาในปี ค.ศ.1813 เชฟรูล (Chevreul) ได้พบว่า กลีเซอรินเป็นส่วนประกอบในไขมัน โดยอยู่ในรูปของกลีเซอริน เอสเทอร์ของกรดไขมันจึงเรียกว่า กลีเซอริน กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1866 โดย อัลเฟรด โนเบล (Alfred Noble) ได้นำกลีเซอรินมาใช้ในการผลิตระเบิดไดนาไมต์ หรือไนโตรกลีเซอริน (nitroglycerine) ต่อมาช่วงปลายปี ค.ศ.1930 ฟาร์เบน (Farben) ได้พัฒนาและสังเคราะห์กลีเซอริน โดยใช้สารตั้งต้นเป็นโพนเพน และตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 จนถึงปัจจุบันการผลิตกลีเซอรินส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติมากถึง 75% และจากการสังเคราะห์โพรพีน 25% กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น มีการใช้กลีเซอรินในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้กลีเซอรินเป็นสารรักษาความชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่มและความเหนียว เป็นสารอิมัลชันและสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทมาการีน น้ำสลัด และลูกกวาด ใช้กลีเซอรินรักษาความชื้นให้กับยาสูบและเป็นส่วนผสมในไส้กรองทำให้อุณหภูมิไฟช้า ใช้เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (glycerolphenol) ใช้ในการล้างหู ใช้ผสมในเครื่องสำอางประเภทครีมและโลชั่นเพื่อทำให้ผิวชุ่มชื้น ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งตัวในหลอด ใช้ห่อเนื้อและทำกระดาดชนิดพิเศษ ใช้เป็นสารหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดสูงและไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ใช้กลีเซอรินเป็นสารประกอบซีเมน สารอิมัลซิไฟเออร์ในยางรถถนน เซรามิกและกาว เป็นต้น

3.1 คุณสมบัติของกลีเซอริน

กลีเซอรินมีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้ง ฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาวและตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรินดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอริน

คุณสมบัติ	ค่า
น้ำหนักโมเลกุล	92.06
จุดหลอมเหลว	18.17°C
จุดเดือด	
ที่ 13.33 kPa	222.4°C
ที่ 101.3 kPa	290°C
การระเหย ,	
ที่ 100°C	26 Pa
ที่ 200°C	6100 Pa
แรงตึงผิว ที่ 20°C	63.4 mN/m
ความหนืด ที่ 20°C	1499 mPa.s
อุณหภูมิกลายเป็นไอ	
ที่ 55°C	88.12 kJ/mol
ที่ 195°C	76.02 kJ/mol
การนำความร้อน	0.28 W/(m.K)
จุดวาบไฟ	
ระบบเปิด	177°C
ระบบปิด	199°C
จุดติดไฟ	204°C

ที่มา : ปิยนาง อินทกุล. 2547: 5

เมื่อนำกลีเซอริน 66.7% โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำ 33.3% จะได้สารละลายที่มีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก คือ -46.5 องศาเซลเซียส กลีเซอรินมีจุดเดือดสูงถึง 290 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ (101.3 kPa) และมีจุดเดือดลดลงตามความดันที่ลดลง

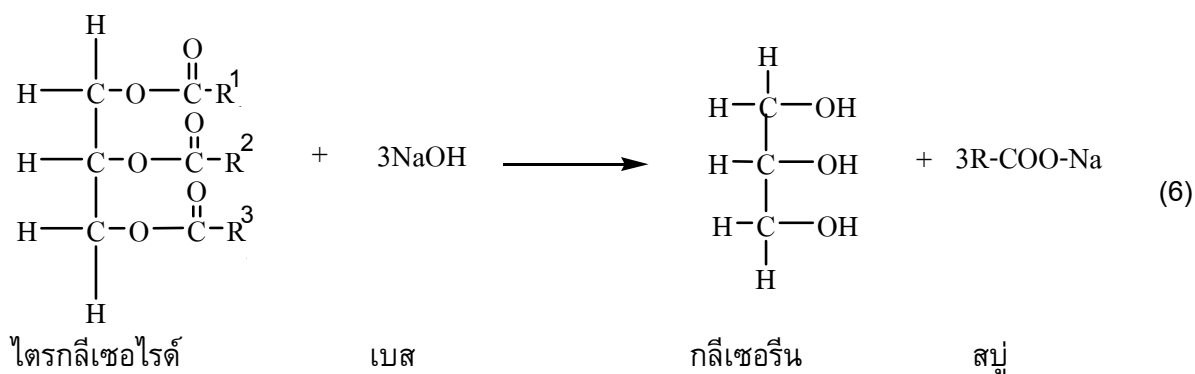
กลีเซอรินสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วๆ ไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลตรงกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือเบส กลีเซอรินสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดอะโครลีน ในทางกลับกันในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย พบว่า ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะเกิดอะโครลีน ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรินจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นเบส และที่อุณหภูมิห้อง กลีเซอรินจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กลีเซอรินยังถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดส์เป็นหมู่คาร์บอกซิลและอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

3.2 การผลิตกลีเซอริน

กลีเซอริน อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กลีเซอรินธรรมชาติและกลีเซอรินสังเคราะห์ กลีเซอรินในธรรมชาติไม่พบในรูปแบบอิสระ แต่จะอยู่ในรูปของเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซิลทั้ง 3 หมู่ มักเกิดปฏิกิริยาเป็นเอสเทอร์ ปริมาณกลีเซอรินในไขมันและน้ำมันจะอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 14 โดยน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน การจะได้กลีเซอรินนั้นต้องทำให้ไขมันและน้ำมันแตกตัวก่อนการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันและการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในขณะที่กลีเซอรินสังเคราะห์จะได้จากการสังเคราะห์โพพริน นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตกลีเซอรินด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การหมักน้ำตาล และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่นิยมในทางอุตสาหกรรม

3.2.1 การผลิตกลีเซอรินจากการแตกตัวไขมันและน้ำมันด้วยความดันสูง วิธีนี้ถูกค้นพบในปี ค.ศ.1854 โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง น้ำและไขมันจะถูกป้อนเข้าไปสู่คอลัมน์ แล้วเกิดการแตกตัวแบบการไหลสวนทาง ที่ความดัน 5 ถึง 6 MPa ที่อุณหภูมิ 250 ถึง 260 องศาเซลเซียส จะได้สารละลายกลีเซอรินในน้ำร้อยละ 15 ซึ่งเรียกว่า สวีทวอเตอร์ (sweet water)

3.2.2 การผลิตกลีเซอรินจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เป็นการแตกตัวไขมันและน้ำมัน โดยทำปฏิกิริยากับเบสจะได้กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมดั้งแสดงในสมการ 6



3.2.3 การผลิตกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ปฏิกิริยานี้เป็นการแทนที่ของแอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ซึ่งเป็นกระบวนการที่คล้ายกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่ต่างกันที่ใช้แอลกอฮอล์แทนน้ำ ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรด เบสหรือเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ของกรดหรือที่เรียกว่า น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับแอลกอฮอล์ที่เลือกใช้ ดังรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อที่ 2

3.2.4 ปฏิกิริยาการหมักน้ำตาล เป็นปฏิกิริยาการเกิดกลีเซอรินโดยการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งถูกค้นพบในปี ค.ศ.1858 โดย พาสเตอร์ (Pasteur) ซึ่งการหมักจะถูกรบกวนในชั้นกลีเซอรินดีไฮด์ 3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde 3-phosphate) ด้วยไซโตเคียมคาร์บอนेट แล้วเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้กลีเซอรินฟอสเฟต และจะได้ผลผลิตของกลีเซอรินร้อยละ 25 โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งกระบวนการนี้ไม่เป็นที่นิยมในทางอุตสาหกรรม

3.2.5 ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนेट การทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของพอลิแอลกอฮอล์ เช่น เซลลูโลส แป้ง หรือน้ำตาล ทำให้เกิดสารผสมของกลีเซอริน ซึ่งสามารถแยกได้ด้วยการกลั่น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง โคบอลต์ โครเมียม และทังสเตน รวมทั้งออกไซด์ของแลนทาไนด์บางตัว

3.2.5 กระบวนการที่ไม่เป็นการค้าอื่น ๆ เช่น การสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ไลเปส โดยกระบวนการแตกตัวไขมันและน้ำมันด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบพิเศษ การสังเคราะห์กลีเซอรินของสารละลายโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

3.3 กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์

เนื่องจากกลีเซอรินที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมกับน้ำมันดีเซลชีวภาพมีสิ่งปนเปื้อนอยู่หลายชนิด ซึ่งกลีเซอรินนี้จะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากไม่ได้

3.3.1 การกำจัดกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันเป็นสิ่งที่เจือปนในน้ำมันธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ และเป็นตัวการสำคัญในการทำให้น้ำมันมีกลิ่นเหม็นหืน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดกรดไขมันอิสระออกไป โดยวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภค คือการใช้สารละลายเบส เนื่องจากวิธีนี้สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระได้มาก โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสบู่ รวมทั้งสามารถกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ฟอสฟอไรต์ สารที่ทำให้เกิดสี สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนออกจากน้ำมันและสารละลายเบสที่นิยมใช้ในการกำจัดกรดไขมันอิสระ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปัจจัยเกี่ยวข้องที่สำคัญ คือ ความเข้มข้นและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิ ถ้าความเข้มข้นและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงโอกาสเกิดปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันจะมาก ทำให้สูญเสียน้ำมันในการเกิดปฏิกิริยามาก แต่ถ้าความเข้มข้นต่ำโอกาสเกิดอิมัลชันก็มีมากเช่นเดียวกัน (ครรชิต จุฑประสงค์. 2543 : 115 - 124)ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยากต่อการแยกชั้น อย่างไรก็ตามปริมาณเบสที่เติมนี้นั้นกับคุณภาพและลักษณะของน้ำมันธรรมชาติ รวมทั้งคุณภาพของน้ำมันที่ต้องการด้วย

สำหรับอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดกรดไขมันอิสระ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันจะเกิดได้ดี ทำให้สูญเสียน้ำมันมาก ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำ เพื่อลดการสูญเสียน้ำมันน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามสบู่ที่เกิดขึ้นจะทิ้งตัวได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยเช่นกัน เพื่อให้สบู่ที่เกิดขึ้นทิ้งตัวได้ดีและเร็ว เพราะถ้าไม่ดีจะทำให้เกิดการสูญเสียกรดไขมันอิสระ ฉะนั้นในการกำจัดกรดไขมันอิสระจึงควรเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียน้ำมันน้อยที่สุด (Procida, G.; & Ceccon, L. 2006: 103 - 106)

น้ำมันที่นำมากำจัดกรดไขมันอิสระ ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ควรใช้เบสที่มีความเข้มข้นต่ำและโดยทั่วไป หมายถึงสารละลายเบสที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 10 โดยปริมาตร ปริมาณสารละลายเบสที่ใช้คิดจากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันในรูปของกรดโอเลอิก และน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 ควรใช้สารละลายเบสมากเกินไปร้อยละ 0.1 - 0.35 อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกรดไขมันอิสระควรอยู่ในช่วง 50 - 65 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการแยกสบู่ทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพดีพอ ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงอุณหภูมิที่สบู่แยกตัวได้ดีและเร็ว แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ก็ขึ้นกับชนิดของน้ำมันด้วย ตัวอย่างอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดกรดไขมันอิสระกับของน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงไว้ดังตาราง 5

ตาราง 5 อุณหภูมิในการกำจัดกรดไขมันอิสระของน้ำมันชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
น้ำมันมะพร้าว	60
น้ำมันมะกอก	60-65
น้ำมันเมล็ดกระเจี๊ยบ	52-57
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	54-60
น้ำมันปลา	50-55

ที่มา : ภูธร เรืองยิ่ง. 2548: 29.

3.3.2 การระเหย

โดยทั่วไปการระเหยคือ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวเปลี่ยนเป็นไอ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวกับบรรยากาศ ซึ่งมีการเดือดเกิดขึ้น มีผลให้สารละลายเข้มข้นมากขึ้น แต่การระเหยความดันไอของตัวถูกละลายควรมีค่าต่ำกว่าความดันไอของตัวทำละลายมากๆ ส่วนการแยกสารละลายที่มีลักษณะอื่นๆ อาจอาศัยการกลั่น สำหรับสภาวะของกระบวนการระเหยที่เหมาะสมจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม ซึ่งเป็นสิ่งกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการระเหย ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาให้ความเข้มข้น การเลือกใช้ชนิดของเครื่องระเหยที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และขนาดของพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหย นอกจากนี้ภายในระบบเครื่องระเหยต้องมีการแยกไอระเหยที่เกิดขึ้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนใช้พลังงานภายในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในส่วนต่อไป

ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่จะนำมาผ่านขั้นตอนการระเหยแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความเข้มข้นตามต้องการ การระเหยจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการอื่นๆ ต่อไป

ในระดับพาณิชย์กลีเซอรินจะมีความเข้มข้นถึงร้อยละ 80 ถึง 88 เมื่อผ่านกระบวนการระเหยซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความร้อนสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน หลักการออกแบบจะพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ถูกระเหย ในงานวิจัยนี้ได้นำขั้นตอนการระเหยมาใช้ในการระเหยเมทานอลที่หลงเหลืออยู่จากขบวนการเตรียมกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ดังนั้นจะใช้หลักการระเหยภายใต้ความดันบรรยากาศ

3.3.3 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

การสกัดเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารให้บริสุทธิ์วิธีหนึ่ง โดยเลือกตัวสกัดให้เหมาะสมเนื่องจากสารต่างๆ สามารถละลายได้ในตัวทำละลายแตกต่างกัน ถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่สนใจออกจากของแข็งเรียกว่า การสกัดของเหลว ของแข็ง (liquid-solid extraction) และถ้าสารที่สนใจสกัดออกเป็นของเหลวเรียกว่า การสกัดของเหลว ของเหลว (liquid-liquid extraction) การสกัดจะเกิดขึ้นดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความสามารถละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย ถ้าตัวถูกละลายสามารถละลายได้น้อย จำเป็นต้องใช้เทคนิคของการสกัดที่ทำได้อย่างต่อเนื่องและใช้ตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย เทคนิคในการสกัดมีหลายวิธี ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสกัดหรือชนิดของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย (Eckey, E.W. 1956: 575 - 579)

การสกัดที่ให้ประสิทธิภาพสูงควรใช้ปริมาตรตัวทำละลายครั้งละน้อยๆ และทำการสกัดหลายๆ ครั้ง ซึ่งจะให้ผลการสกัดที่ดีกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งหมดเพียงครั้งเดียว

เทคนิคการเลือกตัวทำละลายในการสกัด

1. สารที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันย่อมละลายในตัวละลายที่คล้ายคลึงกัน
2. ตัวทำละลายอินทรีย์จะละลายตัวละลายอินทรีย์
3. น้ำใช้เป็นตัวทำละลายสารประกอบอินทรีย์ รวมทั้งเกลือของกรดและเบสอินทรีย์
4. กรดอินทรีย์ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และสามารถสกัดโดยใช้สารละลายเบส

เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เป็นต้น

ในการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ หลังจากผ่านกระบวนการระเหยเมทานอลออกไปแล้ว แต่กลีเซอรินที่ได้ยังมีความเป็นกรด เบสอยู่ ดังนั้นจึงต้องปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนทำการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น กลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ เมทิลเอสเทอร์ เนื่องจากกลีเซอรินที่มีค่าความเป็นกรด เบสที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ในขั้นตอนต่อไป

3.3.4 การกำจัดสี กลิ่น

การกำจัดสี

ในอุตสาหกรรมน้ำมันการกำจัดสีใช้เป็นขั้นตอนการลดสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมัน โดยใช้ขบวนการดูดซับ ในการกำจัดสีเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีลักษณะและคุณภาพดี รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งปัจจัยหลายอย่างในการกำจัดสีที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ ชนิดและปริมาณสารกำจัดสี อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งสารกำจัดสีมีมากมายหลายชนิดทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น เช่น เศษไม้ เศษถ่าน หรือขี้เถ้า ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภคสารกำจัดสีที่นิยมใช้มาก ได้แก่ ดินฟอก และดินกัมมันต์ โดยใช้อ้อยในช่วงร้อยละ 0.25 ถึง 5 โดยน้ำหนักของน้ำมัน ดินกัมมันต์สามารถกักน้ำมันได้มากกว่าดินฟอก โดยปกติการใช้ดินกัมมันต์ จะทำให้มีการสูญเสียน้ำมันน้อยกว่าการใช้ดินฟอก เนื่องจากดินกัมมันต์จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเลือกสาร

ถ้าสารกำจัดสี กลิ่นเป็นคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งจัดเป็นสารที่นิยมใช้มากในการกำจัดสี กลิ่นของสารหลายชนิด โดยทั่วไปจะทำงานโดยอาศัยกลไกการดูดซับ ซึ่งการดูดซับเป็นการแยก องค์ประกอบของสารดูดซับออกจากสารละลายของเหลว หรือก๊าซที่สัมผัสกับสารดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลาย หรือก๊าซมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรง ดึงดูดกับสารดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์ดูดซับขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของสารดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของสารดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ ดังนั้นความสามารถในการแยกองค์ประกอบที่ ต้องการออกจากสารละลายหรือก๊าซ จึงขึ้นอยู่กับทางเลือกสารดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้น

เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสารจากของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็ง การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของคาร์บอน กัมมันต์

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

ระยะที่ 3 สารถูกดูดซับเกิดการดูดซับในรูพรุนที่พื้นผิวภายในคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งอาจดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

ดินเบนทอไนต์เป็นสารดูดซับสี กลิ่นอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่ง ดินเบนทอไนต์ถือว่าเป็นดินฟอกชนิดหนึ่งที่เป็นวัตถุพิที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีสูตรทางเคมีคือ $(\text{NO})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่สเมกไทต์ (smectite) กลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) มีโครงสร้างเป็นพวงอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) ชนิดเป็นแผ่นและเป็น ชั้นๆ แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ทุกชนิดมีโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวกันของโครงสร้างย่อยของ Al_2O_3 โดยโครงสร้างย่อย 1 หน่วยประกอบด้วย 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นเตตระฮีดรอลของ SiO_4^{4-} 2 ชั้น โดยชั้น ออกตะฮีดรอลของ Al_2O_3 แทรกอยู่ตรงกลางระหว่าง ชั้นเตตระฮีดรอล มีลักษณะเป็นชั้นๆ และมี ส่วนที่เป็นช่องว่าง ปกติแล้วส่วนประกอบจะแตกต่างไปจากทฤษฎี เนื่องจากในชั้นเตตระฮีดรอล อาจถูกแทนที่ด้วย Al^{3+} ได้ และ/หรือ Al^{3+} ในชั้นออกตะฮีดรอลก็อาจถูกแทนที่ด้วย Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Mg^{2+} การแทนที่ด้วยไอออนที่มีวาเลนซ์ที่ไม่เท่ากันทำให้ประจุรวมของดินเบนทอไนต์เป็นลบเกิดความ ไม่สมดุลขึ้น เพื่อที่จะให้ประจุทั้งหมดเป็นกลาง จึงทำให้มีแคตไอออนจากภายนอกเข้ามาเกาะ ทั้ง บริเวณรอบนอกและภายในระหว่างหน่วยย่อยแต่ละหน่วย แคตไอออนดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลง ตำแหน่งและแทนที่กันได้ เรียกว่า แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ที่พบมากคือ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ และ Li^+ ซึ่งจะอยู่ในส่วนที่เป็น interlayer ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนและโมเลกุลได้ ดินเบน ทอไนต์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น โซเดียมเบนทอไนต์ใช้เป็นโคลนเจาะ ในด้าน วิศวกรรมใช้เป็นตัวเชื่อมในการก่อสร้างแกนเขื่อนดิน แคลเซียมเบนทอไนต์นำมาใช้ในอุตสาหกรรม

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารดูดสี ได้มีผู้ทำการทดลองกำจัดสีน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่า ความสามารถในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งหลังจากนั้นความสามารถในการกำจัดสีก็จะลดลง ในการกำจัดสีสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการกำจัดสีที่สูงขึ้น (Richardson, L.L. 1978 : 777 - 780) ปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ฉะนั้นในการกำจัดสีในน้ำมันต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดสีแตกต่างกันออกไป ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ควรต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดปริมาณการเพิ่มของกรดไขมันอิสระ แต่ก็ต้องสูงพอที่จะลดปริมาณสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมันให้ถึงระดับที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเป็นน้ำมันชนิดเดียวกัน แต่ถ้าสภาวะในการกำจัดสีต่างกัน อุณหภูมิก็ต่างกันไปด้วย เช่น ถ้าทำการกำจัดสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ จะใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเมื่อกำจัดสีในสภาวะบรรยากาศได้

การกำจัดกลิ่น

เป็นการกำจัดสารที่ทำให้เกิดกลิ่น โดยทั่วไปสารที่ทำให้เกิดกลิ่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สารที่มีเองตามธรรมชาติ และสารที่เกิดจากการเสื่อมคุณภาพ

แม้สารทั้ง 2 ประเภทนี้จะมีค่าความดันไอต่ำ แต่ถ้าจะกำจัดกลิ่นให้หมดจะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากซึ่งจะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระจะแปรตามอุณหภูมิ กรณีที่เป็นน้ำมันนิยมใช้กระบวนการกำจัดกลิ่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันภายใต้บรรยากาศปกติ และการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังตัวอย่างตาราง 6

ตาราง 6 ผลของอุณหภูมิและความดันในการกำจัดกลิ่นในน้ำมันชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	5-8 มม.ปรอท	20 มม.ปรอท
กรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง	210-220	230-245
กรดไขมันในน้ำมันเมล็ดฝ้าย	215-225	235-250
กรดไขมันในน้ำมันมะกอก	210-220	230-240
กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว	200-210	215-230
กรดไขมันในน้ำมันปาล์ม	210-215	225-235

ที่มา : ภูธร เรืองยิ่ง. 2548: 33.

การกำจัดกลี้นภายใต้สภาวะสุญญากาศจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อทำภายใต้สภาวะบรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิในการกำจัดกลี้นสูงขึ้นความดันไอของสารที่ระเหยได้ก็เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการกำจัดกลี้นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์มากขึ้น ดังนั้นการกำจัดกลี้นจึงต้องเลือกอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพดี และเกิดการสูญเสียให้น้อยที่สุด ในการกำจัดกลี้นเวลาก็มีส่วนสำคัญ โดยพบว่า ถ้าใช้เวลาน้อยคุณภาพน้ำมันที่ได้จะดีกว่าใช้เวลานาน แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ขึ้นต้องเพียงพอที่จะกำจัดกลี้นที่ไม่ต้องการออกได้หมด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบการใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอนไนด์ในขั้นตอนการกำจัดสี กลิ่น ของกลีเซอรินที่แยกได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้บริสุทธิ์ ทั้งนี้เพื่อจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัดสี กลิ่นของดินเบนทอนไนด์ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ดินเบนทอนไนด์ยังเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นแนวทางการลดต้นทุนในการผลิตได้ต่อไป

3.4 การจำแนกคุณภาพและการวิเคราะห์กลีเซอริน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แบ่งกลีเซอรินออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. กลีเซอรินดิบ
2. กลีเซอรินบริสุทธิ์

กลีเซอรินที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ จะมีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ยา อาหาร บุหรี่ วัตถุระเบิด และอุตสาหกรรมอื่นๆ แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ

1. ชั้นคุณภาพเคมี (chemical grade)
2. ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (dynamite grade)
3. ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (technical grade)
4. ชั้นคุณภาพยา (pharmaceutical grade)

โดยมีเกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพกลีเซอรินบริสุทธิ์ดังปรากฏในตาราง 7

ตาราง 7 เกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพของกลีเซอรินบริสุทธิ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

รายการ ที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด						วิธีทดสอบตาม
		กลีเซอริน ดิบจาก การ แยกสลาย ไขมัน	กลีเซอรินดิบ จาก อุตสาหกรรม สบู่	กลีเซอริน ชั้น คุณภาพ เคมี	กลีเซอรินชั้น คุณภาพ ไดนาไมต์	กลีเซอรินชั้น คุณภาพ อุตสาหกรรม	กลีเซอรินชั้น คุณภาพยา	
1	กลีเซอริน (ร้อยละ โดยน้ำหนักไม่น้อย กว่า)	88.0	88.0	99.0	99.0	99.0	95.0	BS 5711:part3
2	เถ้า (ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไม่เกิน	1.0	10.0	-	-	-	-	ISO 2098
3	น้ำ (ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไม่เกิน	-	10.0	-	-	-	-	ISO 2097
4	สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่ กลีเซอริน(ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไม่เกิน	1.5	2.5	-	-	-	-	ISO 2464
5	สารหนู (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) ไม่เกิน	2.0	2.0	2.0			1.5	มอก.1281
6	โพรเพน -1,3-ไดออล (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.5	0.5	-	-	-	-	BS 5711:part 11
7	น้ำตาล	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	-	-	-	BS 5711:part 18
8	ค่าของสีโลว์บอนด์ สเกลไนเซลส์ขนาด 113 มิลลิเมตร ไม่ เกิน	-	-	-	(5.oY+1.2R)	(5.oY+1.2R)	(5.oY+1.2R)	BS 2621-5
12	เถ้าซัลเฟต (มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม) ไม่เกิน	-	-	0.010	0.010	0.010	0.010	ISO1616
13	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม)ไม่เกิน	-	-	1.0	-	-	-	BS2621-5
14	โลหะหนักทั้งหมด (เทียบเป็นตะกั่ว) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ไม่เกิน	-	-	5.0	-	-	5	BS5711:Part15
15	คลอไรด์ (ร้อยละโดย น้ำหนัก)ไม่เกิน	-	-	-	0.010	0.010	0.010	BS5711:Part12
16	ขีดจำกัดปริมาณ คลอไรด์	-	-	สารละลาย ที่ต้อง ไม่ขุ่น	-	-	-	BS5711:Part13

ตาราง 7 (ต่อ)

รายการ ที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด						วิธีทดสอบตาม
		กลีเซอริน ดิบจาก การ แยกสลาย ไขมัน	กลีเซอรินดิบ จาก อุตสาหกรรม สบู่	กลีเซอรินชั้น คุณภาพเคมี	กลีเซอริน ชั้น คุณภาพ ไคโนไมด์	กลีเซอรินชั้น คุณภาพ อุตสาหกรรม	กลีเซอรินชั้น คุณภาพยา	
17	ขีดจำกัดปริมาณ คลอไรด์อินทรีย์	-	-	สารละลายที่ ได้ต้องไม่ข้น กว่า สารละลาย ควบคุม	-	-	-	BS5711:Part14
18	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) ไม่เกิน	-	-	-	-	2.0	-	BS5711:Part16
19	สารประกอบคลอรีน (คำนวณเป็นคลอไรด์) ร้อยละโดยน้ำหนักเกิน	-	-	-	-	-	0.003	USP
20	ซัลเฟตร้อยละโดย น้ำหนักไม่เกิน	-	-	-	-	-	0.002	USP
21	ขีดจำกัดปริมาณสาร รีติวซ์	-	-	สีของ สารละลาย ต้องไม่เข้ม กว่าสีของ สารละลาย มาตรฐาน	สีของ สารละลาย ต้องไม่เข้ม กว่าสีของ สารละลาย มาตรฐาน	-	-	BS5711:Part20
22	สปอนนิฟิเคชัน อิกวิเวเลนซ์ มิลลิอิกวิเวเลนซ์ต่อ 100 กรัมไม่เกิน	-	-	0.64	0.64	-	-	BS5711:Part21
23	กรดไขมันและ เอสเทอร์	-	-	-	-	-	ทำปฏิกิริยา พอดีกับ สารละลาย โซเดียม ไฮดรอกไซด์ 0.5 M ไม่เกิน 1 ลบ.ซม.	USP

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2538

การตรวจสอบกลีเซอริน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. ตรวจสอบคุณภาพ โดยให้ความร้อนสารตัวอย่างพร้อมโพแทสเซียมไฮโดรเจนซัลเฟต โดยกลีเซอรินจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงเป็นอะโคริน
2. ตรวจสอบปริมาณกลีเซอริน สามารถทำได้ โดยวิธีการไทเทรต โดยการออกซิไดส์ กลีเซอริน ด้วยโซเดียมเปอร์ไอโอเดต เกิดเป็นอัลดีไฮด์ และกรดฟอร์มิกแล้วไทเทรตหาปริมาณของ กลีเซอรินด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบหาปริมาณกลีเซอรินด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟี เช่น ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high-performance liquid chromatography, HPLC) ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC)
3. ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในกลีเซอรินโดยเทคนิคคาร์ลฟิชเชอร์ไทเทรชัน (Karl Fischer titration)

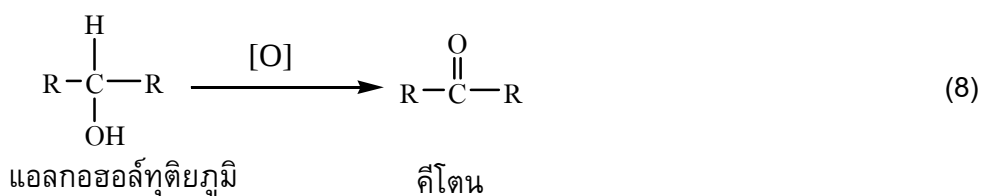
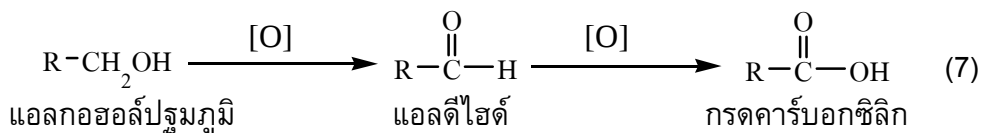
ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพวิธีการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินที่มีอยู่และกรดไขมันอิสระที่ตกค้างอยู่ในกลีเซอรินด้วยเทคนิครีดอกซ์ไทเทรชัน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรินบริสุทธิ์ มอก. 337 - 2538 กำหนดให้ กลีเซอรินบริสุทธิ์จะต้องไม่มีกรดไขมันตกค้างอยู่ ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใช้เทคนิครีดอกซ์ไทเทรชันทดสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้างอยู่ในกลีเซอริน ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงการไทเทรตของปฏิกิริยารีดอกซ์ดังนี้

เทคนิครีดอกซ์ไทเทรชัน

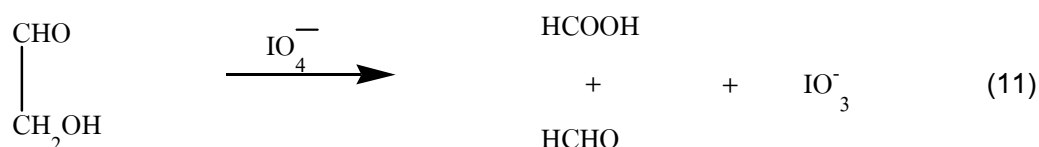
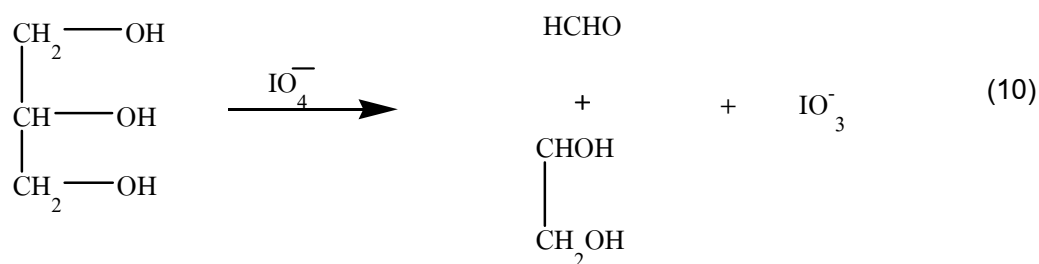
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยสารหนึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ส่วนอีกสารหนึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอน เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น สมดุลที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้และมีการใช้มากกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากสารประกอบทุกตัวสามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (สุภาพ รณณีย์พิกุล. 2542 : 647 - 668) กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยาสองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชัน โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน สารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เช่น Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} หรือ S^{2-} เป็น S^0 เป็นต้น สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ ส่วนปฏิกิริยารีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน สารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง เช่น Ag^+ เป็น Ag หรือ I เป็น I^- เป็นต้น สารที่สามารถรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวออกซิไดซ์ (สุภาพ รัชเทียมวงศ์. 2543: 335 - 336)

กลีเซอรินเป็นสารอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันได้ โดยทั่วไปการจะทราบว่าสารอินทรีย์นั้นถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ มีหลักการพิจารณา ดังนี้

สารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ ถ้าโมเลกุลของสารอินทรีย์เสียไฮโดรเจนหรือได้ออกซิเจน แต่ถ้าโมเลกุลของสารอินทรีย์เสียออกซิเจนหรือได้ไฮโดรเจน แสดงว่าสารอินทรีย์ถูกรีดิวซ์ แอลกอฮอล์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังสมการ 7 ถึง 9 ในสมการใช้ [O] แทนตัวออกซิไดส์ใดๆ แอลกอฮอล์อาจถูกออกซิไดซ์เป็นคีโตน แอลดีไฮด์ หรือกรดคาร์บอกซิลิกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนที่ติดอยู่กับอะตอมของคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่



แอลกอฮอล์ปฐมภูมิถูกออกซิไดซ์ครั้งแรกจะได้แอลดีไฮด์ และแอลดีไฮด์จะออกซิไดซ์ต่อเนื่องจนได้เป็นกรดคาร์บอกซิลิก หรือถ้าในสารละลายที่เป็นเบสจะได้ไอออนลบเกิดขึ้น รีเอเจนต์ที่นิยมในการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมออกไซด์ พีรีดีน สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิครีดอกซ์ไทเทรชันในการหาปริมาณของกลีเซอริน โดยใช้สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตเป็นรีเอเจนต์ในการออกซิไดซ์กลีเซอริน ซึ่งปฏิกิริยาสามารถเกิดออกซิไดซ์ 2 ครั้ง โดยขั้นตอนแรกเมื่อออกซิไดซ์ด้วยเปอร์ไอโอเดตจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นฟอร์มัลดีไฮด์และไฮดรอกซิลแอลดีไฮด์ ซึ่งไฮดรอกซิลแอลดีไฮด์มีสภาพไม่เสถียรจึงถูกออกซิไดซ์ต่อในขั้นตอนที่สอง และได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดฟอร์มิกและฟอร์มัลดีไฮด์ ดังแสดงในสมการ 10 และ 11



ที่มา : White, D. A.; Miyada, D. S.; & Nakamura, R. M. 1974 : 645.

จากปฏิกิริยาหนึ่งโมเลกุลของกลีเซอรินสามารถเกิดกรดฟอร์มิกหนึ่งโมเลกุล ดังนั้นการไทเทรตหาปริมาณของกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นจึงสามารถบ่งบอกปริมาณของกลีเซอรินที่มีอยู่ได้ นอกจากเทคนิครีดอกซ์ไทเทรชันแล้วในการตรวจวัดและวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสารประกอบอินทรีย์ ยังนิยมใช้เทคนิคขั้นสูงทางเคมีวิเคราะห์ เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ได้อีกทางหนึ่ง เช่น เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นต้น

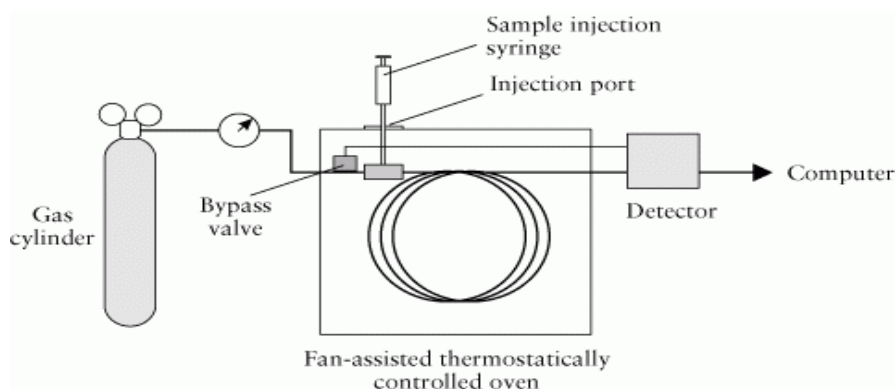
เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคที่ใช้พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 0.8 ถึง 200 ไมโครเมตร หรือใช้หน่วยเลขคลื่น 4000 ถึง 400 ซม.⁻¹ ให้แก่มอเลกุลซึ่งมีผลต่อการสั่นของพันธะเคมีแต่ละชนิด ทำให้สามารถจำแนกชนิดของหมู่ฟังก์ชันในองค์ประกอบของสารนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟีวิเคราะห์ปริมาณได้ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างปริมาณน้อยๆ ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจวิเคราะห์เอกลักษณ์ของกลีเซอรินด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ตกค้างในกลีเซอรินที่เตรียมจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี เพื่อเป็นแนวทางกับผู้สนใจและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษต่อไป

4. เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) กับเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry, MS) เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างแม่นยำ โดยอาศัยการเปรียบเทียบค่ามวลต่อประจุของ

คุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แก๊สพา(carrier gas) ระบบนำเข้าสู่สารตัวอย่าง (injection system) คอลัมน์ (column) ตู้อบ (oven) ตัวตรวจวัด (detector) และเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) ดังภาพประกอบ 6 หลักการทำงานโดยอาศัยการกระจายตัวของสารระหว่างวัฏภาคที่ต่างกันคือ วัฏภาคเคลื่อนที่และวัฏภาคคงที่ โดยวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นแก๊สเรียกว่า แก๊สพา ซึ่งจะไหลตลอดเวลาขณะทำการวิเคราะห์สาร ส่วนวัฏภาคคงที่เป็นของเหลวหรือของแข็งที่เคลือบอยู่บนของแข็งบรรจุในคอลัมน์หรือของเหลวเคลือบอยู่ที่ผนังด้านในคอลัมน์ (McNair, H.M.; Miller, J.M. 1998 : 1 - 9) เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอ แก๊สพาจะพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ องค์ประกอบของสารจะถูกแยกจากกันภายในคอลัมน์ซึ่งบรรจุวัฏภาคคงที่และเข้าสู่ตัวตรวจวัด ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตัวตรวจวัดที่เลือกใช้ ชนิดของตัวตรวจวัดที่ใช้กับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น ตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออนไนเซชัน (flame ionization, FID) ตัวตรวจวัดแบบเทอร์มอลคอนดักทีวิตี (thermal conductivity, TCD) ตัวตรวจวัดแบบเครื่องยัดจับอิเล็กตรอน (electron capture) และตัวตรวจวัดแบบแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry) ซึ่งใช้เป็นตัวตรวจวัดในงานวิจัยนี้



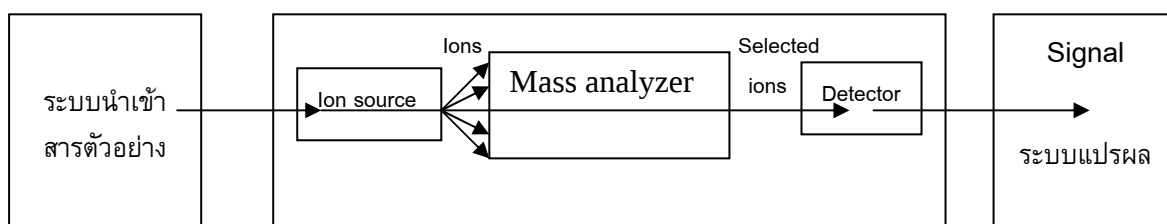
ภาพประกอบ 6 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ที่มา : www.agilenttechnologies.com

คุณสมบัติของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องแมสสเปกโตรเมตรีมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งกำเนิดไอออน (ion source) เช่น ชนิดอิเล็กตรอนอิมแพค (electron impact, EI) และชนิดเคมีคัลไอออไนเซชัน (chemical ionization) ตัววิเคราะห์มวล (mass analyzer) เช่น ควอดรูโพลแมสสเปกโตรมิเตอร์ (quadrupole mass spectrometer) และไทม์ออฟฟลายท์แมสสเปกโตรมิเตอร์ (time of flight mass spectrometer) ตัวตรวจวัด (detector) และเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder)

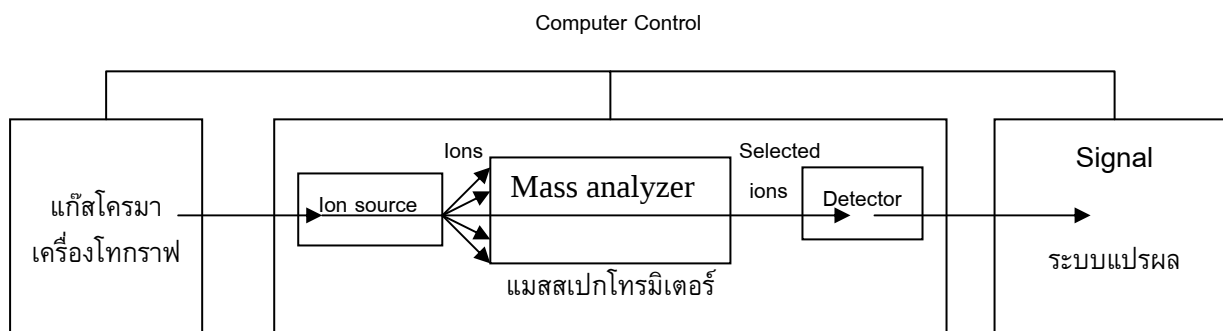
การทำงานของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์จะอาศัยกลไกการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลสารตัวอย่างที่ถูกนำเข้ามาด้วยระบบนำเข้าสู่สารตัวอย่าง อิเล็กตรอนจากแหล่งพลังงานจะพุ่งชนทำให้โมเลกุลของสารตัวอย่างแตกตัวเป็นไอออนในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ เมื่อไอออนเกิดการแตกตัวเป็นส่วนย่อย ไอออนที่มีประจุจะถูกบันทึกผลเป็นสเปกตรัม และถูกตรวจวัดออกมาเป็นค่ามวลต่อประจุ (m/z) เทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วแปรผลออกมาเป็นพีคของสเปกตรัม โดยพีคที่ปรากฏจะมีความเข้มสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของโมเลกุลสาร รวมถึงความเสถียรของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พีคที่สูงสุดในสเปกตรัมเรียกว่า พีคหลัก ซึ่งจะกำหนดให้มีความเข้ม 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพีคอื่นๆ จะเทียบสัดส่วนกับพีคหลัก โดยหลักการทำงานดังกล่าวสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ไตอะแกรมของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์

หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์

เมื่อนำสารตัวอย่างฉีดเข้าทางระบบนำเข้าสู่สารตัวอย่างของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จากนั้นสารจะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ เมื่อผ่านเข้าสู่คอลัมน์ที่อยู่ในตู้อบ โดยมีข้อกำหนดว่าสารตัวอย่างต้องไม่มีตะกอน จากนั้นองค์ประกอบที่แยกได้จะเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ซึ่งมีสภาวะเป็นสุญญากาศ แล้วเข้าสู่แหล่งกำเนิดไอออนซึ่งทำหน้าที่แตกตัวโมเลกุลสารตัวอย่างเป็นไอออน จากนั้นไอออนเหล่านั้นจะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องคัดแยกประจุก่อนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดประจุเพื่อหาปริมาณของประจุและแปรผลเป็นค่ามวลต่อประจุ (m/z) เทียบกับข้อมูลอ้างอิงโดยหลักการทำงานดังกล่าวสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ไดอะแกรมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์

ส่วนใหญ่ระบบแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์เลือกใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพาเนื่องจากเป็นอะตอมเล็กๆ และมีมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งจะอยู่ในช่วงต่ำกว่าไอออนที่ตรวจพบได้ในการใช้เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์วิเคราะห์สารอินทรีย์ โดยทั่วไประบบคอมพิวเตอร์จะควบคุมการทำงานทั้งในส่วน of เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ อีกทั้งยังใช้ประมวลผลการทดลองในระหว่างที่วิเคราะห์และหลังจากที่เก็บข้อมูลไว้แล้วอีกด้วย

อาจสรุปได้ว่าเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี ถูกสร้างขึ้นมาโดยที่ต้องการให้แก๊สโครมาโทกราฟีมีหน้าที่หลักในการแยกสารแต่ละชนิดในสารตัวอย่างออกจากกัน ส่วนเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรีจะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารเพื่อยืนยันชนิดของสารตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์มวลและตรวจวัดไอออนที่ได้ สิ่งสำคัญของสารตัวอย่างที่จะพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตริ์นั้น สารตัวอย่างจะต้องมีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากไอออนทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกวิเคราะห์ในเวลาเดียวกัน ซึ่งแมสสเปกตรัมของไอออนจะปรากฏอยู่ทั้งหมด และถ้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีใช้คอลัมน์แบบคาพิลลารี จะเป็นวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการแยกสารได้สูงขึ้น

ข้อดีของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจง
2. ให้ความแม่นยำสูง
3. สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้
4. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

ข้อเสียของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

1. ราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง
2. ต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญ

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อฤกษ์ เชียงว่อง และวีระชัย โคตรคำหาร (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษากระบวนการเบื้องต้นในการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ การทดลองประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอลโดยใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส การกำจัดเบสด้วยสารละลายกรด การสกัดสิ่งเจือปนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ดินกัมมันต์และคาร์บอนกัมมันต์ในการบำบัดสี กรดที่ใช้ในการกำจัดเบสคือ กรดซัลฟริกความเข้มข้น 1.8 โมลาร์ กรดอะซิติกความเข้มข้น 17.3 โมลาร์ และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.7 โมลาร์ พบว่า การใช้กรดซัลฟริกและกรดอะซิติกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกกรดไขมันออกมาได้ดี สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบคือ เฮกเซน นอร์มอลเฮปเทน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งตัวทำละลายที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ เฮกเซน และในการบำบัดโดยใช้ดินกัมมันต์อัตราส่วนโดยน้ำหนักของดินกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอริน 1:30 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการบำบัดสีของผลิตภัณฑ์ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอริน 1:3 ที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการบำบัด 40 ชั่วโมง พบว่า กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 75.9 โดยน้ำหนัก

สุรารักษ์ บุญโชติ; ผกามาศ ประยูนยง; และ ชาศริต ทองอุไร (2546 : บทคัดย่อ) นำกลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพมาทำการไล่เมทานอลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้กรดเกลือเพื่อแยกของผสมอินทรีย์ออกจากกลีเซอรินโดยใช้สัดส่วนกลีเซอรินต่อกรดเกลือโดยน้ำหนักคือ 20 : 22 หลังจากนั้น กลีเซอรินจะถูกปรับให้มีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 180-195 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศ 20 มิลลิเมตรปรอท พบว่า กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 94

มณฑล ธรรมวีระพงษ์ และ มณฑิรา ฮวดเจริญ (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนกรดไขมันทั้งหมดในน้ำมันโคที่ผลิตในประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และใช้เครื่องตรวจวัดแบบ เฟรมไอออไนเซชัน พบว่า กรดปาล์มมีสัดส่วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60.17 รองลงมาคือ กลุ่มกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม ทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โดยมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 35.62 – 10.16

ปิยนภา อินทกุล (2547 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษากลีเซอรินที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วให้บริสุทธิ์ ด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การระเหยเมทานอล 2) การกำจัดเบสโดยการทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดซัลฟริกและการสกัดสิ่งเจือปนอินทรีย์ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ 3) การกลั่นสุญญากาศ และ 4) การกำจัดสีและกลิ่นด้วยคาร์บอนกัมมันต์ พบว่า กลีเซอรินที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 ขั้นตอน มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก และมีสมบัติเป็นไปตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด

ภูธร เรืองยิ่ง (2548 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาคุณสมบัติของไขมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนและแปรรูปเนื้อไก่สด เพื่อการพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งตัวอย่างเป็นน้ำล้าง ในภาคการผลิตของบริษัท บี ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด โดยได้มีการดักไขมันก่อนส่งสู่ ระบบบำบัดน้ำทิ้ง และนำไขมันที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า กรดไขมันอิสระของน้ำมันจากน้ำล้างไก่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.32-0.55 โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่แตกต่างจาก น้ำมันไก่จากการเจียว และน้ำมันถั่วเหลืองทอดใช้แล้ว โดยค่ากรดไขมันอิสระมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความเป็นไปได้กับการนำไขมันดังกล่าวไปผลิตไบโอดีเซล โดยสภาวะที่เหมาะสม ในการทำปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนโมลของน้ำมันไก่จากน้ำล้างต่อเมทานอลคือ 6:1 และใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์ (2548 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน แบบวิวิธพันธ์ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมคือ ตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่เป็นเบส และ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันเมล็ด ปาล์มได้เมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 93.73 และปริมาณตัวเร่งร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก สามารถเร่ง ปฏิกิริยาของน้ำมันมะพร้าวได้เมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 91.23 โดยใช้อัตราส่วนโมลระหว่าง เมทานอลและน้ำหนักของน้ำมันพืชเป็น 65 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมง

ทิตติพงศ์ และคนอื่นๆ (2550 : 429 - 436) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้ส่วนผสมของเมทานอลและเอทานอลในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน พบว่า การ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันกับแอลกอฮอล์ โดยในงานวิจัยได้ใช้แอลกอฮอล์เป็น เมทานอล เอทานอล และส่วนผสมของเมทานอลและเอทานอล ใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์คือ 1 : 6 โมลาร์ โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและ กลีเซอริน และยังพบว่าส่วนผสมระหว่างเมทานอลและเอทานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้ดีที่สุดใน และเมื่อใช้เมทานอลปฏิกิริยาจะเกิดเร็วและสมบูรณ์

เอคเคย์ (Eckey. 1956 : 575 - 579) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วย ตัวเร่งชนิดเบส และสารตั้งต้นเป็นไตรกลีเซอไรด์ของไขมันและน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ พบว่า เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้มีปริมาณสูง แต่ถ้าหากว่าสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ของไขมันและ น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง การใช้ตัวเร่งเบสในปฏิกิริยานั้นจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยา กับตัวเร่งเบสทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตลดลง ดังนั้นควรใช้ตัวเร่งเป็นกรดจะเหมาะสมกว่าในการ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน แต่โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาดังกล่าวต้องใช้ในสภาวะที่แรง อย่างไรก็ตาม ก็สามารถหลีกเลี่ยงกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยตัวเร่งชนิดกรดได้ โดยการเตรียมสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณต่ำก่อนด้วยปฏิกิริยา สaponifiเคชันแล้วจึงค่อยนำมาผ่านกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยตัวเร่งชนิด เบส

ชูชาร์ดและคนอื่นๆ (Schuchardt; et al. 1998 : 199 - 210) ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เพื่อแสดงถึงข้อดีและข้อเสียของ

กลีเกลวิช (Gryglewicz. 1999 : 249 - 253) ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท พบว่า สามารถทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพชืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะไม่เกิดปฏิกิริยา และพบว่าโลหะแคลเซียมมีราคาถูกเมื่อเทียบกับโลหะอื่นๆ ในการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถปรับปรุงคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพได้ โดยการใช้เทคนิคคลื่นเหนือเสียง (ultrasound) เพื่อให้ไขมันและเมทานอลสามารถละลายกันได้ดี และการเติมตัวทำละลายร่วมเตตระไฮโดรฟูราน (THF) เพื่อช่วยในการแพร่สารตั้งต้นไปสู่ตัวเร่งปฏิกิริยา และเพิ่มการละลายในวัฏภาคที่ต่างกันได้ดีขึ้น

ออย์ และคนอื่นๆ (Ooi; et al. 2004 : 29 - 33) ได้นำกลีเซอรินมาทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยการทำให้เป็นกรดด้วยกรดกำมะถัน กรองและแยกกรดไขมันออกทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปประเหยจะได้กลีและแยกของแข็งออกมา จากนั้นนำกลีเซอรินที่ได้ไปสกัดด้วยตัวทำละลาย และกรองอีกครั้งเพื่อแยกเอาเกลีที่ไม่ละลายในตัวทำละลายออก นำไปประเหยตัวทำละลายจะได้กลีเซอรินดิบ เมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่า มีกลีเซอรินร้อยละ 51.4 เถ้าร้อยละ 13.8 น้ำร้อยละ 8.9 และสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรินร้อยละ 25.9

มอสตาฟา (Mostafa. 2001 : 1133 - 1142) ได้ศึกษาการผลิตกรดอะซิติกและกลีเซอรินจากเกลีหางนมแห้งที่ได้ในถังหมัก เกลีหางนมคือน้ำของเหลวจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมที่มีเกลีโซเดียมคลอไรด์ผสมอยู่ร้อยละ 7.5 โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อยีสต์ 2 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ *Kluyveromyces Fragilis* และสายพันธุ์ *Kluyveromyces Lactis* พบว่า เมื่อทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ *Kluyveromyces Lactis* เกลีหางนมจะผลิตกรดอะซิติกสูงกว่าเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ *Kluyveromyces Fragilis* และได้กลีเซอรินน้ำหนัก 18.7 กรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 39.78

ฮาซิมัส และคนอื่นๆ (Hazimah; et al. 2003 : 1 - 5) ได้นำกลีเซอรินที่ได้จากการดัดไขมันในโรงงานการกลั่นสวิตทอเทอร์มาทำให้บริสุทธิ์ โดยผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยกรด เบส เพื่อแยกองค์ประกอบอื่นๆ ออก ซึ่งได้แก่ ไดกลีเซอริน กรดไขมัน และเกลีอินทรีย์ออก จากนั้นจึงนำกลีเซอรินที่ได้ไปกลั่นภายใต้สุญญากาศจะได้กลีเซอรินบริสุทธิ์ แล้วนำไปวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินประมาณร้อยละ 60-80 ความชื้นร้อยละ 1.5-6.5 เถ้าร้อยละ 1.5-2.5 และสบู่ร้อยละ 3.5

คิม และคนอื่นๆ (Kim; et al. 2004 : 315 - 320) ได้ศึกษาและรวบรวมการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส $\text{Na}/\text{NaOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 34 ของ $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้สูงสุด ให้ผลของไตรโกลีเอตร้อยละ 94 และพบว่า สภาวะในการทดลองที่เหมาะสมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและไตรโกลีเอตเป็น 25 : 1 ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และเติมตัวทำละลายร่วม คือ เตตระไฮโดรฟูราน เพื่อให้ไตรโกลีเอต เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีวัฏภาคต่างกันสามารถละลายได้ดีขึ้น

บาบาริ และคนอื่นๆ (Baba; et al. 2005 : 111 - 116) ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรโกลีเอตกับเมทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งเป็นกลุ่มของเกลือโลหะแอลคาไลด์ คือ K_2CO_3 , KF , LiNO_3 , NaOH , KOH , KNO_3 , NaNO_3 และ RbNO_3 บนตัวรองรับ Al_2O_3 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 34 ของ $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้สูงสุด ให้ผลของไตรโกลีเอตร้อยละ 94 และพบว่า สภาวะในการทดลองที่เหมาะสมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและไตรโกลีเอตเป็น 25 : 1 ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และเติมตัวทำละลายร่วม คือ เตตระไฮโดรฟูราน เพื่อให้ไตรโกลีเอต เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีวัฏภาคต่างกันสามารถละลายได้ดีขึ้น

จิตพุตติ และคนอื่นๆ (Jitputti; et al. 2006 : 61 - 66) ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดและเบส คือ ZrO_2 , ZnO , $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$, $\text{KNO}_3/\text{KL zeolite}$ และ $\text{KNO}_3/\text{ZrO}_2$ โดยเตรียมและทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว จากผลการทดลองพบว่า ZnO , $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ มีความสามารถสูงที่สุดในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในเวลา 1 ชั่วโมง สามารถให้เมทิลเอสเทอร์ปริมาณสูงสุด และยังพบว่า การทดลองใช้ $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ เพียง 1% ก็เพียงพอต่อการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 90 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการนำ $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ พบว่า การนำ $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ ไม่สามารถใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มได้อีก แต่อย่างไรก็ตาม $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ ที่ใช้แล้วและผ่านการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์มได้

กอนซาเลซ และคนอื่นๆ (Gonzalez; et al. 1993 : 213 - 216) ได้ศึกษาการใช้ดินเบนทอนไนต์ในการดูดซับสารผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง ในรูปของ thiobarbituric

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนม ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

1. อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
2. กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ กรดซัลฟูริก โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และเอนไซม์ไลเปส
3. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ ซึ่งมี 3 ขั้นตอนคือ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น
4. การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโทเมตรี

1. อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโทเมตรี จากบริษัท Agilent รุ่น 6890N ประกอบด้วย Mass Selective Detector รุ่น 5973N
- เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ จากบริษัท Perkin Elmer รุ่น FT-IR spectrum BX.
- คอลัมน์คอลลัมน์จากบริษัท J&W ชนิด DB-WAX ความยาว 30.0 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 0.25 มิลลิเมตร และมีความหนาของฟิล์มเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร
- เข็มฉีดยาตัวอย่างสำหรับแก๊สโครมาโทกราฟี ขนาด 10 ไมโครลิตร
- ไมโครปิเปต ขนาด 200 ไมโครลิตร
- แก๊สฮีเลียม
- เครื่องกวนเชิงกล
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง จากบริษัท PRECISA รุ่น 202A
- เครื่องวัดความเป็นกรดเบส จากบริษัท METTIER TOLEDO รุ่น MP 220
- เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง จากบริษัท LABCONCO รุ่น 7812001
- เครื่องเขย่า Vortex genie-2 จากบริษัท Sciencetific Industries
- กระดาษกรอง Whatman No.1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- สารมาตรฐานกรดไขมัน ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ชนิด AR เกรด จากบริษัท Fluka
- สารมาตรฐานกลีเซอริน 99.9% จากบริษัท Polskie Odczynniki Chemiczne S.A.
- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ระดับคุณภาพในเชิงพาณิชย์ จากบริษัท Carlo Erba
- กรดซัลฟูริก 96% จากบริษัท Riedel-de Haën
- เอนไซม์ไลเปส สายพันธุ์ *Candida rugosa* ชนิด AR เกรด จากบริษัท Fluka
- ถ่านคาร์บอนกัมมันต์ จากบริษัท Riedel-de Haën
- ดินเบนทอไนต์ จากบริษัท Riedel-de Haën
- เมทานอล 99.9% ชนิด AR เกรด จากบริษัท Merck
- เฮกเซน ชนิด AR เกรด จากบริษัท Lab Scan
- โซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ ชนิด AR เกรด จากบริษัท Lab Scan
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ชนิด AR เกรด จากบริษัท Lab Scan
- โซเดียมเปอร์ไอโอดेट ชนิด AR เกรด จากบริษัท Acros
- อีเทนไดออกไซด์ ชนิด AR เกรด จากบริษัท Lab Scan

สารตัวอย่าง

ตัวอย่างกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม จากบริษัท จอมธนา จำกัด ที่ตั้งเลขที่ 59/1 หมู่ 7 ถ.ปทุม-ลาดหลุมแก้ว ต.คูบางหลวง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี 12140 เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2550

2. กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.1 การแยกไขมันจากกากของเสียแบบแบทช์และตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระ

วิธีการทดลอง

สกัดไขมันออกจากกากของเสียด้วยเฮกเซน โดยชั่งกากของเสียน้ำหนัก 50 กรัม สกัดด้วยเฮกเซน 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แยกส่วนที่เป็นไขมันออกซึ่งอยู่ชั้นบน สกัดซ้ำด้วยเฮกเซนอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำสารสกัดที่ได้รวมกันมาระเหยเฮกเซนและบันทึกปริมาณที่แน่นอน ก่อนนำไขมันที่สกัดได้ไปใช้ต้องศึกษาสมบัติของไขมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยการหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40. (ภาคผนวก ข)

2.2 การลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

1. ชั่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากของเสีย 50 กรัม
2. ละลาย NaOH 0.2 กรัม ในน้ำ 3 มิลลิลิตร
3. ผสมสารละลายและน้ำมัน
4. แยกส่วนที่เป็นไขมันที่อยู่ด้านบนออก
5. นำน้ำมันที่แยกได้มาทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันตามข้อ 1-4 อีกครั้งหนึ่ง
6. แยกส่วนที่เป็นไขมันที่อยู่ด้านบนออก ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและตรวจหาปริมาณ

กรดไขมันอิสระตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40. (ภาคผนวก ข) และนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

2.3 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.1 วิธีการทดลองใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่างจากข้อ 2.2 ให้มีน้ำหนัก 50 กรัม
2. นำโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายผสม ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา สังเกตการเปลี่ยนแปลง
4. ปลอຍให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกกลีเซอรินดิบที่อยู่ชั้นล่างออก ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและบันทึกผล และนำกลีเซอรินที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

หมายเหตุ ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ระหว่าง 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ปริมาตรของเมทานอลที่ 100, 150, 250 และ 300 มิลลิลิตร การแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 30, 60 และ 90 นาที ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแล้วนำผลการทดลองที่ให้อยู่ผลผลิตของกลีเซอรินที่มากที่สุดไปใช้ในการทดลองต่อไป

2.3.2 วิธีการทดลองใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่างจากข้อ 2.2 ให้มีน้ำหนัก 50 กรัม
2. เติมกรดซัลฟริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ผสมในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายผสม ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง กวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา สังเกตการเปลี่ยนแปลง

4. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นกลีเซอรินดิบที่อยู่ชั้นล่างออกมา ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนและบันทึกผล น้ำกลีเซอรินที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

หมายเหตุ ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาตรของกรดซัลฟูริกเข้มข้นระหว่าง 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 มิลลิลิตร ปริมาตรของเมทานอลที่ 150, 250 และ 300 มิลลิลิตร การแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา แล้วนำผลการทดลองที่ให้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินที่ดีที่สุดไปใช้ในการทดลองต่อไป

2.3.3 วิธีการทดลองใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันจากข้อ 2.2 ให้มีน้ำหนัก 50 กรัม
2. ชั่งเอนไซม์ไลเปส 0.5 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายผสม ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง (Shweta; et al. 2004 : 154-159)

หมายเหตุ ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาผลการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 4, 6 และ 12 ชั่วโมง

3. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์

มี 3 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น (ปิยนฏ. 2547 : 46-50)

3.1 การระเหยเมทานอล

วิธีการทดลอง

1. ชั่งกลีเซอรินดิบ 100 กรัมใส่ในปีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำไปวางบนแผ่นให้ความร้อน กวนตลอดเวลา โดยควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 - 60 นาที หรือสังเกตว่าไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น บันทึกน้ำหนักของกลีเซอรินที่เหลือจากการระเหย น้ำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. (ภาคผนวก ค) วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCS. Ca 5a-40. (ภาคผนวก ข) และศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอริน

3.2 การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งกลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอลแล้วให้มีน้ำหนัก 25 กรัม เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรลงในกลีเซอรินเพื่อช่วยลดความหนืด คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน
 2. ทำให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ โดยค่อยๆ เติมด้วยหลอดหยดสาร และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา วัดค่าความเป็นกรด เบส ด้วยเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด เบส จนได้ค่าความเป็นกรด เบสของสารละลายเท่ากับ 7 (คลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.01) และทำการสกัดด้วยเฮกเซน 25 มิลลิลิตร
 3. แยกชั้นกลีเซอรินที่อยู่ด้านล่างออก แล้วนำกลีเซอรินที่ได้มาสกัดด้วยเฮกเซนปริมาตร 25 มิลลิลิตรซ้ำอีกครั้ง
 4. จากนั้นนำชั้นกลีเซอรินที่ได้มาทำการระเหยเฮกเซนและกำจัดน้ำที่ตกค้างด้วยโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ แยกโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำออกด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศ บันทึกน้ำหนักของกลีเซอรินที่เหลือ นำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. (ภาคผนวก ค) วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCS. Ca 5a-40. (ภาคผนวก ข) และศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอริน
- หมายเหตุ** ในการปรับค่าความเป็นกรด เบส ให้มีค่าเท่ากับ 7 ของกลีเซอรินที่ได้จากการใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

3.3 การกำจัดสี กลิ่น

วิธีการทดลอง

1. อบถ่านคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
2. ชั่งกลีเซอรินให้มีน้ำหนัก 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เพื่อลดความหนืดของกลีเซอริน
3. แช่กลีเซอรินด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ ในอัตราส่วนระหว่างถ่านคาร์บอนกัมมันต์ต่อกลีเซอริน 1:1, 1:3 และ 1:5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบผลที่ได้
4. จากนั้นทำการกรองอนุภาคของถ่านคาร์บอนกัมมันต์ออกด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
5. กำจัดน้ำในกลีเซอรินออกไปด้วยโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ แล้วทำการกรองแยกโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำออก บันทึกน้ำหนักของกลีเซอรินที่เหลือ นำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538.

6. ทำการทดลองลักษณะเดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้ดินเบนทอไนต์แทนถ่านคาร์บอนกัมมันต์

7. เลือกอัตราส่วนที่ให้ปริมาณกลีเซอรินที่ดีที่สุดไปศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ

หมายเหตุ ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสี กลิ่น โดยเพิ่มอุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียสให้กับถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ใช้เวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำกลีเซอรินที่มีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอรินที่ดีที่สุดไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

4. การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกปริมาตร 10 ไมโครลิตร นำไปละลายในเฮกเซนแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ซึ่งสารมาตรฐานกรดไขมัน ได้แก่ กรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก ด้วยเครื่องชั่งอย่างละเอียด 0.01 มิลลิกรัม ละลายในเฮกเซนแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4.2 การเตรียมสารตัวอย่าง

เนื่องจากสารตัวอย่างมีความหนืดเล็กน้อย ฉะนั้นในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี จึงต้องลดความหนืดด้วยการเจือจางด้วยสารละลายอินทรีย์ การเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยดูดสารละลายตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยไมโครปิเปต 10 ไมโครลิตร ละลายในเฮกเซนและปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดใส่ตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

4.3 วิธีการทดลอง

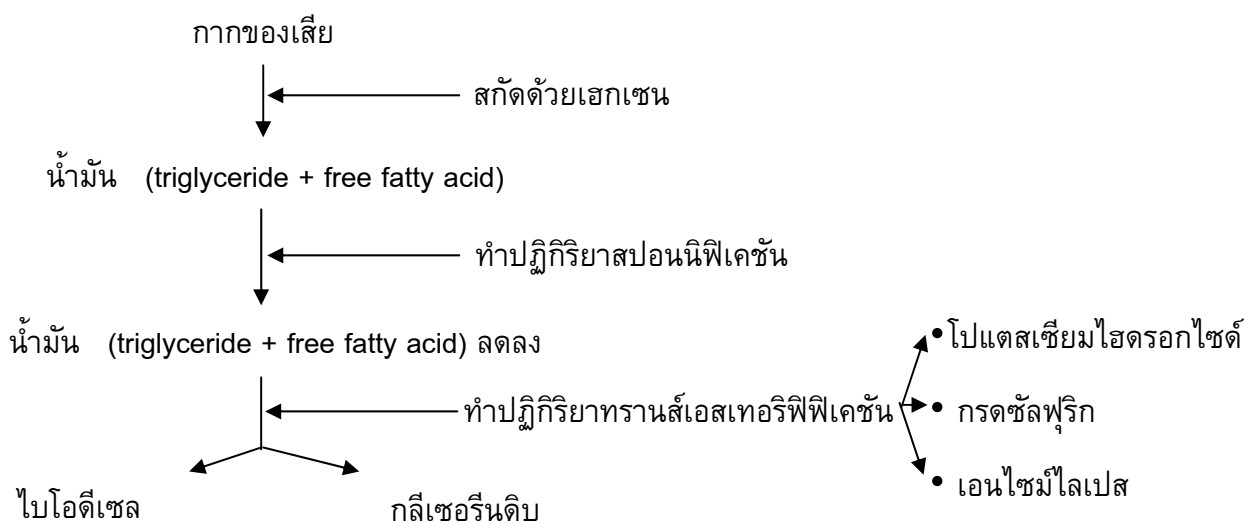
นำสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างกลีเซอรินที่ได้จากการเตรียมมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี ตามสภาวะดังตาราง 8

ตาราง 8 สภาวะที่เหมาะสมของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี ในการวิเคราะห์
กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก

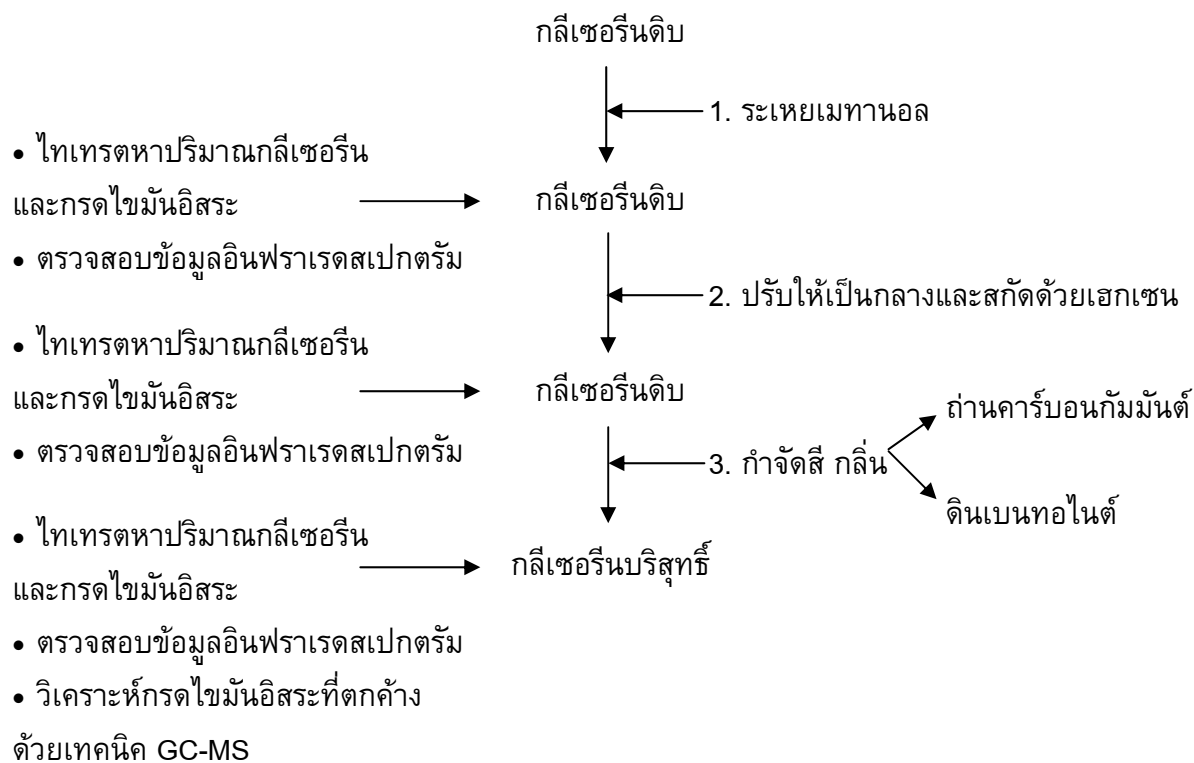
GC-MS Parameter	Condition
GC-MS	Agilent 6890 N Agilent Mass Selective Detector 5973N
Analytical Column	30 m. x 0.25 mm.i.d. x 0.25 μ m.film thickness J&W DB-WAX (Polyethylene Glycol) Capillary Column
Injector	Split Injector (10:1), 270 °C
Injector Volume	Split flow 10 mL/min
Carrier Gas	He
Saver flow rate	20 : 0 mL/min
Saver time	3.00 mL/min
Oven	100 °C hold 2 min 100 °C to 180 °C at 10°C/min. hold 3 min 180 °C to 240 °C at 4°C/min. hold 7 min

จากขั้นตอนการผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของ
เสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมข้างต้น สามารถสรุปการดำเนินการวิจัยตามแผนผังดังนี้

แผนผังแสดงขั้นตอนการสกัดไขมันจากกากของเสียอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมและการ
สังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน



แผนผังแสดงขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรม
ผลิตภัณฑ์นม



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนม ผู้วิจัยได้แสดงผลการทดลองดังนี้

1. การสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ได้แก่ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริกและเอนไซม์ไลเปส
2. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น
3. การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

1. การสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

1.1 การสกัดไขมันแบบแบทช์และตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

การสกัดไขมันแบบแบทช์จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนมด้วยเฮกเซน พบว่า ไขมันที่ได้มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 48.28 ± 0.54 ผลดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ค่าร้อยละผลผลิตของไขมันที่ได้จากการสกัดแบบแบทช์จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑนมด้วยเฮกเซน

การทดลองที่	น้ำหนักกากของเสีย (กรัม)	น้ำหนักไขมันหลังการระเหยเฮกเซน (กรัม)	ร้อยละ ผลผลิต
1	50.00	24.16	48.32
2	50.00	23.86	47.72
3	50.00	24.40	48.80
4	50.00	23.86	47.72
5	50.00	24.40	48.80
ค่าเฉลี่ย		24.14	48.27 ± 0.54

เมื่อนำไขมันที่สกัดได้ไปศึกษาหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40. พบว่า ไขมันตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 4.48 ± 0.02 โดยน้ำหนัก ผลดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระของไขมันที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40.

การทดลองที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ร้อยละกรดไขมันอิสระ
1	28.21	4.49
2	28.20	4.48
3	28.20	4.48
4	28.22	4.49
5	28.21	4.49
ค่าเฉลี่ย		4.48 ± 0.02

จากตาราง 10 ปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 4.48 จากการศึกษาพบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงกว่าร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก จะไปรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Giuseppe; et al. 2006 : 103-106) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนำไปสังเคราะห์กลีเซอริน โดยการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน 2 ครั้ง ซึ่งสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงเหลือร้อยละ 1.26 โดยน้ำหนัก ผลแสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระหลังการทำการทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน โดยวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40.

การทดลองที่	น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักน้ำมัน หลังทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน (กรัม)	ร้อยละกรดไขมันอิสระ
ครั้งที่ 1			
1	50	23.46	3.42
2	50	23.45	3.44
3	50	23.41	3.43
4	50	23.45	3.40
5	50	23.44	3.44
	เฉลี่ย	23.44 ± 0.12	3.42 ± 0.02
ครั้งที่ 2			
1	50	23.06	1.26
2	50	23.10	1.27
3	50	23.00	1.25
4	50	23.13	1.28
5	50	22.98	1.25
	เฉลี่ย	23.05 ± 0.06	1.26 ± 0.04

จากตาราง 11 พบว่า ภายหลังจากการทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันแล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงโดยการทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันครั้งที่หนึ่งกรดไขมันอิสระจะลดลงและมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือร้อยละ 3.42 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำไขมันที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระครั้งที่หนึ่งมาทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันอีกเป็นครั้งที่สอง พบว่า ปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระลดลงอีกและมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือร้อยละ 1.26 โดยน้ำหนัก น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระระดับนี้สามารถนำไปสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้

1.2 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้

โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณ

ตาราง 12 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณต่างๆ

การทดลองที่	ปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	ร้อยละผลผลิต
1	1	56.60 ± 0.02
2	2	67.30 ± 0.59
3	3	64.26 ± 0.21

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 12 เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำมัน 50 กรัม เมทานอลปริมาณ 150 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ผลจากการทดลองพบว่า ใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 67.30 ± 0.59 ส่วนเมื่อใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 กรัม กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิต 56.60 ± 0.02 คือร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด แสดงว่าปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เหมาะสมกับสภาวะการทดลองนี้

ตาราง 13 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันปริมาตรเมทานอลต่างๆ

การทดลองที่	ปริมาตรเมทานอล (มิลลิลิตร)	ร้อยละผลผลิต
1	100	37.20 ± 0.17
2	150	69.91 ± 0.40
3	250	65.76 ± 0.15
4	300	65.46 ± 0.17

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 13 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมทานอลที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า ปริมาตรเมทานอล 150 มิลลิลิตร น้ำมัน 50 กรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ให้ความร้อนที่

ตาราง 14 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ

การทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลผลิต
1	40	59.44 ± 0.27
2	60	67.71 ± 0.29
3	80	58.80 ± 0.20

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 14 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลปริมาณ 150 มิลลิลิตร น้ำมัน 50 กรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 67.71 ± 0.29 ส่วนเมื่อใช้อุณหภูมิ 40 และ 80 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตใกล้เคียงกัน แสดงว่า อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับสภาวะการทดลองนี้

ตาราง 15 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่างๆ

การทดลองที่	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต
1	30	50.56 ± 0.18
2	60	67.98 ± 0.49
3	90	61.88 ± 0.20

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 15 เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลา 60 นาที ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลปริมาณ 150

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ผลจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เมื่อใช้น้ำมัน 50 กรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เมทานอล 150 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 67.98 ± 0.49 แสดงว่าให้เห็นว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะการทดลองสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่เหมาะสม

1.3 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณกรดซัลฟูริกตามตาราง 16 ปริมาตรเมทานอลตามตาราง 17 อุณหภูมิตามตาราง 18 และเวลาตามตาราง 19 ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ตาราง 16 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาตรต่างๆ

การทดลองที่	ปริมาตรกรดซัลฟูริก (มิลลิลิตร)	ร้อยละผลผลิต
1	1	46.60 ± 0.46
2	2	46.64 ± 0.75
3	3	56.34 ± 0.71
4	4	20.44 ± 0.54

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 16 เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำมัน 50 กรัม เมทานอล 150 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ผลจากการทดลองพบว่า ปริมาตรกรดซัลฟูริก 3 มิลลิลิตร ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 56.34 ± 0.71 เมื่อใช้

ตาราง 17 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันปริมาตรเมทานอลต่างๆ

การทดลองที่	ปริมาตรเมทานอล (มิลลิลิตร)	ร้อยละผลผลิต
1	100	36.41 ± 0.41
2	150	55.41 ± 0.45
3	250	52.96 ± 0.05
4	300	50.46 ± 0.18

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 17 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมทานอลที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า ปริมาตรเมทานอล 150 มิลลิลิตร น้ำมัน 50 กรัม กรดซัลฟูริก 3 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 55.41± 0.45 เมื่อใช้เมทานอล ปริมาตร 250 และ 300 มิลลิลิตร กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตใกล้เคียงกัน ส่วนเมื่อใช้เมทานอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตน้อยที่สุดและปรากฏชั้นของไขมันอยู่ แสดงว่า ปริมาตรของเมทานอลที่ใช้ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร เหมาะสมกับสภาวะการทดลองนี้

ตาราง 18 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ

การทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลผลิต
1	40	50.00 ± 0.78
2	50	66.95 ± 0.71
3	60	55.24 ± 0.02

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 18 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า ใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ไขมัน 50

ตาราง 19 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่างๆ

การทดลองที่	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต
1	30	30.26 ± 0.54
2	60	67.00 ± 0.52
3	90	50.24 ± 0.75

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 19 เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาที่ต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลา 60 นาที ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้น้ำมัน 50 กรัม เมทานอลปริมาณ 150 มิลลิลิตร กรดซัลฟูริก 3 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 67.00 ± 0.52 ส่วนเมื่อใช้เวลา 30 นาที กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิต 30.26 ± 0.54 และยังปรากฏชั้นไขมันเหลืออยู่เล็กน้อย และเมื่อใช้เวลา 90 นาที กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิต 50.24 ± 0.75 แสดงว่า เวลา 60 นาที เหมาะสมกับสภาวะการทดลองนี้

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ผลจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ควรใช้น้ำมัน 50 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก 3 มิลลิลิตร และเมทานอล 150 มิลลิลิตร โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาที ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินสูงสุดร้อยละ 67.00 ± 0.52 แสดงว่าให้เห็นว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะการทดลองสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เหมาะสม

1.4 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิตั้งแต่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 4, 6 และ 12 ชั่วโมงที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลดังแสดงในตาราง 20 - 21

ตาราง 20 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ

การทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลผลิต
1	40	-
2	50	-
3	60	-

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 20 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ต่างกัน จากการทดลองใช้น้ำมัน 50 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร เอนไซม์ไลเปส 0.5 กรัม เป็นเวลานาน 60 นาที พบว่าทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันไม่เกิดปฏิกิริยา

ตาราง 21 ค่าร้อยละผลผลิตกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรผันเวลาต่างๆ

การทดลองที่	เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละผลผลิต
1	4	-
2	6	-
3	12	-

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 21 เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาที่ต่างกัน จากการทดลองใช้น้ำมัน 50 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร เอนไซม์ไลเปส 0.5 กรัม ที่เวลาต่างๆ กัน พบว่า ในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินชัดเจน

จากการทดลองใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กลีเซอริน ไม่เกิดปฏิกิริยา อาจเนื่องจากลักษณะโครงสร้างเฉพาะของไขมันนมมีความแตกต่างกับไขมันจากพืช ในโครงสร้างของไขมันนมนั้นบริเวณที่ผิวของเม็ดไขมันจะมีเยื่อบางๆ อยู่ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ฟอสโฟลิปิด วิตามินที่ละลายในไขมันและกรดไขมันอิสระจำนวนเล็กน้อย เยื่อนี้จะทำหน้าที่ไม่ให้เม็ดไขมันรวมตัวกัน และช่วยรักษามลสันของไขมันในน้ำมันให้คงอยู่ ในการสังเคราะห์กลีเซอรินเมื่อใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอนไซม์ไลเปสจะเข้าไปทำลายเยื่อบางๆ นี้ที่บริเวณรอบๆ เม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวและจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง ซึ่งยากต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

2. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์

มี 3 ขั้นตอนคือ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสีกลีน

2.1 การระเหยเมทานอล

2.1.1 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

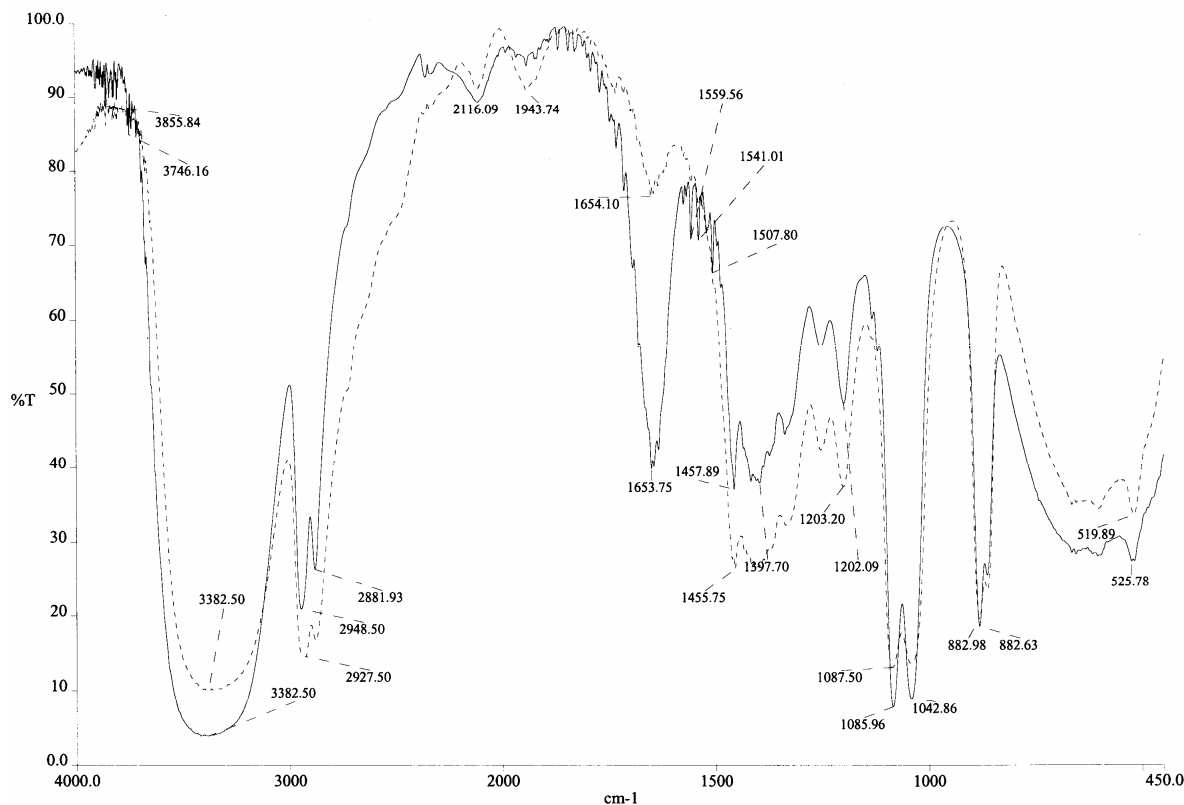
เมื่อใช้กลีเซอรินดิบที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ระเหยเมทานอลตกค้างโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 119 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลา ประมาณ 30 นาที หรือสังเกตว่าไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น พบว่า กลีเซอรินที่ได้มีลักษณะกึ่งเหลว สีน้ำตาล และมีกลิ่นเหม็น มีน้ำหนัก 28.12 ± 0.20 กรัม เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินร้อยละ 73.34 ± 0.43 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCS.Ca 5a-40. พบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.71 ± 0.44 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาทำการศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเปรียบเทียบกับข้อมูลข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 22

ตาราง 22 ข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินมาตรฐาน

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})
O-H stretching	3200 – 3700
C-H stretching	2840 – 3000
C-OH stretching (primary alcohol)	1010 – 1100
C-OH stretching (secondary alcohol)	1100 – 1200
C-OH stretching (tertiary alcohol)	1200 – 1500

ที่มา : Silverstein, R.M.; & Webster, F.X. 1998 : 87 – 90.

จากตาราง 22 ผลการศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินมาตรฐานสามารถแสดงหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นได้ดังนี้ คือ ที่ช่วงเลขคลื่น 3200 – 3700 cm^{-1} คือ O-H stretching (alcohol), 2840 – 3000 cm^{-1} คือ C-H stretching ,สำหรับ C-OH stretching ของแอลกอฮอล์ ได้แก่ 1010–1100 cm^{-1} คือ (primary alcohol), 1100 – 1200 cm^{-1} คือ (secondary alcohol) และ 1200 – 1500 cm^{-1} คือ (tertiary alcohol) เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาทำการศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเปรียบเทียบกับข้อมูลข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินมาตรฐาน พบว่า สเปกตรัมส่วนใหญ่มีหมู่ฟังก์ชันสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบพีคที่เลขคลื่น 1600 – 1500 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของหมู่คาร์บอกซิเลตแอนไอออนของกรดไขมัน



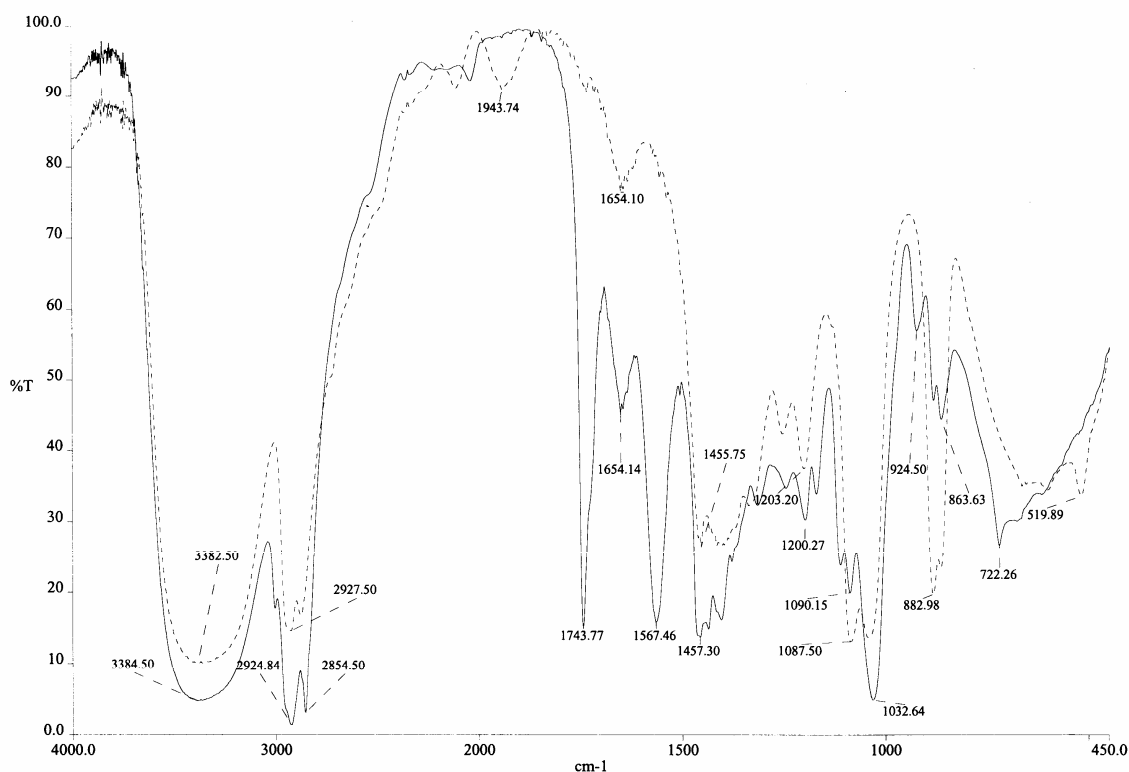
ภาพประกอบ 9 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการระเหยเมทานอล

-- กลีเซอรินมาตรฐาน

— กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

2.1.2 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อใช้กลีเซอรินดิบ ที่ได้จากการใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า กลีเซอรินที่ได้มีลักษณะกึ่งเหลว สีน้ำตาลเข้มถึงดำ และมีกลิ่นเหม็น เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละ โดยน้ำหนักด้วยการไทเทรต (มอก. 337 – 2538.) พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินร้อยละ 70.34 ± 0.45 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต (AOCS. Ca 5a-40.) พบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.72 ± 0.35 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำกลีเซอรินดิบที่ได้มาศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเปรียบเทียบกับข้อมูลของกลีเซอรินมาตรฐานตามตาราง 22 พบว่า สเปกตรัมมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบพีคที่เลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$



ภาพประกอบ 10 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการระเหยเมทานอล

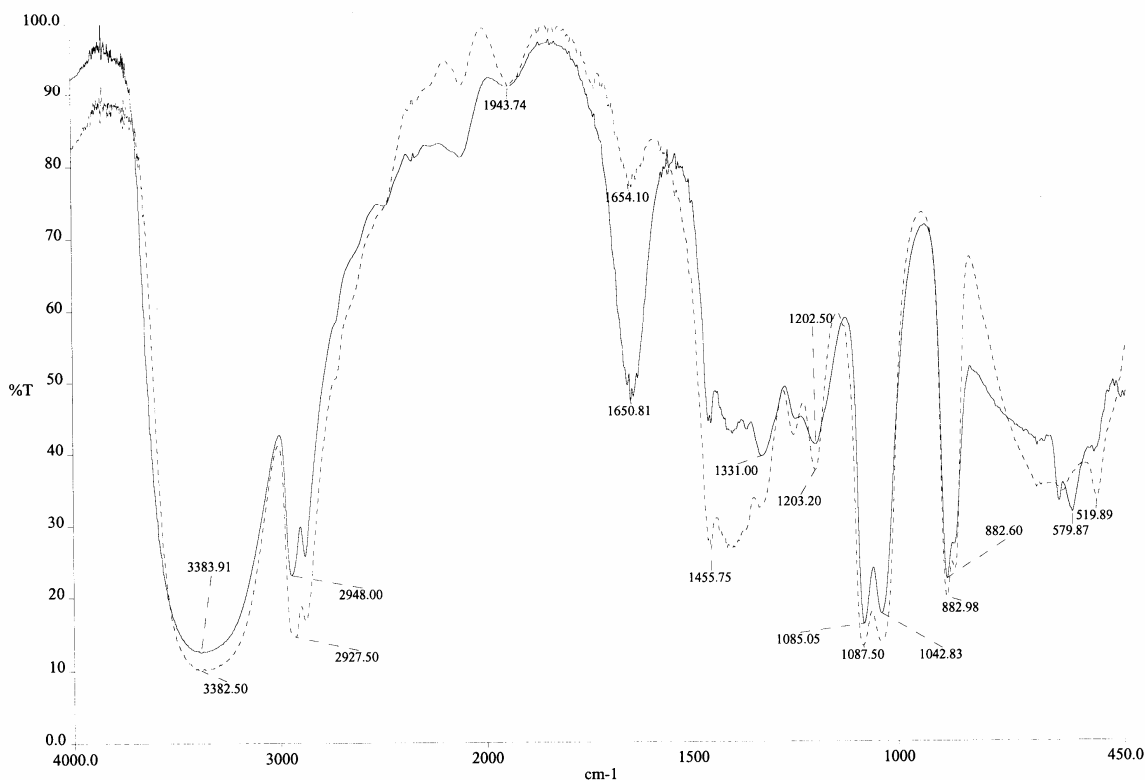
-- กลีเซอรินมาตรฐาน

— กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

2.2 การแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน

2.2.1 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อวิเคราะห์กลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการกำจัดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน พบว่า กลีเซอรินมีลักษณะเหลว สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละโดยน้ำหนักด้วยการไทเทรต (มอก. 337 – 2538.) พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินร้อยละ 82.34 ± 0.41 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต (AOCS. Ca 5a-40.) พบว่า มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.10 ± 0.27 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำกลีเซอรินดิบที่ได้มาศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า สเปกตรัมมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐานตามตาราง 22 และไม่ปรากฏพีคในช่วงเลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของหมู่คาร์บอกซิเลตแอนไอออนของ



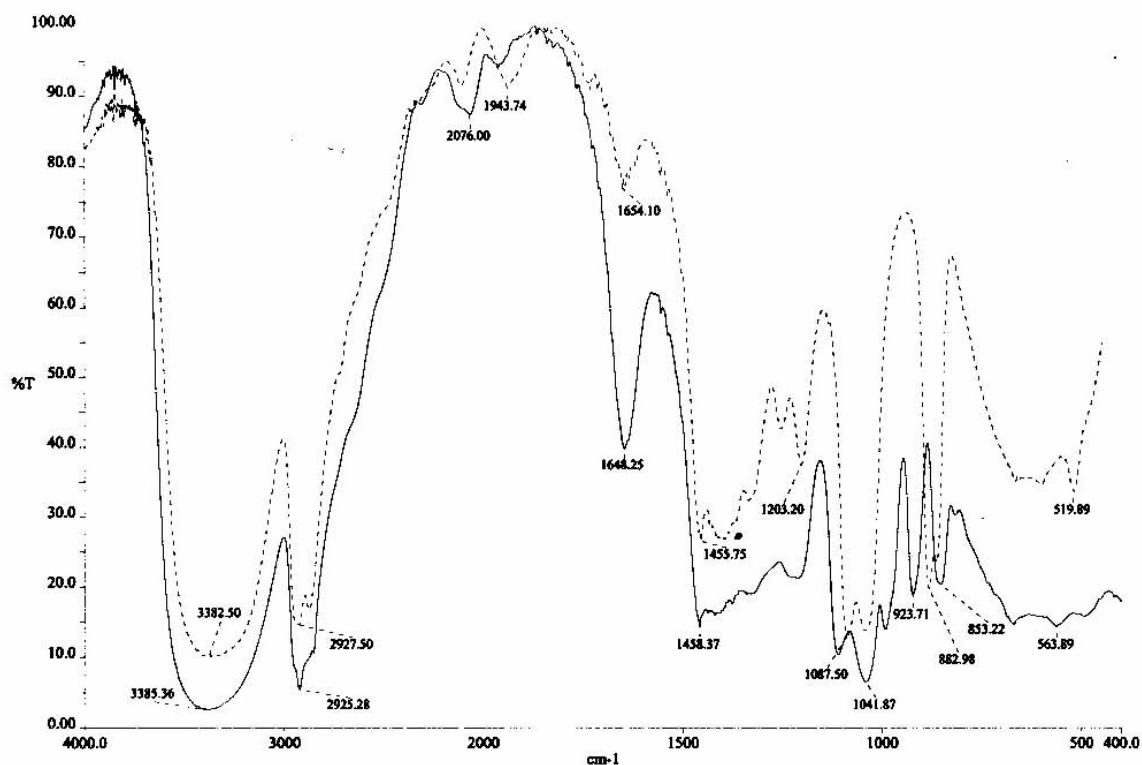
ภาพประกอบ 11 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน

-- กลีเซอรินมาตรฐาน

— กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

2.2.2 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อวิเคราะห์กลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการกำจัดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน พบว่ากลีเซอรินมีลักษณะเหลว สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินด้วยการไทเทรต (มอก. 337 – 2538.) พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินร้อยละ 82.14 ± 0.22 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต (AOCS. Ca 5a-40.) พบว่า มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13 ± 0.32 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำกลีเซอรินดิบที่ได้มาศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า สเปกตรัมมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐานตามตาราง 22 โดยไม่พบพีคช่วงเลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของหมู่คาร์บอกซิเลตแอนไอออนของกรดไขมันที่



ภาพประกอบ 12 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วย เฮกเซน

-- กลีเซอรินมาตรฐาน

— กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

2.3 การกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์

2.3.1 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ ถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ในการกำจัดสี กลิ่น ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เวลา 24 ชั่วโมง อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 21

ตาราง 23 ค่าร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ	ร้อยละผลผลิต	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	1:1	84.00 ± 0.22	87.00 ± 0.25
2	1:3	67.00 ± 0.18	66.00 ± 0.28
3	1:5	60.30 ± 0.52	64.93 ± 0.12

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 23 ผลจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่า อัตราส่วน 1:1 กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าอัตราส่วน 1:3 และ 1:5 และดินเบนทอไนต์ให้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินมากกว่าถ่านคาร์บอนกัมมันต์เล็กน้อย และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นมาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. ที่อัตราส่วนของกลีเซอรินต่อตัวดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 22

ตาราง 24 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ	ร้อยละความบริสุทธิ์	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	1:1	75.45 ± 0.36	70.29 ± 0.01
2	1:3	80.44 ± 0.43	79.85 ± 0.44
3	1:5	91.88 ± 0.34	89.00 ± 0.32

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 24 เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นมาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. ที่อัตราส่วนของกลีเซอรินต่อตัวดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 พบว่า ที่อัตราส่วน 1:5 กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 91.88 ± 0.34 ซึ่งสูงกว่ากลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์เล็กน้อย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้อัตราส่วน 1:5 เพื่อนำมาศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสี กลิ่น โดยเพิ่มอุณหภูมิ 40 - 60 องศาเซลเซียสให้กับกลีเซอริน ผลการทดลองแสดงดังตาราง 25

ตาราง 25 ค่าร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:5 แปรผันอุณหภูมิต่างๆ

การทดลองที่	อุณหภูมิของกลีเซอริน	ร้อยละผลผลิต	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	40	57.01 ± 0.03	61.01 ± 0.20
2	50	55.23 ± 0.03	60.23 ± 0.03
3	60	55.45 ± 0.03	60.17 ± 0.13

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 25 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิของกลีเซอริน อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:5 ที่ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 57.01 ± 0.03 สำหรับถ่านคาร์บอนกัมมันต์ และเท่ากับ 61.01 ± 0.23 สำหรับดินเบนทอไนต์ ในขณะที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์ กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละของผลผลิตไม่แตกต่างกัน และเมื่อใช้ดินเบนทอไนต์ กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละของผลผลิตไม่แตกต่างกัน เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538.ที่อุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น ผลการทดลองแสดงดังตาราง 26

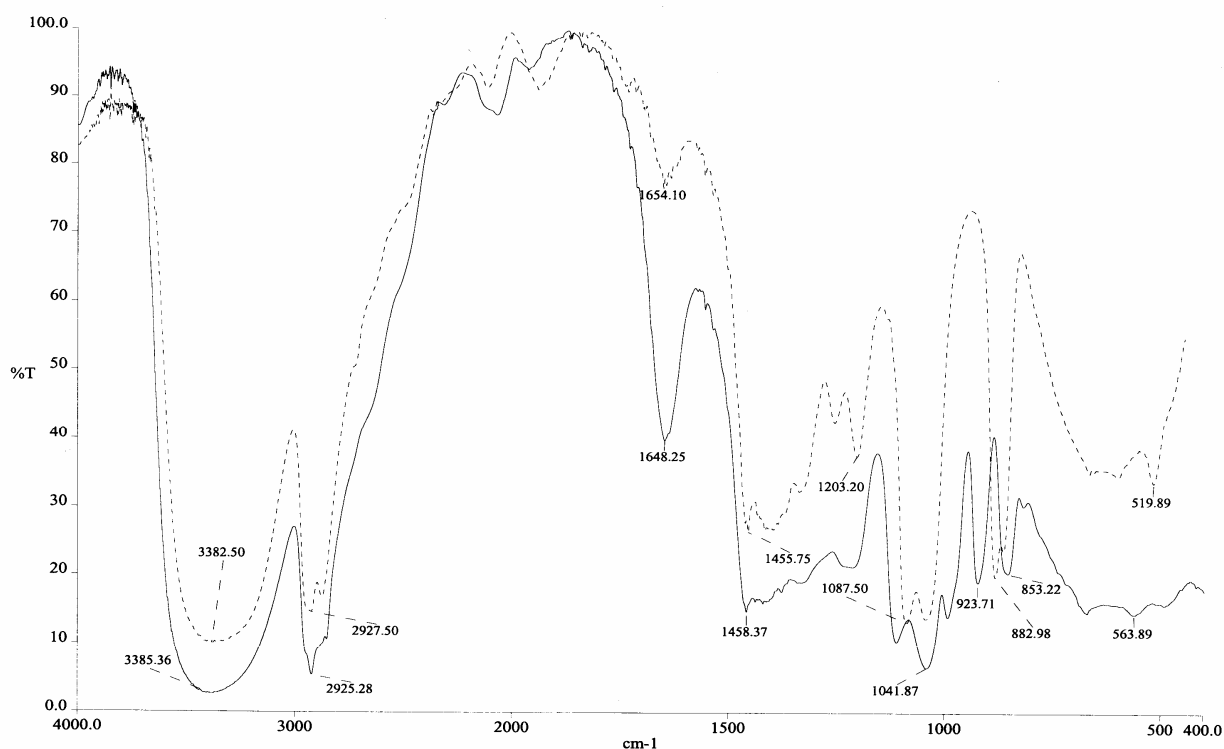
ตาราง 26 ค่าร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:5 แปรผันอุณหภูมิต่างๆ กัน

การทดลองที่	อุณหภูมิของกลีเซอริน	ร้อยละความบริสุทธิ์	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	40	96.04 ± 0.44	95.37 ± 0.43
2	50	95.93 ± 0.01	94.03 ± 0.01
3	60	95.24 ± 0.43	93.84 ± 0.43

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

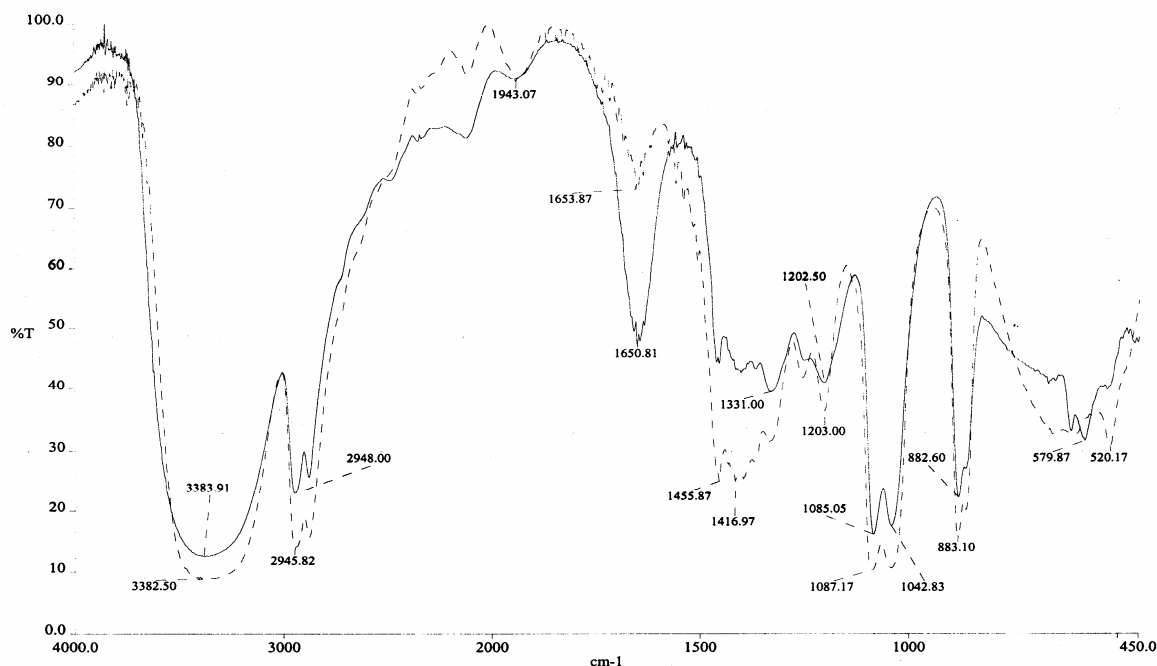
จากตาราง 26 เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรต (มอก. 337 – 2538.) ที่อุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 96.04 ± 0.44 และกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอนไนต์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.37 ± 0.43 โดยน้ำหนัก ในขณะที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์น้อยกว่า

กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอนไนต์อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCS. Ca 5a-40. พบว่า ไม่มีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่เลย และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า สเปกตรัมมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐานตามตาราง 22 นอกจากนี้ยังพบว่า พีคที่เลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ หายไป แสดงว่า กลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์ไม่มีกรดไขมันตกค้างเหลืออยู่ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 13 และ 14



ภาพประกอบ 13 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

- กลีเซอรินมาตรฐาน
- กลีเซอรินจากการสังเคราะห์



ภาพประกอบ 14 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์ที่ อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

-- กลีเซอรินมาตรฐาน
— กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

2.3.2 กลีเซอรินที่ได้จากการใช้กรดซัลฟริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ ถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ในการกำจัดสี กลิ่น ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เวลา 24 ชั่วโมง อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 27

ตาราง 27 ค่าร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และ ดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ	ร้อยละผลผลิต	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	1:1	84.00 ± 0.22	87.00 ± 0.25
2	1:3	67.00 ± 0.18	66.00 ± 0.34
3	1:5	60.30 ± 0.55	64.93 ± 0.22

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 27 ผลจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินที่อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่า อัตราส่วน 1:1 กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าอัตราส่วน 1:3 และ 1:5 และดินเบนทอไนต์ให้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินมากกว่าถ่านคาร์บอนกัมมันต์เล็กน้อย และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นมาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. ที่อัตราส่วนของกลีเซอรินต่อตัวดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 28

ตาราง 28 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่แปรผันอัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อัตราส่วนกลีเซอรินต่อสารดูดซับ	ร้อยละความบริสุทธิ์	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	1:1	75.25 ± 0.36	70.19 ± 0.01
2	1:3	80.04 ± 0.43	77.85 ± 0.40
3	1:5	90.80 ± 0.36	88.90 ± 0.38

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 28 เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นมาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. ที่อัตราส่วนของกลีเซอรินต่อตัวดูดซับ 1:1, 1:3 และ 1:5 พบว่า ที่อัตราส่วน 1:5 กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 90.80 ± 0.36 ซึ่งสูงกว่ากลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์เล็กน้อย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้อัตราส่วน 1:5 เพื่อนำมาศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดสี กลิ่น โดยเพิ่มอุณหภูมิ 40 - 60 องศาเซลเซียสให้กับกลีเซอริน ผลการทดลองแสดงดังตาราง 29

ตาราง 29 ค่าร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 ที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อุณหภูมิของกลีเซอริน (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลผลิต	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	40	62.06 ± 0.75	69.11 ± 0.23
2	50	61.23 ± 0.03	65.23 ± 0.03
3	60	61.45 ± 0.03	65.45 ± 0.03

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

จากตาราง 29 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิให้กับกลีเซอริน อัตราส่วน 1:5 ที่ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 62.06 ± 0.75 สำหรับถ่านคาร์บอนกัมมันต์ และเท่ากับ 69.11 ± 0.23 สำหรับดินเบนทอไนต์ ในขณะที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์ กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละของผลผลิตไม่แตกต่างกัน และเมื่อใช้ดินเบนทอไนต์ กลีเซอรินที่ได้มีร้อยละของผลผลิตไม่แตกต่างเช่นกัน เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก. 337 – 2538. ที่อุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น ผลการทดลองแสดงดังตาราง 30

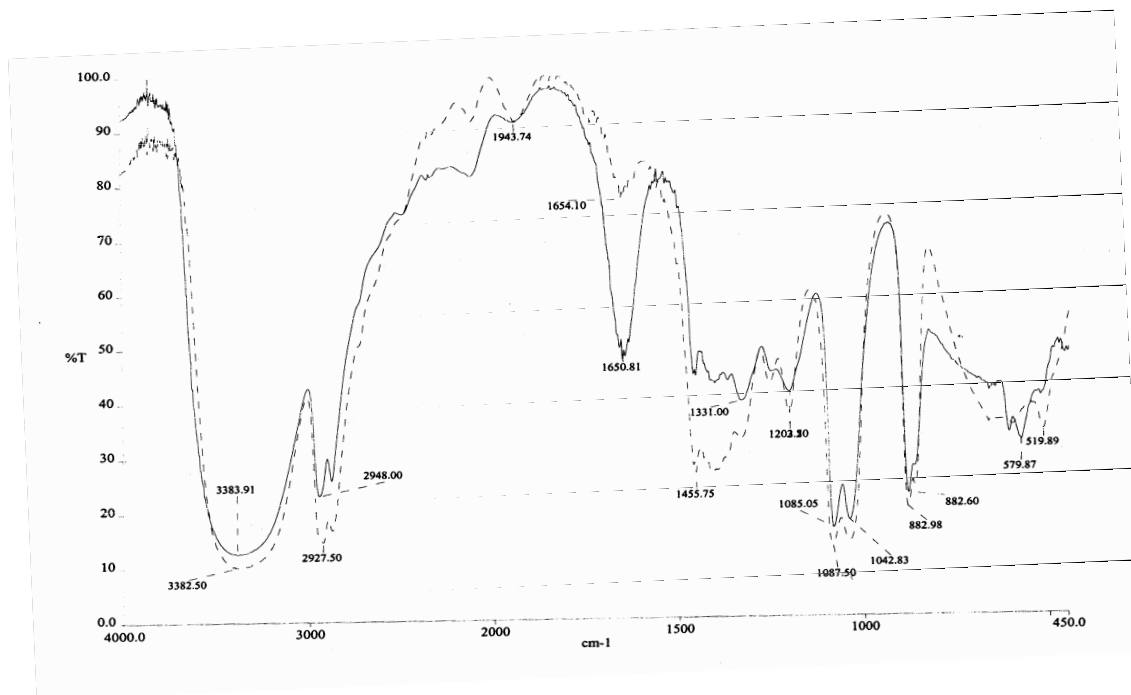
ตาราง 30 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 ที่แปรผันอุณหภูมิต่างๆ กัน

การทดลอง ที่	อุณหภูมิของกลีเซอริน (องศาเซลเซียส)	ร้อยละความบริสุทธิ์	
		ถ่านคาร์บอนกัมมันต์	ดินเบนทอไนต์
1	40	95.98 ± 0.34	95.03 ± 0.23
2	50	94.13 ± 0.07	93.43 ± 0.21
3	60	94.22 ± 0.13	93.34 ± 0.44

หมายเหตุ จำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

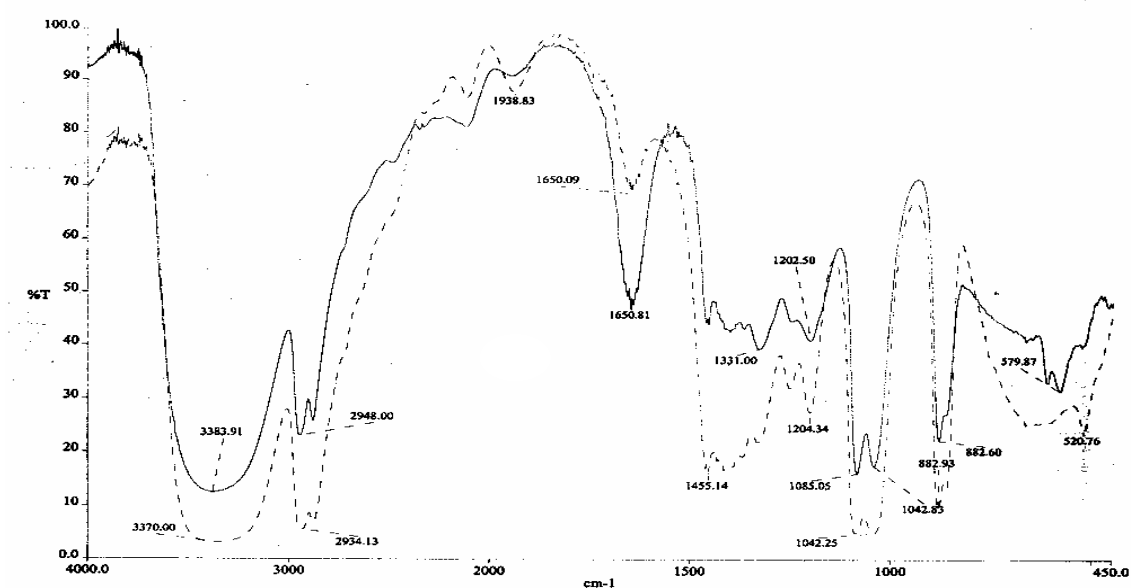
จากตาราง 30 เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินด้วยการไทเทรต (มอก. 337 – 2538.) ที่อุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.98 ± 0.34 และกลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.03 ± 0.23 โดยน้ำหนัก ในขณะที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์น้อยกว่า

กลีเซอรินที่ได้จากการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน AOCS. Ca 5a-40. พบว่า ไม่มีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่เลย และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้มาศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า สเปกตรัมมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐานตามตาราง 22 นอกจากนี้ยังพบว่า พีคที่เลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ หายไป แสดงว่า กลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์ไม่มีกรดไขมันตกค้างเหลืออยู่ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 15 และ 16



ภาพประกอบ 15 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

-- กลีเซอรินมาตรฐาน — กลีเซอรินจากการสังเคราะห์



ภาพประกอบ 16 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐาน หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอนไนต์ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

-- กลีเซอรินมาตรฐาน — กลีเซอรินจากการสังเคราะห์

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากการเตรียมด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขมันจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ ในอัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินสูงขึ้นถึงร้อยละ 96.04 ± 0.44 และ 95.37 ± 0.43 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลังผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ในอัตราส่วน 1:5 พบว่า มีปริมาณกลีเซอรินสูงขึ้นถึงร้อยละ 95.98 ± 0.34 และ 95.03 ± 0.23 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยผลการทดลองสรุปค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ตามขั้นตอนต่างๆ ข้างต้น โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงดังตาราง 31 และ 32 ตามลำดับ

ตาราง 31 ค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สภาวะของกลีเซอรินต่างๆ	ร้อยละผลผลิต	ร้อยละความบริสุทธิ์
กลีเซอรินดิบ	67.98 ± 0.49	67.27 ± 0.52
หลังการระเหยเมทานอล	46.68 ± 0.17	73.34 ± 0.43
แยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน	62.57 ± 0.24	82.34 ± 0.41
กำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์	57.01 ± 0.03	96.04 ± 0.44
กำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์	61.01 ± 0.23	95.37 ± 0.43

หมายเหตุ ในขั้นตอนการกำจัดสี กลิ่นนั้นได้ให้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและจำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

ตาราง 32 ค่าร้อยละผลผลิตและร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สภาวะของกลีเซอรินต่างๆ	ร้อยละผลผลิต	ร้อยละความบริสุทธิ์
กลีเซอรินดิบ	58.64 ± 0.49	67.00 ± 0.52
หลังการระเหยเมทานอล	46.25 ± 0.41	70.34 ± 0.45
แยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน	57.57 ± 0.54	82.14 ± 0.22
กำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์	62.06 ± 0.75	95.98 ± 0.34
กำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์	69.11 ± 0.23	95.03 ± 0.23

หมายเหตุ ในขั้นตอนการกำจัดสี กลิ่นนั้นได้ให้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและจำนวนซ้ำของการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 5

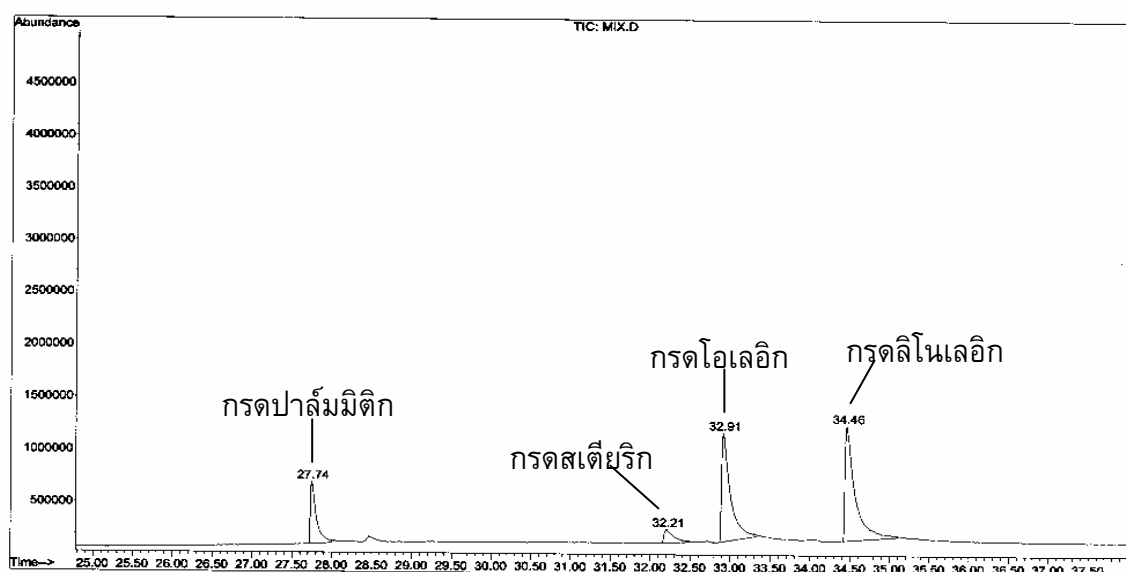
3. การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

จากการนำกรดไขมันมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรีตามสภาวะดังตาราง 8 ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 33

ตาราง 33 ค่าเวลารีเทนชันของสารมาตรฐานกรดไขมันอิสระ ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก

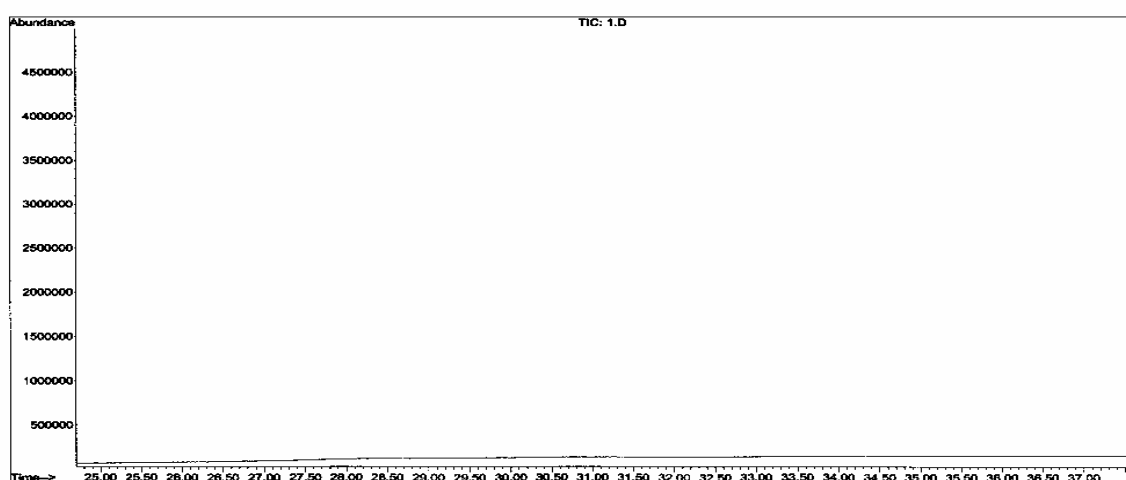
ชนิดของกรดไขมันอิสระ	เวลารีเทนชัน (นาที)
กรดปาล์มมิติก	27.742
กรดสเตียริก	32.210
กรดโอเลอิก	32.912
กรดลิโนเลอิก	34.472

จากตาราง 33 เมื่อนำสารมาตรฐานกรดไขมันอิสระ ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี พบว่า กรดไขมันอิสระจะให้ค่าเวลารีเทนชันที่เป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละชนิด เมื่อนำสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ที่สภาวะการทดลองดังกล่าว โดยค่าเวลารีเทนชันของกรดปาล์มมิติกปรากฏที่ 27.74 นาที กรดสเตียริก ปรากฏที่ 32.21 นาที กรดโอเลอิก ปรากฏที่ 32.91 นาที และกรดลิโนเลอิกปรากฏที่ 34.47 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 17

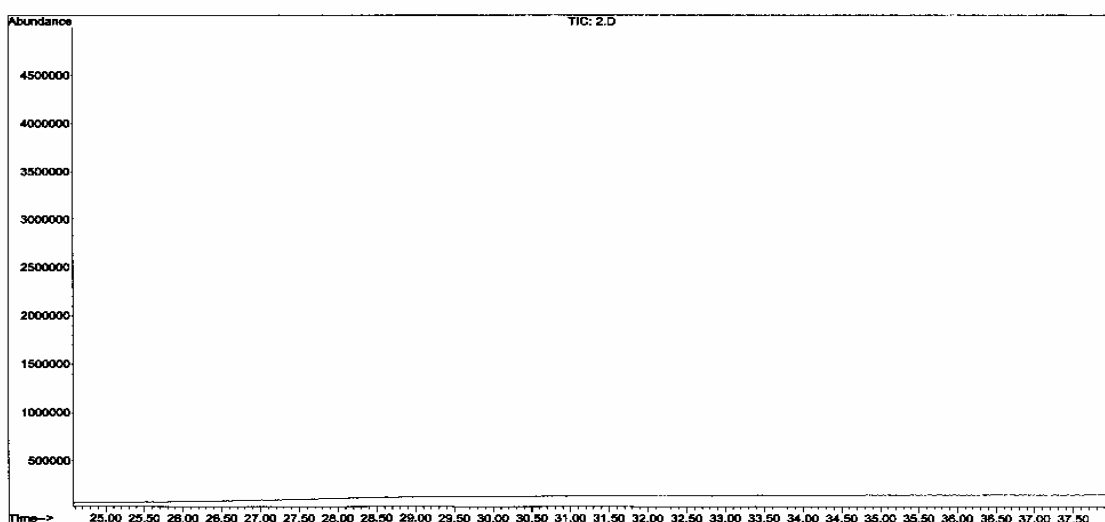


ภาพประกอบ 17 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกรดไขมันอิสระ ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (16:0) กรดสเตียริก(18:0) กรดโอเลอิก(18:1) และกรดลิโนเลอิก(18:2)

เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์ที่สภาวะการทดลองดังกล่าวข้างต้น เพื่อวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ พบว่า กลีเซอรินที่ผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์แสดงดังภาพประกอบ 18 และดินเบนทอไนต์แสดงดังภาพประกอบ 19 ไม่ปรากฏพีคของค่าเวลาริเทนชันที่เป็นค่าเฉพาะของกรดไขมันอิสระทั้ง 4 ชนิด แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินจากการสังเคราะห์เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ มีความบริสุทธิ์ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กลีเซอรินบริสุทธิ์ มอก. 337-2538

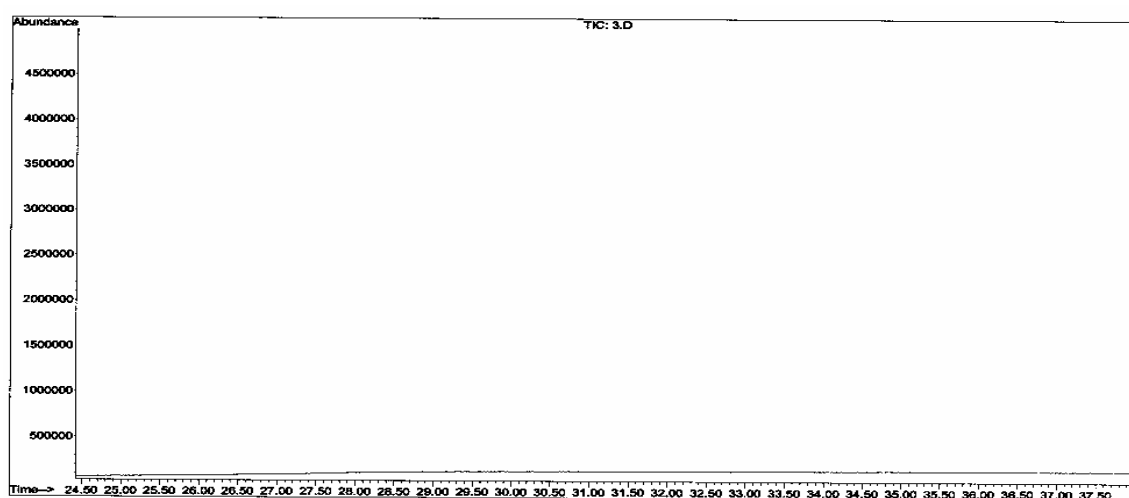


ภาพประกอบ 18 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C

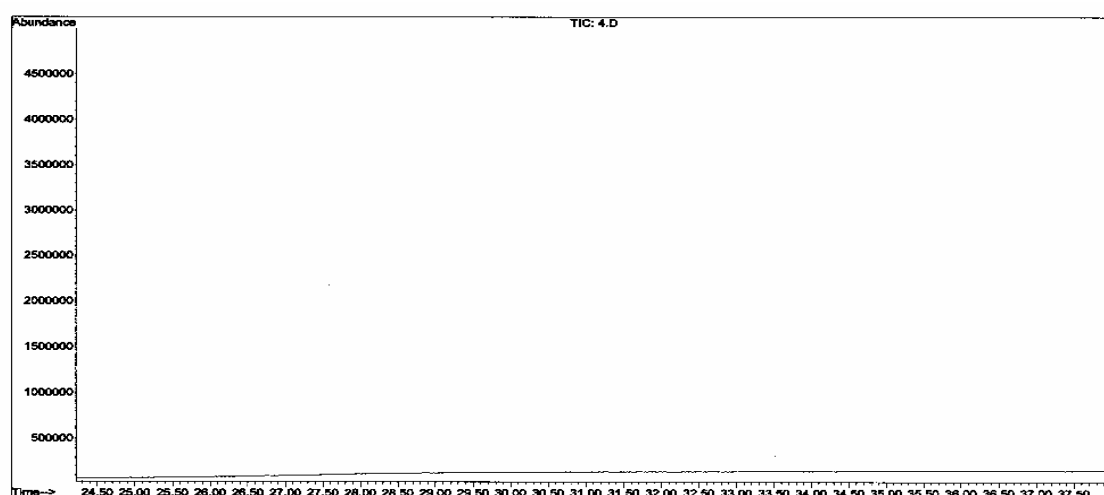


ภาพประกอบ 19 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C

เมื่อนากลิเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์ที่สภาวะการทดลอง ดังกล่าวข้างต้น เพื่อวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ พบว่า กลีเซอรินที่ผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ไม่ปรากฏพีคของค่าเวลาริเทนชันที่เป็นค่าเฉพาะของกรดไขมันอิสระทั้ง 4 ชนิด แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินจากการสังเคราะห์เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ตามกระบวนการต่างๆ ข้างต้นมีความบริสุทธิ์ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กลีเซอรินบริสุทธิ์ มอก. 337-2538 ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 20 และ 21



ภาพประกอบ 20 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C



ภาพประกอบ 21 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากการสังเคราะห์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังผ่านการกำจัดสี กลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์ อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40°C

บทที่ 5

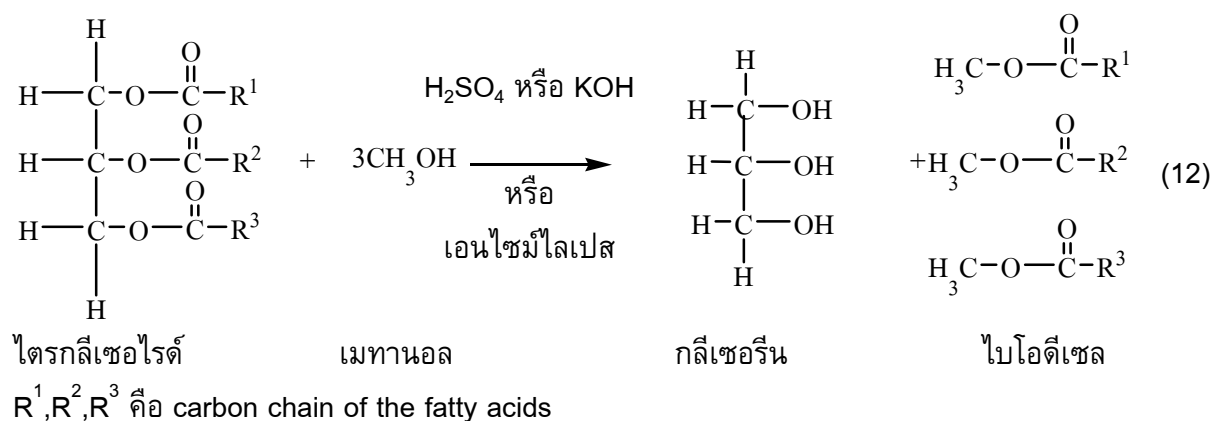
สรุปผล อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตและพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ซึ่งจะสรุปผล อภิปรายผลการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. การสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
2. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น
3. กระบวนการตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี
4. ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินและศึกษาปัจจัยแปรผันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (transesterification reaction) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (alkoxyl group, RO-) ของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่า หรืออาจเรียกว่า ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (alcoholysis reaction) โดยใช้ กรด เบส หรือ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในภาพประกอบ 4 และ 5 ปฏิกิริยานี้ถูกนำมาใช้เตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือน้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันดังแสดงในสมการ 3, 4 และ 5 โดยการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์และน้ำมันไบโอดีเซล จากนั้นไดกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรินในที่สุด สามารถสรุปปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่เกิดขึ้นได้ดังสมการ 12



ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระ ชนิดของแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ เวลา และการกวนผสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษา ปัจจัยของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรของแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลา จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการสกัดไขมันจากกากของเสียด้วยเฮกเซน พบว่า ไขมันตัวอย่างมีกรด ไขมันอิสระประมาณร้อยละ 4.48 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระที่เจือปนนี้จะทำให้การ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ เนื่องจากกรดไขมันจะทำปฏิกิริยาสaponification อย่าง รวดเร็วกับเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ซึ่งเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมีผลทำให้การแยกชั้น ระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอรินเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรามาดฮาส (Ramadhas, A.S.; Jayaraj, S.; & Muraleedharan, C. 2005 : 335 - 340) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการ ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางที่มี กรดไขมันอิสระสูง จึงมีการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดยใช้ปฏิกิริยาสaponification แล้วนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอส เทอริฟิเคชัน โดยใช้ไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ไบโอดีเซลมีปริมาณสูงขึ้นและกลี เซอรินที่ได้มีการแยกชั้นอย่างชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อน นำไปสังเคราะห์กลีเซอริน โดยการทำปฏิกิริยาสaponification ซึ่งสามารถลดปริมาณกรดไขมัน อิสระจากร้อยละ 4.48 ± 0.02 ลงเหลือ ร้อยละ 1.26 ± 0.14 โดยน้ำหนัก (ตาราง 11) แล้วจึงนำ น้ำมันดังกล่าวมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก และเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ใช้โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์ 2 กรัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมทานอล 150 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศา เซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเค ชัน ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินดิบร้อยละ 67.98 ± 0.49 มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นเหม็น และพบว่า เมื่อใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอล 150 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการ สังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของกลีเซอรินดิบร้อยละ 58.64 ± 0.49 มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาลเข้มถึงดำ และมีกลิ่นเหม็น และจากการวิเคราะห์หา

แต่เมื่อใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ปฏิกิริยาเกิดน้อยมาก จนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากโดยธรรมชาติสับสเตรทของเอนไซม์ไลเปสจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นกรดไขมันโมเลกุลยาวที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งไลเปสจะเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ที่อยู่ระหว่างส่วนที่ไม่ละลายน้ำและส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ฉะนั้นไลเปสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เมื่อไตรกลีเซอไรด์อยู่ในสภาพ oil water interface (Jensen, R.G. 1983 : 650 - 657) ดังนั้นไลเปสจึงไม่ใช่เอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์ฟอสโฟไลปิด และโคเลอริลเอสเทอร์ ส่วนการย่อยสลายคาร์บอกซิลิกแอซิก เอสเทอร์ที่ละลายน้ำได้ปฏิกิริยาจะเป็นไปได้ช้ามาก (Macrae, A.R. 1983 : 291 - 294) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูชาร์ดและคนอื่นๆ (Schuchardt, U.; Sercheli, R.; & Vargas, R.M. 1998 : 199 - 210) ที่ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ และพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอนไซม์ไลเปสให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดและเบส และใช้เวลานานกว่า (Shah, S.; Sharma, S.; & Gupta, M.N. 2004 : 154 - 159)

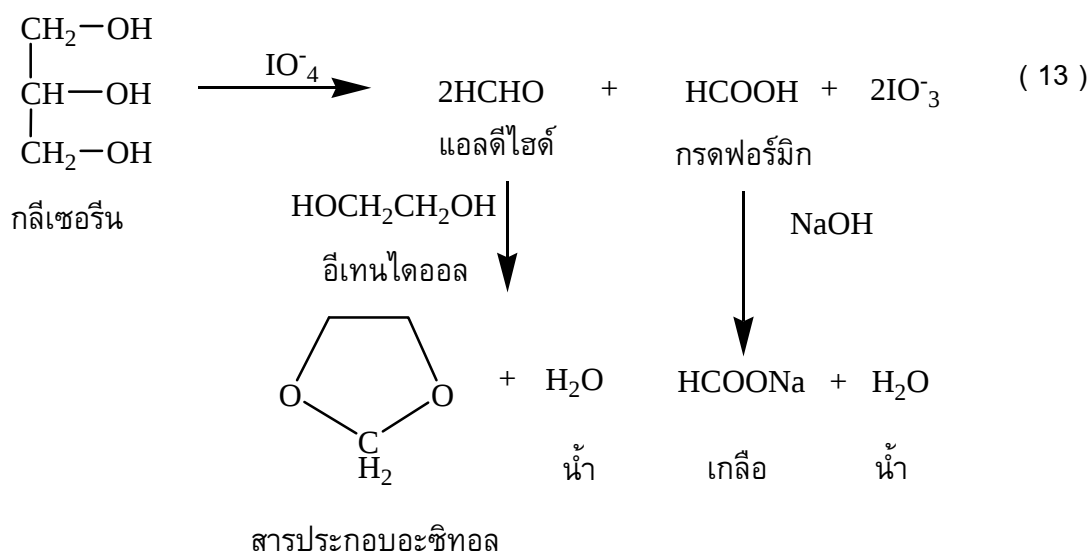
2. กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ตามวิธีต่าง ๆ

เนื่องจากกลีเซอรินดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะมีสิ่งปนเปื้อนคือ เมทานอล กรดไขมันและสารปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้สามารถละลายปนอยู่ในกลีเซอรินดิบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถทำกลีเซอรินดิบให้บริสุทธิ์ได้ด้วยกระบวนการต่างๆ คือ 1) การระเหยเมทานอล 2) การสกัดกรดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน และ 3) การกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอนไนด์ พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ปริมาณของกลีเซอรินดิบร้อยละ 67.27 ± 0.52 โดยน้ำหนัก เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการระเหยเมทานอลทำให้ได้ปริมาณของกลีเซอรินดิบ

สำหรับกลีเซอรินที่สังเคราะห์ได้จากการใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้มีปริมาณร้อยละ 67.00 ± 0.52 โดยน้ำหนัก เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการระเหยเมทานอลทำให้ได้ปริมาณของกลีเซอรินดิบร้อยละ 70.34 ± 0.45 โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินดิบ พบว่า พีคมีความสอดคล้องกับกลีเซอรินมาตรฐาน และยังพบพีคในช่วงเลขคลื่น $1500 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของหมู่คาร์บอกซิเลต แอนไอออนของกรดไขมันที่ยังตกค้างอยู่ แต่เมื่อผ่านกระบวนการกำจัดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซน กลีเซอรินดิบมีปริมาณสูงขึ้นถึงร้อยละ 82.14 ± 0.22 โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการศึกษาข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า พีคของหมู่คาร์บอกซิเลตแอนไอออนของกรดไขมันที่ตกค้างหายไป แสดงว่าไม่มีกรดไขมันตกค้างอยู่หรือมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก และเมื่อผ่านกระบวนการกำจัดสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ ที่อัตราส่วน 1:5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นถึงร้อยละ 95.98 ± 0.34 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอริน แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 337-2538 ส่วนกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้ดินเบนทอนิต์ในการกำจัดสี กลิ่น อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.03 ± 0.23 โดยน้ำหนัก

จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กลีเซอรินโดยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันในงานวิจัยนี้คือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งพิจารณาจากปริมาณของกลีเซอรินดิบที่ได้จากการสังเคราะห์ และเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์ร้อยละสูงกว่ากลีเซอรินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คิตา (คิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์. 2548 : 87) ที่ได้ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบ

สำหรับในขั้นตอนการแยกกรดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซนนั้น หลังจากการทำกลีเซอรินให้เป็นกลาง พบว่า เกิดชั้นอิมัลชันขึ้น เนื่องจากมีกรดไขมันทำหน้าที่เสมือนเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งแม้จะอยู่ในรูปที่เป็นกลาง อย่างไรก็ตามหลังจากที่ถูกสกัดด้วยเฮกเซนออกไปแล้วในครั้งแรก ปริมาณกรดไขมันที่ตกค้างในกลีเซอรินมีเพียงเล็กน้อย จึงไม่ทำให้เกิดชั้นอิมัลชันขึ้น ทั้งนี้เฮกเซนก็เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม หากพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากมีราคาถูก หาง่ายและมีอันตรายน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยนาง (ปิยนาง อินทกุล. 2547 : 66) ที่ได้ศึกษาตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการทำกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์พบว่า เฮกเซนและคลอโรฟอร์มมีประสิทธิภาพในการสกัดใกล้เคียงกัน แต่คลอโรฟอร์มมีอันตรายมากกว่า เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะมีผลต่อตับ ไต หัวใจ และทำให้เกิดมะเร็ง และคลอโรฟอร์มเป็นสารที่ถูกควบคุมโดยกระทรวงพาณิชย์ในการซื้อขาย (กรมการค้าต่างประเทศ. 2550 : online) และเมื่อนำกลีเซอรินที่ได้หลังผ่านขั้นตอนการแยกกรดไขมันที่ตกค้างออกด้วยเฮกเซนมาตรวจสอบหาปริมาณของกลีเซอรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 337-2538 พบว่า กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น สอดคล้องกับข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินตามตาราง 22 และสามารถแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการไทเทรตได้ดังสมการ 13



จากสมการ 13 จะเห็นว่ากลีเซอรินจะถูกออกซิไดซ์ด้วยเปอร์ไอโอเดตได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอลดีไฮด์และกรดฟอร์มิก จากนั้นเมื่อเติมอีเทนไดออลลงไปจะเกิดปฏิกิริยากับแอลดีไฮด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะซิโทลและน้ำ ซึ่งสารประกอบอะซิโทลนี้จะเสถียรเมื่ออยู่ในสารละลายเบสจึงไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นไทเทรนต์ ฉะนั้นในระบบกรดฟอร์มิกจึงเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือและน้ำ

สำหรับในขั้นตอนการกำจัดสี กลิ่น การเติมน้ำและเพิ่มอุณหภูมิกับกลีเซอรินก่อนการกำจัดสี กลิ่น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสี กลิ่น ได้ดีขึ้น เนื่องจากการเติมน้ำทำให้การแพร่ของสารที่จะดูดซับเข้าไปในรูพรุนของถ่านคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์เกิดได้ง่ายขึ้น และการอุ่นให้กลีเซอรินร้อนขึ้น ช่วยทำให้กลีเซอรินสามารถเคลื่อนที่เข้าไปที่พื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ได้มากขึ้น ประกอบกับความร้อนทำให้ผิวรูพรุนของสารดูดซับอาจมีการขยายตัวมากและกว้างขึ้นจึงสามารถจับสิ่งเจือปนต่างๆ จากกลีเซอรินที่เคลื่อนที่มาปะทะที่ผิวได้ดีขึ้น ในขณะที่เมื่อไม่เติมน้ำการดูดซับสีและกลิ่นแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย แม้จะทิ้งไว้เป็นเวลาหลายวัน สำหรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรินต่อสารดูดซับที่สามารถดูดซับกลิ่นได้ดีคือ อัตราส่วน 1:5 เนื่องจากให้ร้อยละปริมาณของกลีเซอรินสูงกว่า และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับระหว่างถ่านคาร์บอนกัมมันต์กับดินเบนทอไนต์ พบว่า สารดูดซับสี กลิ่น ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการดูดซับสี กลิ่น ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ข้อดีของการใช้ดินเบนทอไนต์จะให้ร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของกอนไซค์ และคนอื่นๆ (Gonzalez, P.E.; Villafranca, S.M.; & Gallego, C.A. 1993 : 213 - 216) ที่ได้ศึกษาการใช้ดินเบนทอไนต์ในการดูดซับสารผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอนจะพบว่า กลีเซอรินที่ได้มีปริมาณร้อยละความบริสุทธิ์สูงขึ้น ซึ่งในรายงานการวิจัยของนักวิจัยบางท่าน (ปิยนากู อินทนกุล. 2547 : 68) สามารถเตรียมกลีเซอรินให้มีความบริสุทธิ์สูงมากกว่านี้ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น วัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่าไขมันที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กลีเซอรินได้ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอล การกำจัดไขมันตกค้างออกด้วย เฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่น ทำให้ได้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 337-2538 อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการกำจัดของเสียและเพิ่มมูลค่าในทางเศรษฐศาสตร์ให้กับกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมได้อีกทางหนึ่ง

3. กระบวนการตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์ตามขั้นตอนต่างๆ ข้างต้นแล้ว ยังมีการตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโทเมตรีพบว่า กลีเซอรินที่ได้ทั้งจากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรากฏพีคของกรดไขมันอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับผลการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีมาตรฐาน AOCS. Official Method Ca 5a-40 พบว่า กลีเซอรินที่ได้จากมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00-0.01 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาคผนวก ข และสอดคล้องกับข้อมูลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของกลีเซอรินตามภาพประกอบ 18 ถึง 21 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไขมันที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม สามารถนำมาสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้ และเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ตามขั้นตอนต่างๆ ข้างต้น กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นและเป็นไปตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337 - 2538

4. ข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันที่ใช้ในการสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจะต้องมีค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระไม่สูงกว่า 0.5 โดยน้ำหนักของน้ำมัน จึงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีและให้ผลของผลิตภัณฑ์สูง
2. ควรมีการส่งเสริมนำวัตถุดิบน้ำมันจากแหล่งอื่นมาใช้ในการผลิตกลีเซอริน เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดของเสียและทำให้เกิดประโยชน์
3. ควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตให้สามารถนำเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้
4. ควรมีการพัฒนาขั้นตอนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์มากขึ้นถึง 99.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเป็นต้นแบบในการผลิตและเป็นการลดการนำเข้าของประเทศได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมการค้าต่างประเทศ. (2550). ยา เกสซ์เคมีภัณฑ์ เกลือของเกสซ์เคมีภัณฑ์ และเกสซ์เคมีภัณฑ์
 กิ่งสำเร็จรูป 16 รายการ (154 ชนิด). สืบค้นเมื่อ เมษายน 2550, จาก
[http://www.dft.moc.go.th/level4Frame.asp?sPage=the_files/\\$\\$8/level4/goods_411.html&level4=54](http://www.dft.moc.go.th/level4Frame.asp?sPage=the_files/$$8/level4/goods_411.html&level4=54).
- ก่อฤกษ์ เชียงว่อง และ วีระชัย โคตรคำหาร. (2545). การศึกษาเบื้องต้นการทำกลีเซอริน
 จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์. ปรินูญานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ:
 สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. (2545). พลังงานทดแทน เอทานอล และ
 ไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ: คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร.
- ครรรชิต จุตประสงศ์. (2543). การวิเคราะห์กรดไขมันโดยใช้ Packed Column และ Capillary
 Column. อาหาร. 30(2): 115 - 124.
- ณัฐกานต์ บุตรพงษ์พานิช และ ณรงค์ฤทธิ์ คงอยู่. (2548). การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิต
 ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ปิยนาง อินทนกุล. (2547). การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์.
 ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมปิโตรเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันพระจอม
 เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- พรรรัตน์ ประสิทธิ์กุล. (2542). การสังเคราะห์น้ำมันโค. กาญจนบุรี: โปรแกรมวิชาเกษตรศาสตร์
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.
- ภูธร เรืองยิ่ง. (2548). คุณสมบัติของไขมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูป
 เนื้อไก่สด และการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ: บริษัท เบ็ทเทอร์โปรดักส์
 แอนด์เทคโนโลยี จำกัด. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม
 ด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- มณฑล ธรรมวีระพงษ์ และ มณฑิรา ฮวดเจริญ. (2546). การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรด
 ไขมันในน้ำมันโคที่ผลิตในประเทศไทยด้วยเทคนิค GC. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ:
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- วรรณ ตังเจริญชัย และ วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. (2541). นมและผลิตภัณฑ์นม. กรุงเทพฯ:
 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์. (2548). การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแบบวิวิธพันธ์ของน้ำมัน
 เมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าว. ปรินูญานิพนธ์ วท.ม. (เคมีเทคนิค). กรุงเทพฯ:
 บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

- ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. (2543). *เคมีวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2538). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรินบริสุทธิ์: มอก. 337-2538*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุภาพ รมณีย์พิกุล. (2542). *เคมีวิเคราะห์*. พิษณุโลก: สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.
- สุธารักษ์ บุญโชติ; ผกามาศ ประยูนยง; และ ชาคritt ทองอุไร. (2546). การทำกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*. หน้า. 15 - 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- Ali, L. H.; et al. (1997). Comparison of Capillary Column Gas Chromatographic and AOAC Gravimetric Procedures for Total Fat and Distribution of Fatty Acids in Foods. *Food Chemistry*. 58(1-2): 149 - 160.
- American Oil Chemists' Society. (1990). Free Fatty Acids. In *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*. Edited by David Firestone. pp. 1 - 3. Illinois: American Oil Chemists Society.
- Association of Official Analytical Chemists, Inc. (1990). Methyl Esters of Fatty Acids in Oils and Fats Gas Chromatography Method. In *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Edited by Kenneth Helrich. pp. 964 - 965. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Ebiura, T.; et al. (2005). Selective Transesterification of Triolein with Methanol to Methyl Oleate and Glycerol Using Alumina loaded with Alkali Metal Salt as a Solid - Base Catalyst. *Applied Catalysis A : General*. 283: 111 - 116.
- Eckey, E. W. (1956). Esterification and Interesterification. (abstract). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 33(11): 575.
- Encinar, J. M.; et al. (2002). Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oil with Ethanol. (abstract). *Energy Fuels*. 16(2): 443.
- Freedman, B.; Pryde, E. H.; & Mounts, T. L. (1984). Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. (abstract). *Journal of American Oil Chemists' Society*. 61(10): 1638 - 1643.
- Gryglewicz, S. (1999). Rapeseed Oil Methyl Esters Preparation Using Heterogeneous Catalysts. *Bioresource Technology*. 70: 249 - 253.

- Gonzalez, P. E.; Villafranca, S. M.; & Gallego, C. A. (1993). Influence of the Physical-Chemistry Properties of an Acid-Activated Bentonite in the Bleaching of Olive Oil. (abstract). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 57(3): 213.
- Hazimah, A. H.; Ooi, T. L.; & Salmiah, A. (2003). Recovery of Glycerol and Diglycerol from Glycerol Pitch. *Journal of Oil Palm Research*. 15(1): 1 - 5.
- House, S. D.; et al. (1994). Gas Chromatographic Determination of Total Fat Extracted from Food Samples Using Hydrolysis in the Presence of Antioxidant. (abstract). *Journal of AOAC International*. 77(4): 960.
- Issariyakul, T.; et al. (2007). Production of Biodiesel from Waste Fryer Grease Using Mixed Methanol/Ethanol System. *Fuel Processing Technology*. 88: 429 - 436.
- Jensen, R. G. (1983). Detection and Determination of Lipase (Acylglcerol Hydrolase) Activity from Various Sources. (abstract). *Lipids*. 18(9): 650.
- Jitputti, J.; et al. (2006). Transesterification of Crude Palm Kernel Oil and Crude Coconut Oil by Different Solid Catalysts. *Chemical Engineering Journal*. 116: 61 - 66.
- Kim, H. J.; et al. (2004). Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst. *Catalysis Today*. 93 - 95: 315 - 320.
- Lee, K. T.; Foglia, T. A.; & Chang, K. S. (2002). Production of Alkyl Ester as Biodiesel from Fractionated Lard and Restaurant Grease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 79(2): 191 - 195.
- Lotero, E.; et al. (2005). Synthesis of Biodiesel Via Acid Catalysis. *Industrial Engineering Chemical Research*. 44(14): 5353 - 5363.
- Ma, F.; & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology*. 70: 1 - 15.
- Macrae, A. R. (1983). Lipase-Catalyzed Interesterification of Oils and Fats. (abstract). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 60(2): 291.
- McNair, H. M.; & Miller, J. M. (1998). Basic Gas Chromatography. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Meher, L. C.; et al. (2006). Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 10(3): 248 - 268.
- Mostafa, N. A. (2001). Production of Acetic Acid and Glycerol from Salted and Dried Whey in a Membrane Cell Recycle Bioreactor. *Energy Conversion and Management*. 42: 1133 - 1142.

- Odom, I. E. (1984). Smectite Clay Minerals: Properties and Uses. (abstract). *Philosophical Transactions of the Royal Society London*. A311: 391.
- Ooi, T. L.; et al. (2004). Glycerol Residue - A Rich Source of Glycerol and Medium Chain Fatty Acids. *Journal of Oleo Science*. 53(1): 29 - 33.
- Procida, G.; & Ceccon, L. (2006). Gas Chromatographic Determination of Free Fatty Acids in Olive Mill Waste Waters. *Analytical Chimica Acta*. 561: 103 - 106.
- Ramadhas, A. S.; Jayaraj, S.; & Muraleedharan, C. (2005). Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil. *Fuel*. 84: 335 - 340.
- Richardson, L. L. (1978). Use of Bleaching, Clays, In Processing Edible Oils. (abstract). *Journal of American Oil Chemists' Society*. 55(11): 777.
- Schuchardt, U.; Sercheli, R.; & Vargas, R. M. (1998). Transesterification of Vegetable Oils: a Review. *Journal of Brazil Chemists' Society*. 9(1): 199 - 210.
- Shah, S.; Sharma, S.; & Gupta, M. N. (2004). Biodiesel Preparation by Lipase-Catalyzed Transesterification of *Jatropha* Oil. *Energy Fuels*. 18(1): 154 - 159.
- Silverstein, R. M.; & Webster, F. X. (1998). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tomasevic, A. V.; & Siler-Marinkovic, S. S. (2003). Methanolysis of Used Frying Oil. *Fuel Processing Technology*. 81: 1 - 6.
- White, D. A.; Miyada, D. S.; & Nakamura, R. M. (1974). Characterization of the Periodate Oxidation of Glycerol and Related Compounds, and Application Toward Determination of Serum Triglyceride Concentrations. *Clinical Chemistry*. 20(6): 645 - 648.
- Wright, H. J.; et al. (1944,). A Report on Ester Interchange. (abstract). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 21(5): 145.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธีของ AOCS. Ca 5a - 40

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธีของ AOCS. Ca 5a - 40

1. สารเคมีที่ใช้

- 1) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N NaOH)
- 2) สารมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.1 นอร์มอล (0.1 N KHP)
- 3) เตรียมเอทานอลให้เป็นกลาง โดยการนำเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิเมตร แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 4 หยด ให้ความร้อนแล้วทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

ตาราง 34 น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน ปริมาตรของแอลกอฮอล์และความเข้มข้นของด่างที่ต้องใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของด่าง (นอร์มอล)
56.4 ± 0.2	50	0.1
28.2 ± 0.2	50	0.1
7.05 ± 0.05	75	0.25
7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
3.525 ± 0.001	100	1.0

2. วิธีการทดลอง

1. ตวงเอทานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำมันอยู่ 28.2 กรัม พร้อมกับสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน จำนวน 2 มิลลิลิตร
2. ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล เขย่าจนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

3. การคำนวณ

1. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการไทเทรตด้วยสารมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
 - 1.1 น้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.415 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิเมตร
 - 1.2 น้ำหนักสารมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 2.020 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

1.3 ไทเทรตสารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตาราง 35 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	9.52
2	9.50
3	9.55
เฉลี่ย	9.52

การคำนวณ หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\begin{aligned}
 \text{Mol NaOH} &= \text{Mol KHP} \\
 M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\
 M_1 (9.52) &= (0.1) (10) \\
 M_1 &= 0.105
 \end{aligned}$$

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.105 N

2. คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ \%} = \frac{V \times N \times 28.2}{M}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิเมตร)
 N คือ ความเข้มข้น NaOH (N)
 M คือ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน

ตาราง 36 สรุปค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ต่างๆ โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สถานะของกลีเซอริน	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ร้อยละกรดไขมันอิสระ
หลังการระเหยเมทานอล	6.76 ± 0.23	0.71 ± 0.44
ปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน	0.95 ± 0.54	0.10 ± 0.27
แช่ถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 °C	0.10 ± 0.01	0.01 ± 0.01
แช่ดินเบนทอนไนต์อุณหภูมิ 40 °C	0.10 ± 0.02	0.01 ± 0.02

หมายเหตุ จำนวนซ้ำการทดลองแต่ละสถานะเท่ากับ 5

ตาราง 37 สรุปค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ต่างๆ โดยใช้กรดซัลฟุริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สถานะของกลีเซอริน	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ร้อยละกรดไขมันอิสระ
หลังการระเหยเมทานอล	6.85 ± 0.54	0.72 ± 0.35
ปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน	1.23 ± 0.44	0.13 ± 0.32
แช่ถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 °C	0.10 ± 0.04	0.01 ± 0.04
แช่ดินเบนทอนไนต์อุณหภูมิ 40 °C	0.12 ± 0.07	0.01 ± 0.07

หมายเหตุ จำนวนซ้ำการทดลองแต่ละสถานะเท่ากับ 5

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กลีเซอรินบริสุทธิ์ มอก. 337-2538

การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล

1. สารเคมี

1.1 โพตัสเซียมไฮโดรฟทาเลต (potassium hydrogen phthalate) ที่แห้ง และมีคุณภาพ ใช้ทำบัฟเฟอร์ (Buffer) ได้

1.2 สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต (sodium periodate solution)

ละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต, NaIO_4 , ในน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดซัลฟริกความเข้มข้น 0.1 N จำนวน 120 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต โดยไม่ต้องใช้ความร้อน ถ้าสารละลายขุ่นให้กรองด้วยซินเตอร์กลาสครุชบีล ถ่ายใส่ขวดสีน้ำตาลพร้อมจุกแก้วปิดสนิท แล้วเก็บไว้ในที่มืด

1.3 สารละลายอีเทนไดออล (ethanediol solution)

ผสมอีเทนไดออลที่เป็นกลาง และปราศจากกลีเซอรอล 1 ส่วน กับน้ำกลั่น 1 ส่วน

1.4 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต (carbonate free sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

1.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 N

1.6 สารละลายกรดซัลฟริก ความเข้มข้น 0.2 N

1.7 โบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ (bromothymol blue Indicator)

สารละลายโบรโมไทมอลบลูที่แห้ง 0.1 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมล ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 16 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยการบดในโกร่ง ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2. เครื่องมือ

2.1 บิวเรต ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 เลนส์ขยาย สำหรับช่วยในการอ่านปริมาตรจากบิวเรต ให้อ่านได้ถึง 0.01 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3 ปีเปตขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

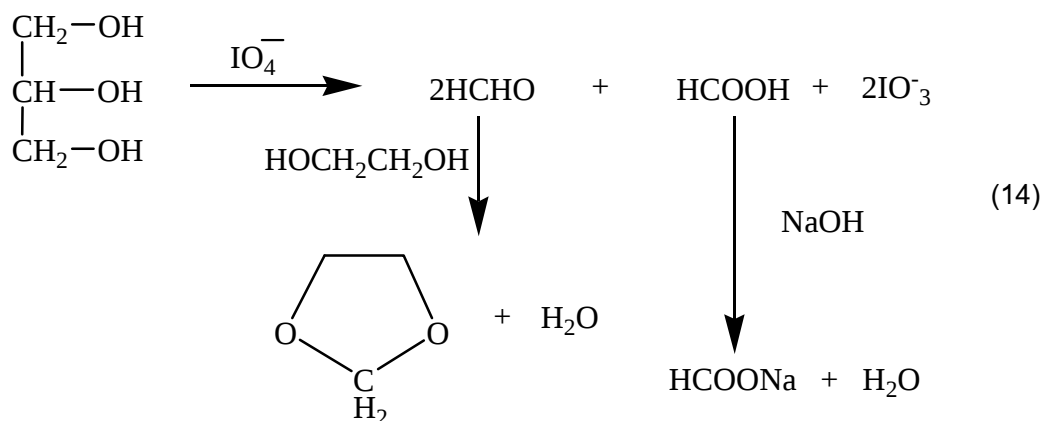
2.4 ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง

3. วิธีเตรียมตัวอย่าง

- 3.1 ชั่งกลีเซอรินตัวอย่างให้ได้น้ำหนักระหว่าง 0.50 กรัม
- 3.2 เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยดโบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5 ถึง 7 หยด แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 0.2 โมลต่อลิตร
- 3.3 ปรับสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลต่อลิตร
- 3.4 ทำแบบลงกโดยใช้ น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2 และ ข้อ 3.3
- 3.5 ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตมาครั้งละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลาย ตัวอย่างและแบบลงก แกว่งปิกเกอร์เบาๆ แล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกาตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายอีเทนไดออล 10 มิลลิลิตร แกว่งปิกเกอร์เบาๆ แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที
- 3.6 เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.125 โมลต่อลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเมื่อถึงจุดยุติ บันทึก ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จากบิวเรตให้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิลิตร

4. สมการเคมีที่เกี่ยวข้อง



5. วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณกลีเซอริน ร้อยละโดยน้ำหนัก} = 9.206 \times M \frac{(T_1 - T_2)}{W}$$

เมื่อ T_1 คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรด
กลีเซอรินตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

T_2 คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรด
แบลงก์ (มิลลิลิตร)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียม
เทียบเท่ากับ ความเข้มข้น 0.125 นอร์มอล

W คือ น้ำหนักของกลีเซอรินตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ค
คุณสมบัติของกลีเซอรินมาตรฐาน

Glycerine
Analytical Reagent

Description : clear , odourless , viscous liquid

	Min
Assay	99.0 % v/v
Colour (APHA)	10
Density@25° C)	1.2570
Maximum limits of impurities (per cent) :	
R.A.I	0.005
Neutrality	passes test
Cl cpds. (as Cl)	0.003
SO₄	0.001
H.M. (as Pb)	0.0002
Acrolein, glucose & ammonium cpds.	passes test
Ag reducing subs.	passes test
Fatty acid esters	passes test
Sub. Darkened by H₂SO₄	passes test
Water	0.5

ภาคผนวก ง

เครื่องมือ อุปกรณ์และกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์



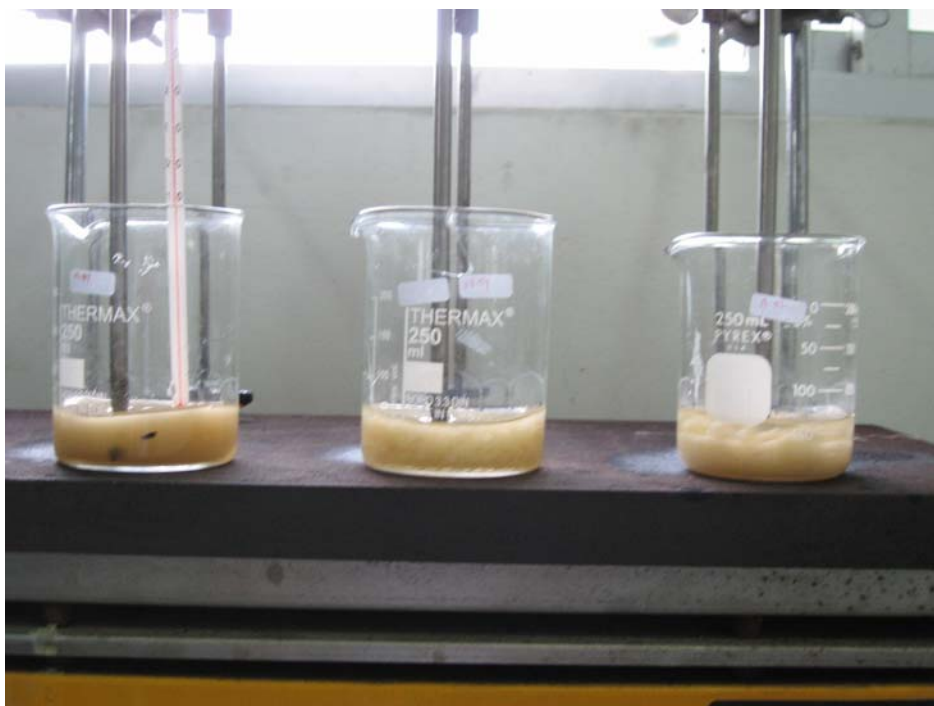
ภาพประกอบ 22 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890 N และ
Agilent Mass Selective Detector 5973N



ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม



ภาพประกอบ 24 น้ำมันที่สกัดได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม



ภาพประกอบ 25 การสังเคราะห์กลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ชุดเครื่อง
กวนเชิงกล ความเร็ว 115 รอบต่อนาที



ภาพประกอบ 26 กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอล โดยใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น
ตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 27 กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 28 กลีเซอรินที่เกิดจากการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการปรับสภาวะให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน



ภาพประกอบ 29 กลีเซอรินที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการปรับสภาวะให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน



ภาพประกอบ 30 กลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ได้จากการกำจัดสี กลั่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์



ภาพประกอบ 31 กลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ได้จากการกำจัดสี กลั่นด้วยดินเบนทอไนต์

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวณฐมน ดีปะติ
วันเดือนปีเกิด	18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 76/1 ตำบล โพน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46180
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน -	
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2535	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอมะนัง จังหวัดกาฬสินธุ์
พ.ศ. 2542	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จากสถาบันราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
พ.ศ. 2551	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร