

การแยกส่วนไขมันเปลง และคุณลักษณะของไส้กรอกหมูแฟรงเฟอเตอร์  
ที่ใช้ไขมันแยกส่วน

FRACTIONATION OF LEAF FAT AND CHARACTERISTICS OF PORK  
FRANKFURTERS CONTAINING FRACTIONATES

ศารรญา ปันเดลสุช  
SAWANYA PANDOLSOOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-AI-M-053-063

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแยกส่วนไขมันเป็ด และคุณลักษณะของไส้กรอกหมูแฟรงเฟอเตอร์  
ที่ใช้ไขมันแยกส่วน

FRACTIONATION OF LEAF FAT AND CHARACTERISTICS OF PORK  
FRANKFURTERS CONTAINING FRACTIONATES



ศวรรญา ปันดลสุข

SAWANYA PANDOLSOOK

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 76734  
วัน,เดือน,ปี..... - 6 S.ค. 2550

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL – 2007- AI – M – 053 - 063

**FRACTIONATION OF LEAF FAT AND CHARACTERISTICS OF PORK  
FRANKFURTERS CONTAINING FRACTIONATES**

**SAWAYA PANDOLSOOK**

**A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

**KMITL – 2007- AI –M – 053 - 063**

**COPYRIGHT 2007**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกส่วนไขมันเปว และคุณลักษณะของไส้กรอกหมูแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันแยกส่วน
นักศึกษา	ศวรรณา ปันคลสุข
รหัสประจำตัว	48068512
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล

### บทคัดย่อ

แยกส่วน ไขมัน หมูแบบ หลายชั้น ที่ อุณหภูมิ 40°C 30°C และ 25°C ตาม ลำดับ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ภายภาพของ ไขมันแยกส่วน และคุณลักษณะของ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้น้ำมันหมูแยกส่วน พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาตกผลึกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี ภายภาพของน้ำมัน และไขมันแยกส่วน การแยกส่วนมีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในน้ำมันแยกส่วนประมาณที่ 2.44% ( $p \leq 0.05$ ) กรดไขมันหลักในน้ำมันหมู ไขมัน และน้ำมันแยกส่วน ได้แก่ โอเลอิก (C18:1) ลิโนเลอิก (C18:2) สเตียริก (C18:0) ปาล์มมิติก (C16:0) พามิโตโอเลอิก (C16:1) ลิโนเลนิก (C18:3) และไมริสติก (C14:0) ตามลำดับ

ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม (COM) และไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C (SLF40) และ 30°C (SLF30) ทดแทนมันแข็งในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน องค์ประกอบทางเคมีของ COM มีความชื้นเท่ากับ  $58.84 \pm 0.08\%$  โปรตีน  $15.09 \pm 0.21\%$  ไขมัน  $18.17 \pm 0.30\%$  และเถ้า  $2.18 \pm 0.13\%$  ตามลำดับ การทดแทนมันแข็งในไส้กรอกด้วยน้ำมันแยกส่วนมีผลต่อการเพิ่มของปริมาณไขมัน และความชื้น ขณะที่พบการลดลงของปริมาณโปรตีน ( $p \leq 0.05$ ) ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ SLF40 น้อยกว่าของ COM ขณะที่ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าของ COM ( $p \leq 0.05$ ) การทดแทนมันแข็งในไส้กรอกด้วยน้ำมันแยกส่วนไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียขณะหุงต้มไส้กรอก ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชัน ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน มีสีอ่อนกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ( $p \leq 0.05$ ) ผลิตภัณฑ์ COM มีเนื้อสัมผัสด้าน hardness, gumminess และ chewiness สูงกว่า ผลิตภัณฑ์ SLF40 และ SLF30 ตามลำดับ ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ( $n = 9$ ) ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส และความชอบต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ SLF40 และ SLF30 มีการแยกตัวของน้ำมันมากกว่าผลิตภัณฑ์ COM ( $p \leq 0.05$ ) คุณภาพของเนื้อสัมผัสโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า hardness และ

chewiness ของผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับผลที่ได้จากการประเมินด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบชอบไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C มากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ( $p \leq 0.05$ ) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอก พบการกระจายตัวของเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันของไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน มีความสม่ำเสมอมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่กระจายตัวใน โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ COM สนิบสนุนค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ COM ที่สูงกว่า SLF40 และ SLF30 ( $p \leq 0.05$ )

การปรับอัตราส่วนของส่วนผสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 20 ไม่พบความแตกต่าง ( $p \geq 0.05$ ) ขององค์ประกอบทางเคมีในไส้กรอกทั้ง 4 สูตร ไส้กรอกสูตรควบคุม (CONT) มีความชื้นสูงที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) การทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วน ไม่มีผลกระทบต่อ ค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชันจากการประเมินเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ COM และผลิตภัณฑ์ CONT มีเนื้อสัมผัสด้าน hardness, gumminess และ chewiness สูงกว่าผลิตภัณฑ์ SLF40 และผลิตภัณฑ์ SLF30 ( $p \leq 0.05$ ) ค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส เมื่อทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบ ( $n = 9$ ) ชอบไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง (COM) และมันเปลว (CONT) ( $p \leq 0.05$ )

<b>Thesis Title</b>	Fractionation of Leaf Fat and Characteristics of Pork Frankfurters Containing Fractionates
<b>Student</b>	Miss Sawanya Pandolsook
<b>Student ID.</b>	48068512
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2007
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Wanna Tungjaroenchai
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Jutarat Sethakul

### ABSTRACT

Multiple fractionations of lard at crystallization temperatures of 40°C, 30°C and 25°C with a controlled agitation rate of 10 rpm were conducted. Physical and chemical properties of lard fractionate and characteristics of frankfurters containing liquid fractionate at the temperatures of 40°C (SLF40), and 30°C (SLF30) were investigated. Both temperature and time of lard crystallization influenced physical and chemical properties of fractionates. Increases in concentrations of unsaturated fatty acids compositions and decreases in concentrations of saturated fatty acids by an average of 2.44% ( $p \leq 0.05$ ) were results of the fractionations. Major fatty acid compositions of lard and fractionates were oleic acid (C18:1), linoleic acid (C18:2), stearic acid (C18:0), palmitic acid (C16:0) palmitoleic acid (C16:1), linolenic acid (C18:3) and myristic acid (C14:0).

Average compositions of frankfurters containing back fat (commercial, COM), or equal weight of liquid fractionates (SLF40 and SLF30) were  $58.84 \pm 0.08\%$  moisture,  $15.09 \pm 0.21\%$  proteins,  $18.17 \pm 0.30\%$  fats, and  $2.18 \pm 0.13\%$  ash, respectively. Replacement of back fat with liquid fractionates significantly increased in fat, but decreased in moisture and protein contents in frankfurters. In addition, SLF40 contained lower concentrations of saturated fatty acids than that of COM ( $p \leq 0.05$ ). Meanwhile the former products had higher concentrations of unsaturated fatty acids than that of COM ( $p \leq 0.05$ ). Back fat replacement of frankfurters did not have any impact on a cooking loss, water holding capacity and emulsion stability of the products ( $p \leq 0.05$ ). The frankfurters containing oil fractionates were lighter in red color than the commercial. COM product had higher texture profile analysis (TPA) of hardness, gumminess, and chewiness values

than those of SLF40 and SLF30 ( $p \leq 0.05$ ). Descriptive sensory analysis by trained panelists ( $n = 9$ ) indicated higher oil separation in meat emulsions of SLF40 and SLF30, than that of the control ( $p \leq 0.05$ ). Sensory qualities of chewiness and hardness of the products corresponded to that of the TPA. The panelists ( $n = 9$ ) preferred the frankfurters containing oil fractionates to the control ( $p \leq 0.05$ ). SEM micrographs illustrated uniform dispersion of fat globules in meat emulsions containing the oil fractionates. Connective tissues distributed in the microstructures of the commercial meat emulsion supported the higher TPA values of the COM than those of the SLF40 and SLF30 ( $p \leq 0.05$ ). Results obtained from the microstructure and textural studies could make a better understanding of sensory quality of frankfurters when traditional fat ingredient was modified.

No difference in chemical compositions among the commercial frankfurter (COM), or a control containing leaf fat (CONT), or SLF40, or SLF30 products, as each formulation was standardized to a 20% of final fat content. The control had higher moisture content than the others ( $p \leq 0.05$ ). Back fat replacement did not have any impact on cooking loss, water holding capacity and emulsion stability of frankfurters. Texture profile analysis (TPA) of frankfurters showed that the commercial and the control had higher hardness, gumminess and chewiness values than those of SLF40 and SLF30 ( $p \leq 0.05$ ). The instrumental quality of texture corresponded to that of the sensory analysis. The panelists ( $n = 9$ ) preferred the frankfurters containing oil fractionates to those of the commercial or the control ( $p \leq 0.05$ ).

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการดูแล เอาใจใส่ คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาของ รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ประภาพร ขอไพบูลย์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. กนกอร อินทราพิเชษฐ อาจารย์สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สละเวลาอันมีค่ามาร่วมเป็นกรรมการพิจารณาในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ณัฐนรากร จันทร์ธิมาน นักวิชาการสัตวบาล สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความช่วยเหลือในการผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณประวิทย์ สันติวัฒนา กรรมการบริหาร บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง GC-FID สำหรับการวิเคราะห์หากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ และคุณจิตตินันท์ ม่วงจิน เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ ของบริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด ที่คอยดูแล ให้คำแนะนำ และให้ความรู้ตลอดระยะเวลาวิเคราะห์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ชาย ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ในการเรียน คอยให้คำปรึกษาที่ดี และคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ จากความช่วยเหลือของทุกท่านที่กล่าวมา จึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สำหรับคุณค่า และประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศวรรณา ปันคลสุข

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....I	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III	III
กิตติกรรมประกาศ.....V	V
สารบัญ.....VI	VI
สารบัญตาราง.....IX	IX
สารบัญภาพ.....X	X
บทที่ 1 บทนำ.....1	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย.....1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2	2
บทที่ 2 บทตรวจเอกสาร.....3	3
2.1 ทฤษฎี และรายงานวิจัย.....3	3
2.1.1 ไขมัน.....3	3
2.1.2 การแยกส่วน.....4	4
2.1.3 ไล้กรอก.....9	9
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....14	14
3.1 วัตถุประสงค์.....14	14
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....14	14
3.2.1 เครื่องมือการแยกส่วน.....14	14
3.2.2 เครื่องมือผลิตไล้กรอกเฟรงเฟอเตอร์.....15	15
3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพของไขมัน น้ำมันสุกรแยกส่วน และคุณภาพของไล้กรอกเฟรงเฟอเตอร์.....15	15
3.3 วิธีการทดลอง.....15	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล.....23	23
4.1 คุณสมบัติไขมันสุกร.....23	23

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2. ระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็งจากการแยกส่วน แบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 40, 30 และ 25 °C ด้วยอัตราการกวนคงที่ 10 rpm.....	24
4.2.1 ระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็งที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40 °C.....	24
4.2.2 ระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็งที่อุณหภูมิ ตกผลึก 30 °C.....	26
4.2.3 ระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็งที่อุณหภูมิ. ตกผลึก 25 °C.....	27
4.3 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันแยกส่วน.....	30
4.4 การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรทดแทนมันแข็งด้วย ไขมันแยกส่วนในอัตราส่วน โดยน้ำหนักเท่ากัน.....	36
4.4.1 องค์ประกอบทางเคมี.....	36
4.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	39
4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส.....	40
4.4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	41
4.4.5 โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....	45
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรไขมันร้อยละ 20.....	47
4.5.1 องค์ประกอบทางเคมี.....	47
4.5.2 องค์ประกอบทางกายภาพ.....	48
4.5.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส.....	49
4.5.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	53
บรรณานุกรม.....	55

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	64
ภาคผนวก ค.....	65
ภาคผนวก ง.....	66
ภาคผนวก จ.....	76
ภาคผนวก ฉ.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	90

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันจากไขมันสุกร.....4
2.2	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมัน และไขมันชนิดต่างๆ.....11
3.1	ส่วนผสมของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....20
3.2	คำศัพท์ และคำจำกัดความที่ใช้สำหรับการทดสอบไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....21
4.1	คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันจากมันเปลว.....24
4.2	ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40°C อัตราการกวน 10 rpm.....25
4.3	ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30°C อัตราการกวน 10 rpm.....27
4.4	คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันเหลว และไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วน ด้วยอุณหภูมิค่าแบบหลายชั้นที่เวลาต่างๆ.....31
4.5	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันสุกร น้ำมัน และไขมันแยกส่วนแบบ หลายชั้นที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C .....34
4.6	องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....37
4.7	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ .....38
4.8	ลักษณะทางกายภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....40
4.9	ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....41
4.10	ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....42
4.11	ผลการทดสอบความชอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....44
4.12	องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....47
4.13	ลักษณะทางกายภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....48
4.14	ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....49
4.15	ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....50
4.16	ผลการทดสอบความชอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์.....52

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ผังแสดงแยกส่วนไขมัน (a.) การแยกส่วนแบบชั้นเดียว (b.) การแยกส่วนแบบหลายชั้น.....7
2.2	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมัน และไขมันชนิดต่างๆ.....11
3.1	ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ 25°C.....16
3.2	การแยกส่วนแบบหลายขั้นตอน ที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ 25°C.....17
4.1	การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 40°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-120 นาที.....25
4.2	การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 30 °C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-150 นาที .....26
4.3	การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 25 °C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-290 นาที.....28
4.4	น้ำมันสุกร.....29
4.5	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง.....29
4.6	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง.....29
4.7	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง.....29
4.8	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง.....29
4.9	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง.....29
4.10	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง.....29
4.11	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง.....30
4.12	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง.....30
4.13	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง.....30
4.14	การทำเย็นไขมันสุกรที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง.....30
4.15	น้ำมันหมูก่อนผ่านกระบวนการแยกส่วน และส่วนของไขมันเหลวที่ได้จาก การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C และ 30 °C.....35
4.16	น้ำมันหมูก่อนผ่านกระบวนการแยกส่วน และส่วนของไขมันแข็งที่ได้จาก การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C และ 30 °C.....35

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 Scanning Electron Micrographs ของไส้กรอกเฟรนช์เฟอเดอร์ที่กำลังขยาย 15 kV.....	46
ก1 ชุดเครื่องแยกส่วนไขมัน.....	63
ก2 ถึงสแตนเลส 2 ชั้น สำหรับคกผลึก และใบกวนสแตนเลสรูปถ้วย.....	63
ข1 ลักษณะของไส้กรอกเฟรนช์เฟอเดอร์ สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน.....	64
ข2 ลักษณะของไส้กรอกเฟรนช์เฟอเดอร์ สูตรไขมันร้อยละ 20.....	64
ค1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	65
ค2 SEM specimen.....	65
จ1 โครมาโตแกรมองค์ประกอบกรดไขมันของกรดไขมันมาตรฐาน.....	75
จ2 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมู.....	76
จ3 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C (LF40) .....	77
จ4 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C (SF40) .....	78
จ5 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30°C (LF30) .....	79
จ6 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30°C (SF30) .....	80
จ7 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกทางการค้า.....	81
จ8 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกที่ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40 °C.....	82

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากเนื้อหมู เนื่องจากมีรสชาติอร่อย มีให้บริโภคได้ตลอดทั้งปี และราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ประเภทอื่น ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตหมูในประเทศไทยขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งสามารถส่งออกเนื้อหมู และผลิตภัณฑ์ไปต่างประเทศได้อีกด้วย พบว่า ในปี พ.ศ. 2548 มูลค่าการส่งออกหมู และผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2547 ถึง 417,538,234 บาท อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์เป็นอุตสาหกรรมที่ต่อยอดมาจากอุตสาหกรรมการผลิต และชำแหละเนื้อหมู อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ส่งผลให้เกิดผลพลอยได้ (by-product) ตลอดจนของเหลือใช้จากโรงงานชำแหละ เช่น กระดูก หนัง เลือด เครื่องใน และไขมันสัตว์ โรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์มีความต้องการนำผลพลอยได้ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ เช่น นำมันแข็งของหมูมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น การทำไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ ซึ่งมีส่วนผสมของไขมันเป็นส่วนประกอบถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผู้บริโภคมีความวิตกในเรื่องของการบริโภคกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีอยู่ในไขมันสัตว์ในปริมาณที่สูง ประกอบด้วยมันเปลวเป็นส่วนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยที่สุดจึงทำให้มีเหลือตกค้างในกระบวนการผลิตในปริมาณสูง จึงมีแนวความคิดที่จะนำส่วนของมันเปลวมาเพิ่มมูลค่า และการใช้ประโยชน์ให้มากยิ่งขึ้น และเนื่องจากไขมันหมูมีองค์ประกอบของกรดไขมันจำนวนมากที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้นจึงควรที่จะได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอาหารส่วนแนวทางการแก้ปัญหาปริมาณไขมันสัตว์ที่ไม่เป็นที่ต้องการ คือ การนำไขมันไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่พยายามจะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเหลือใช้ดังกล่าว

การแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ เป็นกระบวนการคัดแปรคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน และไขมัน ทำให้น้ำมัน หรือไขมันแยกส่วนที่ได้มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป กระบวนการนี้สามารถเพิ่มปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่จำเป็นในน้ำมัน และคัดแปรสมบัติทางกายภาพของไขมันโดยเปลี่ยนน้ำมันให้อยู่ในสภาพกึ่งแข็งกึ่งเหลว (semisolid) หรือของแข็ง (solid fats) หรือ เพื่อกำจัดองค์ประกอบบางชนิดที่มีอยู่ในน้ำมัน เช่น ไข (wax) ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการแยกส่วน คือ โอลีน ในส่วนของไขมันเหลว (liquid fraction) และสเตียริน ในส่วนของไขมันแข็ง (solid fraction) (Rajah and Moran, 1994; Hamm, 1995)

ปัจจุบันยังไม่พบรายงานวิจัยถึงการใช้ประโยชน์จากไขมันแยกส่วนในประเทศไทย แนวคิดที่จะนำเอาไขมันเหลวแยกส่วนจากมันปลามาใช้ทดแทนมันแข็งในการผลิตไส้กรอก แพรงเฟอเตอร์เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จึงเป็นเรื่องที่ควรได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นไส้กรอกเพื่อสุขภาพต่อไป (functional frankfurter)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 แยกส่วนมันปลอบแบบหลายชั้น ที่อุณหภูมิ 40°C 30°C และ 25°C
- 1.2.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณลักษณะของไขมันหมูที่แยกส่วน
- 1.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนทดแทนมันแข็ง และศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
- 1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางของการเพิ่มมูลค่าให้กับมันปลอบ

## บทที่ 2

### บทตรวจเอกสาร

#### 2.1 ทฤษฎี และรายงานวิจัย

##### 2.1.1 ไขมัน

ไขมัน คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ที่เป็นเอสเทอร์ระหว่าง กลีเซอรอล 1 โมล กับกรดไขมัน 3 โมล กรดไขมันอาจเป็นชนิดเดียวกัน หรือ ต่างชนิดกัน ไขมันจากพืชที่นำมาใช้เป็นอาหาร ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่ว และน้ำมันรำ และไขมันจากสัตว์ ได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันปลา ไขวัว และ เนย ไขมันในอาหารจึงเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น และวิตามินที่ละลายในไขมัน รวมทั้งเป็นแหล่งพลังงานให้ร่างกาย

น้ำมันหมู (lard) ได้จากการเจียวเนื้อเยื่อไขมัน หลายประเภท เช่น มันแข็งบริเวณสันหลัง (back fat) มันเปลว (leaf fat) มันร่างแห (cauls fat) มันบริเวณไหล่ (shoulder fat) มันบริเวณคอ (neck fat) มันกรูบ (raffle fat) และมันจากเนื้อสามชั้น (belly trimming) เศษไขมันตกแต่งจากส่วนต่างๆ รวมถึงหู หาง และอวัยวะภายใน น้ำมันหมูที่เจียวจากเนื้อเยื่อไขมันที่มีคุณภาพดี เรียกว่า lard ส่วนน้ำมันหมูที่เจียวมาจากวัตถุดิบหลายๆ อย่างผสมกันเรียกว่า rendered pork fat เนื้อเยื่อไขมันแต่ละส่วนให้ปริมาณน้ำมันแตกต่างกันออกไป (O'Brien, 1998) มันแข็งเป็นเนื้อเยื่อไขมันที่นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด ไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมันภายในตัวสัตว์ เช่น ไขมันที่หุ้มอวัยวะภายในตัวสัตว์ และมันเปลว มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า มีความคงตัวดีกว่าไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมันภายนอก เช่น ไขมันสันหลัง ไขมันบริเวณไหล่ และไขมันบริเวณคอ ไขมันหมูจากตำแหน่งที่ต่างกันของตัวสัตว์จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น มันแข็ง ประกอบด้วย ความชื้น 13.2% โปรตีน 4.2% ไขมัน 82.7% และเถ้า 0.1% มันสามชั้น ประกอบด้วย ความชื้น 32.3% โปรตีน 6.0% ไขมัน 60.7% และเถ้า 0.4% และมันเปลว ประกอบด้วย ความชื้น 16.3% โปรตีน 1.8% ไขมัน 81.9% และเถ้า 0.1% เป็นต้น (Shirsat *et al.*, 2004; Brown *et al.*, 1955)

ไขมันบริโภคที่ดีไม่ควรพบเอนไซม์ไลเปส (lipase) ทั้งนี้เพราะไลเปสในไขมันจะไฮโดรไลซ์ไขมันให้แตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล ไขมันคุณภาพดีควรมีกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 0.5 ในรูปของกรดโอเลอิก ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดกรดไขมันอิสระได้โดยสกัดไขมันจากเนื้อเยื่อไขมันให้เร็วที่สุด ควรใช้อุณหภูมิของการสกัดมากกว่า 60°C เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว แต่ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินไป หรือใช้เวลานานในการสกัดนานเกินไป เพราะ น้ำมันที่ได้จะมีสีค้ำคล้ำ มีกลิ่นไหม้ และทำให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก นิธิยา (2548) แสดงคุณลักษณะสำคัญของน้ำมันจากไขมันสุกรดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากไขมันสุกร

จุดหลอมเหลว (°C)	33-45
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (ที่ 40°C ต่อหน้าที่ 25°C)	0.896-0.904
ค่าการหักเหของแสง (40°C)	1.448-1.460
ไคเตอร์ (°C)	32-45
ค่าซาปอนิฟิเคชัน (Saponification)	192-203
ค่าไอโอดีน (Iodine value) โดย Wijs solution	45-70
สารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยค่าสูงสุด (กรัม / กิโลกรัม)	10
ปริมาณกรดอิสระสูงสุด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	1.3
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (มิลลิสมมูล / กิโลกรัม)	10
ปริมาณคอเลสเทอรอล (มิลลิกรัมคอเลสเทอรอล / 100กรัมน้ำมัน)	100

ที่มา: นิธิยา (2548)

คุณสมบัติของน้ำมัน และไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบภายใน โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่ เช่น จุดหลอมเหลวของไขมัน และน้ำมัน ซึ่งจะสูง หรือต่ำ ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนใน โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวลดลงเมื่อกรดไขมันมีจำนวนพันธะคู่ลดลง การหักเหของแสงของไขมัน สามารถชี้บ่ง และตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันได้ ความแตกต่างของการหักเหแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ ค่าการหักเหแสงจึงมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีน ซึ่งสามารถบอกถึงความอึดตัวและไม่อึดตัวของไขมันได้ โดยทั่วไปไขมันสัตว์มีค่าไอโอดีนน้อยกว่า 70 ขณะที่ไขมันจากพืชมีค่าไอโอดีน มากกว่า 100 นอกจากนี้ค่าการหักเหแสงยังสามารถใช้ติดตามปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ได้อีกด้วย (Triebold and Aurand, 1967) ค่าซาปอนิฟิเคชัน (saponification; SN) เป็นค่าที่ใช้ชี้บ่งถึงขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน ไขมันที่มีค่า SN สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (นิธิยา, 2539)

### 2.1.2 การแยกส่วน

การแยกส่วนเป็นกรรมวิธีการดัดแปรไขมันทางกายภาพ เพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ และสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Rajah and Moran, 1994) สามารถแบ่งวิธีการแยกส่วนได้ 3 วิธี ได้แก่

1) การตกผลึกไขมันโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (dry fractionation) เป็นวิธีการแยกส่วนไขมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภค เนื่องจากใช้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยน้ำมันต่ำที่สุด เป็นกรรมวิธีการผลิตไม่ซับซ้อน และเป็นวิธีที่ใช้กันมานาน (สุมาลัย และคณะ, 2532; Bussey *et al.*, 1981; Kaylegian and Lindsay, 1994; Hamm, 1995) การตกผลึกด้วยอุณหภูมิต่ำอาศัยเทคนิคการหลอมเหลว และให้ความเย็นกับไขมันเพื่อให้เกิดการตกผลึก และทำการแยกส่วนไขมันแข็ง และไขมันเหลวออกจากกัน ไตรกลีเซอไรด์ประกอบไปด้วยกรดไขมันแตกต่างกัน เช่น กรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว และสายโซ่สั้น ทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพที่แตกต่างกัน ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกก่อนเป็นของแข็งก่อน เรียกว่า สเตอริน (stearins) และ ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะตกผลึกออกมาช้ากว่า เป็นส่วนเหลว เรียกว่า โอเลอิน (oleins) การแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถแยกได้หลายครั้ง เพื่อทำให้ไขมัน และน้ำมันมีคุณภาพแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะทางได้ง่ายขึ้น การแยกส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง คุณภาพแล้ว 2 ขั้นตอน ทำให้ได้ซูเปอร์โอเลอินที่สามารถเก็บได้นานกว่า 200 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (Hamm, 1995; Deffense, 1985) สุมาลัย และคณะ (2532) ศึกษาสภาวะการตกผลึก และสภาวะการกรอง ที่เหมาะสมในการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม Dimick *et al.* (1996) แยกส่วน anhydrous milk fat แบบ 2 ขั้นตอน ได้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง เหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำขนมอบ และผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลต ไขมันที่มีจุดหลอมเหลว ปานกลาง สามารถนำไปใช้ได้ ในอุตสาหกรรมการผลิตขนมขบเคี้ยว เคลือบซ็อกโกแลต และใส่ในน้ำมันเพื่อให้กลิ่นเนย และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ นำไปทดแทนไขมันนม Chiu *et al.* (2002) แยกส่วนไขมันไก่ที่อุณหภูมิ 10°C เพื่อนำส่วนไขมันแข็งไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบได้ เช่น มาการีนสำหรับพัฟ (puff-pastry) และซูเปอร์ช็อคโกแลต และนำส่วนของไขมันเหลวใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอด ขณะที่ Marikkar *et al.* (2002) ใช้คุณสมบัติของ ไขมันที่ตอบสนองต่อความร้อน และความเย็น ในการตรวจจับการปลอมปนของ ไขมันหมู ไขมันวัว และไขมันไก่ ใน Canola oil สลิมา (2547) ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมันไก่ที่ได้จากแยกส่วนแบบหลายขั้น Yang *et al.* (2003) ดัดแปรมันหมูแข็งด้วยไลเปส เพื่อผลิตไขมันทดแทนไขมันนมคน

2) การตกผลึกไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent fractionation) เป็นวิธีแยกส่วนโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิ เช่น อะซิโตน (acetone) เฮกเซน (hexane) ไอโซโพรพานอล (isopropanol) หรือ 2-โพรพานอล (2-propanol) โดยละลายน้ำมันในตัวทำละลายในอัตราส่วนที่แน่นอนแล้วนำไปทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ จนตกผลึก กรองแยกส่วนไขมันแข็ง ออกจากไขมันเหลว แล้วล้างผลึกด้วยตัวทำละลายที่เย็น นำทั้งสองส่วนไปกลั่นแยกตัวทำละลายออก การใช้ตัวทำละลายในการตกผลึกทำให้ไขมันเจือจางลง และเกิดการแยกส่วนที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าเมื่อไม่ใช้ตัวทำละลาย สามารถแก้ปัญหาคากรองที่เกิดจากการที่น้ำมันมีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำอีกด้วย

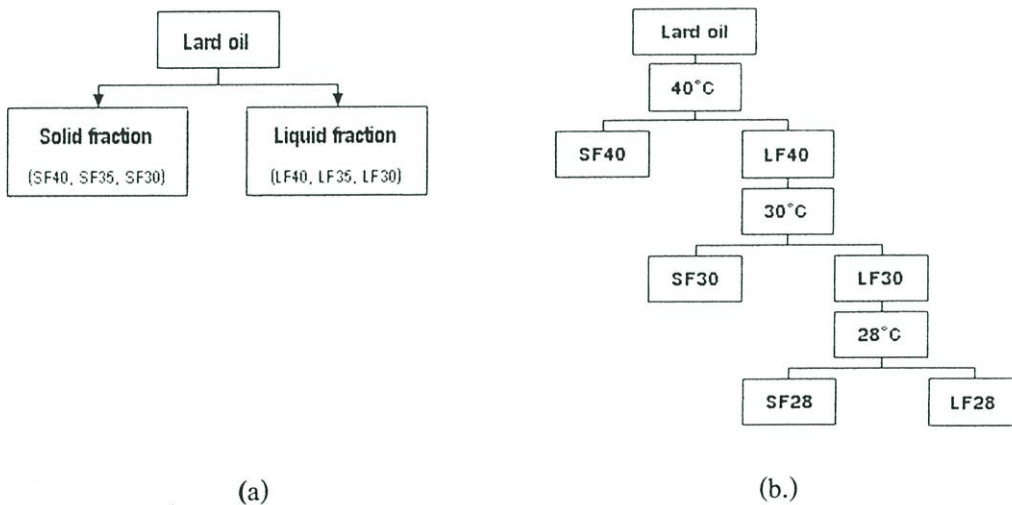
Yang *et al.* (1992) แยกส่วนไขมันจากเครื่องในปลาหมึกด้วยอะซิโตน เฮกเซน และตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และเฮกเซน เพื่อเพิ่มปริมาณ EPA (Eicosapentaenoic acid) และDHA (Docosahexaenoic acid) ในไขมันแข็ง ก่อนนำมาผสมในมาการีน Pal *et al.* (2000) แยกส่วนไขมันเนย ด้วยไอโซโพรพานอล ที่อุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 30°C เพื่อศึกษาคุณลักษณะองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติการหลอมเหลวของไขมันเนยแต่ละส่วน Jeyarani and Reddy (2001) แยกส่วนไขมัน Paradise Tree (*Simarouba glauca*) ซึ่งเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งของอินเดีย ด้วยอะซิโตน เพื่อผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ และแยกส่วนไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango kernel fat) ด้วยการแยกส่วนแบบใช้ตัวทำละลาย 2 ครั้ง Hashimoto *et al.* (2001) พัฒนาวิธีการแยกส่วนไขมันปาล์มแบบหลายขั้นด้วยอุณหภูมิต่ำในขั้นแรก และแยกส่วนขั้นที่สองด้วย อะซิโตน เพื่อให้ได้ไขมันปาล์มที่หลอมละลายเร็ว และใช้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต Tasioula-Margari *et al.* (1996) ตกผลึกไขมันของน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดทานตะวัน โอเลอินสูง น้ำมันมะกอก และน้ำมันถั่วเหลือง ภายหลังการทอด ด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเมธานอล และอะซิโตน เพื่อนำไปวิเคราะห์หา OTG (Oligomeric- triacylglycerol) ซึ่งเป็นสารที่มีขี้ผึ้งที่เกิดในน้ำมันหลังทอด และใช้เป็นค่าบอกระดับการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน Foglia *et al.* (2000) ได้จดสิทธิบัตรกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่ด้วยตัวทำละลาย เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และเชิงซ้อน

3) การตกผลึกไขมันโดยใช้ดีเทอร์เจนท์ (detergent fractionation) เป็นวิธีการแยกส่วนไขมันที่มีหลักการคล้ายกับการใช้อุณหภูมิต่ำ แต่จะใช้สารลดแรงตึงผิว (surface active agent) หรือสารทำให้เปียก (wetting agent) เช่น โซเดียมโคเคซิลซัลเฟต (SDS) แมกนีเซียมซัลเฟต ก่อนทำการแยกผลึกไขมัน (Kreulen, 1976) อาจเติมดีเทอร์เจนท์ที่เป็นของแข็ง หรือ สารละลาย และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียมซัลเฟต เพื่อเพิ่มการดูดซับดีเทอร์เจนท์ที่ผลึกไขมัน ในน้ำมันต้องมีสารลดแรงตึงผิวในปริมาณ และความเข้มข้นมากพอที่จะจับที่ผิวของผลึก ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะทำให้ลดการสูญเสียโอเลอินขณะกรองได้ (Glassner and Grulke, 1986; Hamm, 1995) Bussey *et al.* (1981) แยกส่วนไขมันวัวด้วยสารลดแรงตึงผิว (sodium dodecyl sulfate; SDS) ร่วมกับสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เพื่อให้ได้ไขมันแยกส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตเนยขาว ไขมันทดแทนไขมันเนยโกโก้ และน้ำมันสำหรับทอด Glassner and Grulke (1986) ได้ทดลองเปรียบเทียบโดยใช้ SDS ร่วมกับสารละลายโซเดียมซัลเฟตในการแยกไขวัว และพบว่าการใช้สารทั้งสองชนิดคือ โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมซัลเฟตในความเข้มข้นที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความแรงไอออนของสารลดแรงตึงผิว Defouw *et al.* (1981) นำส่วน ไขมันเหลวจากการแยกส่วนไขมันวัวด้วยสารลดแรงตึงผิว (SDS) มาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดมันฝรั่ง

## ประเภทของการแยกส่วน

1. การแยกส่วนขั้นตอนเดียว (Single-step fractionation) เป็นการแยกส่วนน้ำมันเพียงหนึ่งขั้นตอนได้ไขมัน และน้ำมัน รวม 2 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (a) สามารถนำส่วนของไขมันแข็ง หรือ สเตียริน นำไปใช้ผลิตน้ำมันสลัด น้ำมันสำหรับทอด และเนยขาว สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่นพาย บิสกิต และขนมปัง เป็นต้น ส่วนของน้ำมัน หรือ โอเลอิน สามารถนำมาใช้ผลิตมาการีน เนยขาว ใช้แทนเนย โกโก้ (cocoa butter) และผลิตฟิล์มที่ทานได้ (Bussey *et al.*, 1981; Yang *et al.*, 1992; Jeyarani and Reddy, 2001; Chiu *et al.*, 2002)

2. การแยกส่วนหลายขั้นตอน (Multiple-step fractionation) เป็นการแยกส่วนน้ำมันที่ใช้อุณหภูมิสูงในตอนต้น จากนั้นจึงนำส่วนที่เป็นไขมันเหลวมาแยกซ้ำ (refractionation) โดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าครั้งแรก ทำให้ได้ไขมันเหลว และไขมันแข็งหลายส่วนภายในหนึ่งกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (b) ไขมันแข็งที่แยกได้จากวิธีนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันมาก วิธีนี้ยังทำให้ส่วนของไขมันแข็งมีน้ำมันปนอยู่น้อยกว่าการใช้วิธีการแยกแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิศึกษาเดียวกัน นอกจากนี้ผลึกของไขมันที่แยกได้มีขนาดเล็กลงเมื่อผ่านกระบวนการแยกซ้ำ (Kaylegian and Lindsay, 1994) พบว่า Rolland and Riel (1996) แยกส่วน ไขมันนมแบบหลายขั้น โดยนำส่วนไขมันแข็งมาแยกส่วนอีกครั้ง การที่นำส่วนไขมันแข็งมาแยกส่วนซ้ำด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิเดิม ทำให้ไขมันแข็งที่ได้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น และทำให้ได้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างแน่นอนมากขึ้น



ภาพที่ 2.1 แสดงการแยกส่วนไขมัน (a) การแยกส่วนขั้นเดียว (b) การแยกส่วนหลายขั้น

ที่มา: คัดแปลงจาก Fatouh *et al.*, 2003

หลักการสำคัญ 2 ขั้นตอน ในกระบวนการแยกส่วนไขมัน คือ การตกผลึก (crystallization) และการแยกผลึก (separation)

1. การตกผลึก เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำมันจากของเหลวให้เป็นผลึก กระบวนการตกผลึกประกอบด้วย การก่อผลึก (nucleation) และการเจริญของผลึก (growth) น้ำมันแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่บ่งบอกถึงช่วงของอุณหภูมิหลอมเหลว ปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกไขมัน ได้แก่ องค์ประกอบของน้ำมัน การตกผลึกร่วม การใช้ผลึกล่อ อัตราการทำเย็น อัตราการกวน ระยะเวลา อุณหภูมิที่ใช้ตกผลึก (Deffense, 1993; Kaylegian and Linsay, 1994; Breeding and Marshall, 1995; Feng and Chin, 1995; Breitschuh and Windhab, 1998; O'Shea *et al.*; 2000)

การก่อผลึกเป็นขั้นตอนของการเกิดนิวเคลียสขนาดเล็กๆ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกก่อน ผลึกของไตรกลีเซอไรด์จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (lattice structure) มีพันธะเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลได้เป็นโครงสร้างหลายแบบของผลึก (polymorphism) ถ้าเชื่อมต่อกันด้วย แรงวันเดอร์วาลส์ (van der waals force) โมเลกุลจัดเรียงตัวแบบหลวมๆ พบได้ในผลึกของเนยขาว และมาการีน ถ้าเชื่อมต่อกันด้วยแรงอิออนิก (ionic force) การจัดตัวของไขมันจะจัดเรียงตัวกัน อย่างแน่นด้วยแรงจากประจุ อัตราการก่อผลึกจะเพิ่มขึ้นได้ด้วยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง จำนวน และขนาดของผลึกที่เกิดถูกควบคุมด้วย อุณหภูมิตกผลึก อัตราการทำความเย็น อัตราการกวน และองค์ประกอบของน้ำมัน (Grall and Hartel, 1992; Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002; Fatouh *et al.*, 2003) การเจริญของผลึกมีผลทำให้ผลึกมีขนาดโตขึ้น โดยการรวมตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่บริเวณผิวผลึก อัตราการเจริญของผลึกขึ้นกับ อุณหภูมิตกผลึก อัตราการทำเย็น และระยะเวลา ถ้าใช้อุณหภูมิตกผลึกต่ำ หรือใช้อัตราการทำเย็นสูง การเจริญของผลึกไขมันจะเป็นไปอย่างช้าๆ ได้ผลึกขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเร่งการผลิตนิวเคลียสขนาดเล็กจำนวนมาก ผลึกที่ได้มีการจัดเรียงตัวที่ไม่สมบูรณ์ ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกผลึกไม่ต่ำมากนักจะช่วยเร่งการเจริญของผลึก (Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002)

2. การแยกผลึก สามารถแยกผลึกไขมันได้หลายวิธี เช่น การกรองแบบสุญญากาศ (vacuum filtration) การกรองด้วยความดัน (pressure filtration) และการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) อาจใช้หลอดหมุนเหวี่ยงที่มีตัวกรอง (filter centrifuge-tube) ร่วมด้วย (Breeding and Marshall, 1995) ขนาด และความบริสุทธิ์ของผลึกเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเมื่อต้องการแยกผลึก (Black, 1975) เนื่องจากผลึกไขมันกักเก็บไขมันเหลวไว้ (entrapment) ผลึกที่ได้มีส่วนของไขมันเหลวปนอยู่ แต่การใช้ตัวทำลายในการแยกส่วนสามารถลดปัญหานี้ได้ (Kaylegian and Linsay, 1994; Hamm, 1995)

การแยกผลึกด้วยการกรองแบบสุญญากาศ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด สามารถใช้ ชุดกรอง กรวยกรองบุชเนอร์ (buchner funnel) ชุดกรอง Melitta porcelain filter ชุดกรอง Rotating drum filter หรือชุดกรอง Tritiaux florentine filter วัสดุกรองอาจเป็น กระดาษกรอง ผ้าไนลอน (nylon cloth) หรือ แผ่นกรองสแตนเลส (Deffense 1985, 1993)

หากใช้ความดันในการแยกผลึกจะใช้วัสดุกรองประเภทโพตีเมอร์ ฝ้ายกรอง และ wire gauze filter แผ่นไนลอน หรือ โพลีโพรไพลีน (polypropylene filter membrane) โดยจะให้ความดันจากตอนบนของน้ำมัน ผลึกที่แยกได้ไม่ดูดซับน้ำมันได้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากกว่า แต่อาจไม่เหมาะกับการแยกผลึกที่ได้จากอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากความดันอาจทำให้ผลึกหลอมเหลวได้ ประเภท และจำนวนแผ่นกรองมีผลต่อปริมาณของน้ำมัน และไขมันที่แยกได้ (สุมาลัย และคณะ, 2532)

การกรองแยกด้วยระบบหมุนเหวี่ยงไม่ต่อเนื่อง (batch process) จะได้รับความนิยม อาจมีการใช้หลอดกรองที่เรียกว่า basket-type centrifuge tube ช่วยการแยก ได้ดีขึ้น (Breeding and Marshall, 1995) หรือ ใช้ขวดกรองหมุนเหวี่ยง (filter-centrifuge bottle) ช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในผลึก โดยการหมุนเหวี่ยงซ้ำ การแยกด้วยวิธีนี้อาศัยปัจจัยของความเร็วกการหมุนเหวี่ยง ความเร็วของการหมุนเหวี่ยงสูงเกินไปทำให้เกิดการปะปนของไขมันแข็ง และไขมันเหลว เนื่องจากผลึกถูกแรงเฉือนขณะหมุนเหวี่ยงทำให้มีขนาดผลึกเล็กลง

### 2.1.3 ไส้กรอก

ไส้กรอกเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทหนึ่งที่มีความนิยมจากผู้บริโภค เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่ได้จากการนำเนื้อ และไขมันสัตว์ที่ผ่านการบด มาปรุงแต่งด้วยเครื่องเทศ และเครื่องปรุงรสต่างๆ นำมาบรรจุไส้ เนื้อสัตว์ที่นิยมนำมาทำไส้กรอก ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อโค หรือ เนื้อไก่ แล้วแต่ความต้องการของผู้บริโภค ไส้ที่ใช้บรรจุไส้กรอกอาจใช้ไส้ธรรมชาติเช่น ไส้แพะ ไส้แกะ ไส้หมู และอวัยวะบางส่วน เช่น หลอดลมวัว ยังมีการใช้ไส้เทียมซึ่งเป็นคอลลาเจนจากหนังสัตว์ และเอ็นสัตว์ หรือ อาจสังเคราะห์จากใยฝ้าย (เขาวลัษณ์, 2532) สามารถแบ่งประเภทของไส้กรอกตามกรรมวิธีการผลิต ประเภทของเนื้อ ขนาดของชิ้นเนื้อ สัดส่วนของเนื้อ และไขมัน ประเภทของเครื่องเทศที่ใช้กรรมวิธี รวมทั้งการใช้ความร้อนในการแปรสภาพ โดยทั่วไปนิยมแบ่งประเภทของไส้กรอกตามกรรมวิธีการผลิตได้ 5 ประเภท คือ ไส้กรอกสด (fresh sausage) ไส้กรอกรมควันไม่สุก (uncooked, smoked sausage) ไส้กรอกรมควันสุก (cooked, smoked sausage) ไส้กรอกสุก (cooked sausage) ไส้กรอกแห้ง และไส้กรอกกึ่งแห้ง (dry and semi-dry sausage) (อุมาพร, 2007)

แฟรงเฟอเตอร์ (frankfurter) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อลดขนาดชนิดอิมัลชันบดละเอียด เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมจากผู้บริโภคอย่างแพร่หลาย ทำจากเนื้อสัตว์ชนิดเดียว หรือ หลายชนิดรวมกัน ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู หรือเนื้อสัตว์ปีก และอาจรมควัน หรือ ไม่รมควันก็ได้ แฟรงเฟอเตอร์เป็นผลิตภัณฑ์ทำให้สุกพร้อมรับประทานได้ทันที โดยทั่วไปผลิตจากจากเนื้อหมูผสมกับเนื้อวัวในอัตราส่วน 2 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก ไขมันแข็ง น้ำแข็ง เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส และบรรจุในไส้ โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น บรรจุในไส้แกะ หรือ บรรจุไส้คอลลาเจนที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว จะเรียกไส้กรอกชนิดนี้ว่า แฟรงเฟอเตอร์ เมื่อบรรจุในไส้คอลลาเจนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด ¾ นิ้ว ยาว 4 – 5 ½ นิ้ว เรียก ไส้กรอกเวียนนา (vienna) หรือเมื่อบรรจุ

ไส้ขนาดเล็ก ขนาดสั้นๆ เรียก แฟรงเฟอเตอร์แบบคอกเทล (cocktail style frankfurters) (อุมาพร, 2007) ลักษณะทางเคมี และกายภาพของ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของส่วนผสม เครื่องปรุง และที่สำคัญที่สุด คือ คุณภาพของเนื้อ และไขมัน สายพันธุ์ของสัตว์ ประเภทของเนื้อ และปริมาณ ไขมันจะมีผลต่อคุณภาพของแฟรงเฟอเตอร์ รวมทั้งปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว ที่แตกต่างกัน (Estévez *et al.*, 2006) โดยคณะวิจัยกลุ่มนี้ ศึกษาการใช้เนื้อหมู และไขมันหมู ไอบีเรีย ในการผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ พบว่าการใช้ไขมันหมูแข็ง ไอบีเรีย 10% ร่วมกับเนื้อของ หมูพันธุ์ white pig ในการผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สามารถปรับปรุงองค์ประกอบของกรดไขมัน และเพิ่มความเสถียรของออกซิเดชันในไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ได้ Leskanick *et al.* (1997) เปลี่ยนสูตรอาหารของสุกรจากเดิมใช้ไขมันวัวต่อไขมันถั่วเหลือง (อัตราส่วน 4:1 โดยน้ำหนัก) 3% เป็นใช้ repeseed oil 2% และ fish oil 1% และนำไขมันสุกรที่ได้รับอาหารสูตรนี้มาใช้เป็นส่วนผสม ในการผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากไขมันสุกรที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และสูตรทดลอง มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเท่ากับ 37% และ 34% ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัว เท่ากับ 63% และ 66% ตามลำดับ อัตราส่วนของ PUFA / SFA เท่ากับ 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และ อัตราส่วนของ  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3 เท่ากับ 10.2 และ 7.4 ตามลำดับ Teye *et al.* (2006) นำน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง ปาล์ม และน้ำมันปาล์มเสถียริน ผสมในสูตรอาหารเลี้ยงหมู และนำมันหมูแข็งมาเป็น ส่วนผสมของแฟรงเฟอเตอร์ พบว่าแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันจากหมูที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันถั่ว เหลือง และน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม เสถียริน พบว่าแฟรงเฟอเตอร์ที่ผลิตได้จะมีค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม (cooking loss) และค่าการสูญเสียไขมันน้อยกว่า ในแฟรงเฟอเตอร์ที่ผลิตจากมันหมูแข็งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีน้ำมันปาล์มเสถียริน นักวิจัยกลุ่มนี้สรุป ไว้ว่าชนิดน้ำมัน ไม่มีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส แต่มีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ในแฟรงเฟอเตอร์

ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไขมัน ดังแสดงใน ตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ตำแหน่งของไขมันที่ต่างกันของตัวสัตว์ยังส่งผลต่อปริมาณ และองค์ประกอบ ของกรดไขมัน Leskanich *et al.* (1997) รายงานองค์ประกอบหลักของกรดไขมันของไขมันสันหลัง ชั้นใน (inner backfat) ของสุกร พบกรดไขมันอิ่มตัว 41% กรดไขมันไม่อิ่มตัว 59% อัตราส่วนของ PUFA / SFA เท่ากับ 0.4 และอัตราส่วนของ  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3 เท่ากับ 10.8 ขณะที่ Koch *et al.* (1968) รายงานว่าไขมันสันหลังชั้นใน มีกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 33.1-35.3% กรดไขมันไม่อิ่มตัว ประมาณ 64.7-66.9% ไขมันสันหลังชั้นนอก (outer backfat) มีกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 29.8-32.1% กรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 67.9-70.2% และมันเปลว มีกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 37.1-38.6% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 61.4-62.9%

การใช้น้ำมันพืชทดแทนมันแข็งบางส่วนในแฟรงเฟอเตอร์ไขมันต่ำมีผลต่อองค์ประกอบ ของกรดไขมัน และปริมาณคอเลสเตอรอล (Bloukas and Paneras, 1993; Paneras and Bloukas,

1994; Pappa *et al.*, 2000) มีงานวิจัยการใช้ไขมันพืชในการผลิตในแฟรงเฟอเตอร์ไขมันต่ำ (ไขมัน 10%) ของ Paneras *et al.* (1998) พบว่ามีความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์โดยใช้กรอกไขมันต่ำมีความสว่างน้อย และมีความชุ่มฉ่ำน้อยกว่าใช้กรอกไขมันสูง (ไขมัน 27%) แต่มีความแน่นเนื้อมากกว่า จึงทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมระหว่างไม่แตกต่างกับใช้กรอกสูตรไขมันสูง Marquez *et al.* (1989) และ Paneras and Bloukas (1994) ศึกษาการใช้ไขมันพืชทดแทนมันหมูแข็งในไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ไขมันต่ำ (ไขมัน 10%) พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส แต่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Paneras *et al.* (1998) และ Bloukas *et al.* (1997) นอกจากนี้ Muguerza *et al.* (2002) ผลิตแฟรงเฟอเตอร์โดยทดแทนมันแข็ง 20% โดยน้ำหนัก ด้วยน้ำมันมะกอก พบว่าการทดแทนไขมันด้วยน้ำมันมะกอกไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก ความแข็ง และลักษณะปรากฏของแฟรงเฟอเตอร์ แต่มีผลต่อกลิ่นรส และส่งผลให้ความสว่าง (lightness) และค่าสีเหลือง (yellowness) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมัน และไขมัน ชนิดต่างๆ

Fat type	Fatty acid composition of some dietary fats / 100 g					
	SAFA (g)	MUFA (g)	PUFA (g)	$\omega$ -6 (g)	$\omega$ -3 (g)	$\omega$ -6/ $\omega$ -3
Canola oil	7	59	30	20	9	2
Coconut oil	83	6	2	2	-	-
Corn oil	13	27	54	53	1	53
Olive oil	14	68	11	10.4	0.5	21
Palm kernel oil	78	15	3	2.4	0.3	8
Palm olein oil	42	46	11	11	-	-
Palm oil	53	37	9	9.1	0.2	46
Safflower oil	9	13	78	78	-	-
Soybean oil	14	23	58	51	7	7
Walnut oil	9	23	63	53	10	5
Fish oil, cod liver	23	47	23	0.9	0.9	1
Fish oil, salmon	20	29	40	1.5	1.1	1.3
Fish oil, sardine	30	34	32	2	1	2
Lard	39	45	11	10	1	10
Beef Tallow	46	43	4	3	1	3

ที่มา: The USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2007)

## ส่วนผสมที่สำคัญของไส้กรอก

1. เนื้อสัตว์ ที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกนี้ต้องมีโปรตีนเนื้อสัตว์ที่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี เนื้อสัตว์ที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอก คือ เนื้อที่มีเอ็นปนน้อย และมีไขมันน้อย โปรตีนเนื้อสัตว์ คือ แอคติน และไมโอซิน ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้น้ำ และไขมันรวมตัวกันในส่วนผสมมวลเหนียว โปรตีนเนื้อที่สามารถละลายได้ดีในน้ำเกลือ จะมีประสิทธิภาพช่วยการรวมตัว เนื้อแต่ละประเภทจะมีโปรตีนประเภทนี้แตกต่างกัน เนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น เนื้อปนไขมัน เนื้อส่วนแก้ม เอ็น และพังผืด จะมีปริมาณ โปรตีนแอคติน และไมโอซินต่ำ ทำให้คุณภาพไส้กรอกลดต่ำลง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดไมโอฟริบิลลาโปรตีนได้โดยใช้ฟอสเฟต เป็นส่วนผสม (Theno *et al.*, 1978)

2. เกลือ เป็นตัวให้รสชาติ และทำให้ไส้กรอกมีลักษณะเหนียว เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการสกัดโปรตีนแอคติน และไมโอซินจากกล้ามเนื้อ เกิดดีที่สุดเมื่อใช้เกลือปริมาณ 4.5% และอุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส Pappa *et al.* (2000) พบว่าการเพิ่มปริมาณเกลือจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ทำให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น นอกจากนี้เกลียยังทำหน้าที่เป็นสารกันเสีย ลดปริมาณจุลินทรีย์ ยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นตัวลดความชื้น หรือลด water activity ในผลิตภัณฑ์เนื้อ

3. ไขมัน เป็นส่วนประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากไขมันมีผลต่อความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และให้กลิ่นรสเฉพาะแก่ไส้กรอก (Abiola and Adegbaaju, 2001) แล้ว ยังเป็นส่วนผสมที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต สามารถใช้ได้ทั้งไขมันพืช และไขมันสัตว์ การใช้ไขมันร้อยละ 30 ทำให้ไส้กรอกมีความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ รสชาติดี และได้การยอมรับดีที่สุด ปริมาณไขมันส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี จำนวนจุลินทรีย์ ความสว่าง เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ (Muguerza *et al.*, 2002) และการสูญเสียหลังให้ความร้อน ถ้าปริมาณไขมันมากการสูญเสียจะมากขึ้น โดยไม่ขึ้นกับอัตราการให้ความร้อน (Cofrades *et al.*, 1997)

4. น้ำแข็ง เป็นส่วนผสมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิขณะสับผสม และนวด ทำให้เกลือ และส่วนผสมละลาย และกระจายตัวได้ดี รวมทั้งยังทำให้อิมัลชันมีความคงตัว และเนื้อนุ่ม ไส้กรอกควรเติมน้ำแข็งประมาณร้อยละ 3 สำหรับไส้กรอกรมควันอาจเติมน้ำแข็งได้สูงถึงร้อยละ 20-30

5. เกลือไนเตรท และไนไตรท นิยมใช้ในภาพเกลือของโปแทสเซียม และโซเดียม ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เกิดสีชมพูแดง โดยไนไตรทไปจับกับไมโอโกลบินได้เป็นไนโตรโซฮีโมโครม นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

6. สารยึดเกาะ (binder) เป็นส่วนผสมที่ใช้สำหรับปรับปรุงความคงตัวของระบบอิมัลชัน มีความสามารถในการจับน้ำ และยังเป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง คาราจีแนน โซเดียมอัลจิเนต เจลแลนกัน บุก วุ้น โลกัสทีนกัน เป็นต้น

7. ฟอสเฟต เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียว และอุ้มน้ำได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชุ่มชื้น และทำให้ไขมันมีความคงตัวขณะทำให้สุก หรือรมควัน และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่น การใส่ฟอสเฟตในปริมาณมากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสชาติคล้ายสบู่ เกือบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสเฟตได้ จากการทดลองของ Hsu and Yu (1999) พบว่าการใช้เกลือที่ระดับร้อยละ 2-2.5 ร่วมกับฟอสเฟตร้อยละ 0.5 จะช่วยลดการสูญเสียขณะให้ความร้อน และสามารถผสมน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ถึงร้อยละ 22

8. เครื่องเทศ และเครื่องปรุงรส เพื่อเพิ่มรสชาติ กลิ่น รส และให้รสชาติเฉพาะแก่ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะใช้เครื่องเทศแตกต่างกัน นอกจากนี้เครื่องเทศยังมีหน้าที่ในการเป็นวัสดุคุณภาพอาหาร เช่น เครื่องเทศบางชนิด ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการหืน เป็นต้น

9. ไส้บรรจุ (casing) ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหนียวขึ้น และเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน จึงจำเป็นต้องบรรจุลงในไส้บรรจุ เพื่อให้ได้ภาพแบบตามที่ต้องการ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

9.1 ไส้แท้ (natural casing) ได้จากไส้หมู ไส้แกะ ไส้วัว และกระเพาะ มีขนาดไม่แน่นอน และไม่สม่ำเสมอ ฝึกขาดได้ง่าย เก็บรักษายาก ราคาแพง แต่มีรสชาติอร่อย

9.2 ไส้เทียม (artificial casing) ได้รับความนิยมมากจากโรงงานผลิตไส้กรอก เนื่องจากผลิตได้ปริมาณมาก ราคาถูก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เลือกได้ตามต้องการ ขนาดสม่ำเสมอ และเก็บรักษาได้ง่าย แบ่งได้ 2 ชนิด คือ ไส้เทียมที่รับประทานได้ (edible artificial casing) ได้จากการนำหนังสัตว์ต้มกับด่าง และทำปฏิกิริยากับกรด ทำให้เกิดการพองตัว และเหลวขึ้น นำไปขึ้นรูป และทำให้แห้ง และไส้เทียมที่รับประทานไม่ได้ (inedible artificial casing) ทำจากเซลลูโลสของพืช คอลลาเจน และพลาสติก มีความแข็งแรง และมีหลายขนาด

## บทที่ 3

### อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุ

3.1.1	มันเปลว แซ่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C	(บริษัท เฟรชมีท โปรเซสซิง จำกัด)
3.1.2	มันแข็ง แซ่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C	(บริษัท เฟรชมีท โปรเซสซิง จำกัด)
3.1.3	เนื้อหมู แซ่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C	(บริษัท เฟรชมีท โปรเซสซิง จำกัด)
3.1.4	เกลือไนไตรท์	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
3.1.5	เกลือฟอสเฟต	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
3.1.6	Erythrobate	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
3.1.7	ผงชูรส	(อายิโนะโมะโต๊ะ)
3.1.8	น้ำตาลทราย	(มิตรผล)
3.1.9	กระเทียม	(ตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพฯ)
3.1.10	หอมหัวใหญ่	(ตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพฯ)
3.1.11	เครื่องเทศต่างๆ	(จ่วนสุน)
3.1.12	ไส้คอตลาเจน	(Nippi, Japan)

#### 3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

##### 3.2.1 เครื่องมือแยกส่วน

เครื่องมือแยกส่วนไขมันประกอบด้วย เครื่องกวนผสม มอเตอร์ขนาด 90 Watt (speed control motor, Kimpo, Taunglix Electrical Co., LTD.) ไบควนสแตนเลสรูปตัวยู (U-shape anchor, เส้นผ่านศูนย์กลางไบพัด 15 เซนติเมตร ความยาวไบกวน 15 เซนติเมตร ความสูง 30.5 เซนติเมตร) ถังสำหรับตกผลึกสแตนเลสขนาด 7 ลิตร (ถังสแตนเลสสองชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กว้าง 22 เซนติเมตร สูง 26 เซนติเมตร) เครื่องทำความเย็นแบบน้ำหล่อเย็น (cooling unit ที่ตั้งอุณหภูมิได้ระหว่าง 25°C ถึง -10°C, Thailand) และกรวยกรอง (Buchner funnel) แบบมีน้ำหล่อเย็น ขนาด Ø ภายใน 20 cm. ต่อกับปั๊มสุญญากาศ (SIBATA, WJ-20, Japan)

### 3.2.2 เครื่องมือผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

- 3.2.2.1 เครื่องสับผสม (Seydelmann เยอรมันนี)
- 3.2.2.2 เครื่องบดเนื้อ (US BERKEL สหรัฐอเมริกา)
- 3.2.2.3 เครื่องบรรจุไส้ (Handtman เยอรมันนี)
- 3.2.2.4 ตู้อบรมควัน (Autotherm เยอรมันนี)
- 3.2.2.5 เครื่องชั่งชนิดหยาบ (Mettler, AE204 สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.2.2.6 เครื่องชั่งชนิดละเอียด (Mettler, AE3000 สวิตเซอร์แลนด์)

### 3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพของไขมัน น้ำมันสุกรแยกส่วน และคุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

- 3.2.3.1 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo MP 220)
- 3.2.3.2 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma-meter CR-300)
- 3.2.3.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Beckman, Allegra X-12R)
- 3.2.3.4 เครื่องย่อยโปรตีน และเครื่องกลั่นไนโตรเจน (Gerhardt Vapodest 30)
- 3.2.3.5 ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Gerhardt S306AK)
- 3.2.3.6 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (JEOL, model JSM-5410LV, Japan)
- 3.2.3.7 Gas Chromatography (GC-2010 Shimadzu, Japan)
- 3.2.3.8 Flame Ionize Detector (Shimadzu, Japan)

## 3.3 วิธีการทดลอง

### 3.3.1 เตรียมน้ำมันหมู

น้ำมันเปลงมาคัดเลือกโดยแยกส่วนที่เป็นเนื้อ ก้อนเลือด และส่วนที่ไม่ใช่ไขมันออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหม้ขณะเจียว จากนั้นหั่นมันเปลงเป็นชิ้นเล็กๆ รูปลิ่มเหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2 X 2 เซนติเมตร ทำการสกัดน้ำมันโดยเจียวมันเปลงแบบแห้ง โดยนำมันเปลง 10 กิโลกรัม ใส่ลงภาชนะสแตนเลส และให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (นิธิยา, 2529) นาน 30-45 นาที กรองแยกกาก และน้ำมันออกจากกันด้วยผ้าขาวบาง และเก็บน้ำมันสุกรไว้ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ก่อนนำไปแยกส่วน รายงานปริมาณน้ำมันที่เจียวได้เป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{ปริมาณน้ำมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังเจียว}}{\text{น้ำหนักน้ำมันก่อนเจียว}} \times 100$$

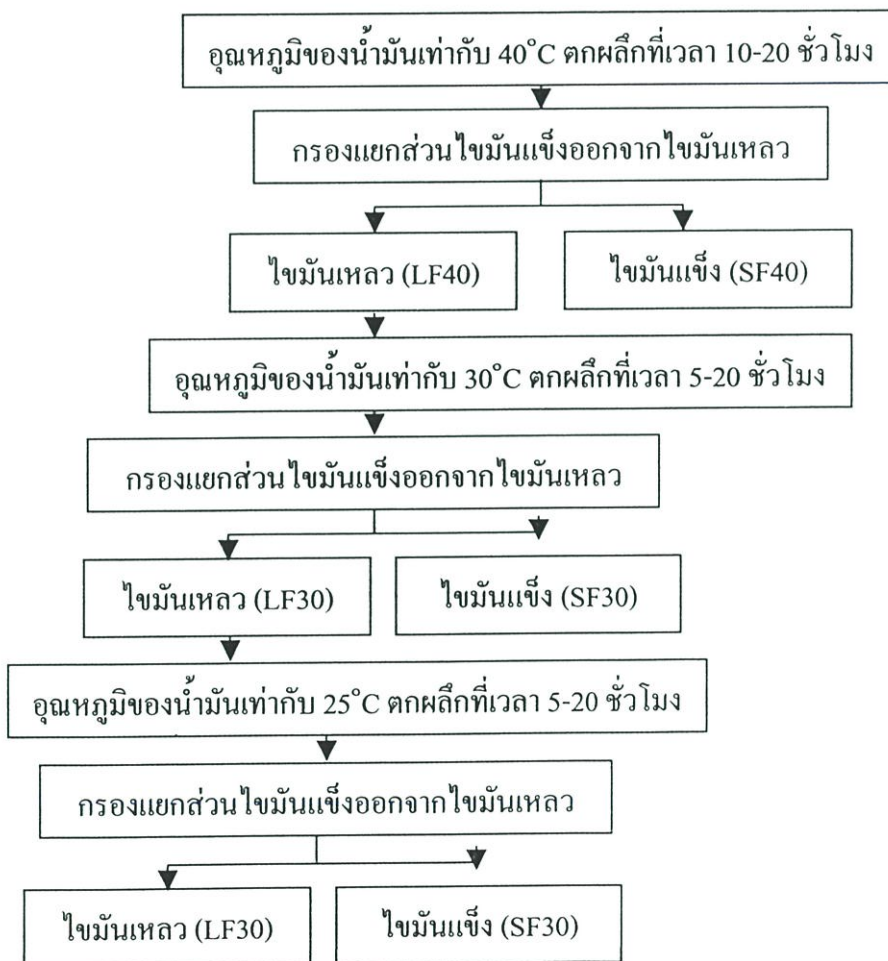
### 3.3.2 การแยกส่วนน้ำมันสุกรแบบหลายขั้น (multiple-step dry fractionation)

#### 3.3.2.1 ศึกษาการทำเย็นที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ 25°C

นำไขมันที่สกัดได้จากข้อ 3.3.1 มาหลอมเหลวที่อุณหภูมิ  $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เพื่อทำลายผลึกไขมันก่อนนำมาตกผลึก (Fatouh *et al.*, 2003) เติมน้ำมันสุกรประมาณ 6 ลิตรในถังแยกสแตนเลส ใช้อุณหภูมิหล่อเย็นคงที่ 40, 30 และ  $25^{\circ}\text{C}$  อัตราการกวนที่ 10 rpm. บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อศึกษาการทำเย็นของน้ำมันสุกร จนกระทั่งอุณหภูมิจนน้ำมันถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกที่อุณหภูมิตกผลึกที่ 40, 30 และ  $25^{\circ}\text{C}$  เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และอุณหภูมิ

#### 3.3.2.2 ศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ $25^{\circ}\text{C}$

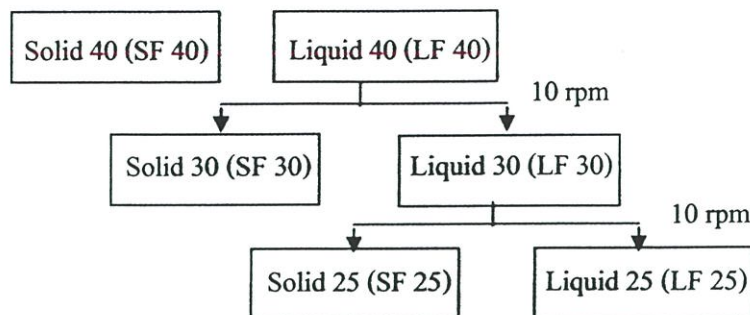
เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิตกลงเท่ากับ 40, 30 และ  $25^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลาที่ใช้ตกผลึกเท่ากับ 10 - 20 ชั่วโมง, 5-20 ชั่วโมง และ 5-20 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบเวลาทำการแยกส่วนไขมันแข็งออกจากไขมันเหลว ด้วยการกรองแบบสุญญากาศ ควบคุมอุณหภูมิขณะกรองให้เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก ชั่งน้ำหนักส่วนไขมันแข็ง และไขมันเหลวที่ได้ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณผลึกไขมัน เก็บส่วนไขมันแข็ง และไขมันเหลวเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ  $25^{\circ}\text{C}$

3.3.2.3 การแยกส่วนแบบหลายขั้นตอน (multiple-step dry fractionation)

แยกส่วนไขมันหมู (fractionation) โดยนำน้ำมันหมูที่ผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  เพื่อทำละลายฟอสฟอรัสแล้ว และนำน้ำมันหมูประมาณ 6 ลิตรใส่ลงในถังแยกสแตนเลส 2 ชั้น ที่มีความจุ 6.5 ลิตร ด้วยอัตราความเร็ว 10 rpm ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ได้จากศึกษา ข้อ 3.3.3.2



ภาพที่ 3.2 การแยกส่วนแบบหลายขั้นตอนที่อุณหภูมิตกผลึก 40, 30 และ  $25^\circ\text{C}$

3.3.2.4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมัน และมันแข็งแยกส่วน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำมันสุกรที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ส่วนของไขมันเหลว และไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายขั้นจากข้อ 3.3.3.3 ได้แก่ จุดหลอมเหลวโดยวิธี Capillary tube (AOCS method Cc 1-25, 1999) ค่าไอโอดีนด้วย Cyclohexane–Acetic acid method (AOCS method Cd 1-25, 1999) ค่าสปอนนิฟิเคชัน (AOCS method Cd 3-25, 1999) ค่ากรดไขมันอิสระ (AOCS Method Ca 5a- 40, 1999)

3.3.2.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Compendium of Method for Food

Analysis, 2003)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $100 \pm 0.1$  มิลลิกรัม ในหลอดแก้วขนาด  $18 \times 180$  มิลลิเมตร เติมสารละลาย  $0.5\text{N NaOH}$  ในเมทานอล 4 มิลลิลิตร ก่อนนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ  $85-100^\circ\text{C}$  นาน 10 นาที ในอ่างน้ำร้อน นำตัวอย่างมาทำให้เย็นก่อนเติมสารละลาย  $14\% \text{BF}_3$  ในเมทานอล ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ  $95^\circ\text{C}$  นาน 10 นาที ทำให้สารละลายเย็นลงก่อนเติม n-hexane ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปทำให้ร้อนต่ออีก 5 นาที พร้อมกับเขย่าเป็นระยะๆ นำสารละลายไปทำให้เย็นก่อนเติมสารละลายอิ่มตัว  $\text{NaCl}$  ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าหลอดนาน 1 นาที ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยง แยกสารละลายคอนบน (methylated fatty acid) ออกก่อนนำส่วนล่างไปสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ก่อนนำสารสกัดของ methylated fatty acid ทั้ง 3 ครั้งมารวมกัน ขจัดความชื้นของสารสกัดด้วย anhydrous  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ก่อนนำสารสกัดไประเหย n-hexane ภายใต้อินโตรเจนก๊าซจนเหลือปริมาณ 1 มิลลิลิตร

ฉีดสารละลายเข้า Gas Chromatography ชุดตรวจวัดเป็น FID (Flame Ionize Detector, Shimadzu, Japan) โดยใช้ Siliga capillary column (60 m x 0.25 mm x 0.20  $\mu\text{m}$ ; length x I.D. x d; Agilent Technologies, USA) Split ratio 1:20 ที่มีฮีเลียม (Helium gas 99.99%) เป็นแก๊สพา อัตราการไหล 0.4 ml/min ฉีดสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาตร 0.2  $\mu\text{l}$  ด้วย auto injector (AOC-20i, Shimadzu, Japan) อุณหภูมิของ injector เท่ากับ 210 $^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิของดีเทคเตอร์เท่ากับ 250 $^{\circ}\text{C}$  โดยให้อุณหภูมิของ oven เท่ากับ 50 $^{\circ}\text{C}$  คงอุณหภูมิไว้ 1 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 $^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตรา 10 $^{\circ}\text{C}$ /นาที คงอุณหภูมิไว้ 18 นาที และให้เพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งเป็น 230 $^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตรา 4 $^{\circ}\text{C}$ /นาที คงอุณหภูมิไว้ 9 นาที โดยใช้ Nonanoic acid methyl ester, C<sub>9</sub>:<sub>0</sub> (Sigma, USA) เป็น internal standard และใช้ Mixture standard fatty acid methyl ester, C4-C24 (Supelco 37 component FAME Mix, USA) เป็นกรดไขมันมาตรฐานที่ใช้เทียบหาค่าตำแหน่งของกรดไขมัน และทำการกราฟมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 3,000 ppm, 5,000 ppm, 8,000 ppm และ 10,000 ppm โดยใช้ n-hexane เป็นตัวละลาย เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของกรดไขมัน

### 3.3.3 การผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์โดยใช้ไขมันแยกส่วน

#### 3.3.3.1 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน

ผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ทดแทนมันแข็งด้วยไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 30 $^{\circ}\text{C}$  เปรียบเทียบกับการใช้มันแข็ง (commercial) ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ทางการค้าโดยใช้อัตราส่วนของส่วนผสมโดยน้ำหนักที่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

#### 3.3.3.2 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรไขมันร้อยละ 20

ผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์โดยใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 30 $^{\circ}\text{C}$  เปรียบเทียบกับการใช้มันแข็ง (commercial) และมันเปลว (control) โดยปรับอัตราส่วนของส่วนผสม เพื่อให้ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์มีปริมาณไขมันสุดท้ายเท่ากับ 20% (ตารางที่ 3.1)

#### 3.3.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของไส้กรอกที่เตรียมได้จาก 3.3.4.1 และ 3.3.4.2 ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) และ pH (Kayaardi and Gök, 2003) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี (Kayaardi and Gök, 2003) ความคงตัวของอิมัลชัน (Hughe *et al.*, 1997) ปริมาณการสูญเสียไขมัน (Crehan *et al.*, 2000) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Hughe *et al.*, 1998) และ โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ด้วย Scanning Electron Microscopy (คัดแปลงจาก Iwasaki *et al.*, 2006) (ภาคผนวก ข)

### 3.3.3.3.1 วิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ (Compendium of Method for Food Analysis, 2003)

การสกัดไขมันจากตัวอย่างไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ ด้วยวิธีของ Bligh and Dryer (1952) ซึ่งตัวอย่างมาประมาณ 20 กรัม ( $\pm 0.0001$  กรัม) ผสมกับคลอโรฟอร์ม 20 มิลลิลิตร และเมทานอล 40 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปโฮโมจีไนส์ด้วยความเร็วสูงนาน 1 นาที หลังจากนั้นเติมคลอโรฟอร์มอีก 20 มิลลิลิตร และนำไปโฮโมจีไนส์อีกครั้งนาน 30 วินาที นำสารละลายที่ได้มากรองภายใต้สุญญากาศ และนำสารละลายที่ได้ไปแยกโดยใช้กรวยแยก (separating funnel) แยกส่วนล่างของกรวยแยกซึ่งเป็นส่วนของไขมัน และคลอโรฟอร์มใส่ลงในขวดรูปชมพู่ และนำไปประเหยคลอโรฟอร์มออกที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  ภายใต้ไนโตรเจนก๊าซจนน้ำหนักของไขมันคงที่ และเก็บไขมันที่ได้เพื่อนำไปใช้ในวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน และเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของไขมันได้ด้วยวิธีเดียวกันกับ 3.3.3.4.1

### 3.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

วัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2i ที่มี load cellหนัก 5 กิโลกรัม (Muguerza *et al.*, 2001) โดยใช้หัว Platen ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เตรียมตัวอย่างไส้กรอกจำนวน 3 ชิ้น ต่อ batch นำมาลวกในน้ำเดือดนาน 2 นาที และตัดเนื้อด้านในไส้กรอกให้มีขนาด  $1 \times 1 \times 1$  เซนติเมตรวัดโดยใช้ compression mode ด้วยความเร็วหัววัดก่อนทดสอบ (pre-test speed) 1 mm/s, ความเร็วหัววัดระหว่างการทดสอบ (test Speed) 1 mm/s, ความเร็วหัววัดหลังการทดสอบ (post-test Speed) 10 mm/s, ระยะทางหัววัดจากจุด trigger force 60 %strain กำหนดจุดเริ่มทดสอบ (trigger) เป็น Type :Auto, Force :5 g., Time :3.0 s.

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์

ส่วนผสม	สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน			สูตรไขมันสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 20			
	COM	SLF40	SLF30	COM	CONT	SLF40	SLF30
เนื้อสุกรแต่งเกลี้ยง (กก.)	3.3	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6
มันแข็ง (กก.)	1.5	-	-	1.4	-	-	-
มันปลาว (กก.)	-	-	-	-	1.2	-	-
Fat fraction 40° (กก.)	-	1.5	-	-	-	1.2	-
Fat fraction 30° (กก.)	-	-	1.5	-	-	-	1.2
น้ำแข็ง (กก.)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
เกลือไนไตรท์ (ก.)	85	85	85	85	85	85	85
เกลือฟอสเฟต (ก.)	30	30	30	30	30	30	30
ผงชูรส (ก.)	8	8	8	8	8	8	8
Erythrobate (ก.)	3	3	3	3	3	3	3
น้ำตาลทราย (ก.)	30	30	30	30	30	30	30
กระเทียม (ก.)	50	50	50	50	50	50	50
หอมหัวใหญ่ (ก.)	100	100	100	100	100	100	100
เครื่องเทศรวม (ก.)	100	100	100	100	100	100	100

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ใช้มันแข็ง

CONT คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ใช้มันปลาว

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 °C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C

### 3.3.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

#### 3.3.5.1 ฝึกผู้ทดสอบ

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อประเมินแบบทดสอบ และเพื่อประเมินคุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ผลิตได้ โดยใช้การประเมินเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) ใช้สเกลแนวอนความยาว 7 เซนติเมตรในการประเมิน ประกอบด้วย attribute ที่ใช้ในการประเมิน 6 ประเภท คือ External Appearance, External Odor, Internal Appearance, Internal Odor, Texture และ Taste and Flavor (ดัดแปลงจาก Fernandez-Fernandez *et al.*, 2002) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านลักษณะ

ปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ 9-points hedonic scale (Lin and Huang , 2003) ให้ผู้ทดสอบระดับความชอบตามลักษณะต่างๆ ที่ระบุในแบบประเมินมาตรฐาน แล้วให้คะแนนตามความรู้สึกที่เกิดขึ้น โดยผู้ทดสอบเป็นนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร จำนวน 10 คน (ชาย 2 หญิง 8) ที่ชอบ และเคยรับประทานไส้กรอก แพรงเฟอเตอร์ ตลอดจนเป็นผู้ที่ได้รับการฝึกฝนให้มีความคุ้นเคย และมีความเข้าใจต่อลักษณะต่างๆ ของไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์ โดยการฝึกฝนแต่ละครั้งจะใช้สูตรไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์ทางการค้าให้ผู้ทดสอบ และให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้เวลาในการฝึกฝน 8 ครั้ง ครั้งละ 1.5 ชั่วโมง โดยนำไส้กรอกมาให้ผู้ทดสอบครั้งละ 1 ตัวอย่าง เตรียม ตัวอย่างไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์ โดยนำไส้กรอกมาลวกในน้ำเดือดนาน 2 นาที ในการเสิร์ฟแต่ละครั้งผู้ทดสอบทุกคนจะได้รับไส้กรอกสูตรเดียวกัน และเสิร์ฟตัวอย่างไส้กรอกทางการค้าสูตรอื่น อีก 3 ตัวอย่าง ผู้ทดสอบจะล้างกลิ่นรสในปากด้วยการเคี้ยวขนมปังจืด และกลั้วปากด้วยน้ำสะอาดก่อนการประเมินตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง ทำการทดสอบตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ตารางที่ 3.2 คำศัพท์ และคำจำกัดความที่ใช้ประเมินคุณภาพของไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์

คำศัพท์	ความหมาย และคำจำกัดความ
<b>External appearance</b>	
Color intensity	ความเข้มสีภายนอกของไส้กรอก
Color uniformity	ความสม่ำเสมอของสีภายนอกไส้กรอก
Degree of separation of skin	การหลุดลอกของไส้บรรจุ
Presence of spots	จุดสีภายนอกของไส้กรอก
Visible fat	ไขมันที่มองเห็นจากภายนอก
<b>External Odor</b>	
External smoky odor	กลิ่นควันของไส้กรอก (โดยไม่ต้องหั่น หรือ ตัดไส้กรอก)
External spice odor	กลิ่นของเครื่องเทศไส้กรอก (โดยไม่ต้องหั่น หรือ ตัดไส้กรอก)
<b>Internal Appearance</b>	
Internal color	สีด้านในของเนื้อไส้กรอก
Oil separation	การแยกตัวของน้ำมันภายในไส้กรอก
Air sac	รู หรือ โพรงอากาศในเนื้อไส้กรอก

(ดัดแปลงจาก: Fernandez-Fernandez et al., 2002)

### ตารางที่ 3.2 (ต่อ) คำศัพท์ และคำจำกัดความที่ใช้ประเมินคุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

คำศัพท์	ความหมาย และคำจำกัดความ
<b>Internal Odor</b>	
Internal smoky odor	กลิ่นควันที่รับรู้ได้จากพื้นผิวหน้าตัดของไส้กรอก
Internal spice odor	กลิ่นของเครื่องเทศที่รับรู้ได้จากพื้นผิวหน้าตัดของไส้กรอก
Off odor	กลิ่นผิดปกติที่รับรู้ได้จากพื้นผิวหน้าตัดของไส้กรอก
<b>Texture</b>	
Ease of separation of skin	ความยากง่ายในการลอกไส้ / หนังให้แยกออกจากไส้กรอก
Chewability	จำนวนครั้งในการเคี้ยวไส้กรอกจนกระทั่งกลืนได้
Hardness	ความแข็งของไส้กรอกโดยประเมินจากแรงที่ต้องใช้ในการกดด้วยมือ
Oiliness	การรับรู้ถึงไขมันในไส้กรอกขณะเคี้ยว
Juiciness	ความฉ่ำของไส้กรอกขณะเคี้ยว
<b>Taste and Flavor</b>	
Salt	รสเค็ม
Sour	รสเปรี้ยว
Sweet	รสหวาน
Astringent	รสฝาด
Smoky flavor	กลิ่นรสควัน
Spice flavor	กลิ่นรสเครื่องเทศ
Off flavor	กลิ่นรสสิ่งแปลกปลอม
Rancid flavor	กลิ่นรสหืน
Aftertaste	กลิ่นรสตกค้างในปาก

(ดัดแปลงจาก: Fernandez-Fernandez et al., 2002)

#### 3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองการแยกส่วนน้ำมันสุกรแบบหลายชั้น และการผลิตไส้กรอก แบบ completely randomized design; CRD ทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองด้านการศึกษาคูณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ randomized completely block design; RCBD ข้อมูลจากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพของไขมันแยกส่วน และไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้ด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

#### 4.1 คุณสมบัติน้ำมันหมู

น้ำมันหมูก่อนผ่านกระบวนการแยกส่วนมีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันหมูที่ได้จากการเจียวมันเปลวแบบแห้ง ที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ  $64.35 \pm 2.07\%$  น้ำมันหมูมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $44.83 \pm 0.29^{\circ}\text{C}$  ปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ  $0.53 \pm 0.00\%$  ค่าไอโอดีน เท่ากับ  $68.55 \pm 0.66$  และค่าซาปอนนิฟิเคชันเท่ากับ  $181.62 \pm 0.46$  ตามลำดับ

จุดหลอมเหลวเป็นค่าที่บอถึงอุณหภูมิที่ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง เป็นของเหลว และมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน และน้ำมัน ค่าซาปอนนิฟิเคชันบอก ขนาด และจำนวน โมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจะมีค่า SN สูง ไขมัน และน้ำมันที่มีระดับความไม่อิ่มตัวสูง มีค่าไอโอดีน และค่าซาปอนนิฟิเคชันสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ ในทางกลับกัน ไขมัน และน้ำมันที่มีความอิ่มตัวสูง มีค่าไอโอดีน และค่าซาปอนนิฟิเคชันต่ำ จุดหลอมเหลวสูง กรดไขมันอิสระเป็นค่าที่บอกคุณภาพ และปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน น้ำมันบริโภคที่ปริมาณกรดไขมันอิสระจะต้องมีค่าไม่เกิน  $0.5\%$  (นิธิยา, 2548) อุณหภูมิ และระยะเวลาการให้ความร้อนขณะเจียวมีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ ถ้าอุณหภูมิให้ความร้อนสูง เวลานาน ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมีมาก จากผลการทดลอง พบว่าคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับนิธิยา (2548) น้ำมันหมูที่ได้จากไขมันต่างชนิดกันมีคุณภาพที่แตกต่างกัน เช่น น้ำมันที่ได้จากมันแข็ง มีจุดหลอมเหลวระหว่าง  $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$  น้ำมันที่ได้จากมันเปลว มีจุดหลอมเหลวประมาณ  $43\text{--}48^{\circ}\text{C}$  และถ้าเป็นน้ำมันที่ได้จากการผสมน้ำมันหมูหลายชนิดเข้าด้วยกัน มีจุดหลอมเหลวระหว่าง  $36\text{--}45^{\circ}\text{C}$  (Anonymous, 2007) จากการศึกษการแยกส่วนไขมันหมูแบบหลายชั้นของ วรณา (2549) พบว่าไขมันมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $43.12 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$  ปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ  $0.54 \pm 0.06\%$  ค่าไอโอดีน เท่ากับ  $41.62 \pm 0.12$  และค่าซาปอนนิฟิเคชันเท่ากับ  $192.35 \pm 0.44$  ตามลำดับ Estévez *et al*, 2006 ระบุว่าแหล่งของวัตถุดิบ สายพันธุ์ และฤดูกาลมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีคุณภาพที่แตกต่างกัน

#### ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติสำคัญของน้ำมันจากมันเปลาว

สมบัติ	
ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการเจียวด้วยอุณหภูมิ 110°C (%)	64.35 ± 2.07
จุดหลอมเหลว (°C)	44.83 ± 0.29
FFA (as % oleic)	0.53 ± 0.00
Iodine Value <sup>a</sup>	68.55 ± 0.66
Saponification Number <sup>b</sup>	181.62 ± 0.46

<sup>a</sup> หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

<sup>b</sup> หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการซาปอนนิไฟไขมัน 1 กรัม

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 4.2. ระยะเวลาทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็ง จากการแยกส่วนแบบ

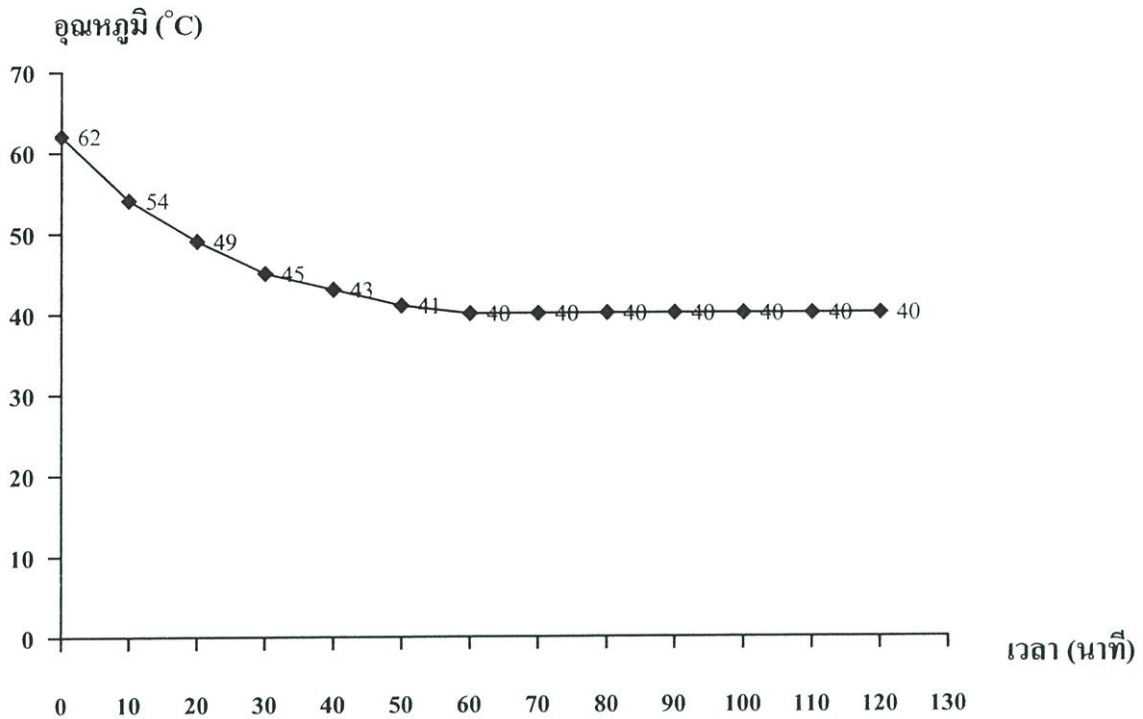
หลายขั้นที่อุณหภูมิ 40, 30 และ 25°C ด้วยอัตราการกวนคงที่ 10 rpm

##### 4.2.1 ระยะเวลาทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็ง ที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C

การทำเย็นไขมันมีผลต่อความสม่ำเสมอ และรูปร่างของผลึก รวมทั้งปริมาณผลึกไขมันที่เกิดขึ้น การทำเย็นอย่างช้าๆ ผลึกที่ได้จะมีขนาดใหญ่ และรูปร่างของผลึกจะมีความคงตัวมากกว่า การทำเย็นอย่างรวดเร็ว (Kaylegian and Lindsay, 1994) ในขณะที่การทำเย็นอย่างรวดเร็วจะทำให้ปริมาณไขมันแข็ง และผลึกมีความแข็ง เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการทำเย็นอย่างช้า (Campos *et al.*, 2002) องค์ประกอบของน้ำมันที่แตกต่างกันมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณสมบัติด้านการนำความร้อนของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไป จากผลการศึกษาระยะเวลาทำเย็นระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็ง ที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C พบว่าเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำมันหมูจาก 62°C ลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 40°C ใช้เวลา 60 นาที (ภาพที่ 4.1) O'Shea *et al.* (2000) ศึกษาการตกผลึกไขมันนมวัวที่อุณหภูมิ 33-10°C นาน 2 ชม ที่อัตราการทำเย็น 0.58, 0.74, 1.17 และ 2.80°C / ชม อัตราการกวน 16 rpm พบว่าอัตราการทำเย็น 0.58°C / ชม ให้ปริมาณส่วนของไขมันเหลวที่มีกรดโนเลอิกสูงถึง 63.2% ขณะที่ Dimick *et al.* (1996) แยกส่วน anhydrous milk fat ด้วยอุณหภูมิต่ำ เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี และลักษณะการนำความร้อน โดยใช้อัตราการทำเย็น 1°C / นาที ในการลดอุณหภูมิไขมันนมจาก 60°C, 50°C ให้ลดลงเหลือ 29°C และ 18°C ตามลำดับ

จากจากการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C ที่เวลา 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 ชั่วโมง ได้ปริมาณไขมันแข็ง เท่ากับ 3.20 ± 0.05, 4.44 ± 0.35, 4.92 ± 0.48, 5.34 ± 0.45, 5.64 ± 1.25 และ 6.90 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักไขมันแข็ง ตามลำดับ ระยะเวลาที่ใช้ในการตกผลึกน้ำมันที่ 40°C มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปริมาณไขมันแข็งจะแปรผันตามเวลาที่ใช้ตกผลึก คือ ปริมาณไขมันแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา

เวลาในการตกผลึกเพิ่มขึ้น และที่ระยะเวลาการตกผลึกที่ 16 ชั่วโมง ปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกับเวลาที่ 18 และ 20 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นเริ่มมีปริมาณคงที่ จึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ 16 ชั่วโมง ในการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40°C (ตารางที่ 4.2)



ภาพที่ 4.1 การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 40°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-120 นาที

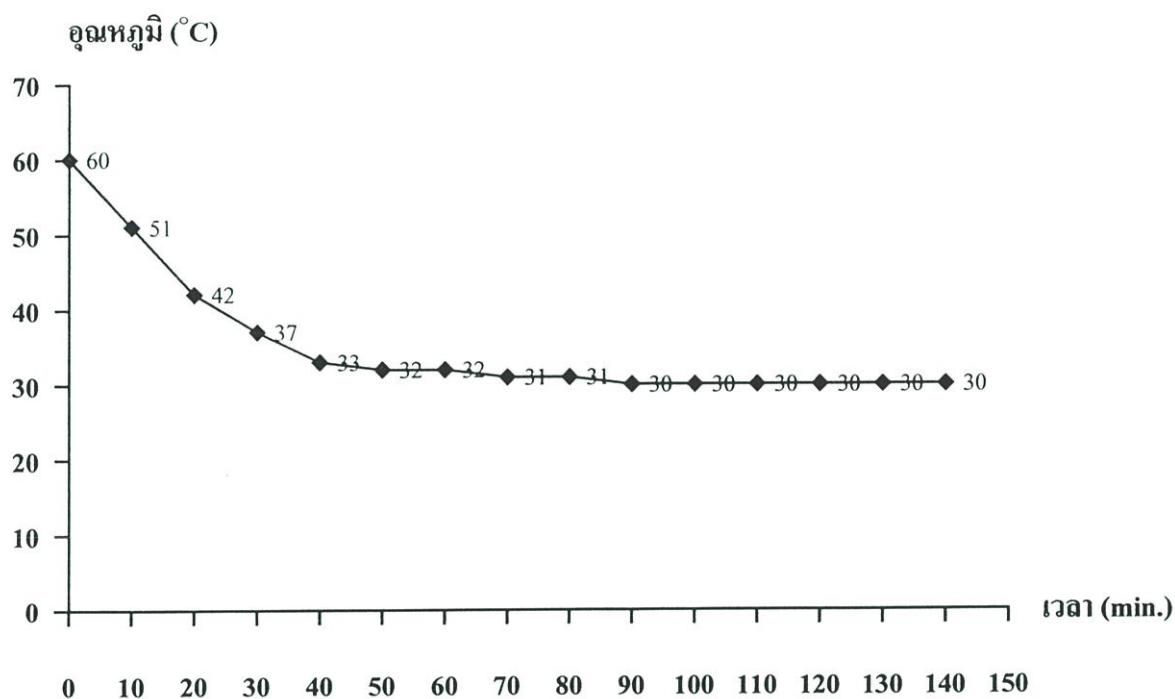
ตารางที่ 4.2 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40°C อัตราการกวน 10 rpm

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณไขมันแข็ง (%)
10	3.20 ± 0.05 <sup>a</sup>
12	4.44 ± 0.35 <sup>ab</sup>
14	4.92 ± 0.48 <sup>b</sup>
16	5.34 ± 0.54 <sup>bc</sup>
18	5.64 ± 1.25 <sup>bc</sup>
20	6.90 ± 0.72 <sup>c</sup>

<sup>a, b, c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ± standard deviation จากตัวอย่าง 2 ซ้ำ

#### 4.2.2 ระยะเวลาทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 30 °C

นำน้ำมันแยกส่วนที่ได้จากอุณหภูมิตกผลึกที่ 40 °C ที่เลือกไว้ ที่เวลาตกผลึก 16 ชั่วโมง มาศึกษาระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 30 °C ระยะเวลาที่อุณหภูมิของน้ำมันหมดลงจาก 60 °C จนมีอุณหภูมิเท่ากับ 30 °C เท่ากับ 90 นาที (ภาพที่ 4.2) ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 30 °C ที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 ชั่วโมง ปริมาณไขมันแข็ง เท่ากับ  $11.51 \pm 0.73$ ,  $12.60 \pm 0.88$ ,  $14.29 \pm 0.49$  และ  $14.25 \pm 1.48$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกัน ( $p \leq 0.05$ ) ของปริมาณไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 30 °C ที่เวลา 5-20 ชั่วโมง ปริมาณผลึกไขมันแข็งที่เวลา 10 ชั่วโมง มีปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกับเวลาตกผลึกที่ 5 และ 15 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ 10 ชั่วโมง สำหรับการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C เนื่องจากปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นเริ่มมีปริมาณคงที่ (ตารางที่ 4.3)



ภาพที่ 4.2 การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 30 °C อัตราการวน 10 rpm ที่เวลา 0-150 นาที

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30°C อัตราการกวน 10 rpm

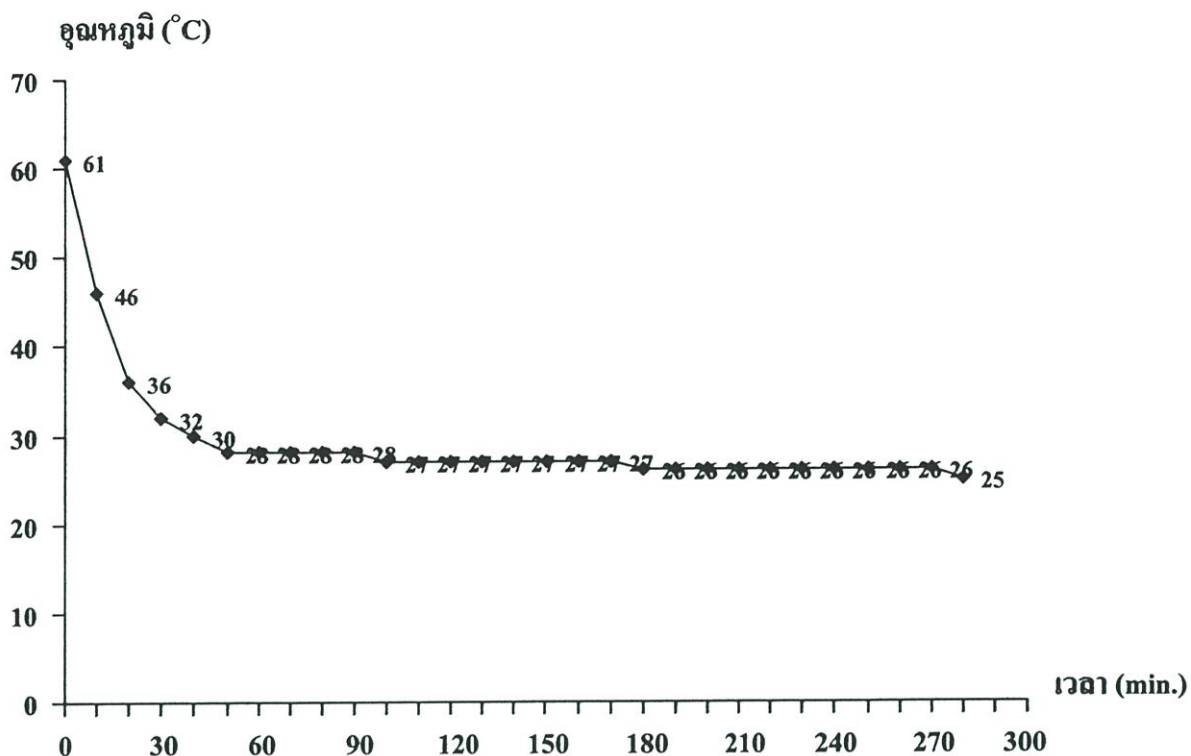
เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณไขมันแข็ง (%)
5	11.51 ± 0.73 <sup>a</sup>
10	12.60 ± 0.88 <sup>ab</sup>
15	14.92 ± 0.50 <sup>b</sup>
20	14.25 ± 1.48 <sup>b</sup>

<sup>a, b, c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 2 ซ้ำ

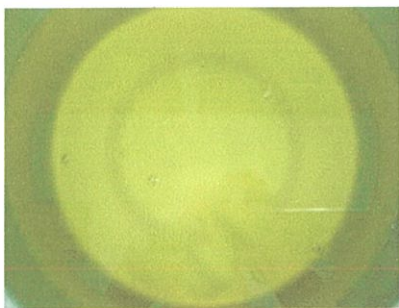
#### 4.2.3 ระยะเวลาทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมันแข็ง ที่อุณหภูมิตกผลึก 25°C

นำส่วนไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30°C ที่เวลา 10 ชั่วโมง มาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิ 25°C เพื่อศึกษาอัตราการทำเย็น ระยะเวลา และปริมาณไขมันแข็ง เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำมันหมูจาก 61°C ลงเป็น 25°C ใช้เวลาเท่ากับ 280 นาที (ภาพที่ 4.3) จากการสังเกตพบว่า ระยะเวลาของอัตราการทำเย็นที่ยาวนานนี้อาจเกิดจากการใช้อุณหภูมิที่ต่ำทำให้ผลึกก่อตัวจำนวนมาก จากการสังเกตผลึกที่เกิดขึ้นจะไปรวมตัวเกาะอยู่ที่ผนังของถังตกผลึก ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการลดอุณหภูมิของน้ำมันหมูให้ลดลงเท่ากับ 25°C และเมื่อครบระยะเวลาการตกผลึกที่ศึกษา ที่ระยะเวลา 5 – 20 ชั่วโมง ไม่สามารถกรองแยกผลึกไขมันได้ เนื่องจากน้ำมันที่ได้มีลักษณะหนืด และน้ำมันเกิดการรวมตัวอยู่กับผลึกไขมันเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาผลึกเกิดการอมน้ำมัน (oil entrapment) ดังนั้นจึงไม่สามารถศึกษาการตกผลึกน้ำมันหมูที่อุณหภูมิ 25°C ได้

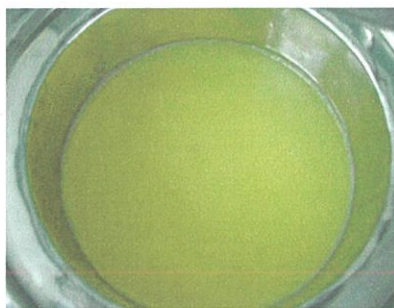


ภาพที่ 4.3 การทำเย็นน้ำมันเพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 25°C อัตราการวน 10 rpm ที่เวลา 0-290 นาที

กระบวนการตกผลึกเป็นการทำให้น้ำมันเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นผลึกไขมัน ไขมันแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิลอมเหลวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ช่วงแรกของการตกผลึกไขมันจะเป็นช่วงก่อผลึกจะเกิดนิวเคลียสขนาดเล็กแล้ว ก่อตัวเป็นผลึก ผลึกจะเจริญเพิ่มขึ้นที่เวลาดตกผลึกนาน พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกมีผลต่ออัตราการเกิดผลึก จำนวน และขนาดของผลึก ภาพที่ 4.4 ถึง 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C เวลา 10-20 ชั่วโมง จากการสังเกต พบว่าไม่มีความแตกต่างของ ปริมาณผลึกที่เวลาดตกผลึกตั้งแต่ 10 –20 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณผลึกที่ได้มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.4 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิ 62°C



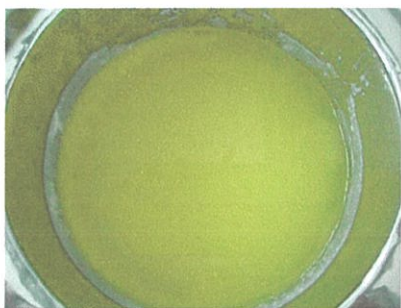
ภาพที่ 4.5 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.6 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 12 ชั่วโมง



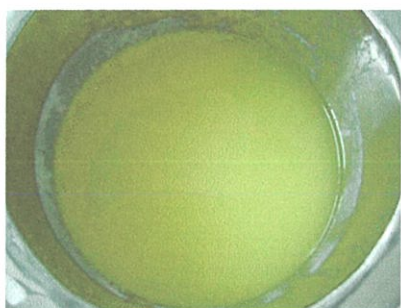
ภาพที่ 4.7 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 14 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.8 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 16 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.9 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 18 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C  
เวลา 20 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.11 ถึง 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำมันหมูที่อุณหภูมิ ตกผลึก 30°C ที่เวลา 5-20 ชั่วโมง จากการสังเกต พบว่าปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้นที่เวลาดกผลึก 15 และ 20 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.11 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40°C เวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.12 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40°C เวลา 10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.13 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40°C เวลา 15 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.14 น้ำมันหมูที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40°C เวลา 20 ชั่วโมง

#### 4.3 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันแยกส่วน

คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าซาปอนนิฟิเคชัน และ จุดหลอมเหลว ของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ ตกผลึก 40 และ 30°C ที่เวลาดกผลึก 0-20 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.4 ค่าไอโอดีน (IV) เป็นค่าที่บอกระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน และน้ำมัน ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C เวลาดกผลึก 10-20 ชั่วโมง ไขมันแข็งมีค่าไอโอดีนระหว่าง  $70.92 \pm 0.29$  ถึง  $74.75 \pm 1.17$  ไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนระหว่าง  $50.63 \pm 0.45$  ถึง  $55.30 \pm 0.15$  อุณหภูมิ ตกผลึก 30°C เวลาดกผลึกที่ 5-20 ชั่วโมง ไขมันแข็ง มีค่าไอโอดีนระหว่าง  $51.53 \pm 0.86$  ถึง  $62.42 \pm 0.11$  ไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนระหว่าง  $72.47 \pm 0.35$  ถึง  $73.55 \pm 0.29$  อุณหภูมิ และระยะเวลา ตกผลึก มีผลต่อค่าไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนสูงกว่าไขมัน แข็ง เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกระจายอยู่ในส่วนไขมันเหลวมากกว่าไขมันแข็ง (Grall and Hartel, 1992) และการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ค่าไอโอดีน ของไขมันแยกส่วนมีค่าสูงขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการนำไขมันเหลวที่ผ่านการตกผลึกที่อุณหภูมิสูงมาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิต่ำลง และเป็นการแยกกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกมาอีกครั้งหนึ่ง ไขมันที่ถูกนำมาตกผลึกซ้ำจึงมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ทำให้ไขมันเหลวที่ถูกแยกออกมาจึงมีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันเหลว และไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนด้วย อุณหภูมิค่าแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิตกผลึก 40 และ 30°C ที่เวลา 0-20 ชั่วโมง

Fraction	เวลา (hr)	MP.	IV.	FFA.	SN.
ไขมันเหลวจากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C					
Lard	0	44.83±0.29 <sup>a</sup>	68.55 ± 0.66 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>ns</sup>	181.62 ± 1.46 <sup>a</sup>
	10	40.00±0.00 <sup>bc</sup>	70.92 ± 0.29 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.11 <sup>ns</sup>	188.26 ± 0.17 <sup>b</sup>
LF 40 <sup>A</sup>	12	40.17±0.29 <sup>b</sup>	71.66 ± 1.44 <sup>b</sup>	0.50 ± 0.05 <sup>ns</sup>	189.91 ± 0.17 <sup>b</sup>
	14	39.07±0.38 <sup>d</sup>	72.66 ± 0.87 <sup>bc</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>ns</sup>	189.68 ± 0.50 <sup>b</sup>
	16	39.47±0.06 <sup>cd</sup>	72.84 ± 0.82 <sup>bc</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>ns</sup>	189.32 ± 0.01 <sup>b</sup>
	18	39.63±0.23 <sup>bcd</sup>	73.04 ± 0.92 <sup>bc</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>ns</sup>	188.25 ± 0.19 <sup>b</sup>
	20	39.30±0.52 <sup>d</sup>	74.75 ± 1.17 <sup>d</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>ns</sup>	189.92 ± 1.16 <sup>b</sup>
ไขมันเหลวจากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 °C					
Lard	0	44.83±0.29 <sup>a</sup>	68.55 ± 0.66 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>ns</sup>	181.62 ± 1.46 <sup>a</sup>
	5	31.10±0.10 <sup>b</sup>	72.47 ± 0.35 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.11 <sup>ns</sup>	191.57 ± 0.51 <sup>b</sup>
LF 30	10	31.03±0.15 <sup>b</sup>	73.14 ± 0.45 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.06 <sup>ns</sup>	193.23 ± 0.50 <sup>b</sup>
	15	30.20±0.35 <sup>c</sup>	73.35 ± 0.95 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>ns</sup>	192.16 ± 1.01 <sup>b</sup>
	20	30.10±0.17 <sup>c</sup>	73.55 ± 0.29 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>ns</sup>	193.71 ± 0.18 <sup>b</sup>
ไขมันแข็งจากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C					
Lard	0	44.83±0.29 <sup>c</sup>	68.55 ± 0.66 <sup>d</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>a</sup>	181.62 ± 1.46 <sup>a</sup>
	10	58.97±0.06 <sup>a</sup>	50.63 ± 0.45 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	190.04 ± 0.33 <sup>b</sup>
SF 40	12	57.33±0.40 <sup>b</sup>	51.43 ± 1.23 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.04 <sup>b</sup>	191.21 ± 0.34 <sup>b</sup>
	14	56.70±0.20 <sup>c</sup>	52.38 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	190.86 ± 0.16 <sup>b</sup>
	16	55.00±0.00 <sup>c</sup>	54.09 ± 0.33 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.04 <sup>b</sup>	190.86 ± 0.17 <sup>b</sup>
	18	55.77±0.47 <sup>d</sup>	55.07 ± 1.98 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	190.15 ± 0.17 <sup>b</sup>
	20	55.77±0.32 <sup>d</sup>	55.30 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	190.62 ± 0.16 <sup>b</sup>
	20	55.77±0.32 <sup>d</sup>	55.30 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	190.62 ± 0.16 <sup>b</sup>
ไขมันแข็งจากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 °C					
Lard	0	44.83±0.29 <sup>a</sup>	68.55 ± 0.66 <sup>d</sup>	0.53 ± 0.00 <sup>a</sup>	181.62 ± 1.46 <sup>a</sup>
	5	54.00±0.00 <sup>c</sup>	51.53 ± 0.86 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	193.91 ± 0.16 <sup>b</sup>
SF 30	10	53.43±0.32 <sup>c</sup>	55.35 ± 0.56 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	194.19 ± 0.85 <sup>b</sup>
	15	50.47±0.15 <sup>c</sup>	55.57 ± 0.43 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.02 <sup>b</sup>	193.93 ± 0.16 <sup>b</sup>
	20	50.13±0.23 <sup>b</sup>	62.42 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	194.64 ± 0.84 <sup>b</sup>

Lard คือน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, LF คือ ส่วนของเหลวที่ได้จากการแยกส่วน, SF คือ ส่วนของแข็งที่ได้จากการแยกส่วน, <sup>A</sup> เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียส

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

IV = จำนวนกรัมไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

FFA-Oleic = เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในภาพกรดโอเลอิก (กรัมค่อน้ำมัน 100 กรัม)

S.N. = จำนวนมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ค่อน้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

M.P. = จุดหลอมเหลวของน้ำมัน และไขมัน (องศาเซลเซียส)

จุดหลอมเหลวของน้ำมัน และไขมันมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีน และระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน พบว่าระยะเวลาตกผลึกนานขึ้น น้ำมัน และไขมันแยกส่วนมีจุดหลอมเหลวลดลง. อุณหภูมิแยกส่วนเดียวกัน ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว โดยไขมันเหลวที่อุณหภูมิตกผลึกที่  $40^{\circ}\text{C}$  มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $39.63 \pm 0.23$  ถึง  $40.00 \pm 0.00^{\circ}\text{C}$  และไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวช่วง  $55.77 \pm 0.32$  ถึง  $58.97 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$  และไขมันเหลวที่อุณหภูมิตกผลึกที่  $30^{\circ}\text{C}$  มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $30.10 \pm 0.17$  ถึง  $31.10 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$  และไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวช่วง  $50.13 \pm 0.23$  ถึง  $54.00 \pm 0.00^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่าไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว ทั้งนี้เนื่องจากการตกผลึกไขมันเหลวช้า ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนของไขมันแข็งส่วนแรก ( $40^{\circ}\text{C}$ ) ทำให้ไขมันแข็งที่  $30^{\circ}\text{C}$  เป็นกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า  $40^{\circ}\text{C}$  จากการศึกษาการตกผลึกที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$  สามารถแบ่งกลุ่มของกรดไขมันโดยอาศัยจุดหลอมเหลว พบว่าไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึกที่  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$  (SF40 และ SF30) เป็นกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (High Melting Fraction; HMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวมากกว่า  $50^{\circ}\text{C}$  และไขมันเหลวที่อุณหภูมิตกผลึกที่  $40^{\circ}\text{C}$  (LF40) เป็นกลุ่มของกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลว ปานกลาง (Middle Melting Fraction; MMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $35-40^{\circ}\text{C}$  และไขมันเหลวที่อุณหภูมิตกผลึกที่  $30^{\circ}\text{C}$  (LF30) เป็นกลุ่มของกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (Low Melting Fraction; LMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $15-30^{\circ}\text{C}$  (Kaylegian and Lindsay, 1994) Fatouh *et al.* (2003) รายงานว่ากรดไขมันชนิดหลักที่พบในกลุ่ม HMF เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสายโซ่ยาว ได้แก่ โซ่สั้น ได้แก่ C4:0 และ C8:0 กรดไขมัน C16:0 และ C18:0 และมีกรดไขมันชนิดสายโซ่สั้น ได้แก่ C4:0 และ C8:0 กรดไขมันชนิดสายโซ่ปานกลาง ได้แก่ C10:0, C14:0 และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายโซ่ยาว ได้แก่ C18:1, C18:2 และ C18:3

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก พบว่า ระยะเวลาตกผลึก และอัตราการกวนที่ 10 rpm ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันเหลว ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่มีความแตกต่างเมื่อระยะเวลาตกผลึกนานขึ้น ( $p \geq 0.05$ ) แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระส่วนไขมันแข็งเมื่อเทียบกับน้ำมันก่อนการตกผลึก ( $p \leq 0.05$ ) ไขมันแข็งประกอบด้วยกรดไขมันอิสระในปริมาณน้อยกว่าในส่วนไขมันเหลว Ghatra *et al.* (2002) กล่าวว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีนในไขมัน และน้ำมัน โดยในส่วนของไขมันเหลวที่มีปริมาณความไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าส่วนของไขมันแข็ง จึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระในไขมันเหลวสูงกว่าไขมันแข็ง แต่จากการศึกษาของ วรณา (2549) พบว่ามีความแตกต่างกันของปริมาณกรดไขมันอิสระในส่วนไขมันแข็ง และไขมันเหลว โดยในส่วนของไขมันแข็งกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง แต่ในส่วนไขมันเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิตกผลึกลดลง

ค่าซาปอนิฟิเคชัน เป็นค่าที่ชี้บ่งขนาด และจำนวน โมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน และไขมัน จากการทดลอง พบว่ากระบวนการแยกส่วนที่อุณหภูมิต่ำแบบ

หลายชั้นที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า SN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างระยะเวลาตกผลึก ( $p \geq 0.05$ ) ไขมันแข็งมีค่า SN สูงกว่า ไขมันเหลว ค่า SN ของไขมันเหลวที่อุณหภูมิแยกส่วนที่ 40°C มีค่าอยู่ในช่วง  $188.26 \pm 0.17$  ถึง  $189.92 \pm 1.16$  และไขมันแข็งมีค่าอยู่ในช่วง  $190.04 \pm 0.33$  ถึง  $190.62 \pm 0.16$  ที่อุณหภูมิแยกส่วน 30°C ส่วนไขมันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง  $191.57 \pm 0.51$  ถึง  $193.71 \pm 0.18$  และไขมันแข็งมีค่าอยู่ในช่วง  $193.91 \pm 0.16$  ถึง  $194.64 \pm 0.84$

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมี ภายนอกของไขมันหมูแยกส่วนมีความสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำของ วรณา (2549) พบว่ากระบวนการแยกส่วนมีผลทำให้ระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน และน้ำมัน เพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของไขมันของเหลว และของแข็ง เพิ่มขึ้น ส่วนไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนสูงกว่าไขมันแข็ง จุดหลอมเหลวของไขมันแยกส่วนมีค่าลดลง และค่าซาปอนนิฟิเคชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิที่ต่ำลง สลิมา (2547) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไขมันไก่ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ พบว่าอัตราการกวนมีผลต่อลักษณะของผลึก และปริมาณผลึกที่แยกได้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี ภายนอกของไขมันไก่

การวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (fatty acid composition) ของน้ำมันแยกส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ( $p \leq 0.05$ ) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหมู คือ โอเลอิก (C18:1) 30.24 % ลิโนเลอิก (C18:2) 29.34% สเตียริก (C18:0) 14.86% ปาล์มมิติก (C16:0) 14.62% พามิโต โอเลอิก (C16:1) 4.35% ลิโนเลนิก (C18:3) 2.78% และไมริสติก (C14:0) 2.35% การแยกส่วนไขมันที่อุณหภูมิตกผลึกต่ำ มีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง พบว่า น้ำมันหมูเริ่มต้นมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว เท่ากับ 32.64% แต่เมื่อผ่านกระบวนการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันเหลวลดลงเหลือ 31.5% และ 29.16% ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวของน้ำมันหมู ยังเพิ่มขึ้นจาก 34.60% เป็น 35.29% และ 36.39% ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนเพิ่มขึ้นจาก 32.76% เป็น 33.46% และ 34.45% ตามลำดับ ขณะที่ไขมันแข็งให้ผลตรงกันข้าม คือ ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นจาก 32.64% เป็น 45.82-48.49% และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวลดลงจาก 34.60% เป็น 26.61-28.72% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนลดลงจาก 32.76% เหลือเพียง 24.90-25.46 % ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C มีชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับน้ำมันหมูเริ่มต้น แต่ปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งในส่วน ไขมันเหลว และไขมันแข็ง ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน ไขมันแข็งที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าที่สอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำของ วรณา (2549)

และสอดคล้องกับค่าที่ CODEX (1999) กำหนดไว้ คือมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมีค่าระหว่าง 31-56% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีปริมาณระหว่าง 43.50-73.50%

อัตราส่วนระหว่าง PUFA/SFA เป็นค่าที่สามารถใช้บอกถึงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันได้ และบอกถึงความสมดุลของการบริโภคกรดไขมันจำเป็น โดย Ayo *et al.*, 2007 กล่าวว่าอัตราส่วนของ PUFA/SFA ควรมีความมากกว่า 0.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำมันหมูมีอัตราส่วนเท่ากับ  $1.00 \pm 0.01$  และพบว่ากระบวนการแยกส่วน สามารถเพิ่มอัตราส่วนของ PUFA/SFA ให้มีค่าเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งส่วนไขมันเหลว และไขมันแข็ง โดยไขมันเหลวที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$  มีอัตราส่วนของ PUFA/SFA เพิ่มขึ้นเป็น  $1.07 \pm 0.01$  และ  $1.18 \pm 0.00$  ตามลำดับ ขณะที่ไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก  $40^{\circ}\text{C}$  มีค่าเท่ากับ  $0.51 \pm 0.00$  และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $0.56 \pm 0.00$  เมื่อผ่านกระบวนการตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการแยกส่วน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ  $\omega-6/\omega-3$  ( $p \geq 0.05$ ) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 4 (Ayo *et al.*, 2007) แต่จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของ  $\omega-6/\omega-3$  มีค่าระหว่าง  $10.04 \pm 0.46$  ถึง  $10.75 \pm 0.31$  ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปไขมันหมูมีอัตราส่วนของ  $\omega-6/\omega-3$  ประมาณ 9.5 - 10 (Paneras *et al.*, 1998)

ตารางที่ 4.5 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมู น้ำมัน และไขมันแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่อุณหภูมิตกผลึก  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$

	% Fatty acid composition / 100 mg oil sample				
	Leaf fat	LF40 <sup>A</sup>	SF40	LF30	SF30
C 14:0	$2.35 \pm 0.07^b$	$2.37 \pm 0.03^b$	$2.06 \pm 0.01^a$	$2.32 \pm 0.06^b$	$2.37 \pm 0.03^b$
C 16:0	$14.62 \pm 0.02^b$	$14.45 \pm 0.10^b$	$17.74 \pm 0.13^c$	$13.81 \pm 0.01^a$	$17.10 \pm 0.05^c$
C 16:1	$4.35 \pm 0.24^b$	$4.39 \pm 0.04^b$	$3.25 \pm 0.24^a$	$4.57 \pm 0.07^b$	$3.45 \pm 0.14^a$
C 17:0	$0.43 \pm 0.08^a$	$0.45 \pm 0.07^a$	$0.73 \pm 0.07^c$	$0.56 \pm 0.00^{ab}$	$0.66 \pm 0.01^{bc}$
C 18:0	$14.86 \pm 0.04^c$	$13.68 \pm 0.03^b$	$27.34 \pm 0.01^c$	$12.18 \pm 0.12^a$	$24.32 \pm 0.06^d$
C 18:1 $\omega-9$	$30.24 \pm 0.06^c$	$30.90 \pm 0.00^d$	$23.36 \pm 0.04^a$	$31.81 \pm 0.04^c$	$25.27 \pm 0.01^b$
C 18:2 $\omega-6$	$29.34 \pm 0.22^c$	$29.91 \pm 0.12^d$	$21.10 \pm 0.07^a$	$30.92 \pm 0.11^c$	$22.61 \pm 0.01^b$
C 20:0	$0.38 \pm 0.02^{ab}$	$0.30 \pm 0.12^{ab}$	$0.61 \pm 0.02^c$	$0.28 \pm 0.10^a$	$0.48 \pm 0.00^{bc}$
C 18:3 $\omega-3$	$2.78 \pm 0.07^b$	$2.81 \pm 0.00^b$	$2.19 \pm 0.09^a$	$2.88 \pm 0.07^b$	$2.19 \pm 0.01^a$
C 20:2 <sup>ns</sup>	$0.65 \pm 0.13$	$0.74 \pm 0.24$	$0.71 \pm 0.12$	$0.66 \pm 0.07$	$0.66 \pm 0.03$
$\Sigma$ SFA	$32.64 \pm 0.10^c$	$31.25 \pm 0.12^b$	$48.49 \pm 0.09^c$	$29.16 \pm 0.02^c$	$45.82 \pm 0.07^b$
$\Sigma$ MUFA	$34.60 \pm 0.19^c$	$35.29 \pm 0.04^d$	$26.61 \pm 0.01^a$	$36.39 \pm 0.03^c$	$28.72 \pm 0.13^b$
$\Sigma$ PUFA	$32.76 \pm 0.29^c$	$33.46 \pm 0.16^d$	$24.90 \pm 0.10^a$	$34.45 \pm 0.04^c$	$25.46 \pm 0.06^b$
$\Sigma$ USFA	$67.36 \pm 0.10^b$	$68.75 \pm 0.12^b$	$51.51 \pm 0.09^a$	$70.84 \pm 0.02^c$	$54.18 \pm 0.07^{ab}$

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมู น้ำมัน และไขมันแยกส่วนแบบหลาย  
ชั้นที่อุณหภูมิตกผลึก 40 °C และ 30 °C

	% Fatty acid composition / 100 mg oil sample				
	Leaf fat	LF40 <sup>A</sup>	SF40	LF30	SF30
PUFA / SFA	1.00 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.07 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.51 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.56 ± 0.00 <sup>b</sup>
ω-6 / ω-3 <sup>ns</sup>	10.57 ± 0.33	10.65 ± 0.03	10.04 ± 0.46	10.75 ± 0.31	10.31 ± 0.06

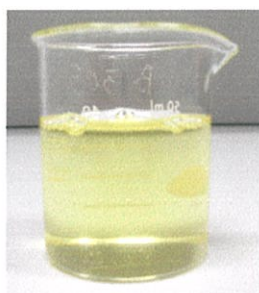
Leaf fat คือน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, LF คือ ส่วนของเหลวที่ได้จากการแยกส่วน, SF คือ ส่วนของแข็งที่ได้จากการแยกส่วน, <sup>A</sup> เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียส

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 2 ซ้ำ

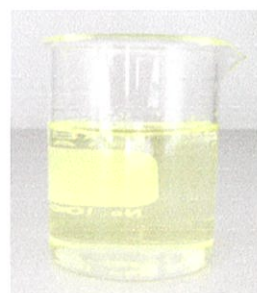
เมื่อนำน้ำมัน และไขมันแยกส่วนมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.15) พบว่า ส่วนไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนจะมีความใส และมีสีเหลืองมากกว่าน้ำมันหมูขณะที่ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนที่ 40 °C และ 30 °C มีสีอ่อนกว่าไขมันเปลว



a). Leaf fat



b.) LF 40 °C 16 hr



c.) LF 30 °C 10 hr

ภาพที่ 4.15 น้ำมันหมูก่อนผ่านกระบวนการแยกส่วน และส่วนของไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C และ 30 °C



a). Leaf fat



b.) SF 40 °C 16 hr



c.) SF 30 °C 10 hr

ภาพที่ 4.16 น้ำมันหมูก่อนผ่านกระบวนการแยกส่วน และส่วนของไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 °C และ 30 °C

น้ำมันเมื่อได้รับความร้อนมีการเกิดออกซิเดชัน (thermal oxidation) โดยเฉพาะเมื่อใช้ความร้อนสูงเพื่อการทอดอาหาร (Bastida and Sánchez-Muniz, 2001) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียกรดไขมันจำเป็น แร่ธาตุ และวิตามิน (Fillion and Henry, 1998) ไขมันที่ได้รับความร้อนสูงกว่า 100°C สามารถเกิดปฏิกิริยามลลาร์ด (Maillard reaction) ของน้ำตาลรีดิวซ์ และเอมีน (Bailey, 1998) ซึ่งมีผลให้เกิดสารมีสีโครโมฟอร์ (chromophores) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Hofmann, 1998) การเตรียมน้ำมันด้วยการเจียวด้วยอุณหภูมิ 100-110°C ในการทดลองครั้งนี้ก็เป็นเหตุผลที่ทำให้น้ำมันมีสีที่เข้ม กระบวนการแยกส่วนด้วยความเย็นมีผลทำให้โครโมฟอร์ไปอยู่ในส่วนของไขมันแข็งมากกว่าส่วนของน้ำมัน

#### 4.4. การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน

##### 4.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีปริมาณความชื้น และโปรตีนเท่ากับ  $58.84 \pm 0.08\%$  และ  $15.09 \pm 0.21\%$  ตามลำดับ ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40 °C มีปริมาณความชื้น และโปรตีน เท่ากับ  $54.87 \pm 0.71\%$  และ  $13.62 \pm 0.26\%$  ตามลำดับ ขณะที่ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30°C มีปริมาณความชื้น และโปรตีน เท่ากับ  $53.82 \pm 0.743\%$  และ  $13.87 \pm 0.16\%$  ตามลำดับ ปริมาณความชื้น และโปรตีนของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมากกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อของมันแข็ง ประกอบไปด้วยไขมัน 80% ยังมีส่วนที่เป็นโปรตีนอยู่ประมาณ 4.2 % (Wilson *et al.*, 1981) ขณะที่น้ำมันแยกส่วนที่ใช้ในไส้กรอกทั้ง 2 สูตร (SLF40 และ SLF30) ไม่มีโปรตีนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งจัดได้ว่าเป็นไตรกลีเซอไรด์เกือบ 100% จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำมันแยกส่วนที่ใช้มีปริมาณที่มากกว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากส่วนของมันแข็งในสัดส่วนน้ำหนักที่เท่ากัน ไส้กรอกที่ใช้ไขมันมันแยกส่วนจึงมีปริมาณไขมันสูงกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง โดยไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 30°C และไส้กรอกที่ใช้มันแข็งปริมาณไขมันเท่ากับ  $24.33 \pm 0.08\%$ ,  $24.05 \pm 0.19\%$  และ  $18.17 \pm 0.30\%$  ตามลำดับ pH และปริมาณเถ้า ของไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากอุณหภูมิตกผลึกทั้ง 2 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกับไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งของเถ้า มาจากส่วนของเนื้อหมู แต่ ไม่ได้มาจากส่วนไขมัน โดยเนื้อหมูประกอบด้วยเถ้าประมาณ 0.9 -1.4% (Porter and Hotchkis, 1995) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ได้จากการศึกษามีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่กำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ต้องมีไขมันไม่เกินร้อยละ 25 และโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 13 นอกจากนี้ค่าที่ได้ยังมีความสอดคล้องกับ Matulis *et al.* (1995) ที่สร้างแบบแผนทำนายการตัดสินใจการยอมรับผลิตภัณฑ์

ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ ว่าองค์ประกอบที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ต้องประกอบด้วยไขมัน  $\geq 11.25\%$ , เกลือ 1.3% และ pH 6.0 ขณะที่ OrdÓñez *et al.* (1996) เสนอว่าไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ควรมีปริมาณโปรตีนระหว่าง 11-15% และอัตราส่วนของไขมันต่อโปรตีน ประมาณ 1.5

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
Moisture (%)	58.84 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	54.87 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>	53.82 $\pm$ 0.43 <sup>b</sup>
Protein (%)	15.09 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	13.62 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	13.87 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>
Fat (%)	18.17 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	24.05 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	24.33 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>
Ash (%) <sup>ns</sup>	2.18 $\pm$ 0.13	2.09 $\pm$ 0.09	2.04 $\pm$ 0.20
pH <sup>ns</sup>	6.38 $\pm$ 0.08	6.43 $\pm$ 0.05	6.42 $\pm$ 0.04

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$\pm$  standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ (ตารางที่ 4.7) พบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักในไส้กรอกทั้ง 2 สูตร คือ ปาล์มมิติก (C16:0) สเตียริก (C18:0) และไมริสติก (C14:0) โดยในไส้กรอกที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม มีปริมาณเท่ากับ 13.65  $\pm$  0.05, 12.42  $\pm$  0.11 และ 2.08  $\pm$  0.04 % ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ ขณะที่ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีปริมาณเท่ากับ 12.41  $\pm$  0.05, 8.60  $\pm$  0.04 และ 1.90  $\pm$  0.02% ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอื่นในปริมาณเล็กน้อย เช่น อราซิดิก (C20:0) 0.29-0.32% ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม และมากริก (C17:0) 0.34-0.38% ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักในไส้กรอก คือ โอเลอิก (C18:1) ลิโนเลอิก (C18:2) และลิโนเลนิก (C18:3) มีปริมาณเท่ากับ 31.20  $\pm$  0.00, 32.88  $\pm$  0.10 และ 2.35  $\pm$  0.11 % ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ ขณะที่ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีปริมาณเท่ากับ 34.46  $\pm$  0.01, 32.22  $\pm$  0.11 และ 2.68  $\pm$  0.01 % ต่อตัวอย่างน้ำมัน 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ต่อ 100 มิลลิกรัมไส้กรอก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าการทดแทนมันแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วน สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ได้ เนื่องจากไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C มี

ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เป็น  $18.60 \pm 0.07$  มิลลิกรัม ต่อตัวอย่างไส้กรอก 100 มิลลิกรัม แต่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 0.49 มิลลิกรัม ต่อตัวอย่างไส้กรอก 100 มิลลิกรัม นอกจากนี้การใช้น้ำมันแยกส่วนยังส่งผลให้ไส้กรอกมีปริมาณกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ ลิโนเลอิก (C18:2) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) รวมทั้งปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่มีผลช่วยในการลดระดับ LDL คอเลสเตอรอล ก็มีปริมาณมากกว่า ( $p \leq 0.05$ ) ไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ประมาณ 1.54 มิลลิกรัม ต่อตัวอย่างไส้กรอก 100 มิลลิกรัม อัตราส่วนของ PUFA/SFA ในไส้กรอกทั้ง 2 สูตร มีค่ามากกว่า 0.4 (Ayo *et al.*, 2007) โดยไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง มีค่าเท่ากับ  $1.25 \pm 0.00$  ในขณะที่ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก  $40^{\circ}\text{C}$  มีอัตราส่วนของ PUFA/SFA เพิ่มมากขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ  $1.52 \pm 0.01$  จากค่าที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำมันแยกส่วนในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ทำให้ไส้กรอกที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการดีขึ้น การใช้น้ำมันแยกส่วนในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีผลทำให้อัตราส่วนของ  $\omega-6 / \omega-3$  มีแนวโน้มลดลง ไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีอัตราส่วนของ  $\omega-6 / \omega-3$  เท่ากับ  $14.01 \pm 0.72$  และ  $12.02 \pm 0.10$  ตามลำดับ และค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Ayo *et al.*, 2007 พบว่า ไส้กรอกสูตรไขมันปกติ (ไขมันร้อยละ 16) มีอัตราส่วนของ  $\omega-6 / \omega-3$  เท่ากับ 13.73 ค่าที่ได้นี้ เป็นอัตราส่วนปกติที่พบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ใช้ไขมันหมูเป็นส่วนผสม เนื่องจากไขมันหมูมีอัตราส่วนของ  $\omega-6 / \omega-3$  ประมาณ 9.5 - 10 (Paneras *et al.*, 1998) นอกจากนี้ไม่พบกรดไขมันชนิดทรานส์ (Trans) ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาณ LDL คอเลสเตอรอล ลดปริมาณ HDL คอเลสเตอรอล และส่งผลกระทบต่อการทำงานของผนังเซลล์

#### ตารางที่ 4.7 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	% Fatty acid composition		mg Fatty acid composition	
	/ 100 mg oil sample		/ 100 mg sausage	
	COM	SLF40	COM	SLF40
C 14:0	$2.08 \pm 0.04^a$	$1.90 \pm 0.02^b$	$0.38 \pm 0.01^b$	$0.46 \pm 0.00^a$
C 16:0	$13.65 \pm 0.05^a$	$12.41 \pm 0.05^b$	$2.48 \pm 0.03^a$	$3.02 \pm 0.02^b$
C 16:1	$3.97 \pm 0.01^a$	$6.09 \pm 0.14^b$	$0.72 \pm 0.01^a$	$1.48 \pm 0.03^b$
C 17:0 <sup>ns</sup>	$0.38 \pm 0.01$	$0.34 \pm 0.04$	$0.07 \pm 0.00$	$0.08 \pm 0.01$
C 18:0	$12.42 \pm 0.11^a$	$8.60 \pm 0.04^b$	$2.26 \pm 0.02^a$	$2.09 \pm 0.00^b$
C 18:1 $\omega-9$	$31.20 \pm 0.00^a$	$34.46 \pm 0.01^b$	$5.67 \pm 0.09^a$	$8.38 \pm 0.03^b$
C 18:2 $\omega-6$	$32.88 \pm 0.10^a$	$32.22 \pm 0.11^b$	$5.97 \pm 0.11^a$	$7.84 \pm 0.05^b$
C 20:0 <sup>ns</sup>	$0.32 \pm 0.07$	$0.29 \pm 0.04$	$0.06 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.01$
C 18:3 $\omega-3$ <sup>ns</sup>	$2.35 \pm 0.11$	$2.68 \pm 0.01$	$0.43 \pm 0.01$	$0.65 \pm 0.00$
C 20:2 <sup>ns</sup>	$0.75 \pm 0.08$	$0.99 \pm 0.04$	$0.14 \pm 0.02$	$0.24 \pm 0.01$

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์

	% Fatty acid composition		mg Fatty acid composition	
	/ 100 mg oil sample		/ 100 mg sausage	
	COM	SLF40	COM	SLF40
Σ SFA	28.86 ± 0.06 <sup>a</sup>	23.56 ± 0.01 <sup>b</sup>	5.24 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.73 ± 0.02 <sup>b</sup>
Σ MUFA	35.17 ± 0.01 <sup>a</sup>	40.55 ± 0.12 <sup>b</sup>	6.39 ± 0.11 <sup>a</sup>	9.87 ± 0.01 <sup>b</sup>
Σ PUFA <sup>ns</sup>	35.98 ± 0.06	35.90 ± 0.13	6.54 ± 0.12	8.73 ± 0.06
Σ USFA	71.14 ± 0.06 <sup>a</sup>	76.44 ± 0.01 <sup>b</sup>	12.92 ± 0.23 <sup>a</sup>	18.60 ± 0.07 <sup>b</sup>
PUFA / SFA	1.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.01 <sup>b</sup>
ω-6 / ω-3 <sup>ns</sup>	14.01 ± 0.72	12.02 ± 0.10	14.01 ± 0.72	12.02 ± 0.10

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 2 ซ้ำ

#### 4.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาค่าสีของไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 4.8) เมื่อพิจารณาค่าสีของไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ พบว่าการใช้น้ำมันแยกส่วนทดแทนมันแข็งในไส้กรอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C (SLF40) และ 30°C (SLF30) มีสีอ่อนกว่า โดยมีค่าความสว่าง (L\*) สูงกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง (COM) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าความสว่าง (L\*) ของ COM, SLF40 และ SLF30 เท่ากับ  $75.37 \pm 0.66$ ,  $75.47 \pm 0.24$  และ  $73.13 \pm 0.60$  ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการแยกส่วน ทำให้น้ำมันมีความใสขึ้น เมื่อนำมาใส่ในไส้กรอกจึงส่งผลให้ไส้กรอกมีความสว่างมากขึ้น ขณะที่ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีค่าสีแดง (a\*) มากกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่ 40 และ 30°C มีค่าเท่ากับ  $8.25 \pm 0.31$ ,  $7.52 \pm 0.21$  และ  $7.98 \pm 0.47$  ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากเนื้อเยื่อของมันแข็งมีเส้นเลือดฝอย จึงส่งผลให้มีไมโอโกลบินเพิ่มขึ้นในไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ขณะที่ ไม่มีความแตกต่าง ( $p \geq 0.05$ ) ของค่าสีเหลือง (b\*) นอกจากนี้ความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากความแตกต่างของปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบภายในไส้กรอก (ตารางที่ 4.3) Hughes *et al.*, 1997 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันน้อย จะมีค่าความสว่าง (L\*) ลดลง ขณะที่ค่าสีแดง (a\*) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันสูงกว่า แต่จะไม่มีผลต่อค่าสีเหลือง (b\*) Bloukas *et al.* (1997) พบว่าไส้กรอกแฟรงเฟอเดอร์ไขมันต่ำจะมีค่าความสว่าง (L\*) ต่ำกว่าไส้กรอกไขมันสูง

ขณะที่ Grigelmo-Miguel *et al.* (1999) พบว่า ใ้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ไขมันต่ำมีความสว่าง (L\*) ลดลง ใ้กรอกทั้ง 3 สูตร มีคุณภาพด้านค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม (cooking loss), ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และ ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability) ไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า การใช้ไขมันแยกส่วนไม่มีผลกระทบต่อระบบอิมัลชันของใ้กรอก และ กระบวนการผลิตทำให้ระบบอิมัลชันทั้ง 3 ชนิด เกิดคล้ายกัน และมีความคงตัวของระบบอิมัลชันที่ใกล้เคียงกัน Wilson *et al.* (1981) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์เนื้อที่คิดควรมีค่าการสูญเสียขณะหุงต้มต่ำ และ ไม่ควรมากกว่า 10% จะเห็นได้ว่าใ้กรอกทั้ง 3 สูตร ในการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่า 10% ค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชัน มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าอิมัลชันมีความคงตัวมาก ก็จะทำให้อิมัลชันมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และไขมันไว้ใน โครงสร้างได้ดี จึงทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และจะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของใ้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
<b>Color</b>			
L* (lightness)	73.13 ± 0.6 <sup>a</sup>	75.37 ± 0.66 <sup>b</sup>	75.47 ± 0.24 <sup>b</sup>
a* (redness)	8.25 ± 0.31 <sup>a</sup>	7.52 ± 0.21 <sup>b</sup>	7.98 ± 0.47 <sup>b</sup>
b* (yellowness) <sup>ns</sup>	12.81 ± 0.27	12.82 ± 0.79	12.96 ± 0.40
Cooking loss <sup>ns</sup>	0.52 ± 0.15	0.52 ± 0.11	0.57 ± 0.14
Water holding capacity (%) <sup>ns</sup>	97.36 ± 0.39	97.38 ± 0.41	97.17 ± 0.34
Emulsion stability (%TEF) <sup>ns</sup>	1.45 ± 0.90	1.37 ± 0.90	1.14 ± 0.75

COM คือ ใ้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ไขมันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ใ้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

SLF30 คือ ใ้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile analysis, TPA)

ผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า COM มีค่า hardness, cohesiveness, gumminess และ chewiness แตกต่างจากของใ้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน ( $p \leq 0.05$ ) โดยใ้กรอกที่ไขมันแข็งมีค่าสูงกว่าใ้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน ซึ่งเป็นผลมาจาก ปริมาณโปรตีน

และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจากมันแข็งที่เป็นส่วนผสม ที่มีบทบาทในการทำให้ระบบอิมัลชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้โครงสร้างของไส้กรอกยึดติดกันแน่นกว่าการใช้ไขมันแยกส่วน จึงทำให้เนื้อสัมผัสของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีความแข็งแรงมากกว่า (Gregg *et al.*, 1993; Hag *et al.*, 1973) และอาจเป็นผลจากปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน (ตารางที่ 4.6) ซึ่งทำให้มีปริมาณโครงร่างโปรตีนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของไส้กรอกได้มากขึ้น นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติที่แตกต่างกันของไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสม ทำให้ประสิทธิภาพการรวมตัวของไขมัน และโครงร่างโปรตีนมีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน (Lee *et al.*, 1981 ; Tan *et al.*, 2002)

ตารางที่ 4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
Hardness (N)	21.98 ± 2.10 <sup>a</sup>	14.44 ± 2.13 <sup>b</sup>	14.13 ± 2.36 <sup>b</sup>
Adhesiveness (J) <sup>ns</sup>	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.07 ± 0.02
Cohesiveness	0.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>b</sup>
Springiness (mm) <sup>ns</sup>	0.87 ± 0.02	0.86 ± 0.01	0.87 ± 0.02
Gumminess (N)	10.02 ± 0.73 <sup>a</sup>	7.59 ± 0.74 <sup>b</sup>	7.11 ± 0.92 <sup>b</sup>
Chewiness (N x mm)	8.83 ± 0.57 <sup>a</sup>	6.38 ± 0.94 <sup>b</sup>	6.20 ± 0.70 <sup>b</sup>

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 4.4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ด้วยการใช้ Intensity scale 7 เซนติเมตร จากการประเมินเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis; QDA) พบความแตกต่างของลักษณะปรากฏภายนอก ด้านความเข้มข้น สี ความสม่ำเสมอของสี และการเห็นจุดบนผิวไส้กรอก ( $p \leq 0.05$ ) ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C (SLF40) และ 30°C

(SLF30) มีสีอ่อนกว่า ไส้กรอกที่มีมันแข็งเป็นส่วนผสม ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ที่ได้จากเครื่องวัดสี ผลกระทบจากการรมควัน ความเข้มของควันไฟ อุณหภูมิขณะรมควัน และตำแหน่งของไส้กรอกที่จัดเรียงขณะรมควัน ส่งผลต่อความเข้มสี ความสม่ำเสมอ และการเห็นจุดบนผิวไส้กรอก นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากความชื้นที่ผิวหนังของผลิตภัณฑ์ ความชื้นร้อยละ 12-15 ทำให้เกิดสีที่มืดที่สุด (เขาวลัทธิ, 2547) COM มีปริมาณความชื้นสูงจึงมีสีเข้มกว่า SLF40 และ SLF30 (ตารางที่ 4.10) นอกจากนี้ความเข้มสีที่แตกต่างกันยังอาจเกิดจากปริมาณไขมันของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Bloukas *et al.* (1997) และ Grigelmo-Miguel *et al.* (1999) พบว่าไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ไขมันต่ำมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ต่ำกว่า ไส้กรอกไขมันสูง การทดแทนมันแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วน ไม่มีผลทำให้สีด้านในไส้กรอก กลิ่นควันภายนอก และกลิ่นควันภายในเนื้อไส้กรอก แตกต่างกับการใช้มันแข็ง ( $p \geq 0.05$ ) ขณะที่กลิ่นเครื่องเทศบริเวณผิวภายนอก COM เข้มข้นกว่า SLF40 และ SLF30 ไส้กรอกที่มีความชื้นสูงจะเป็น ตัวพา (carrier) ที่ดีในการละลายกลิ่นของเครื่องเทศ การใช้ไขมันแยกส่วนในการตีอิมัลชันจะเกิดการแยกตัวของไขมัน (oil separation) มากกว่าการใช้มันแข็ง ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของจุดหลอมเหลวของไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสม น้ำมันแยกส่วนมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า มันแข็ง ดังนั้นเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง และผ่านกระบวนการให้ความร้อน จึงทำให้น้ำมันแยกส่วนเกิดการหลอมเหลว และไหลออกสู่ภายนอกผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง (Tan *et al.*, 2002) และไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง มีค่า hardness และ chewability มากกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ผู้ทดสอบไม่พบความแตกต่างด้านกลิ่นรส และผู้ทดสอบชอบมีความชอบผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วนด้าน เนื้อสัมผัส และให้การยอมรับโดยรวมมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.11)

**ตารางที่ 4.10** ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
<b>1. External appearance</b>			
Color intensity	1.88±1.05 <sup>a</sup>	1.54±1.10 <sup>b</sup>	1.24±1.26 <sup>b</sup>
Color uniformity	3.99±0.82 <sup>a</sup>	4.34±0.74 <sup>b</sup>	3.70±0.82 <sup>c</sup>
Degree of separation of skin <sup>ns</sup>	2.68±1.62	2.08±1.56	2.30±1.41
Presence of spots	3.67±1.81 <sup>a</sup>	2.97±1.42 <sup>a,b</sup>	3.22±1.64 <sup>b</sup>
Visible fat <sup>ns</sup>	2.68±1.80	2.49±1.62	2.61±1.92

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเฟรงเฟอเดอร์

	COM	SLF40	SLF30
<b>2. External odor</b>			
External smoky odor <sup>ns</sup>	2.44±1.32	2.57±1.38	2.71±1.05
External spice odor	2.98±1.56 <sup>a</sup>	2.53±1.63 <sup>ab</sup>	2.02±1.02 <sup>b</sup>
<b>3. Internal appearance</b>			
Internal color <sup>ns</sup>	2.09±1.35	2.01±1.27	1.68±1.30
Oil separation	1.52±0.75 <sup>a</sup>	2.15±1.38 <sup>b</sup>	2.16±0.86 <sup>b</sup>
Air sac <sup>ns</sup>	3.78±0.76	4.21±0.81	3.45±1.20
<b>4. Internal odor</b>			
Internal smoky odor <sup>ns</sup>	1.95±1.01	1.79±1.08	1.67±1.08
Internal spice odor <sup>ns</sup>	3.28±1.17	3.2±0.81	3.08±1.35
Off odor <sup>ns</sup>	0.51±0.44	0.46±0.45	0.47±0.40
<b>5. Texture</b>			
Ease of separation of skin <sup>ns</sup>	2.24±1.23	2.48±1.33	2.67±1.10
Chewability	3.91±1.04 <sup>a</sup>	3.33±1.03 <sup>ab</sup>	3.23±1.17 <sup>b</sup>
Hardness	3.67±1.15 <sup>a</sup>	2.84±1.03 <sup>b</sup>	2.99±1.08 <sup>b</sup>
Oiliness <sup>ns</sup>	2.79±0.98	3.05±1.12	3.12±1.07
Juiciness <sup>ns</sup>	3.79±0.92	4.18±1.17	4.06±0.98
<b>6. Flavor</b>			
Salt <sup>ns</sup>	3.42±0.91	3.28±1.09	3.10±1.11
Sour <sup>ns</sup>	0.87±0.48	1.08±0.89	1.11±0.98
Sweet <sup>ns</sup>	1.73±1.02	1.88±1.32	1.87±1.25
Astringent <sup>ns</sup>	1.75±1.13	1.81±1.04	2.64±1.30
smoky flavor <sup>ns</sup>	2.15±1.19	2.15±1.50	1.76±0.91
spice flavor <sup>ns</sup>	3.21±1.26	3.13±1.42	3.01±1.39

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
<b>6.Flavor</b>			
Off flavor <sup>ns</sup>	0.58±0.41	0.64±0.51	0.65±0.57
Rancid flavor <sup>ns</sup>	0.39±0.30	0.51±0.43	0.43±0.42
Aftertaste <sup>ns</sup>	1.99±1.13	2.24±1.09	2.65±1.20

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความชอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	SLF40	SLF30
ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	5.72 ± 1.42	6.06 ± 2.16	5.67 ± 1.94
เนื้อสัมผัส	6.72 ± 0.67 <sup>b</sup>	7.50 ± 0.56 <sup>a</sup>	6.44 ± 1.13 <sup>b</sup>
กลิ่น <sup>ns</sup>	5.72 ± 1.23	5.83 ± 1.27	5.61 ± 1.19
การยอมรับโดยรวม	6.28 ± 1.12 <sup>b</sup>	7.06 ± 0.73 <sup>a</sup>	5.78 ± 1.46 <sup>b</sup>

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

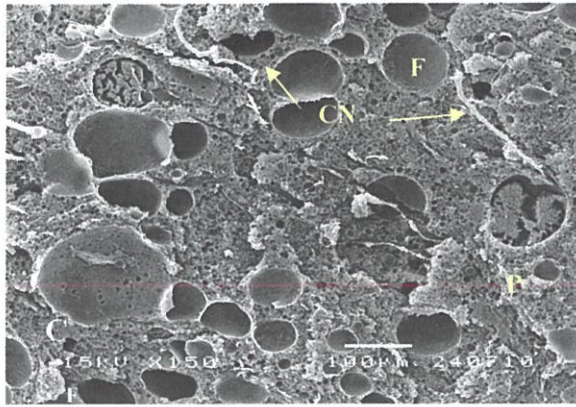
<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

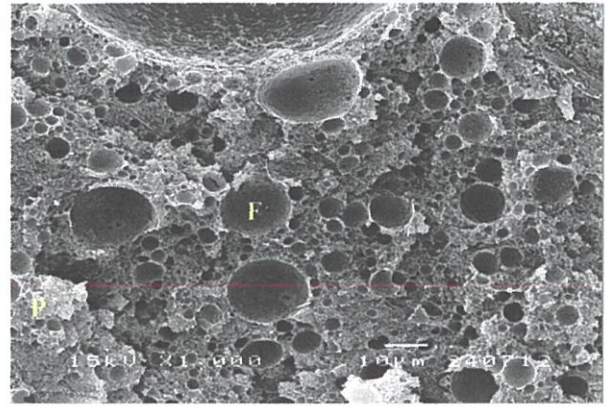
#### 4.4.5 โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

การเตรียมตัวอย่างไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ (ภาคผนวก ข 4.5) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายในแบบ 3 มิติ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) (ภาพที่ 4.17) การเตรียมตัวอย่างไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ ในขั้นตอนการกำจัดไขมันด้วยอะซิโตน ทำให้เม็ดไขมันถูกดึงออกจากตัวตัวอย่าง เมื่อส่องกล้องดูโครงสร้างของไส้กรอก จึงทำให้เห็นเป็นโครง โครงสร้างไส้กรอกทั้ง 3 สูตร มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ หรือ รวงผึ้ง เม็ดไขมันกระจายตัว และฝังตัวอยู่ในระบบอิมัลชันเม็ดไขมันมีลักษณะเป็นทรงกลมขอบผิวเรียบ เม็ดไขมันในไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน(SLF40 และSLF30) มีขนาดเล็ก และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง(COM) (ภาพที่ 4.17 B) เนื่องจากขั้นตอนการสับผสม การใช้ไขมันแยกส่วนที่มีสถานะเป็นของเหลว จะทำให้เม็ดไขมันสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในระบบอิมัลชันได้ดีกว่าการใช้มันแข็งที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่ความสามารถในการแทรกตัว และกระจายตัวของเม็ดไขมันไม่ดีเท่าการใช้ไขมันในสภาพที่เป็นของเหลว ดังแสดงในภาพที่ 4.17 D และภาพที่ 4.17 F จากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเม็ด ไขมันในไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน ทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้ถึงเนื้อสัมผัสนุ่ม ชุ่มฉ่ำ และการแยกตัวของน้ำมัน (oil separation) ได้ และมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง

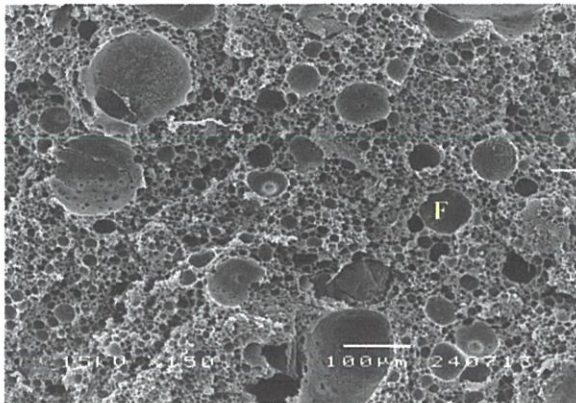
จากภาพที่ 4.17 A - 4.17 F เห็นได้ว่าบริเวณผิวรอบนอกของเม็ดไขมันจะมีชั้นฟิล์มบางๆ เคลือบเม็ดไขมันอยู่ชั้นฟิล์มที่เคลือบอยู่นั้น คือโม โอฟิบริลา โพรตีนจากเนื้อสัตว์ที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ เกิดจากขั้นตอนการสับผสม ชั้นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเกิดการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน (Barbut, 1995; Pearson and Gillett, 1996) ซึ่งลักษณะ และระดับการเกิดอิมัลชันของไขมันขึ้นกับคุณภาพ และคุณสมบัติของโปรตีน องค์ประกอบ และชนิดไขมัน อุณหภูมิระหว่างการเกิดอิมัลชัน และส่วนผสมของไส้กรอก (Gorbatov and Zayas, 1973; 1985) ส่วนของ โปรตีนมีลักษณะเชื่อมกันเป็น โครงร่างที่ไม่แน่นอน เม็ดไขมัน และ โมเลกุลของน้ำจะจับตัวกับโครงร่างโปรตีนของอิมัลชัน (Morin *et al.*, 2004) โครงร่างโปรตีนของ COM มีความแข็งแรงมากกว่า SLF40 และSLF30 เนื่องจาก COM มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจากเนื้อสัตว์ และมันแข็ง (ภาพที่ 4.17 A) จากภาพสามารถใช้เป็นข้อสนับสนุนในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดจากเครื่องมือ ค่า hardness, chewiness และgumminess ของ COM สูงกว่า SLF40 และSLF30 จากภาพที่ 4.17 F จะเห็นผลึกของเกลือ ผลึกที่เกิดขึ้นเกิดจากเกลือที่ไม่ละลาย ในขั้นตอนการใส่เครื่องปรุง ซึ่งผลึกของเกลือแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเกลือ (Larrea *et al.*, 2007)



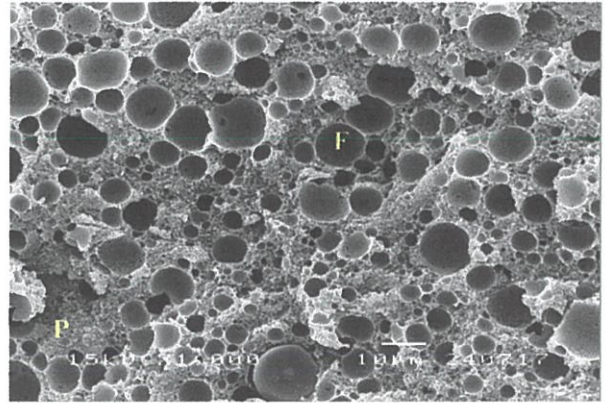
(A.)



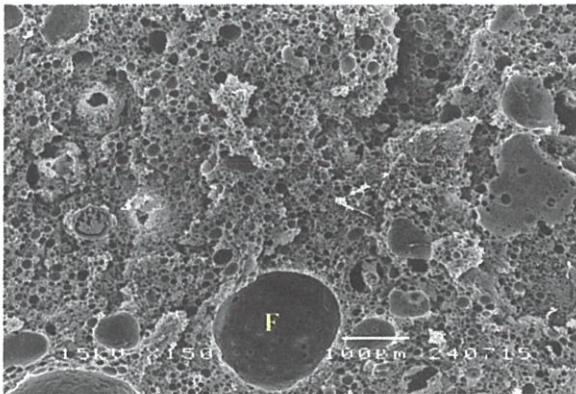
(B.)



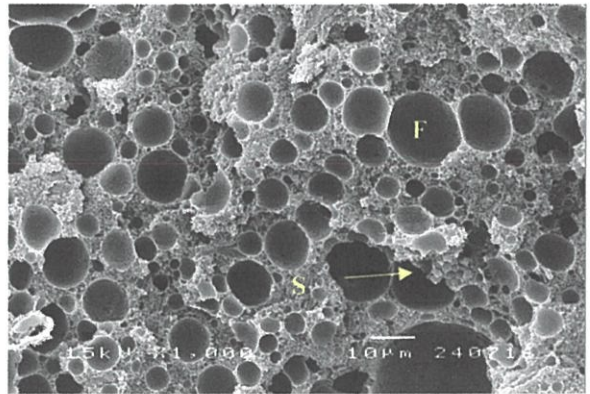
(C.)



(D.)



(E.)



(F.)

**ภาพที่ 4.17** Scanning Electron Micrographs ของไส้กรอกแพรงเฟอเตอร์ ที่กำลังขยาย 15 kV (CN:

connective tissue, F: fat globule, P: protein, rg: ruptured fat globule, S: salt deposits)

(A.) COM (x 150)

(B.) COM (x 1000)

(C.) SLF40 (x 150)

(D.) SLF40 (x 1000)

(E.) SLF30 (x 150)

(F.) SLF30 (x 1000)

#### 4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรไขมันร้อยละ 20

##### 4.5.1 องค์ประกอบทางเคมี

ผลการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง (COM) ไส้กรอกที่ใช้มันเปลว (CONT) ไส้กรอกที่ใช้มันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 40°C และ 30°C (SLF40, SLF30) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าไส้กรอกที่ใช้มันเปลวมีความชื้นมากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้มันแยกส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $60.06 \pm 0.36$  %,  $58.45 \pm 0.05$  %,  $58.74 \pm 0.41$  % และ  $58.02 \pm 0.08$  % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในมันเปลวมีปริมาณความชื้นประมาณ 16.3% ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในมันแข็งที่มีความชื้นประมาณ 13.2% (Shirsat *et al.*, 2004) ดังนั้นเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้า และ pH ของไส้กรอกทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากการปรับอัตราส่วนของส่วนผสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันร้อยละ 20 โดยเพิ่มปริมาณเนื้อหมู และลดปริมาณไขมัน จึงทำให้ปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า ไม่แตกต่างกันระหว่างสูตรทดลอง ไส้กรอกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณโปรตีนประมาณ 15.08-15.62 % ไขมันประมาณ 19.25-19.64 % เถ้าประมาณ 2.51-2.67 % และ pH ประมาณ 6.45-6.51 เห็นได้ว่าการปรับอัตราส่วนของส่วนผสมเพื่อให้มีปริมาณไขมันร้อยละ 20 ไส้กรอกที่ได้ยังมีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SLF40	SLF30
<b>Moisture*</b>	$58.45 \pm 0.05^a$	$60.06 \pm 0.36^b$	$58.74 \pm 0.41^a$	$58.02 \pm 0.08^a$
<b>Protein<sup>ns</sup></b>	$15.32 \pm 0.47$	$15.62 \pm 0.40$	$15.59 \pm 0.08$	$15.08 \pm 0.44$
<b>Fat<sup>ns</sup></b>	$19.29 \pm 0.27$	$19.64 \pm 0.09$	$19.39 \pm 0.10$	$19.25 \pm 0.99$
<b>Ash<sup>ns</sup></b>	$2.51 \pm 0.06$	$2.54 \pm 0.09$	$2.67 \pm 0.10$	$2.54 \pm 0.15$
<b>pH<sup>ns</sup></b>	$6.51 \pm 0.02$	$6.46 \pm 0.05$	$6.46 \pm 0.02$	$6.45 \pm 0.03$

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

CONT คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันเปลวเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 °C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 4.5.2 องค์ประกอบทางกายภาพ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ทั้ง 4 สูตร มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ค่าสีของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีความแตกต่างกับไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยไส้กรอกที่ใช้มันเปลวจะมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง ค่าสีแดง ( $a^*$ ) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการรมควัน โดยปริมาณความชื้นจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มสีของกระบวนการรมควัน โดยถ้าผลิตภัณฑ์มีความชื้นมากจะทำให้สีคว้นไฟดึกที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าไส้กรอกที่มีปริมาณความชื้นที่น้อยกว่า (เขาวลัดขันธ์, 2547) จึงทำให้ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งที่มีปริมาณความชื้นมากกว่าไส้กรอกสูตรอื่นๆ มีสีน้ำตาลอมแดงของคว้นไฟดึกอยู่มากกว่า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากสีของฮีโมโกลบินจากเส้นเลือดฝอยที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อของมันเปลว เนื่องจากมันเปลวเป็นไขมันที่อยู่ภายในช่องท้องจึงทำให้มีโอกาสของการปนเปื้อนของเลือดสูงกว่ามันแข็ง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าสีแดงของไส้กรอกที่ใช้มันเปลวมีค่าสูงกว่า ค่าสีเหลืองที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอาจเกิดจากการหืนของไขมัน (rancidity) จึงทำให้ไขมันมีสีออกเหลือง (O' Sullivan et al., 2004) โดยในไขมันแข็งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าในมันเปลว ซึ่งทำให้มันแข็งมีโอกาสที่จะเกิดการหืนได้มากกว่ามันเปลว ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งจึงมีค่าสีเหลืองสูงกว่าไส้กรอกที่ใช้มันเปลว และไส้กรอกที่ใช้ น้ำมันแยกส่วน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ของไส้กรอกทั้ง 4 สูตร ด้านค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชัน แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณไขมันไม่มีผลต่อการเกิดอิมัลชัน และระบบอิมัลชันของไส้กรอกทั้ง 4 สูตร เกิดคล้ายกัน

ตารางที่ 4.13 ลักษณะทางกายภาพของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SFL40	SFL30
<b>Color</b>				
<b>L* (lightness)</b>	73.09±1.07 <sup>a</sup>	71.97±0.31 <sup>b</sup>	73.73±0.50 <sup>a</sup>	73.93±0.72 <sup>a</sup>
<b>a* (redness)</b>	7.63±0.35 <sup>b</sup>	8.90±0.30 <sup>a</sup>	7.98±0.36 <sup>b</sup>	8.12±0.35 <sup>b</sup>
<b>b* (yellowness)</b>	14.39±0.44 <sup>a</sup>	13.58±0.62 <sup>b</sup>	13.58±0.25 <sup>b</sup>	13.66±0.27 <sup>b</sup>
<b>Cooking loss</b> <sup>ns</sup>	0.41±0.00	0.42±0.03	0.42±0.05	0.42±0.02
<b>Water holding capacity</b> <sup>ns</sup>	97.99±0.30	98.24±0.25	97.86±0.59	98.40±0.25
<b>Emulsion stability</b> <sup>ns</sup>	1.26±0.08	1.37±0.05	1.74±0.03	1.66±0.89

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

CONT คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันเปลวเป็นส่วนผสม

SFL40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 °C

SFL30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C

### 4.5.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA)

นำไส้กรอกทั้ง 4 สูตร มาทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ไส้กรอกทั้ง 4 สูตรมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ( $p \leq 0.05$ ) ในด้าน hardness, cohesiveness, gumminess และ chewiness โดยไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้มันเปลวมีค่า hardness, gumminess และ chewiness สูงกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน เนื่องจากการใช้น้ำมันทำให้โครงสร้างของไส้กรอกยึดติดกันอย่างหลวมๆ ส่วนการใช้ไขมันแข็ง และไขมันเปลว จะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ทำให้ระบบอิมัลชัน เกิดขึ้นได้สมบูรณ์มากกว่า และส่งผลให้โครงสร้างของไส้กรอกยึดติดกันแน่น ทำให้ไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และมันเปลวมีความแข็งแรงมากกว่าการไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน และอาจเกิดจากปริมาณของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ผลที่ได้จากการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Mugerza และคณะ (2001) ที่ศึกษาถึงการใช้น้ำมันมะกอกทดแทนมันแข็งที่ 20, 25 และ 30% ในไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ พบว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็งจะมีค่า hardness, gumminess และ chewiness สูงกว่าไส้กรอกที่ใช้ไขมันมะกอก และ Bloukas และคณะ (1997) ยังพบว่าการใช้ไขมัน หรือไขมันเหลว เช่นน้ำมันมะกอก จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมัก โดยไส้กรอกจะมีความนุ่มมากกว่าการใช้ มันแข็ง

ตารางที่ 4.14 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SFL40	SFL30
<b>Hardness (N)</b>	19.80±0.25 <sup>a</sup>	15.30±0.67 <sup>b</sup>	13.63±0.32 <sup>c</sup>	14.10±0.08 <sup>c</sup>
<b>Adhesiveness (J)</b> <sup>ns</sup>	0.07±0.02	0.05±0.02	0.04±0.01	0.05±0.01
<b>Cohesiveness</b>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>b</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>
<b>Springiness (mm)</b> <sup>ns</sup>	0.89±0.03	0.88±0.01	0.9±0.01	0.88±0.02
<b>Gumminess (N)</b>	8.26±0.48 <sup>a</sup>	7.93±0.50 <sup>a</sup>	6.98±0.16 <sup>b</sup>	7.20±0.20 <sup>b</sup>
<b>Chewiness (N x mm)</b>	7.31±0.33 <sup>a</sup>	6.99±0.44 <sup>a</sup>	6.24±0.90 <sup>b</sup>	6.34±0.29 <sup>b</sup>

COM คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

CONT คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันเปลวเป็นส่วนผสม

SFL40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการคกผลึกที่อุณหภูมิ 40 °C

SFL30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการคกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

#### 4.5.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกทั้ง 4 สูตร ด้วยการประเมินโดยใช้ Intensity scale 7 เซนติเมตร จากการประเมินเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis; QDA) พบว่าความเข้มของสีไส้กรอก (color intensity) ของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งมีสีเข้มกว่า ไส้กรอกที่ใช้มันแข็งและไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน ซึ่งมีความสอดคล้องกับ ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ที่วัดได้จากเครื่องมือ ผู้ทดสอบให้คะแนนด้าน chewability ของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งและไส้กรอกที่ใช้มันแข็งสูงกว่าไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน และ คะแนนด้าน hardness ของไส้กรอกที่ใช้มันแข็งสูงกว่า ไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้ไขมันแยกส่วน ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ระหว่างสูตร (ตารางที่ 4.15) จากผลการทดลองที่ได้นี้ทำให้ทราบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ระหว่างไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง ไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง และไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วน และเมื่อทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ด้วย 9-point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันแยกส่วนในด้าน ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม มากกว่าไส้กรอกที่ใช้มันแข็งและไส้กรอกที่ใช้มันแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SFL40	SFL30
<b>1. External appearance</b>				
Color intensity	2.79±1.24 <sup>a</sup>	3.98±1.16 <sup>b</sup>	3.18±1.24 <sup>a</sup>	3.16±1.13 <sup>a</sup>
Color uniformity <sup>ns</sup>	3.23±1.32	3.65±1.41	3.55±1.36	3.49±1.35
Degree of separation of skin <sup>ns</sup>	2.02±1.13	1.88±1.20	1.87±1.29	1.98±1.36
Lumpiness <sup>ns</sup>	3.00±1.44	2.87±1.22	2.58±1.28	2.51±1.44
Presence of spots <sup>ns</sup>	3.91±1.37	4.11±1.32	3.81±1.36	3.52±1.61
Visible fat <sup>ns</sup>	2.12±0.99	2.34±0.89	2.38±0.89	2.36±1.10
<b>2. External odor</b>				
External smoky odor <sup>ns</sup>	4.92±1.25	5.02±1.20	4.96±1.20	4.55±1.49
External spice odor <sup>ns</sup>	3.00±0.60	2.89±1.21	3.04±1.10	2.75±0.92

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SFL40	SFL30
<b>3. Internal appearance</b>				
Internal color <sup>ns</sup>	2.54±1.10	2.81±0.79	2.44±0.89	2.40±0.80
Oil separation <sup>ns</sup>	1.74±1.14	1.64±1.09	1.84±1.19	2.07±0.96
Air sac <sup>ns</sup>	3.98±1.10	3.90±1.34	3.95±1.33	4.02±1.20
<b>4. Internal odor</b>				
Internal smoky odor <sup>ns</sup>	4.47±0.90	4.43±1.21	4.26±1.23	4.09±0.85
Internal spice odor <sup>ns</sup>	3.84±1.32	3.46±1.12	3.68±1.38	3.71±1.65
Off odor <sup>ns</sup>	0.84±0.58	0.79±0.59	0.82±0.51	0.86±0.38
<b>5. Texture</b>				
Ease of separation of skin <sup>ns</sup>	2.77±1.19	3.29±1.17	3.31±1.03	2.88±1.39
Chewability	3.76±1.06 <sup>a</sup>	3.84±1.05 <sup>a</sup>	3.49±1.11 <sup>b</sup>	3.41±1.17 <sup>b</sup>
Hardness	4.61±0.94 <sup>a</sup>	3.99±1.07 <sup>b</sup>	3.37±1.25 <sup>c</sup>	3.50±1.10 <sup>c</sup>
Oiliness <sup>ns</sup>	3.33±1.43	3.43±1.34	3.51±1.41	3.61±1.27
Juiciness <sup>ns</sup>	4.27±1.27	4.46±0.85	4.58±0.93	4.62±1.06
<b>6. Flavor</b>				
Salt <sup>ns</sup>	3.66±1.29	3.61±1.09	3.63±0.92	3.62±0.86
Sour <sup>ns</sup>	0.98±0.62	1.07±0.71	1.05±0.53	1.13±0.61
Sweet <sup>ns</sup>	1.63±0.33	1.67±0.73	1.83±0.73	1.72±0.60
Astringent <sup>ns</sup>	1.70±0.68	1.53±1.10	1.43±0.92	1.75±0.61
smoky flavor <sup>ns</sup>	4.50±1.18	4.53±1.31	4.41±1.37	4.35±1.39
spice flavor <sup>ns</sup>	3.83±1.34	3.47±1.28	3.76±1.47	3.76±1.42
Off flavor <sup>ns</sup>	0.84±0.55	0.88±0.54	0.97±0.57	0.99±0.61
rancid flavor <sup>ns</sup>	0.75±0.66	0.76±0.69	0.84±0.61	0.79±0.67
aftertaste <sup>ns</sup>	2.69±1.04	2.62±1.29	2.56±0.99	2.63±1.44

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความชอบของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

	COM	CONT	SLF40	SLF30
ลักษณะปรากฏ	6.56±1.36 <sup>a</sup>	6.88±1.09 <sup>ab</sup>	7.31±1.08 <sup>b</sup>	7.13±0.96 <sup>ab</sup>
เนื้อสัมผัส	6.69±0.87 <sup>ab</sup>	6.56±1.26 <sup>a</sup>	7.31±0.95 <sup>b</sup>	6.75±1.24 <sup>ab</sup>
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.44±1.03	6.50±1.37	7.00±0.89	6.63±1.20
การยอมรับโดยรวม	6.56±1.09 <sup>ab</sup>	6.38±1.31 <sup>a</sup>	7.06±1.06 <sup>b</sup>	6.88±1.15 <sup>ab</sup>

COM. คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันแข็งเป็นส่วนผสม

CONT คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้มันเหลวเป็นส่วนผสม

SLF40 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 °C

SLF30 คือ ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 °C

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การแยกส่วนน้ำมันหมูจากมันเปเลว แบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 40°C และ 30°C สามารถปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และเชิงซ้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กระบวนการแยกส่วนสามารถปรับปรุงคุณภาพของไขมันให้มีอัตราส่วนระหว่าง PUFA / SFA เพิ่มขึ้น และส่งผลต่ออัตราส่วนของ  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถึงแม้ว่าอัตราส่วนของ  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3 จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เป็นที่น่าสนใจว่าการแยกส่วนทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันด้านความไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันสุกรทั่วไป ในขณะที่กระบวนการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำเป็นกระบวนการที่มีใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้สามารถทำได้ง่าย และไม่ต้องใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมันเปเลวซึ่งเป็นของเหลือใช้ที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์

การทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนในอัตราส่วน โดยน้ำหนักเท่ากัน และสูตรปริมาณไขมันร้อยละ 20) พบว่าไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพ ด้านการสูญเสียขณะหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชัน แต่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สี ลักษณะเนื้อสัมผัส และองค์ประกอบของกรดไขมัน ไขมันที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็ง โดยไขมันที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็ง ขณะที่ไขมันที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีอัตราส่วนระหว่าง PUFA / SFA มากกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็ง นอกจากนี้อัตราส่วนของ  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3 มีแนวโน้มมากกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็งด้วย การใช้น้ำมันแยกส่วนส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส พบว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ชุ่ม ช่ำ และมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็ง เนื่องจากการใช้น้ำมันแยกส่วนทำเม็คไขมันกระจายตัวในระบบอิมัลได้ดีกว่า จึงทำให้ไขมันเกิดอิมัลชันที่ดี ลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบมีความชอบ นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังชอบไขมันที่ใช้น้ำมันแยกส่วนด้านลักษณะปรากฏ และมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ มากกว่าไขมันที่ใช้น้ำมันแข็ง

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนำมันเปเลวมาผ่านกระบวนการแยกส่วน สามารถนำไปพัฒนาในการทำผลิตภัณฑ์ไขมันที่กรอบแฟรงเฟอเตอร์เพื่อสุขภาพต่อไปได้ นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำส่วนของไขมันแข็งแยกส่วนไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำน้ำมันสำหรับทอด มาคาริน หรือใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เพื่อเพิ่มความคุ้มค่าให้กับกระบวนการแยกส่วนมากยิ่งขึ้น และยังมีที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาต่อแยกแยะแนวความคิดนี้ในการนำน้ำมันแยก

ส่วนไปใช้ร่วมกับน้ำมันพืช หรือไขมันวัวแยกส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้มากยิ่งขึ้น หรือนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่นๆ สามารถนำแนวความคิดนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อสุขภาพต่อไป

## บรรณานุกรม

- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 340 น.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเคียนสโตร์. 128 น.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไส้กรอกแฟรงค์เฟอ์เตอร์. ฉบับที่ 3539 (พ.ศ. 2549) เล่ม 124 ตอนพิเศษ 26 ง. หน้า 12.
- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิเชียร. 2532. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 135 น.
- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิเชียร. 2547. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 237 น.
- วรรณดา ตั้งเจริญชัย. 2549. รายงานวิจัย คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศลิษา แสงทอง. 2547. “ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไขมันไก่ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุมาลัย ศรีกำไลทอง, พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, สมนึก อาษา และสุภัทรา มั่นสกุล. 2532. การพัฒนาเทคโนโลยีการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม. วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. ปีที่ 4 ฉบับ 2. พฤษภาคม-สิงหาคม.
- อุมาพร ศิริพินท์. เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์เนื้อ. 12 ก.พ. 2550. [Online]. Available: <http://coursewares.mju.ac.th/>
- Abiola., S.S. and S.W. Adegbaaju. 2001. Effect of substituting pork back fat with rind on quality characteristics of pork sausage. **Meat Science**. 58(4): 409-412.
- Anonymous. 2007. **Lard**. [Online]. Available : <http://en.wikipedia.org/wiki/Lard>.
- Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chgemists. Washington DC.
- American Oil Chemistry Society. 1999. Official Methods and Recommended Practices. 5th ed. Illinois: Champaign

- Ayo, J., J. Carballo, J. Serrano, B. Olmedilla-Alonso, C. Ruiz-Capillas and F. Jiménez-Colmenero. 2007. Effect of total replacement profile of frankfurters. **Meat Science**. 77: 173-181.
- Babut, S. 1995. Importance of fat emulsification and protein matrix characteristics in meat batter stability. **Journal of Muscel Foods**. 6: 161-177.
- Bailey, M.E. 1998. Inhibition of warmed-over flavour with emphasis on maillard reaction products. **Food Science and Technology**. 42: 123-126.
- Bastida, S. and F.J. Sánchez-Muniz. 2001. Thermal oxidation of olive oil, sunflower oil and a mix of both oils during forty discontinuous domestic fryings of different foods. **Food Science and Technology International**. 7: 15-23.
- Black, R.G. 1975. Partial Crystallization of milk fat and separation of fraction by vacuum filtration. **Australian Journal Dairy Technology**. 30: 153-156.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol**. 37: 911-917.
- Bloukas, J.G., and E.D. Paneras. 1993. Substituting olive oil for pork back fat affects quality of low-fat frankfurters. **Journal of Food Science**, 58 (4): 705-709.
- Bloukas, J.G., E.D. Paneras and G.C. Fournitzis. 1997. Sodium lactate and protective culture effect on quality characteristics and shelf-life of low-fat frankfurters produced with oil. **Meat Science**, 45 (2): 223-238.
- Breeding, C.J. and R.T. Marshall. 1995. Crystallization of butter oil and separation by filter centrifugation. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 72(2): 449-453.
- Breitschuh, B. and E.J. Windhab. 1998. Parameters Influencing cocrystallization and polymorphism in Milk Fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 75(8): 897-904.
- Brown, C.J., J.C. Hillier and J.A. Whatley. 1955. **Specific gravity as a measure of the fat content of the pork carcass**. Oklahoma Agricultural Experiment Station. 97-103.
- Bussey, D.M., T.C. Ryan, J.I. Gray and M.E. Zabik. 1981. Fractionation and characterization of edible tallow. **Journal of Food Science**. 46: 526-530.
- Chiu, C.M., A.G. Luizand and S.S. Victor. 2002. **Characterization fractionation and utilization of the abdominal chicken fat**. [Online]. Available: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-16042002-160222>.

- Cofrades, S., J. Carballo and F. Jimenez-Chlmenero. 1997. Heating rate effects on high-fat and low-fat frankfurters with a high content of added water. **Meat Science**. 47(1-2): 105-114.
- Campos, R., S.S. Narine and A.G. Marangoni. 2002. Effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of milk fat and lard. **Food Research International**. 35: 971-981.
- Compendium of Methods for Food Analysis. 2003. **Fatty acid in food gas chromatographic method. 1<sup>st</sup> ed.** Department of Medical Science and Department of Medical Science Foundation, National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard (ACFS).  
 ๖๓๕๖๗๘๙
- Crehan, C.M., D.J. Troy and D.J. Buckley. 2000. Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. **Meat Science**. 55(1): 123-130.
- Deffense, E. 1985. Fractionation of Palm Oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 62(2): 376-385.
- Deffense, E. 1993. Milk fat fractionation today: A review. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 70(12): 1193-1201.
- Defouw, C.L., M.E. Zabik and J.I. Gray. 1981. Fractionated edible beef tallow as a deep fat frying medium for french fries. **Journal of Food Science**. 46: 452-456.
- Dimick, P.S., Y.S. Reddy and G.R. Ziegler. 1996. Chemical and thermal characteristics of milk-fat fractions isolated by a melt crystallization. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 73(12): 1647-1652.
- Estévez, M., S. Ventanas and R. Cava. 2006. Oxidation of lipids and proteins in frankfurters with different fatty acid compositions and tocopherol and phenolic contents. **Food Chemistry**. 100(1): 55-63.
- Estévez, M., Morcuende, and R.. Cava. (in press). Extensively reared iberian pigs versus intensively reared white pigs for the manufacture of frankfurters. **Meat Science**.
- Fatouh, A.E., R.K. Singh, P.E. Koehler and G.A. Mahran. 2003. Chemical and thermal characteristics of buffalo butter oil fractionation obtained by multi-step dry fractionation. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol**. 36: 483-496.
- Feng, S.W. and W.L. Chain. 1995. Contribution of particle sizes and particle size distributions in crystalline fractionation of lard. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 43(3): 785-790.

- Fernández-Fernández, E., M.A. Romero-Rodríguez and M.L. Vázquez-Odèriz. 2001. Physicochemical and sensory properties of Galician chorizo sausage preserved by refrigeration, freezing, oil-immersion, or vacuum-packing. **Meat Science**. 58(1): 99-104.
- Fillion, L and C.J.K. Henry. 1998. Nutrient losses and gains during frying: a review. **International Journal of Food Science and Nutrition**. 49: 157-165.
- Foglia, T.A., K.T. Lee and D.D. Brillhart. 2002. Solvent fractionation of chicken fat for making lipid compositions enriched in unsaturated fatty acid containing triacylglycerols. **U.S. Patent**. No.6.344,574.
- Ghotra, B.S., S.D. Dyal, and S.S. 2002. Lipids shortenings: a review. **Food Research International**. 35. pp: 1015-1048.
- Glassner, D.A. and E.A. Grulke. 1986. The effects of surfactant concentration and crystal size on the olein yield from the detergent fractionation of tallow. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 63(8): 1066-1071.
- Grall, D.S. and R.W. Hartel. 1992. Kinetics of butterfat crystallization. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 69(8). pp: 741-747.
- Gregg, L.L., J.R. Claus, C.R. Hackney and N.G. Marriott. 1993. Low-fat high added water bologna from massaged, minced batter. **J. Food Science**. 58(2): 259-264.
- Grigelmo-Miguel, N., M.I. Abadias-Seros and O. Martin-Belloso. 1999. Characterisation of low-fat high dietary fiber frankfurters. **Meat Science**. 52(3): 247-256.
- Haq, A., N.B. Webb, J.K. Whitfield and F.J. Ivey. 1973. Effect of composition on the stability of sausage-type emulsions. **J. Food Science**. 38(2): 271-274.
- Hamm, W. 1995. Trends in Edible Oil Fractionation. **Trend in Food Science and Technology**. 6(4): 121-126
- Hashimoto, S., T. Nezu, H. Arakawa, T. Ito and S. Maruzeni. 2001. Preparation of sharp-melting hard palm midfraction and its use as hard butter in chocolate. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 78(5): 455-450.
- Hofmann, T. 1998. Characterization of the chemical structure of novel coloured maillard reaction products from furan-2-carbox-aldehyde and amino acids. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. 46: 932-940.
- Hsu, S.Y. and S.H. Yu. 1999. Effects of phosphate, water, fat and salt on qualities of low-fat emulsified meatball. **Meat Science**. 39: 123-130.

- Hughe, E.S. Cofrades and D.J. Troy. 1997. Effects of fat level, oat fiber and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. **Meat Science**. 45(3): 273-281.
- Hughe, E.S., A.M. Mullen and D.J. Troy. 1998. Effect of fat level, tapioca starch and whey protein on frankfurters formulated with 5% and 12% fat. **Meat Science**. 48(1-2):169-180.
- Iwasaki, T., K. Noshiroya, N. Saitoh, K. Okano and K. Yamamoto. 2006. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. **Food Chemistry**. 95(3): 474-483.
- Jeyarani, T. and S. Yella Reddy. 2001. Cocoa butter extender from *Simarouba glauca* fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 78(3): 271-276.
- Kayaardi, S. and V. Gök. 2003. Effect of replacing beef fat with olive oil on quality characteristics of Turkish soudjouk (sucuk). **Meat Science**. 66(1): 249-257.
- Kaylegian, K.E. and R.C. Lindsay. 1992. performance of selected milk fat fractions in cold spread butter. **Journal of Dairy Science**. 75(12): 3307-3317.
- Kaylegian, K.E. and R.C. Lindsay. 1994. **Handbook of Milk fat Fractionation Technology and Application**. Illinois : AOCS press. pp : 662.
- Koch, D.E., A.M. Pearson, W.T. Magee and J.A., Hoefler. 1968. Effect of diet on the fatty acid Composition of pork fat. **Journal of Animal Science**. 27: 360-365.
- Kreulen, H.P. 1976. Fractionation and winterization of edible fats and oils. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 53: 393-396.
- Lee, C.M., J.W. Hampson and A. Abdo. 1981. Effect of plastic fat on thermal stability and mechanical properties of fat protein gel products. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 58(11): 983-987.
- Lin, K. W. and H. Y. Huang. 2003. Konjac/gellan gum mixed gels improve the quality of reduced fat frankfurters. **Meat Science**. 65. 749-755.
- Marikkar, J.M.N., H. M. Ghazali, Y. B. Che Man, and O. M. Lai. 2002. The use of cooling and heating thermograms for monitoring of tallow, lard and chicken fat adulterations in canola oil. **Food Research International**. 35(10). pp:1007-1014.
- Marquez, E.J., E.M. Ahmed, R.L. Weat and D.D. Johnson. 1989. Emulsion stability and sensory quality of beef frankfurters produced at different fat or peanut oil levels. **Journal of Food Science**. 54, 867-870, 873.

- Matulis, R.J., F.K. McMKeith, J.W. Sutherland and S. Brewer. 1995. Sensory characteristics of frankfurters as affected by fat, salt and pH. **Journal of Food Science**. 60(1): 42-47
- Morin, L.A., F. Temelli and L. McMullen. 2004. Interactions between meat proteins and barley (*Hordeum spp.*)  $\beta$ -glucan within a reduced-fat breakfast sausage system. **Meat Science**. 68: 419-430.
- Muguerza, E., O. Gimeno and D. Ansorena. 2001. Effect of replacing pork backfat with pre emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of chorizo de Pamplona- a traditional Spanish fermented sausage. **Meat Science**. 59(3): 251-258.
- Muguerza, E., E. Fista, D. Ansorena, I. Astiasaran and J.G. Bloukas. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. **Meat Science**. 61(4): 397-404.
- Ordóñez, M., J. Rovira and I. Jaime. 1996. Study of the texture of cooked sausages. **Alimentaria**. 273: 25-29.
- O'Shea, M., D. Rosaleen, L. Fergal and K. Kieran. 2000. Enrichment of the conjugated linoleic acid content of bovine milk fat by dry fractionation. **International Dairy Journal**. 10: 289-294.
- O' Sullivan, A., K. O' Sullivan, K Galvin, A.P. Moloney, D.J. Troy and J.P. Kerry. 2004. Influence of concentrate composition and forage type on retail packaged beef quality. **J. Anim. Sci**. 82: 2384-2391.
- Pal, P.K., D.K. Bhattacharyya and S. Ghosh. 2000. Isopropanol fractionation of butter oil and characteristics of fractions. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 77(11): 1215-1218.
- Paneras, E.D. and J.G. Bloukas. 1994. Vegetable oils replace pork backfat for low-fat frankfurters. **Journal of Food Science**. 59(4): 725-733.
- Paneras, E.D., J.G. Bloukas and D.G. Filis. 1998. Production of low-fat frankfurter with vegetable oils following the dietary guidelines for fatty acids. **Journal of Muscle Food**. 9:111-126.
- Pappa, I.C., J.G. Bloukas and I.S. Arvanitoyannis. 2000. Optimization of salt, olive oil and pectin level for low-fat frankfurters produced by replacing pork backfat with olive oil. **Meat Science**. 56(1): 81-88.

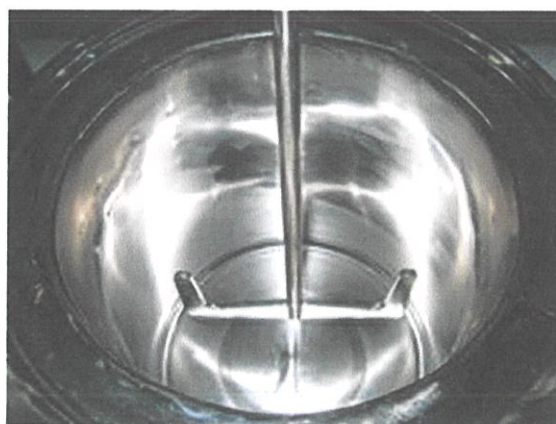
- Pearson, A.M. and T.A. Gillett. 1996. Sausages in pearson, A.M. and Gillett, T.A. Editors 1996. Processed meats (3<sup>rd</sup> ed). Champman & Hall. New York.
- Porter N.N. and J.H. Hotchkis. 1995. Food Science 5<sup>th</sup> Ed. Chapman & Hall. New York. 320pp.
- Rajah, K.K. and D.P.J. Moran. 1994. Fat products using fractionation and hydrogenation. In: **Fats in Food Products**. Glasgow: Blackie Academic and Professional. pp: 277-313.
- Rolland, J.R. and R.R. Riel. 1996. Separation of milk fat fraction by centrifugation. **Journal of Dairy Science**. 49(6): 608-616.
- Shirsat, N., J.G. Lyng, N.P. Brunton and B. McKenna. 2004. Ohmic processing: Electrical conductivities of pork cuts. **Meat Science**. 67: 507-514.
- Tan, S.S., A. Aminah, Y. Mohd Suria Affandi. and A.S. Babji. 2002. Effect of palm fat blends inclusion on quality of chicken frankfurter. **Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science**. 25(1): 63-68.
- Tasioula-Margari, M., G. Márquez-Ruíz and M.C. Dobarganes. 1996. Fractionation of oligomeric triacylglycerides and the relation to rejection limits for used frying oils. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 73(11): 1579-1584.
- Teye, G.A., J.D. Wood, F.M. Whittington, A. Stewart and P.R. Sheard. 2006. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 2. Effects on properties of fat and processing characteristics of bacon and frankfurter-style sausages. **Meat Science**. 73(1): 166-177.
- Theno, D.M., D.G. Siegel and G.R. Schmidt. 1978. Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle. **Journal of Food Science**. 43 : 488-492.
- Triebold, H.O. and L.W. Aurand. 1967. **Food Compositions and Analysis**. 2<sup>nd</sup>. Van Nostrand New York. 497 p.
- Wilson, N.R.P., E.J. Dyett, R.B. Hughes and C.R.V. Jones. 1981. **Meat and Meat Products Factors Affecting Quality Control**. London: Applied Science Publishers. 238pp.
- Yang, M.H., S.C. Chang and R.H. Chen. 1992. Effect of solvent polarity and fractionation temperature on the physicochemical properties of squid viscera stearin. **Journal of American Oil Chemists' Society**. 69(12): 1192-1197.

Yang, T., X. Xu, C. He and L. Li. 2003. Lipase-catalyzed modification of lard to produce human milk fat substitutes. **Food Chemistry**. 80(4): 473-481.

ภาคผนวก ก  
เครื่องแยกส่วนไขมัน

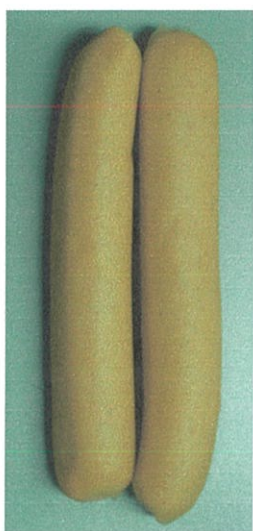


ภาพ ก1 ชุดเครื่องแยกส่วนไขมัน

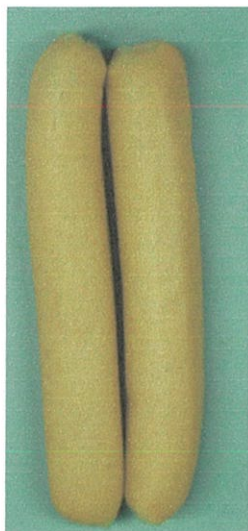


ภาพ ก2 ถังสเตนเลส 2 ชั้น สำหรับตักผลึกความจุ 6.5 ลิตร และใบกวนสเตนเลสรูปตัวยู (เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร และสูง 30.5 เซนติเมตร)

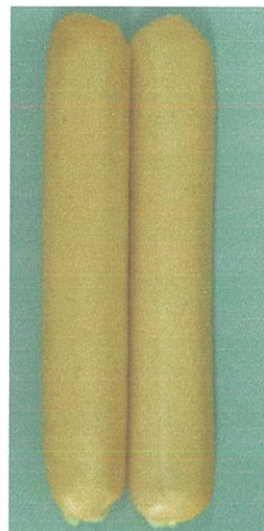
ภาคผนวก ข  
ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์



(a.)



(b.)

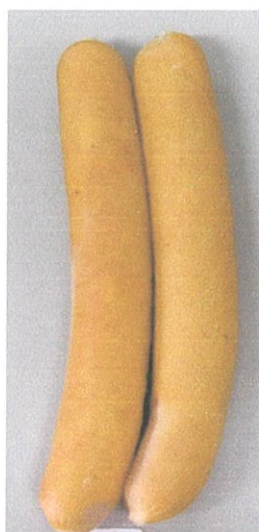


(c.)

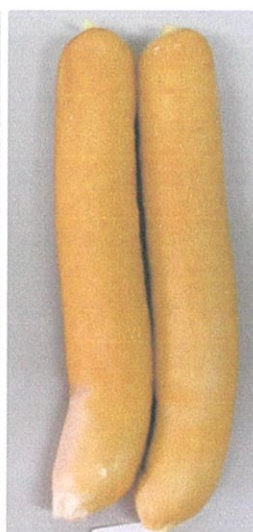
ภาพ ข1 ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากัน (a.) สูตรทางการค้า (COM) (b.) สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนอุณหภูมิ 40°C (c.) สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C



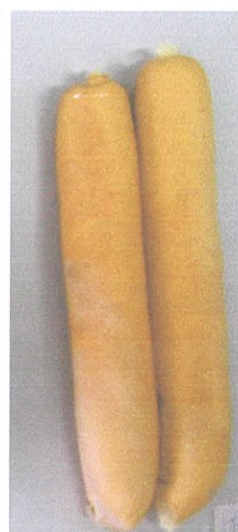
(a.)



(b.)



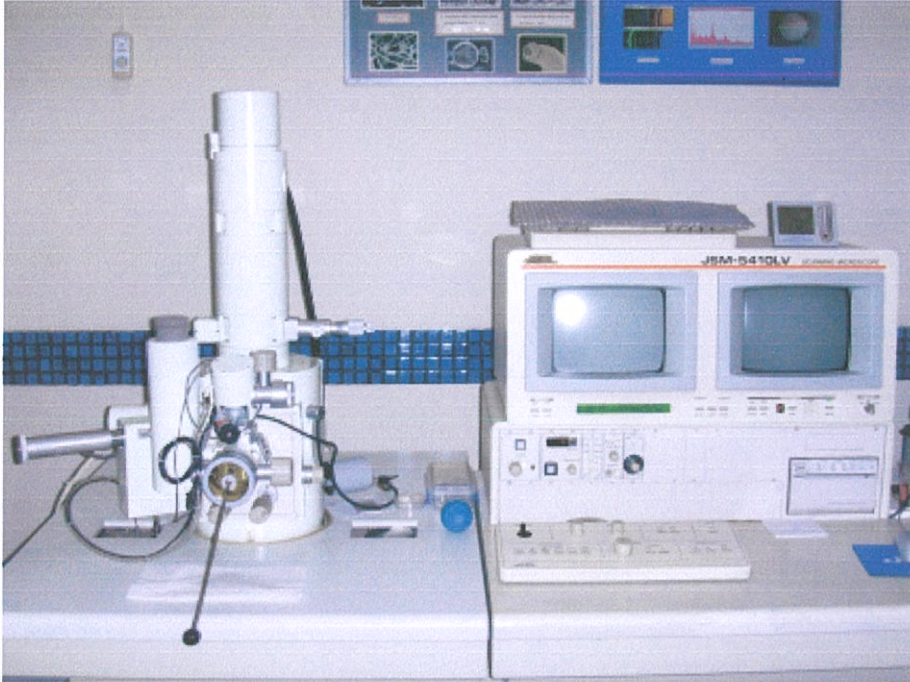
(c.)



(d.)

ภาพ ข2 ไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ที่มีไขมันร้อยละ 20 (a.) สูตรทางการค้า (COM) (b.) สูตรควบคุม (CONT) (c.) สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40°C (d.) สูตรทดแทนมันแข็งด้วยไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30°C

## ภาคผนวก ค

**Scanning Electron Microscopy (SEM)**

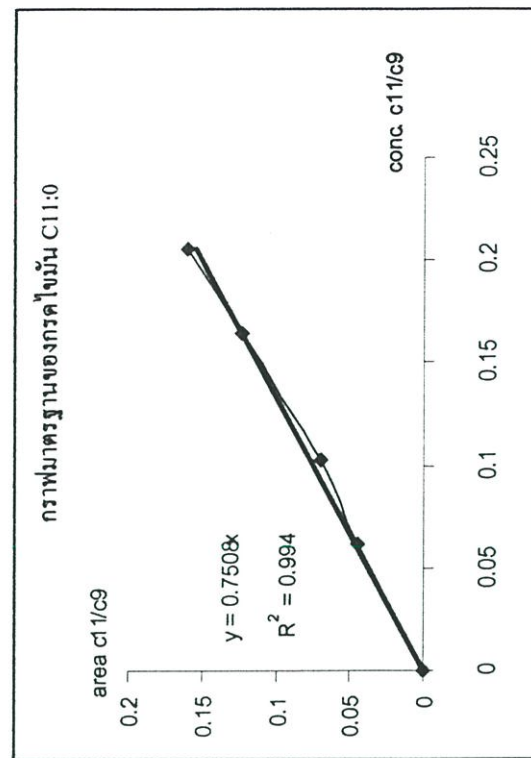
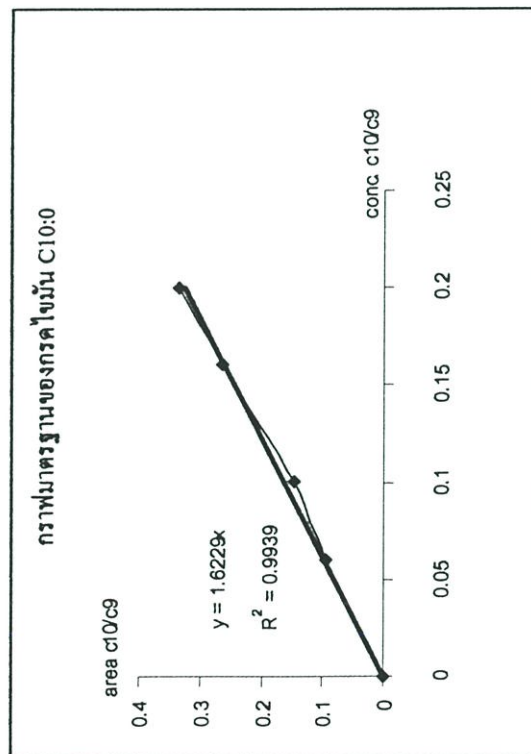
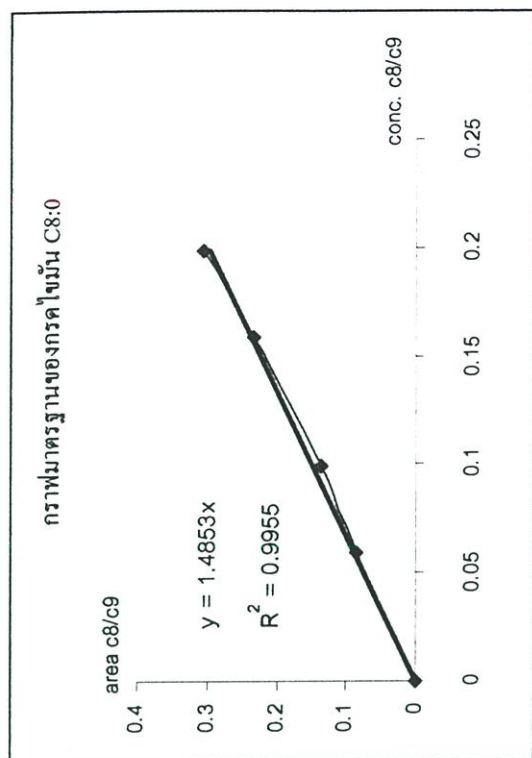
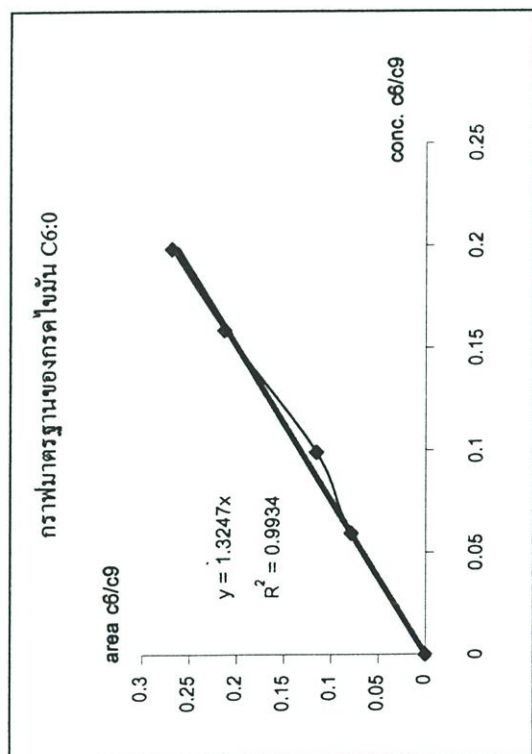
ภาพ ค1 Scanning Electron Microscope (Jeol, model JSM-5410LV, Japan)

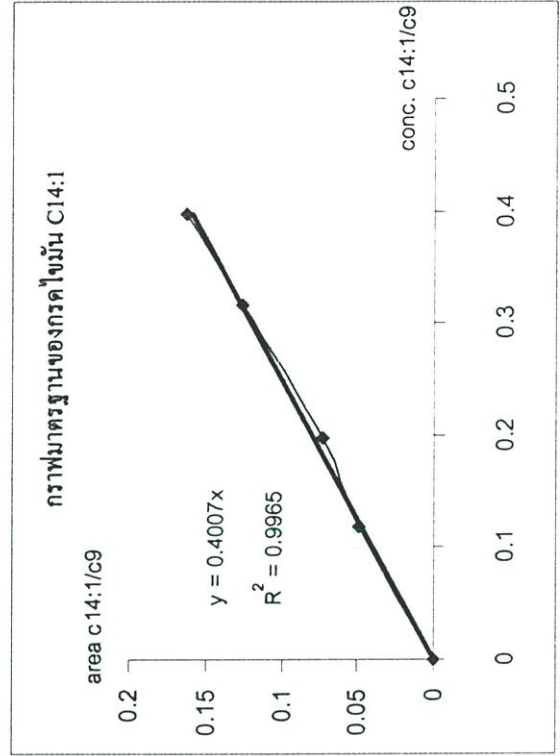
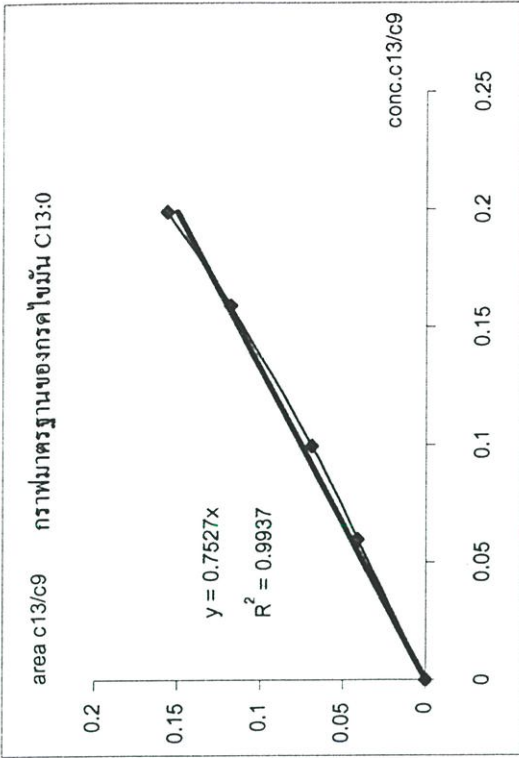
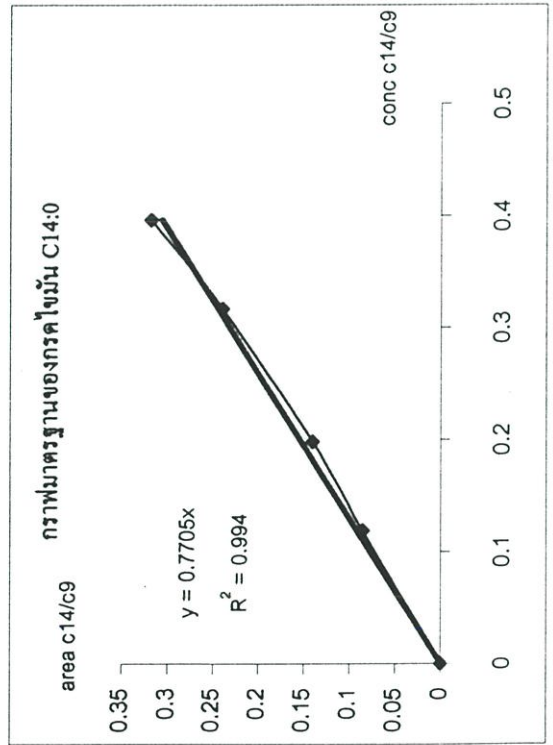
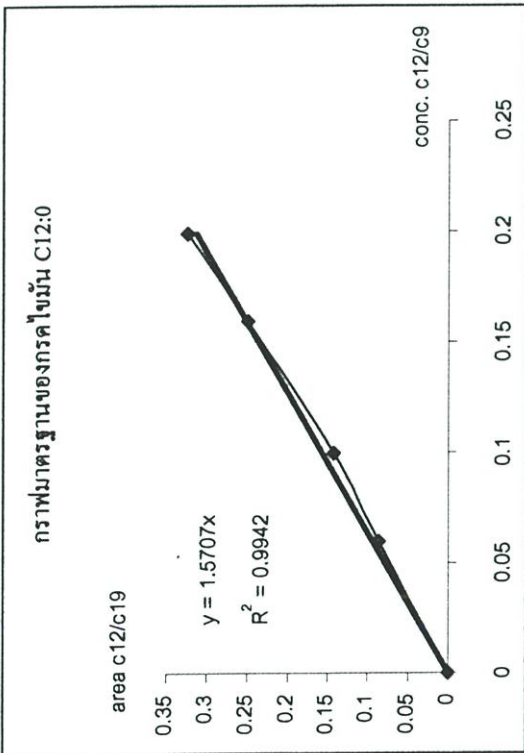


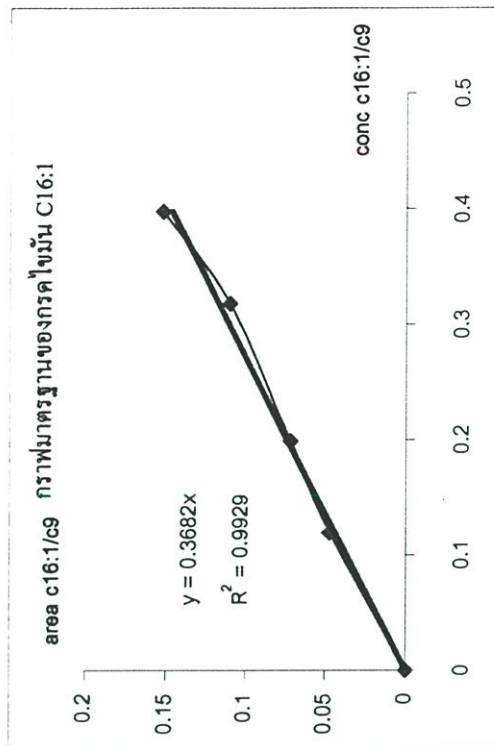
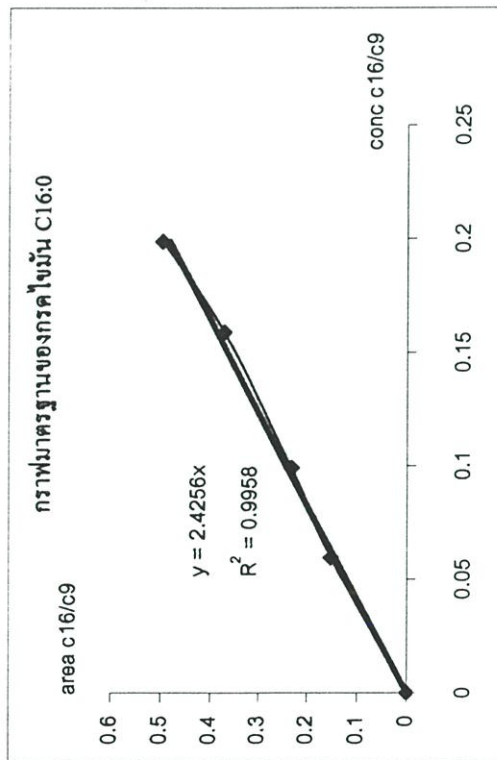
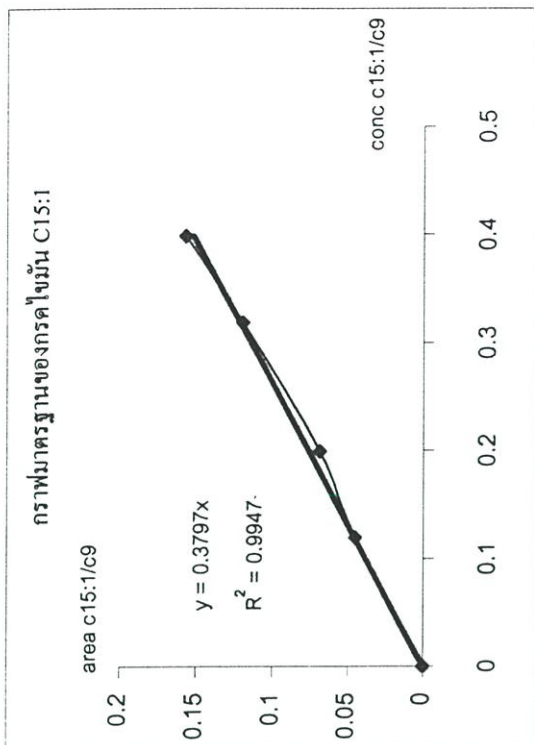
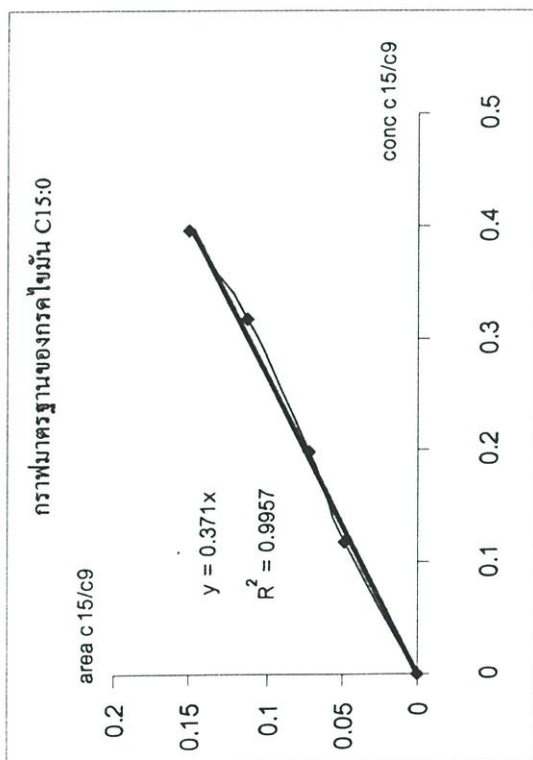
ภาพ ค2 SEM Specimen

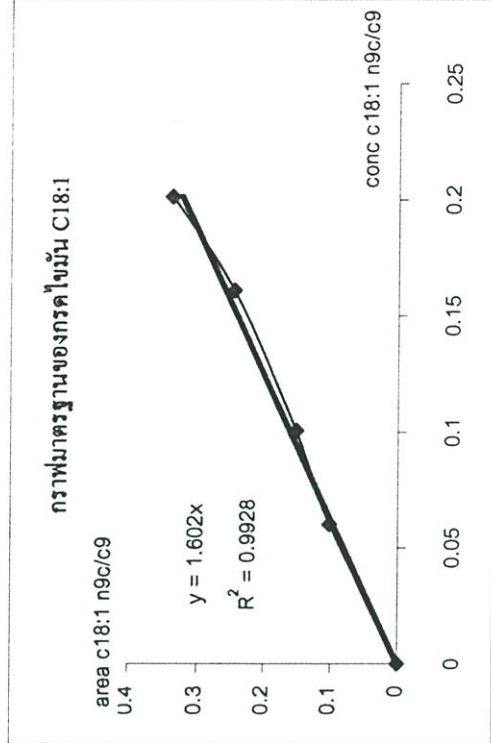
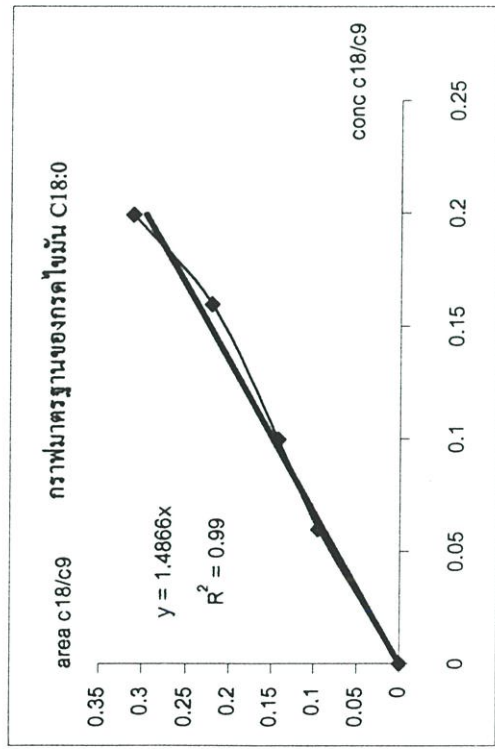
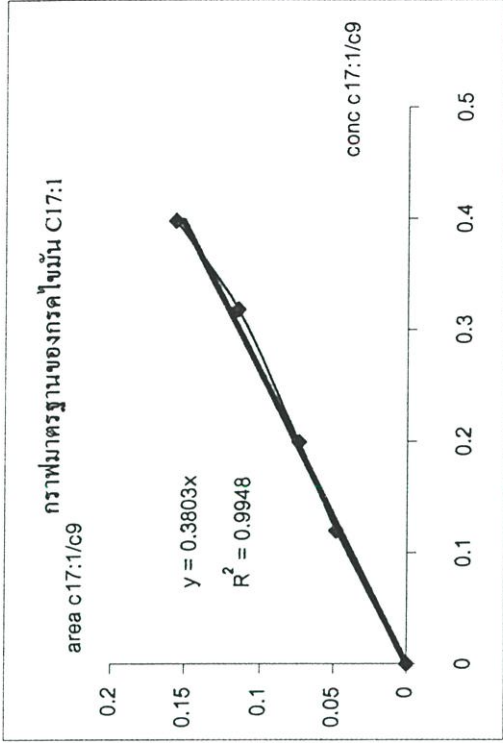
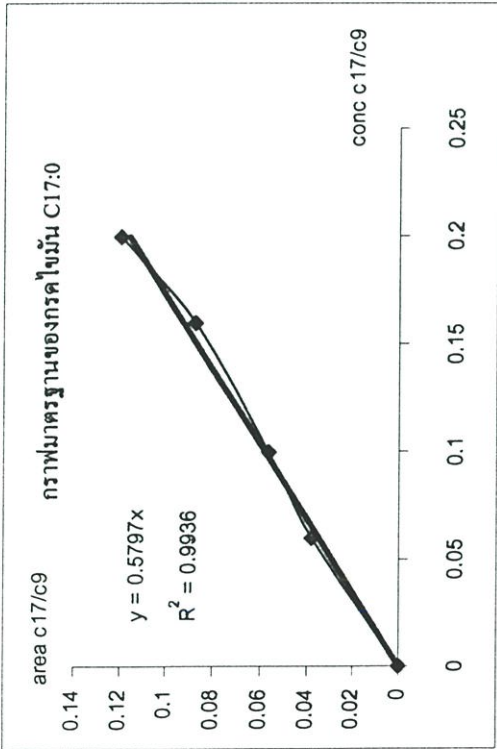
ภาคผนวก ง

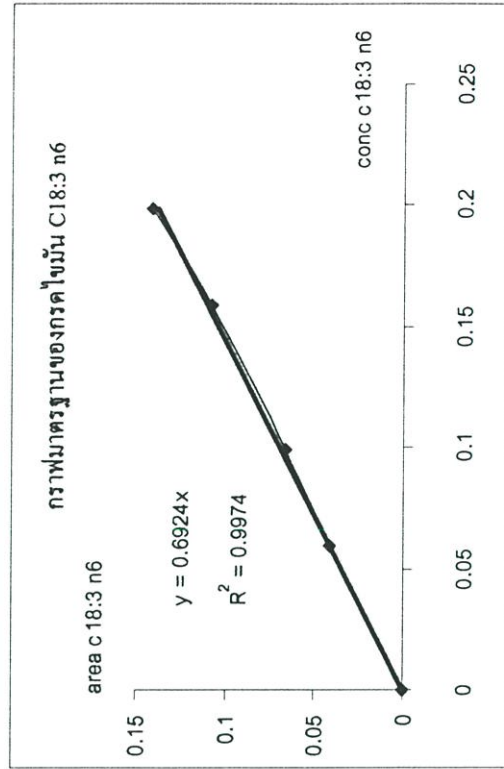
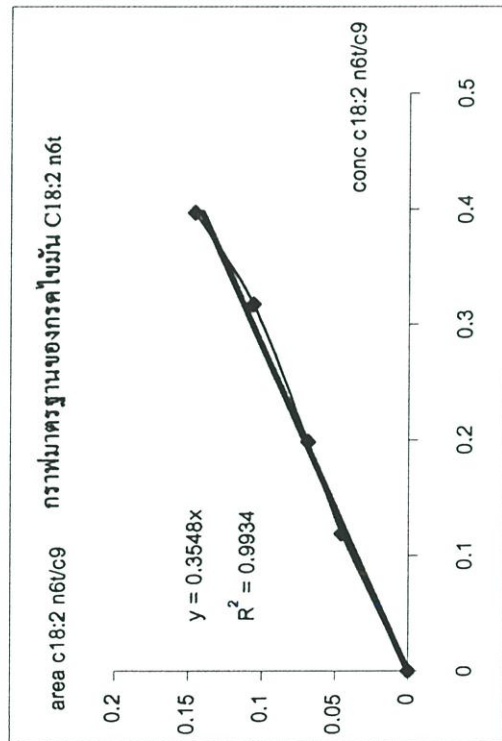
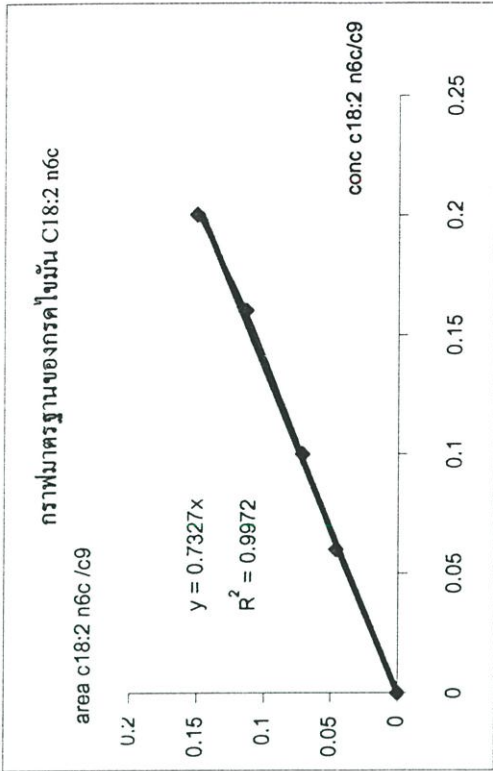
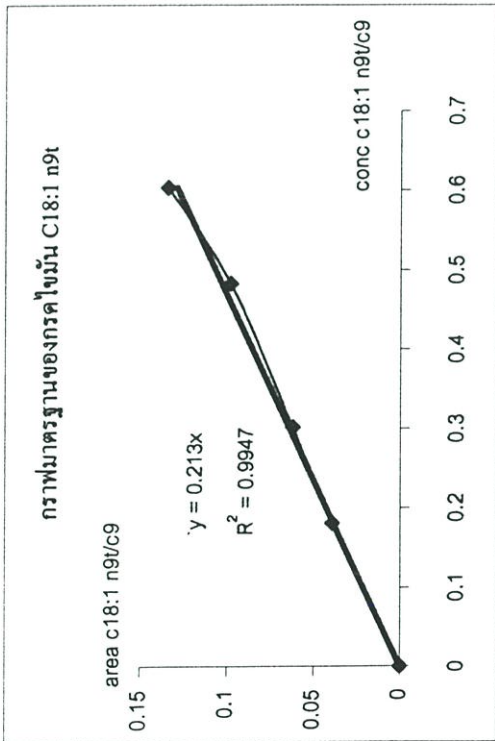
**กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน**

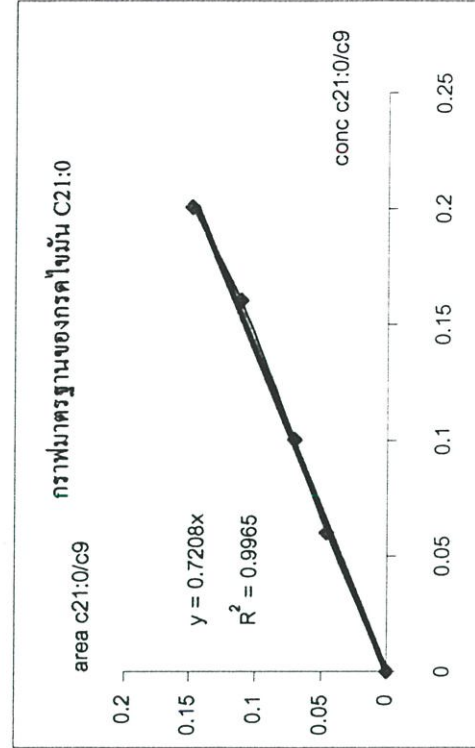
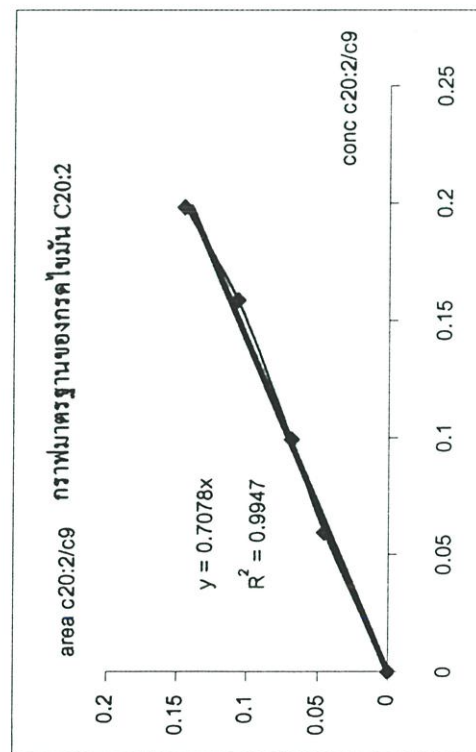
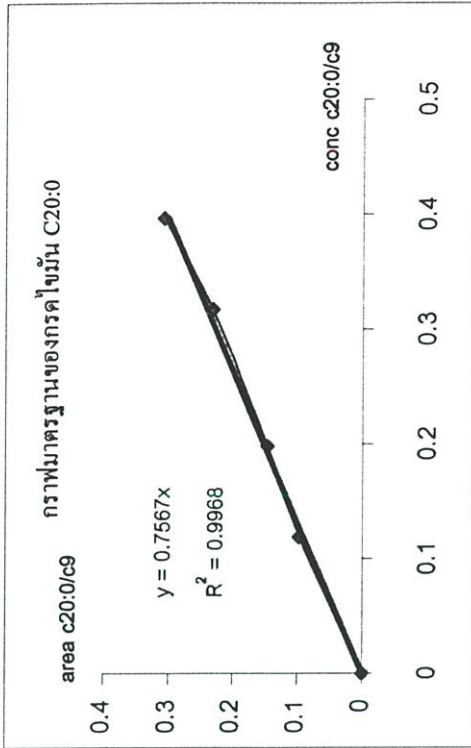
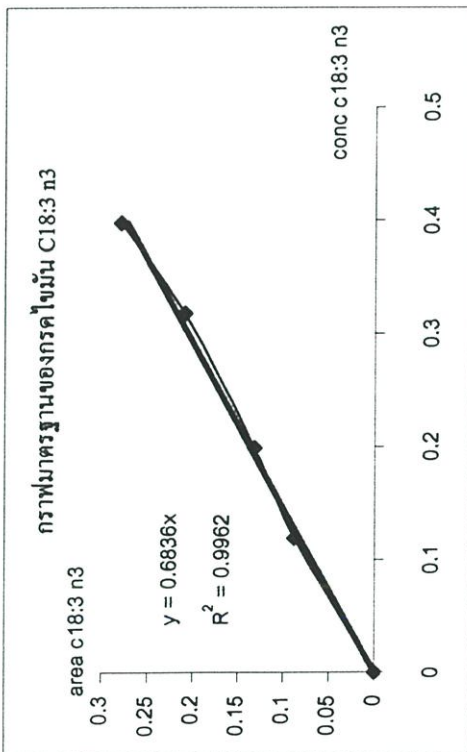


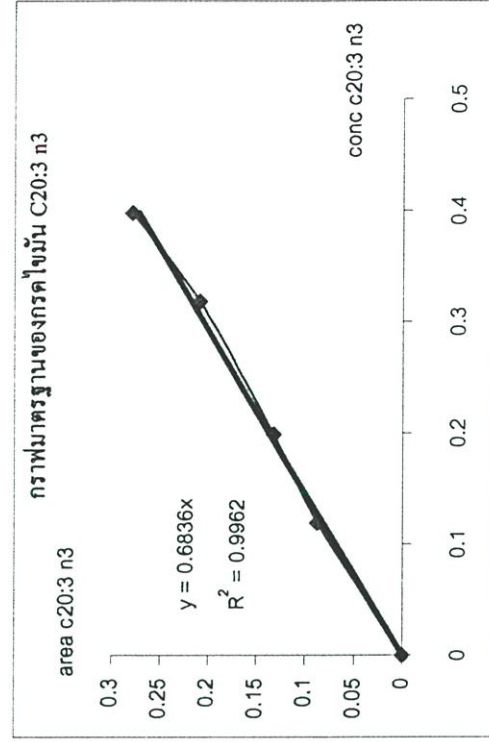
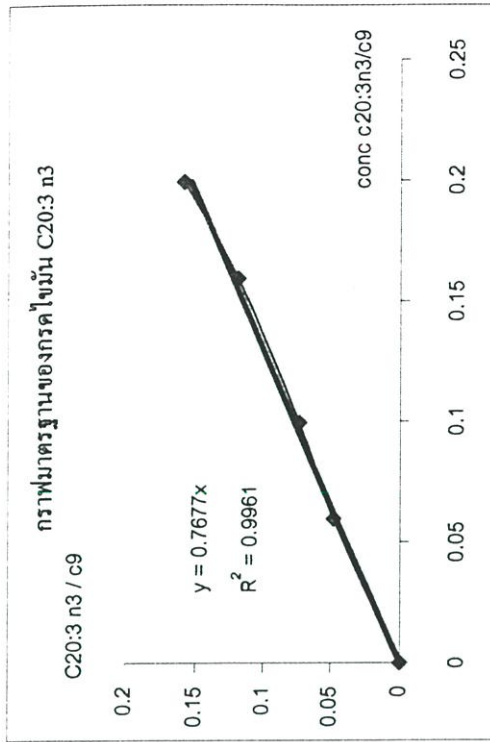
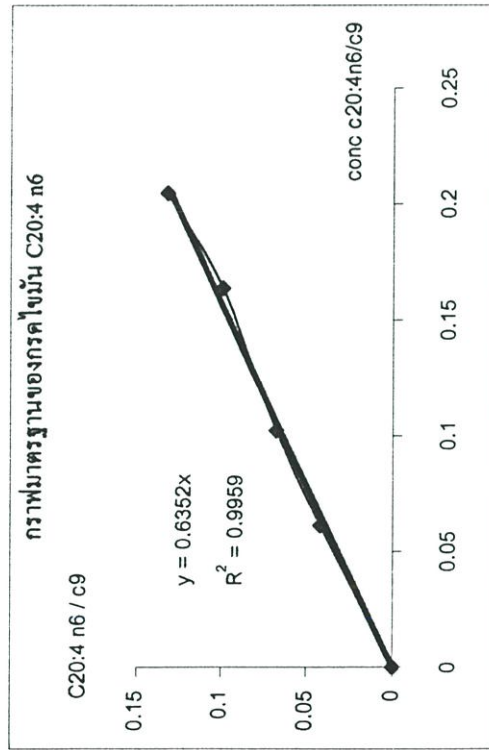
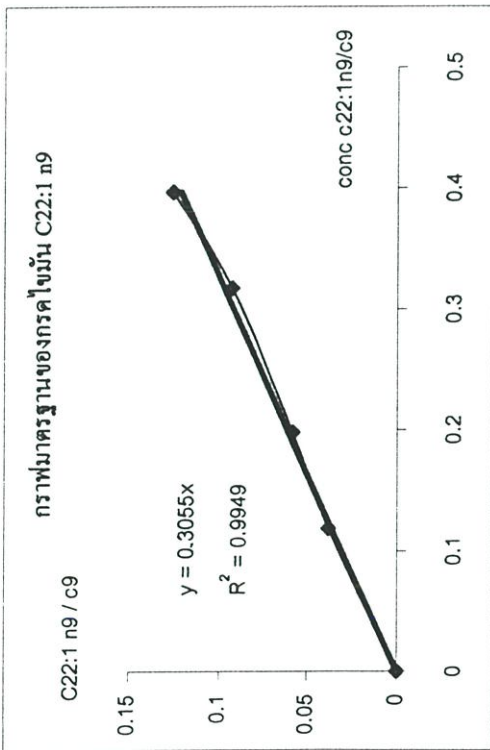


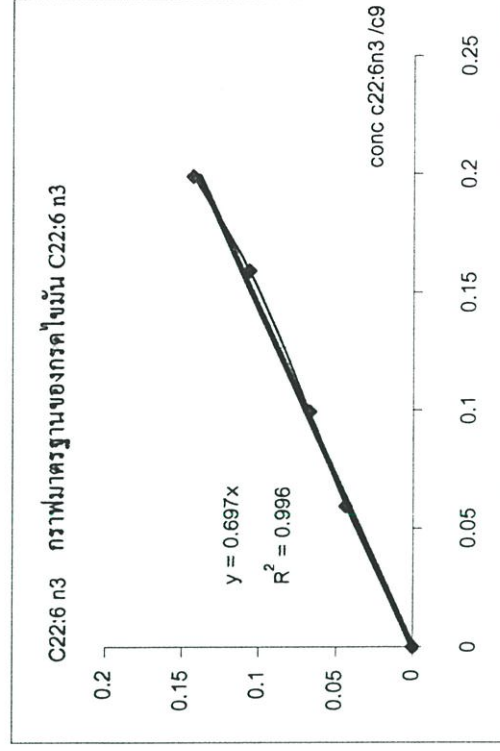
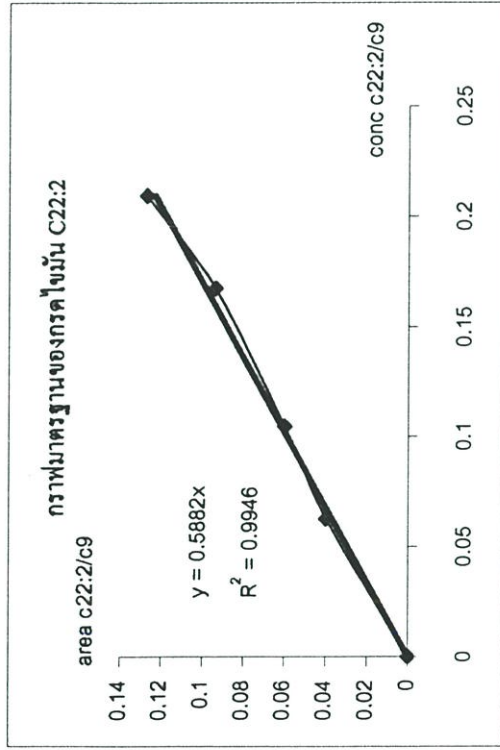
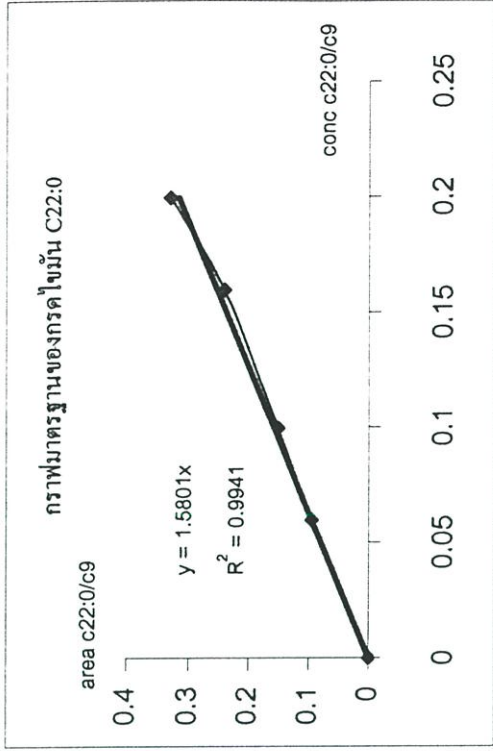
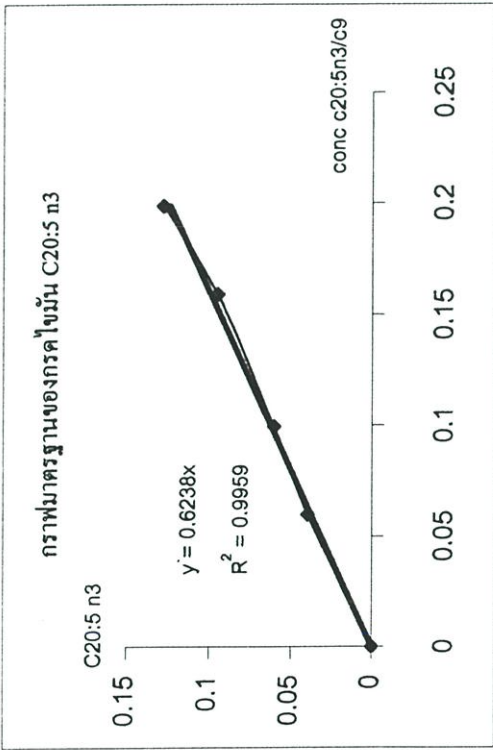


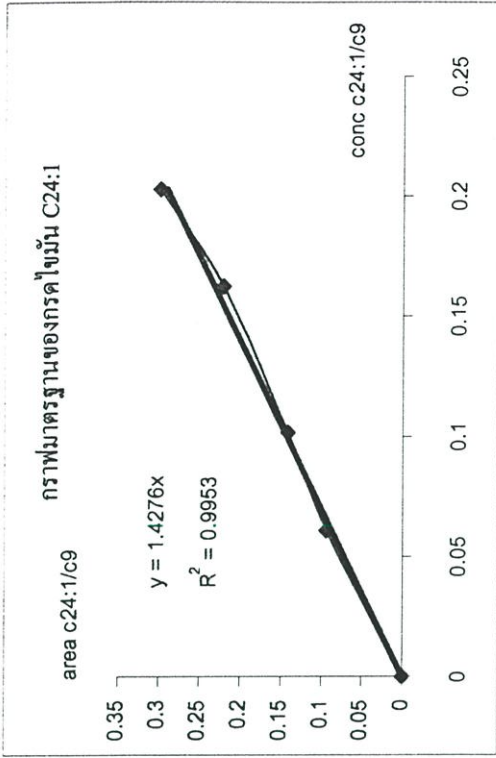
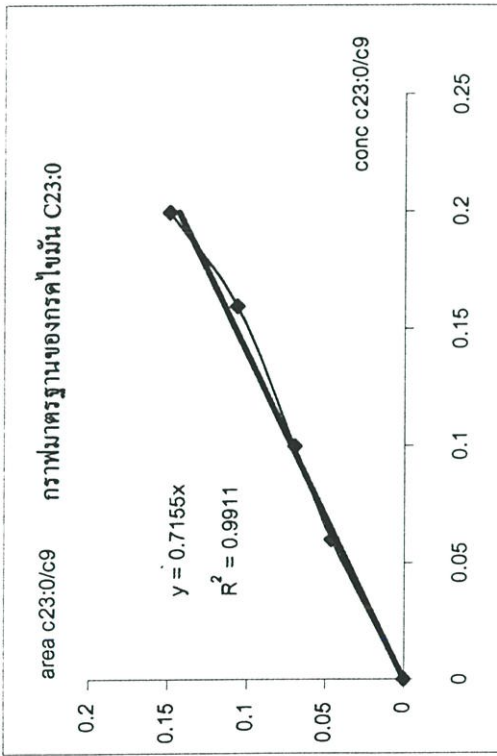






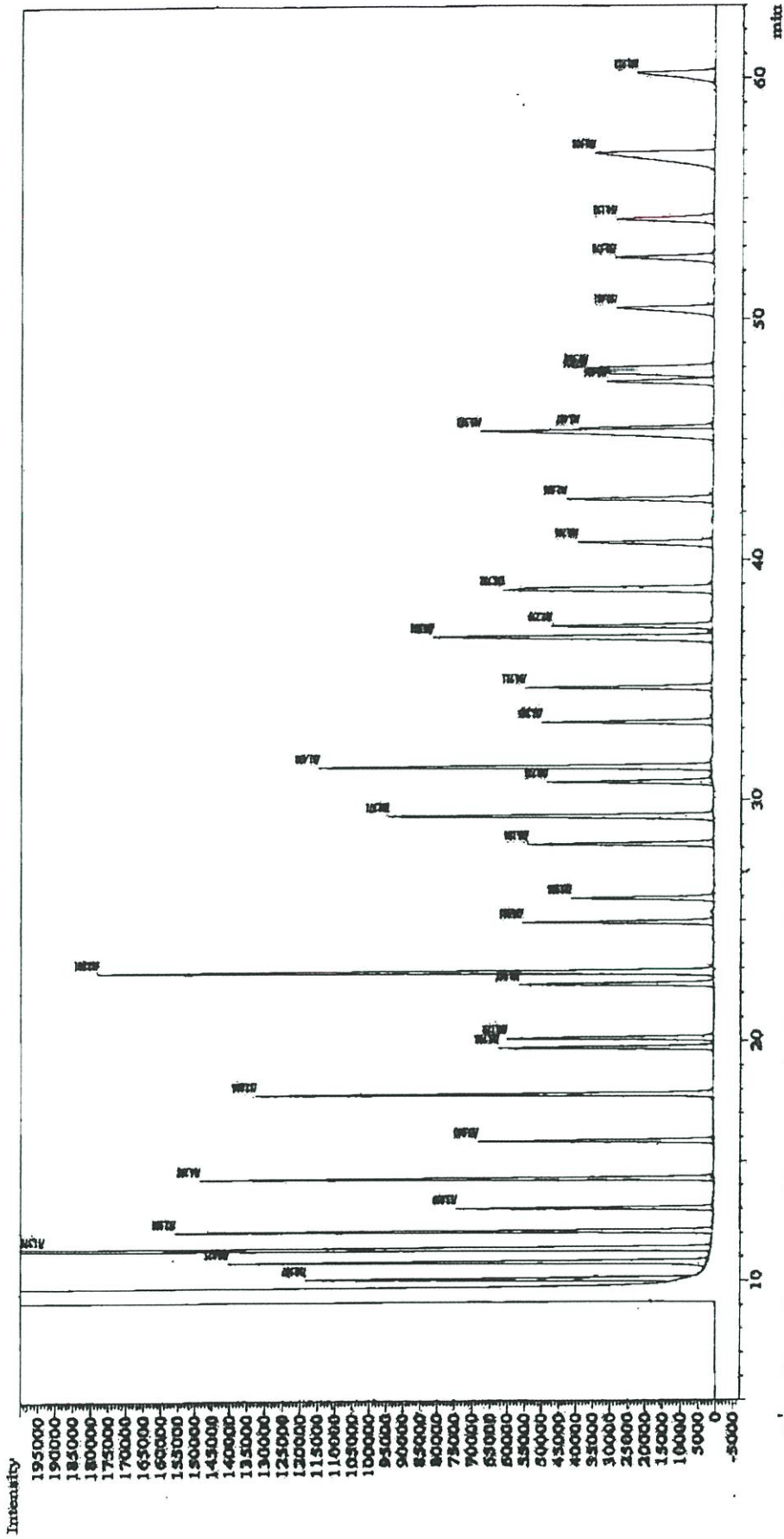






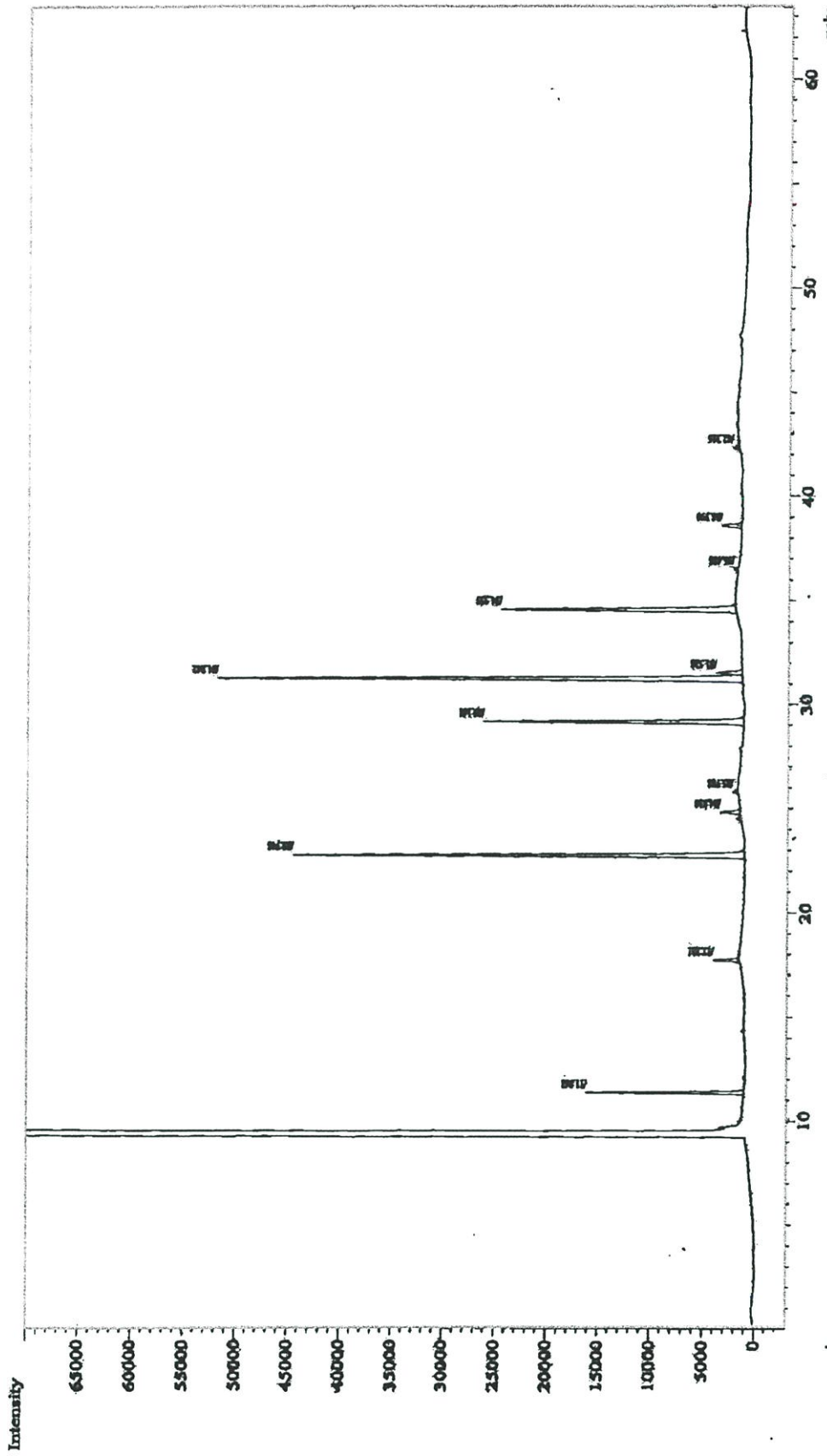
ภาคผนวก จ

โครงการแสดงผลองค์ประกอบคดีน้ำมันของน้ำมัน ไขมันแยกส่วน  
และได้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

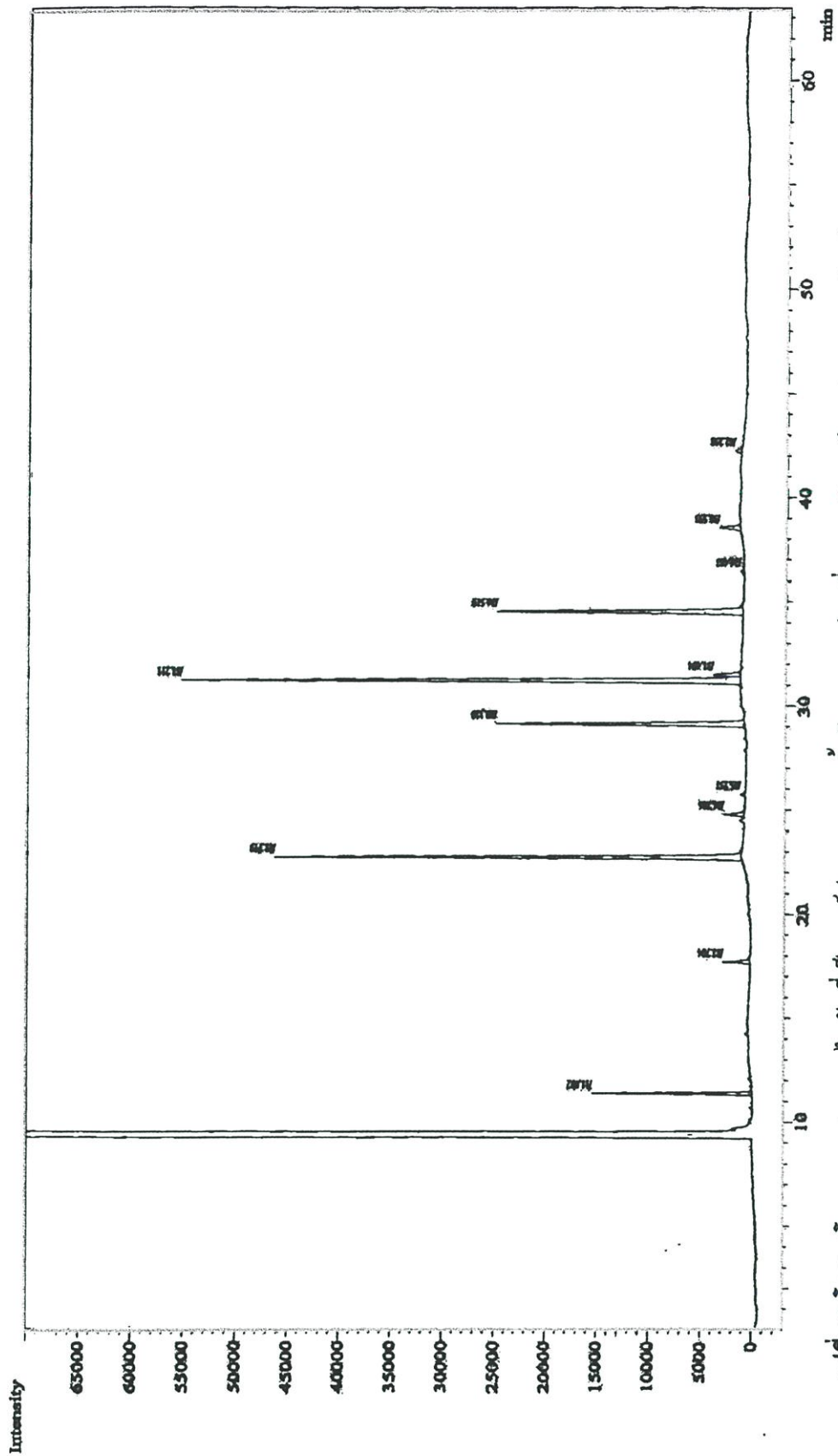


รูปที่ ๖1 โครมาโตแกรมองค์ประกอบกรดไขมันมาตรฐาน (FAMES Mix C4-C24, Supelco) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0)

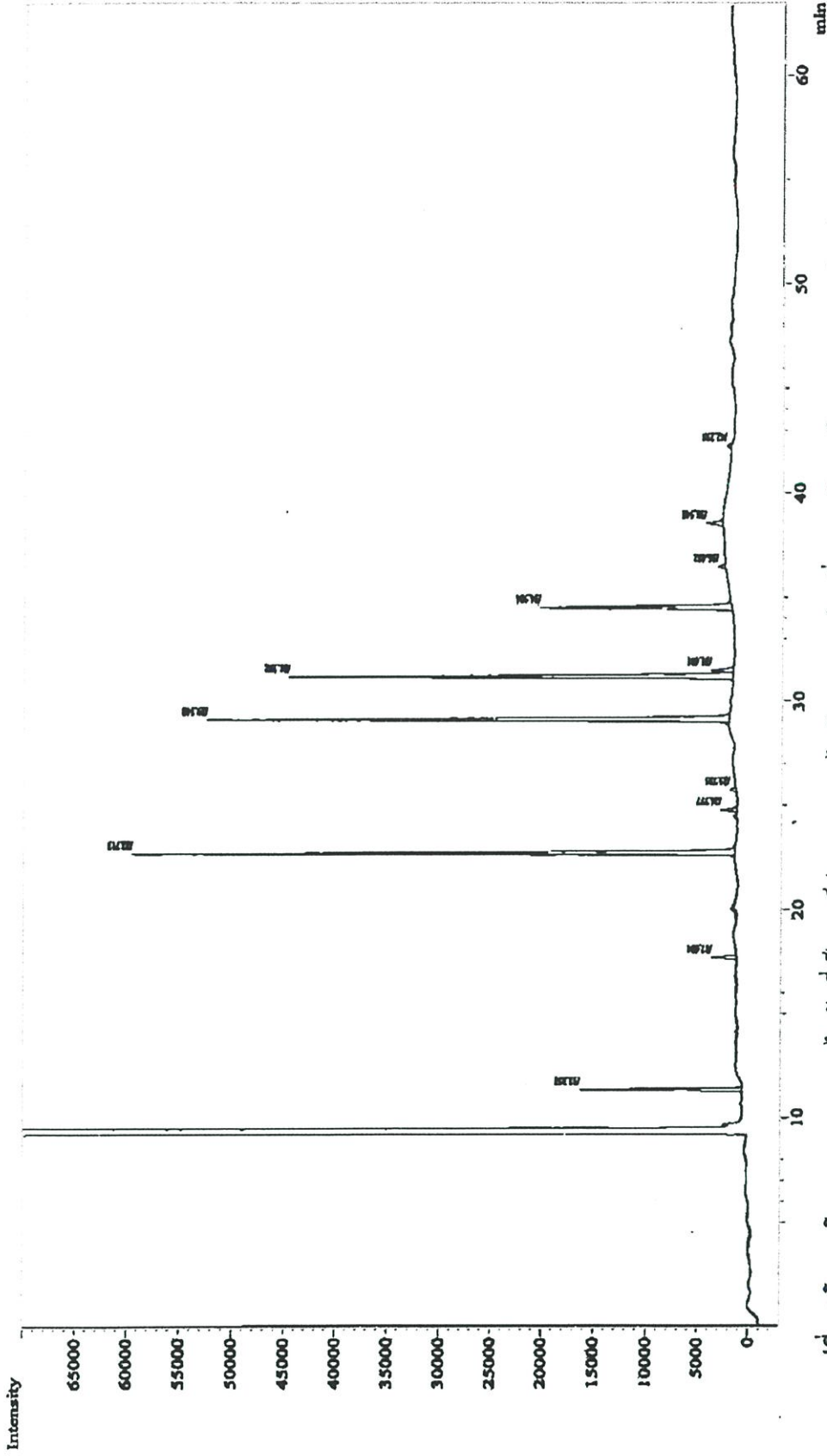
เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C /min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



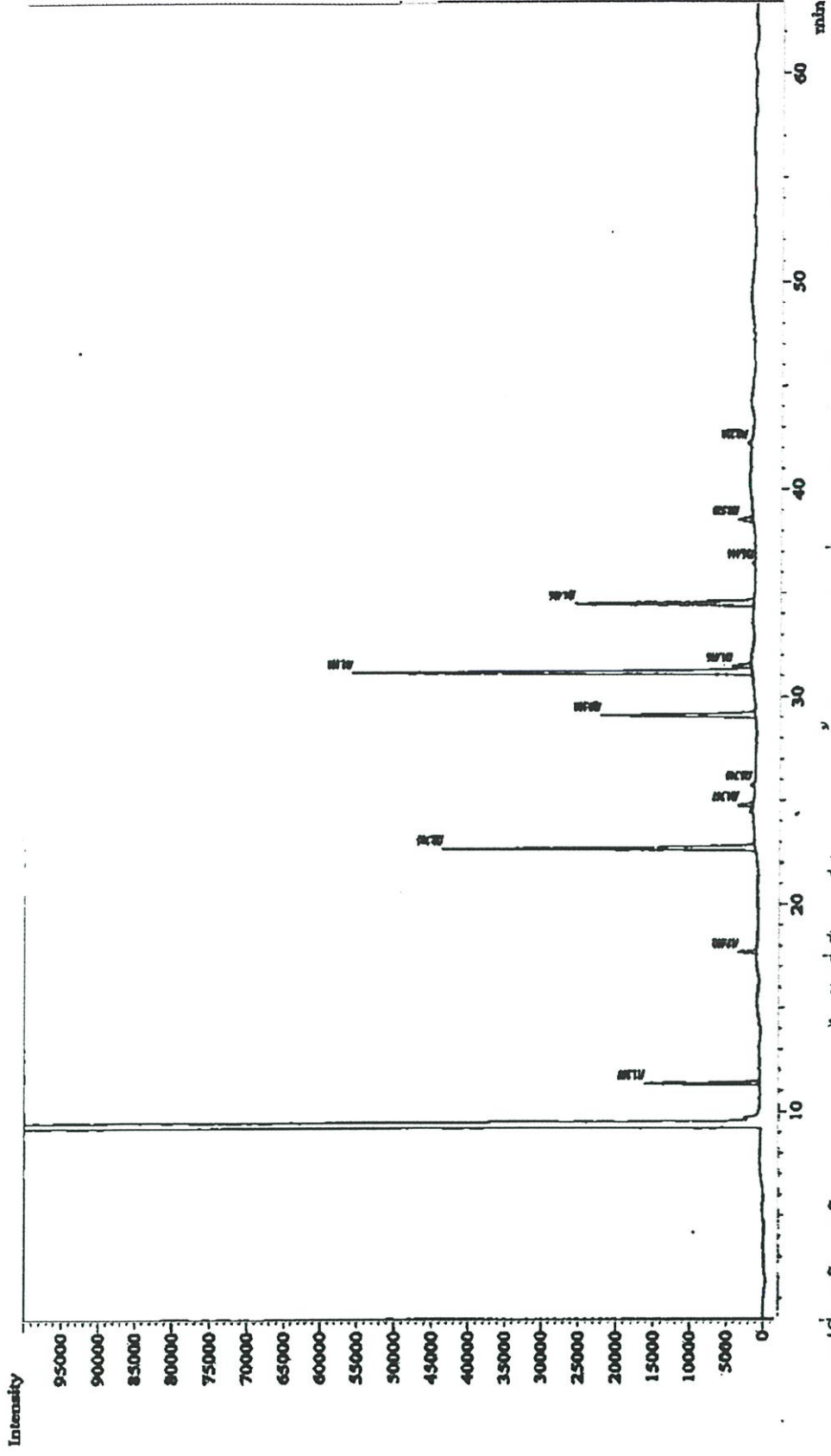
รูปที่ ๑๒ โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมู โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



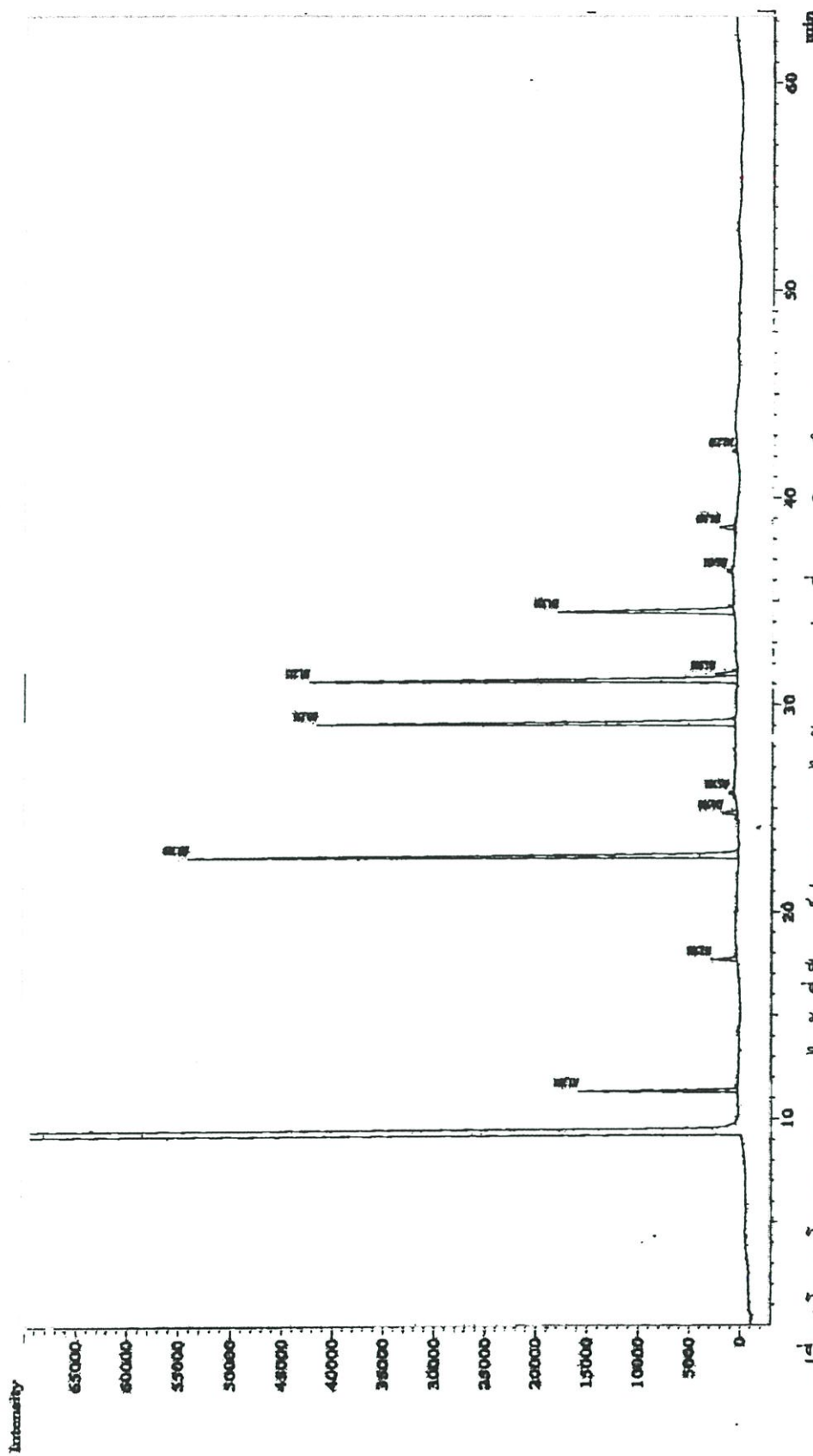
รูปที่ ๑3 โครมาโตแกรมแสดงกราฟความเข้มที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิติดฟลิก 40°C (LF40) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C คิวซ์อัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



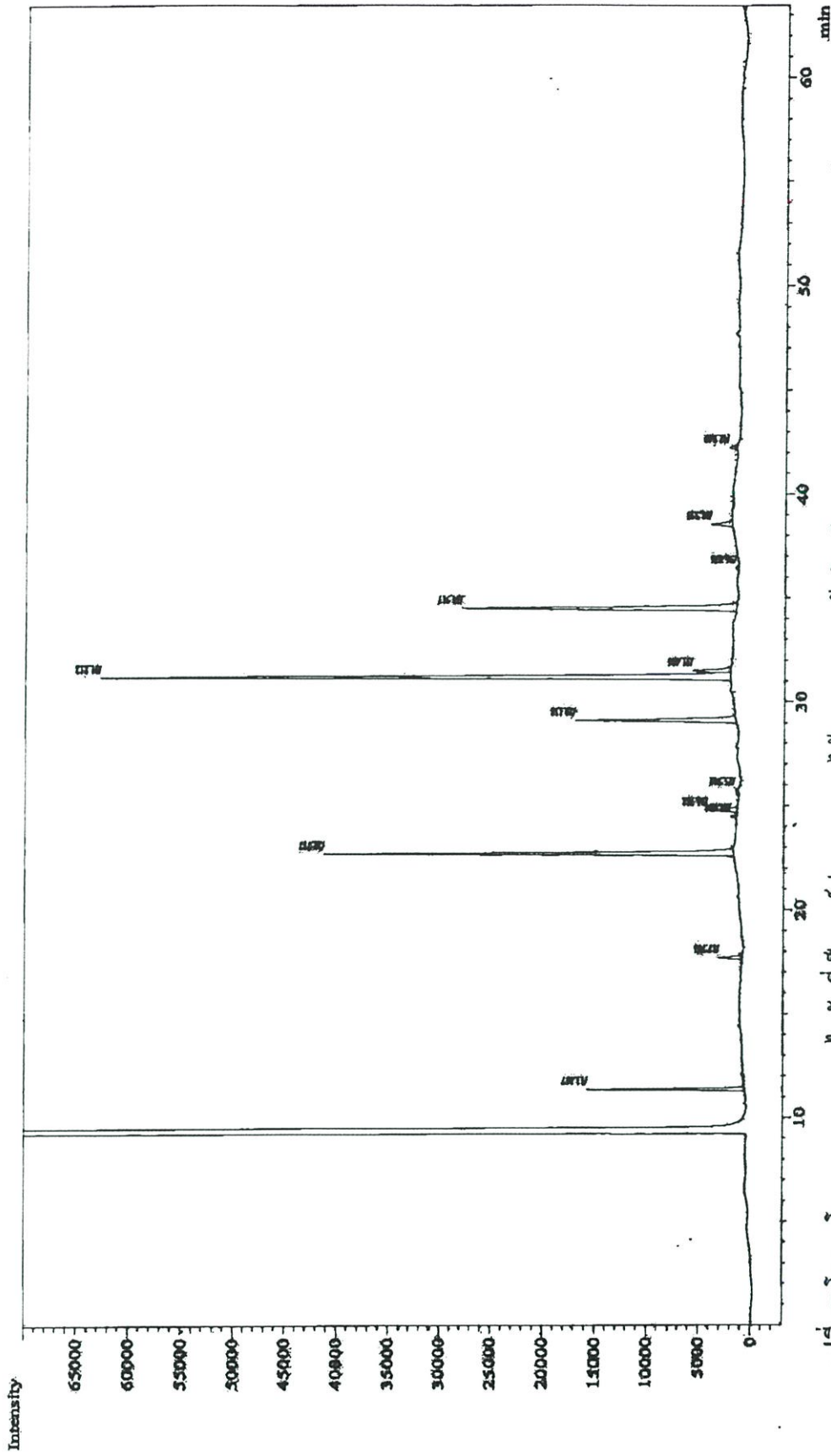
รูปที่ 4 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิคงที่ 40°C (SF40) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



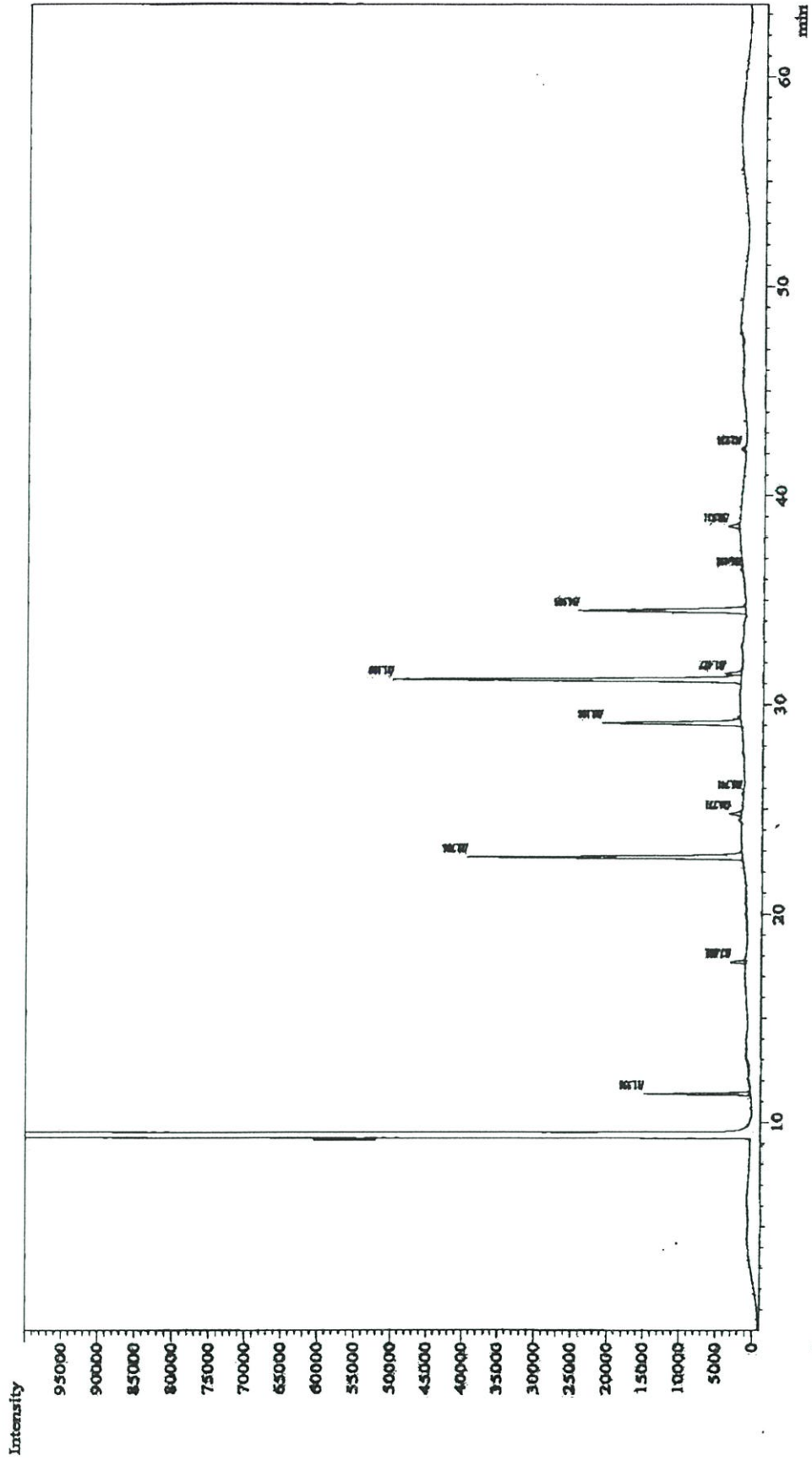
รูปที่ ๑5 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30°C (LF30) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



รูปที่ ๑6 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันหมูแยกส่วนที่อุณหภูมิคงที่ 30 °C (SF30) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210 °C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150 °C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 °C ด้วยอัตรา 1.3 °C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250 °C)



รูปที่ ๑๗ โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรองกทางการค้า โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



รูปที่ ๑๘ โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไส้กรอกที่ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิคงที่ 40 °C โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)

## ภาคผนวก ฉ

### 1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

#### 1.1 Iodine Value : Cyclohexane-Acetic acid Method (AOCS Method Cd 1-25, 1999)

หาลอมตัวอย่างน้ำมันโดยใช้อุณหภูมิ 80°C และกรองผ่านกระดาษกรองเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปน ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.200 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำ Cyclohexane-Acetic acid solution (1:1) ปริมาตร 15 ml เขย่าตัวอย่างให้ละลาย หลังจากนั้นเติมน้ำ Wjjs solution 25 ml ด้วย ปิเปิด เขย่าให้เข้ากัน และเก็บในที่มืด นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำ 10% KI 20 ml แล้วเติมน้ำกลั่น 100 ml เขย่า ไทเทรตด้วย 0.1 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จนมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง 1 ml ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหมด ไป อ่านปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ไทเทรต

การคำนวณค่า iodine value

$$\text{Iodine value} = \frac{(B-S) \times N \times 12.69}{\text{wt of sample}}$$

หมายเหตุ B = ปริมาตร (mL)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ไทเทรต blank  
S = ปริมาตร (mL)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง  
N = ความเข้มข้นของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (normal)

#### 1.2 Saponification Value (AOCS Method Cd 3-25, 1999)

หาลอมเหลวตัวอย่าง กรองผ่านกระดาษกรองเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม และน้ำ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 4-5 g ลงใน Erlenmeyer joint flasks เติมน้ำ Alcoholic KOH 50 ml reflex ที่ 75-80°C นาน 1 ชั่วโมง รอจนตัวอย่างเย็นก่อนไทเทรตกับ 0.5N HCl โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จนได้สีชมพู จดปริมาตรของกรดที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Saponification Value} = \frac{(\text{ml. HCl for blank} - \text{HCl for sample}) \times N \text{ HCl} \times 56.1}{\text{Sample wt. (g)}}$$

### 1.3 Free Fatty Acid (AOCS Method Ca 5a-40,1999)

หลอมเหลวตัวอย่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 80°C ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 7.05 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติม neutralized alcohol 50 ml และเติม phenolphthalein 2 ml ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนปรากฏสีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของค่าที่ใช้ไทเทรต

#### การคำนวณ

คำนวณในรูป oleic acid

$$\% \text{FFA as oleic} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{wt of sample}}$$

หมายเหตุ N = ความเข้มข้นของค่า

## 2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน

### 2.1 Melting point by capillary tube (AOCS Method Cc 1-25, 1999)

หลอมเหลวตัวอย่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 80°C และกรองเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปน และตัวอย่างต้องปราศจากน้ำ บรรจุตัวอย่างที่หลอมเหลวแล้วลงในหลอดคาปิลารี โดยจุ่มปลายหลอด ในน้ำมันที่หลอมแล้ว จนระดับน้ำมันมีความสูง 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปลงไฟเพื่อปิดปลายหลอดทั้ง 2 ด้าน และนำไปผูกติดกับเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้ตำแหน่งตัวอย่างอยู่ติดกับกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ และแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ซ้ำมคืน นำเทอร์โมมิเตอร์ที่ผูกติดกับหลอดคาปิลารี ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ml ที่ใส่น้ำกลั่น 300 ml โดยให้จุ่มเทอร์โมมิเตอร์จนระดับตัวอย่างทั้งหมดจมอยู่ในน้ำกลั่น และให้ความร้อน โดยค่อยๆ เพิ่ม ความร้อนด้วยอัตรา 0.5°C / นาที พร้อมกวนด้วยความเร็วต่ำ อ่านอุณหภูมิที่ตัวอย่างหลอมเหลวจนในทั้งหมด

## 3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

### 3.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างไส้กรอกที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงใน aluminium can ที่ผ่านการอบ และทราบน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนัก แล้วนำไปอบซ้ำจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างเริ่มคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม) นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

### 3.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างใส่กรอกประมาณ 2 กรัม ( $\pm 0.10$  กรัม) เคมีอะตอมลิสต์ ( $\text{CuSO}_4 / \text{K}_2\text{SO}_4$  อัตราส่วน 1:8) 7-10 กรัม เคมีกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15-25 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วกันกระแทก 2 ลูกในหลอดย่อยโปรตีน นำไปย่อยโปรตีนจนกระทั่งได้สารละลายสีฟ้าใส ปล่อยให้เครื่องดูดควันจนหมด และทิ้งไว้ให้เย็น นำหลอดตัวอย่างที่ได้มากลับ โดยเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% จำนวน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ดวงกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมชู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวจับแอมโมเนียหาค mixed indicator (0.1% Bromocresol green 10 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1% Methyl red 1 มิลลิลิตร) 2-3 หยด จะได้สารสีส้มแดง รอจนกระทั่งกลั่นเสร็จ นำตัวอย่างที่กลั่นเสร็จมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N \text{ HCl} \times 14 \times 100}{\text{Wt. Sample} \times 1000}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

### 3.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 1-2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล ดวงปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 60-80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 140-180 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ไขมัน ต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหย ปิโตรเลียมอีเทอร์ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{นน.บีกเกอร์หลังสกัดไขมัน} - \text{นน.บีกเกอร์ก่อนสกัดไขมัน}}{\text{นน.ตัวอย่าง}} \times 100$$

#### 1.4 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

เผาด้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถสุญญากาศ ชั่งน้ำหนัก และบันทึก นำตัวอย่างที่บดแล้ว 3.0000-5.0000 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องนำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาว หรือสีเทา ทำให้เย็นในโถสุญญากาศ แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{นน.ถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{นน.ถ้วยกระเบื้องก่อนเผา}}{\text{นน.ตัวอย่าง}} \times 100$$

#### 3.5 ความเป็นกรดค่า (pH) (Kayaarah&Guk, 2003)

ชั่งตัวอย่างไส้กรอก 10 กรัม ปั่นผสมกับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสม นาน 30 วินาที วัดด้วยเครื่อง pH meter ที่อุณหภูมิห้อง

### 4. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์

#### 4.1 ธี (Kayaarah&Guk, 2003)

นำตัวอย่างไส้กรอกปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม แล้วนำตัวอย่าง วัดค่าสีระบบ L\* a\* b\* ทำการ calibration ด้วยแผ่นเซรามิกสีสีขาว อ่านค่าที่วัดได้ 6 ครั้ง ใน 1 ชั่วโมง ทำ 3 ชั่วโมง

#### 4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) (Hung et al., 1997)

ชั่งเบทเทอร์คิบจำนวน 10 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาทำให้เย็น และมาห่อด้วยสำลี และนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยใช้ความเร็วรอบ 9,000 g, 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำสำลีออก แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง คำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของความสามารถในการอุ้มน้ำ (\%WHC)} &= [1-(T/M)] \times 100 \\ &= 1-[(B-A)/M] \times 100 \end{aligned}$$

โดยที่ T = ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่สูญเสียไปในขณะให้ความร้อน และหมุนเหวี่ยง

B = น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน

A = น้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน และหมุนเหวี่ยง

M = ปริมาณน้ำทั้งหมดในตัวอย่าง

#### 4.3 การสูญเสียน้ำหนักภายหลังจากทำสุก (Cooking loss) (Crehan et al., 2000)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างไส้กรอกที่บรรจุใส่ แล้วนำมาคัมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำมาแช่ในน้ำเย็น 10 นาที ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างภายหลังจากทำสุก คำนวณน้อยการสูญเสียน้ำหนักภายหลังจากทำสุก ดังนี้

$$\text{ค่าการสูญเสีย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำสุก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังทำสุก}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำสุก}} \times 100$$

#### 4.4 ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) (Crehan et al., 2000)

นำตัวอย่างเบทเทอร์ดิบจำนวน 25 กรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยง บันทึกน้ำหนักตัวอย่างบทยุติ 2 ตำแหน่ง) หมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 3,600 g, 25 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที แยกของเหลวออก และนำตัวอย่างที่เหลือในหลอดนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เหวี่ยงแยกต่อที่ 3,600 g, 25 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แยกส่วนของเหลวออก นำส่วนของแข็งกับหลอดเหวี่ยงไปชั่งน้ำหนัก

$$\text{ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ (TEF)} = W_1 - W_2$$

$$\text{ร้อยละของปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ (\%TEF)} = \frac{\text{TEF}}{\text{Sample weight}} \times 100$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก และตัวอย่างเริ่มต้น

$W_2$  = น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก และตัวอย่างหลังจากแยกของเหลว

#### 1.5 Scanning Electron Microscopy (ดัดแปลงจาก Iwasaki et al., 2006)

นำตัวอย่างไส้กรอกมาแช่ในสารละลาย 2.5% glutaraldehyde ใน 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2) นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาล้างด้วย phosphate buffer (pH 7.2) 2 ครั้ง นานครั้งละ 30 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง นาน 10 นาที นำตัวอย่างมากำจัดไขมันออกด้วยอะซิโตนที่มีความเข้มข้น 30%, 50%, 70%, 90%, และ 100% ตามลำดับ นาน 1 ชั่วโมง ในแต่ละความเข้มข้น นำตัวอย่างมาทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้ง ณ จุดวิกฤต (critical control point dryer, Balzers model CPD 020) ที่อุณหภูมิ 31.5 องศาเซลเซียส ความดัน 1,072 ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วนำตัวอย่างมาหักเพื่อให้เกิดพื้นผิวธรรมชาติ (cryo-fracture) ให้มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 x 1 ตารางมิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างที่ได้มาติดลงบนฐานที่ทำจากอลูมิเนียมด้วยเทปกาว 2 หน้า ชนิดนำไฟฟ้า และฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร) โดยใช้เครื่อง sputter-coater (Balzers model SCD40) นาน 5 นาที ที่กำลังไฟฟ้า 15 mA นำตัวอย่างที่ฉาบด้วยทองคำแล้วมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Jeol; model JSM-5410LV, Japan) ที่ความต่างศักย์ 15 kV

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ศวรรรญา ปั่นคลสุข
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2526 ที่กรุงเทพฯ
ที่อยู่	67/66 หมู่บ้านชวนชื่นบางเขน ถ.แจ้งวัฒนะ ต.ทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
ประวัติการศึกษา	2547 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 2548 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี 2550