



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยเทคนิคไมโครเวฟและอัลตราโซนิก  
Development of papaya seed oil extraction process with microwave  
and ultrasonic technique



นายกิตติชัย บรรจง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณประจำปี พ.ศ.2560

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยเทคนิคไมโครเวฟและอัลตราโซนิค  
แหล่งเงิน งบประมาณประจำปี 2560

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 293,000 บาท

ระยะเวลาในการทำวิจัย 1 ปี ตุลาคม 2559 - กันยายน 2560

หัวหน้าโครงการ นายกิตติชัย บรรจง คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อใช้วิธีฟื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME), การสกัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิค (UAE) และการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE) ทำการเปรียบเทียบปัจจัยในการสกัด, ผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณภาพน้ำมัน, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสมบัติทางความร้อน จากการทดลองพบว่าวิธีการสกัดแบบ ME ที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด ได้แก่ ที่สภาวะ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ส่วนวิธีการสกัดแบบ UAE ได้แก่ ที่สภาวะ 47°C เป็นเวลา 35.47 นาที 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และวิธีการสกัดแบบ MAE ได้แก่ สภาวะ 2.32 นาที ใช้กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ 7 กรัม / 150 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมัน 27.99, 26.66 และ 27.29 เปอร์เซ็นต์ หรือ 95.40, 90.87 และ 93.01 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอทั้งหมด ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการสกัดแบบ MAE ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของน้ำมัน พบว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยวิธีการสกัดแบบ UAE ให้น้ำมันคุณภาพดีที่สุด เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermal behavior) ของน้ำมันสกัดที่สภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE พบว่า อุณหภูมิ Onset, Peak height และ Offset ของ Melting point อยู่ในช่วง -25.90 ถึง -12.52 , -7.54 ถึง -3.79 และ 0.77 ถึง 5.96°C ตามลำดับ และอุณหภูมิ Onset, Peak height และ Offset ของการเกิดผลึก อยู่ในช่วง -39.03 ถึง -35.13, -42.15 ถึง -38.37 และ -45.50 ถึง -41.26°C ตามลำดับ จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าการสกัดแบบ MAE เป็นวิธีการสกัดที่ใช้ระยะเวลาในการสกัดและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด ส่วนวิธีการสกัดแบบ UAE เป็นวิธีการสกัดที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันที่สกัดได้น้อยที่สุด

คำสำคัญ : น้ำมันเมล็ดมะละกอ การสกัดแบบแช่ การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด ฟื้นผิวตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of papaya seed oil extraction process with microwave and ultrasonic technique

Researcher: Kittichai Banjong

Faculty: Agro-industry

## ABSTRACT

The optimization of maceration (ME) and ultrasound-assisted extraction (UAE) on the yield of papaya seed oil were conducted by response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD). The independent variables were temperature, time and sample to hexane ratio. The results indicated that the optimum ME was set at 58°C 9 hours using a sample to hexane ratio of 5 g/ 100 ml, the optimum UAE was set at 47°C, 35.47 minutes and 5 g/100 ml and the optimum MAE was set at 2.32 minutes 800 watt and 7 g/150 ml. At those optimum, ME, UAE and MAE provided oil recovery of 28.07±0.72 and 28.54±0.61% or 95.67±2.45 and 97.27± 2.08 % of total oil content, respectively. At those optimum ME, UAE and MAE provided oil recovery of 27.99, 26.66 and 27.29% or 95.40, 90.87 and 93.01% of total oil content, respectively. The result indicates that MAE can reduce extraction time. The different extraction method affected the quality and the antioxidant activity of recovery oil significantly ( $p \leq 0.05$ ) which UAE provided the best quality. In term of thermal and crystallization behaviors. The result showed that the melting of papaya seed oil started from -25.90 to -12.52°C ( $T_{on}$ ). The peak point were between -7.54 to -3.79°C ( $T_p$ ) while  $T$  offset were between 0.77 to 5.96°C, respectively. Crystallization point of ME and UAE were between -39.03 to -35.13°C, -42.15 to -38.37 and -45.50 to -41.26°C, respectively. This research result show that MAE was the minimal extraction time and power consumption. On the other hand, the effect of UAE on oil quality and antioxidant activity was less than MH and RE.

Keyword : papaya seed oil, maceration extraction, ultrasound-assisted extraction, microwave assisted extraction, response surface methodology

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แหล่งเงินทุนงบประมาณประจำปี 2560 ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรและนักศึกษาระดับปริญญาตรี และนักศึกษาระดับปริญญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดี

นายกิตติชัย บรรจง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
3. ขอบเขตงานวิจัย.....	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. มะละกอ.....	4
2.2. เมล็ดมะละกอ.....	5
2.3. น้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	7
2.4. การสกัดน้ำมัน.....	8
2.4.1. การสกัดเชิงกล.....	8
2.4.2. การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย.....	8
2.5. การสกัดแบบรีฟลักซ์.....	9
2.6. การสกัดแบบซอห์กเสต.....	10
2.7. การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก.....	10
2.8. การสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ.....	12
2.9. การออกแบบการทดลอง.....	16
2.10. วิธีพื้นผิวตอบสนอง.....	18
2.11. สมบัติทางเคมีของน้ำมัน.....	21
2.12. อนุมลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ.....	22
2.13. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	28
2.14. รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	41
3.1. อุปกรณ์และสารเคมี.....	41
3.1.1. วัตถุดิบ.....	41
3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	41
3.1.3. สารเคมี.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2. วิธีการดำเนินงาน.....	42
3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....	42
3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ.....	42
3.2.3. การออกแบบการทดลอง.....	42
3.2.4. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ.....	46
3.2.5. การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและทวนสอบสมการ.....	47
3.2.6. เปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ.....	48
3.2.7. วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	51
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ.....	51
4.2 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอโดยใช้วิธีพื้นผิว ตอบสนอง.....	51
4.2.1. สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน.....	51
4.2.2. สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ.....	55
4.2.3. การทวนสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	62
4.2.4. การทวนสอบความเที่ยงตรงของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด.....	64
4.2.5. ผลของวิธีสกัดต่อปริมาณน้ำมันและการใช้พลังงาน.....	65
4.3 ผลของวิธีสกัดต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	66
4.4 ผลของวิธีการสกัดต่อสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	67
4.5 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	73
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	88
ประวัตินักวิจัย.....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะละกอ.....	5
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอสุก.....	6
2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสกัดน้ำมันพืชโดยการบีบอัด.....	8
2.4 น้ำมันจากเมล็ดผลไม้ต่างๆ.....	32
2.5 ผลของอัตราส่วนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	33
2.6 เปรียบเทียบผลตอบรับจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน.....	34
2.7 น้ำหนักตัวและสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	36
2.8 เมทาบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงของสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	37
3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ ME.....	43
3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ ME.....	43
3.3 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ UAE.....	44
3.4 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ UAE.....	44
3.5 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design.....	45
3.6 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ MAE.....	46
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอสุก.....	51
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามเชิงเส้นของ ME.....	52
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสองของ UAE.....	53
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสองของ MAE.....	54
4.5 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	60
4.6 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนระดับสูงเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	61
4.7 เปรียบเทียบอัตราส่วนเมล็ดมะละกอเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันแต่ระยะเวลาในการสกัดเท่ากันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	61
4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่.....	63
4.9 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	63
4.10 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด.....	64
4.11 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแบบ ME และ UAE.....	65
4.12 ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดที่สภาวะที่เหมาะสม.....	65
4.13 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	68
4.15 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (การหลอมเหลว).....	71
4.16 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (การตกผลึก).....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1. ส่วนประกอบของ reflux apparatus.....	9
2.2. ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ.....	12
2.3. วิธีการให้ความร้อน.....	14
2.4. กราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง.....	19
2.5. ภาพแสดงการออกแบบส่วนประสมกลาง.....	20
2.6. การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ตัวแปร.....	21
2.7. ปฏิกริยาระหว่าง DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระ.....	30
2.8. ผลของวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จาก flax seed.....	32
2.9. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับผลผลิตที่ได้จากการสกัดแบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....	33
2.10. การถดถอยเชิงเส้นของความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ OH.....	39
4.1. แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองของการสกัดแบบแช่.....	55
4.2. แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองของการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก.....	57
4.3. แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองของการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ.....	59
4.4. พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	70
4.5. พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

มะละกอบริโภคเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยมีความต้องการมากสำหรับการบริโภคทั้งในประเทศและเพื่อการส่งออก จากธุรกิจการส่งออกมะละกอดี้อยู่แล้วพบว่าในหนึ่งปีมีการส่งออกมะละกอดีถึงปีละหลายพันตัน สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมหาศาลและในปัจจุบันยังเป็นที่ต้องการอย่างมากในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยสถานการณ์การผลิตมะละกอดีของไทยในปัจจุบันนี้พบว่า พื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บเกี่ยวของไทยตั้งแต่ ปี 2549 เป็นต้นไป มีประมาณ 50,000-70,000 ไร่ มีผลผลิตที่ได้ประมาณ 1.3-2 แสนกว่าตันในแต่ละปี มะละกอดีสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี จึงถือเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่ทุกคนไม่ควรมองข้ามเพราะเป็นผลไม้ที่สามารถบริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก อีกทั้งมะละกอดียังใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น เนื้อมะละกอดีดิบ สามารถนำไปประกอบอาหาร ผลมะละกอดีสุกทานเป็นผลไม้ แปรรูปเป็นน้ำผลไม้ ซอส ผลไม้กระป๋อง แยม และลูกกวาด ในปัจจุบันได้มีการนำเอามะละกอดีมาใช้เป็นวัตถุดิบแทนในการผลิตอาหารมาก โดยเฉพาะการใช้ทดแทนมะเขือเทศ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตซอสมะเขือเทศ ซอสพริก น้ำมะเขือเทศ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมะละกอดีมีราคาถูกตลอดจนมีรส สี กลิ่นและแร่ธาตุต่างๆไม่แตกต่างไปจากมะเขือเทศเท่าใดนัก จึงทำให้ผู้ผลิตนิยมมาก นอกจากนี้มะละกอดียังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง น้ำแยมและมะละกอดีผงได้อีกด้วย เปลือกมะละกอดีใช้เป็นอาหารสัตว์ และส่วนผสมอาหาร ยางมะละกอดีใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ ผลิตน้ำปลา อาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมเคมีและเครื่องสำอาง เป็นต้น (ฉัตรทองชัย, 2533) ซึ่งการปลูกมะละกอดีในปัจจุบันถูกบ่อนทำลายแต่ละโรงงานครั้งละมากกว่า 20 ต้น

จากอุตสาหกรรมดังกล่าวข้างต้น เมล็ดมะละกอดีถือเป็นสิ่งที่ถูกกำจัดทิ้งและไม่เป็นที่ต้องการ ซึ่งมีประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ (Briones-Labarca และคณะ, 2015) ของน้ำหนักผลมะละกอดีและเป็นของเสียจำนวนมากที่ได้จากการผลิต ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่ว่าเมล็ดมะละกอดีน่าจะมีศักยภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน โดยจากการศึกษาพบว่าในเมล็ดมะละกอดีมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 30 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มาก นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบทางธรรมชาติที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ อาทิ กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Tian และคณะ, 2005) ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่สกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดละหุ่ง เป็นต้น ดังนั้นเมล็ดมะละกอดีจึงถือว่าเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอดียังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์บำรุงเส้นผมและครีมบำรุงผิว เป็นต้น ซึ่งในการแปรรูปของเหลือทิ้งราคาถูกแล้วทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเป็นการช่วยลดปริมาณของขยะแล้วยังช่วยสร้างรายได้ให้กับประเทศได้อีกด้วย

ในกระบวนการสกัดที่ใช้กันอยู่ เรียกว่าวิธีการแช่ (Maceration ; ME) ซึ่งเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองพลังงานและทรัพยากร เพราะต้องใช้เวลาในการสกัดนานและต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายในปริมาณมาก เพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้จึงได้นำวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (Ultrasound-assisted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

extraction ; UAE) และการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave-assisted extraction ; MAE) มาใช้ในการสกัดเพื่อตอบสนองความต้องการและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ข้อดีของ UAE คือ สามารถลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดได้จากการเกิดปรากฏการณ์แควิเทชัน (cavitation) และข้อดีของ MAE คือใช้เวลาในการสกัดสั้นและสามารถลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายในการสกัด โดยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวของคู่ขั้ว ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างฉับพลัน นอกจากนี้ UAE และ ME ยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัดได้ทำให้ประหยัดพลังงานในการสกัดได้มาก

โดยในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเมล็ดมะละกอที่เหลือทิ้งจากร้านขายผลไม้รวมถึงจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเมล็ดมะละกอ ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่, การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดและการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด หาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดทั้งสามวิธีโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง และเปรียบเทียบน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบแช่, คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดและไมโครเวฟช่วยสกัดในด้านปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการสกัด, ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และศึกษาสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอเพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ และพัฒนาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยเทคนิคอัลตราโซนิกและไมโครเวฟ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบแช่, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกและไมโครเวฟ โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM)

2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสมบัติทางเคมี, ปริมาณและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้ในวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ตลอดจนการใช้พลังงานของ วิธีการสกัดด้วยการแช่ วิธีการสกัดด้วยเทคโนโลยีอัลตราโซนิก และวิธีการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยคำนึงถึงการประหยัด การลดระยะเวลาของกระบวนการสกัด และผลต่อคุณภาพด้านเคมีและด้านกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยมุ่งเน้นประยุกต์เทคโนโลยีอัลตราโซนิกและไมโครเวฟในกระบวนการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ หาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยใช้การออกแบบแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ร่วมกับหลักการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เปรียบเทียบน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดจากสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE ในด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ วัตถุดิบที่ใช้คือเมล็ดมะละกอ พันธุ์ฮอลแลนด์ จากร้านขายผลไม้ที่ตลาดนัดสุวรรณภูมิ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดคือ เฮกเซน (Hexane) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ในการสกัดมี 3 วิธีคือ วิธีการสกัดแบบแช่ (ME), วิธีการสกัดโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก (UAE) และวิธีการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE) ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการสกัดแบบ ME และ UAE มี 3 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและอัตราส่วนของเมล็ดมะละกอต่อบริมาณสารละลายเฮกเซน และตัวแปรที่ทำการศึกษาในการสกัดแบบ MAE มี 3 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ระยะเวลาในการสกัด กำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนของเมล็ดมะละกอต่อบริมาณสารละลายเฮกเซน และตัวแปรตาม คือ ปริมาณผลผลิตของน้ำมันเมล็ดมะละกอก จากนั้นทำการทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ได้โดยการสร้างแผนภาพ Normal plot ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Pearson correlation) เปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมี (Acid value และ Peroxide value), ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ (ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยวิธี Folin Ciocalteu เทียบกับกรดแกลลิก) และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอก (วิเคราะห์โดยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ antioxidant assay, 2,2-Azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS)) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดได้โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 สามารถนำเมล็ดมะละกอกซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาสกัดเป็นน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่มีประโยชน์และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง
- 2 สามารถนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาใช้ในการช่วยทำนายหรือเป็นแนวทางในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอกด้วยไมโครเวฟเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอกมากที่สุดเท่าที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถคำนวณได้และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด
- 3 ทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อบริมาณของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดด้วยการสกัดแบบแช่, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกและการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ
- 4 สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกและไมโครเวฟในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาและปริมาณตัวทำละลายน้อยและได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สูง โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางหรือเป็นประโยชน์ต่อยอดการสกัดในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มะละกอ

มะละกอเป็นไม้ผลเขตร้อนชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* L. และมีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น papaya, papaw, papane และ papepy แต่ที่นิยมเรียกมากที่สุดคือ papaya จัดอยู่ในวงศ์มะละกอ (Caricaceae) (เสาวลักษณ์ ภูมिवสนะ, 2527) เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง และได้แพร่กระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ของโลกตั้งแต่ศตวรรษที่ 16 เป็นต้นมา มะละกอได้แพร่เข้าสู่มะละกาเมื่อประมาณกว่า 400 ปีที่แล้วและสันนิษฐานว่าน่าจะแพร่เข้าสู่ส่วนที่เป็นประเทศไทยหลังจากนั้น มะละกอเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ไม่ว่าจะป็นราก ลำต้น ใบ ผล รวมทั้งส่วนที่เป็นน้ำยาง ในส่วนของการนำมาใช้เป็นอาหาร การบริโภคมะละกอสามารถทำได้ทั้งรูปแบบของผักและผลไม้ แต่รูปแบบที่นิยมแพร่หลายทั่วโลก คือ การนำผลสุกมาบริโภคแบบผลไม้หรือผลิตเป็นน้ำผลไม้และแยม (Chielle และคณะ, 2016) ขณะที่การบริโภคแบบผักมีสัดส่วนไม่มากนัก การนำผลดิบมาบริโภคเป็นที่นิยมเฉพาะในบางท้องถิ่นเท่านั้น นอกจากนี้ในส่วนของใบ ลำต้น หรือแม้แต่ช่อดอกตัวผู้ ก็มีการนำมาปรุงเป็นอาหารเช่นกัน แม้ว่ามะละกอจะจัดเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น แต่ถ้าปลูกในสภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตและการพัฒนาการแล้ว จะมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 15 ปี เป็นไม้ผลที่มีระบบรากแก้ว ลำต้นจะชุ่มน้ำ เนื้อไม้กลวง ไม่มีกิ่งแขนงบนลำต้น แต่ในบางครั้งอาจพบมีกิ่งแขนงแตกออกมาได้ในกรณีที่ส่วนยอดถูกทำลายหรือต้นล้ม (สุวรรณ อื่นทรงแก้ว, 2539)

มะละกอมีคุณสมบัติในการรักษาโรค เช่น อาการที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหาร ระบบขับถ่าย ระบบสืบพันธุ์ ตลอดจนโรคผิวหนังบางชนิด ฯลฯ ในภูมิภาคต่างๆ ของโลกล้วนมีประวัติการนำราก ใบ เมล็ด และยางมะละกอ มาใช้เป็นยาสมุนไพรพื้นบ้านตั้งแต่โบราณนอกจากสารอาหารสำคัญ เช่น วิตามินซี วิตามินบี และเบต้าแคโรทีน ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพแล้ว ในมะละกอยังมีสารประกอบอื่นๆ จำนวนมาก ที่สำคัญและเป็นที่ยูจกักันดี คือ “ปาเปน” ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนพบได้ในน้ำยางมะละกอ ปัจจุบันมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหารเครื่องสำอาง และเคมีต่างๆ มะละกอเป็นพืชที่ชอบน้ำ ชอบแสงแดดและทนแล้งได้ดี จึงเป็นพืชที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนกว่า 50 ประเทศทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยนอกจากจะมีการบริโภคมะละกอกันภายในประเทศแล้ว ในปัจจุบันยังมีการส่งมะละกอไปจำหน่ายตลาดต่างประเทศอีกด้วย พันธุ์ในประเทศที่ใช้บริโภคผลสุกที่ได้รับความนิยมคือ พันธุ์แขกดำ ปัจจุบันมีการพัฒนาพันธุ์ครั้งใช้กินดิบเก็บได้นาน เนื้อกรอบ สีแดงอมส้มที่พบในมะละกอสุก แสดงว่า มะละกอสุกมีสารไลโคพีนซึ่งเป็นสารช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากอีกด้วย

มะละกอสุกอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แคโรทีน วิตามินซี สารพลาโวนอยด์ สารโฟเลต กรดแพนโทเทนิค ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และเส้นใยอาหาร สารอาหารเหล่านี้บำรุงสุขภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดและป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยอินสบรุค ประเทศออสเตรีย พบว่ามะละกามีสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อสุกงอม เนื่องจากคลอโรฟิลล์สีเขียวเปลี่ยนเป็นสารไม่มีสีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างเยี่ยมยอดอีกชนิดหนึ่งเรียก NCCs (Nonfluorescing chlorophyll catabolytes) สะสมบริเวณเปลือกผลและใต้ผิวเปลือก เวลาปอกมะละกอสุกจึงไม่ควรกรีดริ้วบริเวณใต้เปลือกเพราะจะสูญเสียคุณค่าอาหารนี้ไป (สุรชาติพ ภมรประวัติ, 2552) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่พบในผลมะละกอแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะละกอ

สารอาหาร	ต่อหน่วยบริโภค 100 กรัม
น้ำ (Water)	90 กรัม
โปรตีน (Protein)	0.5 กรัม
ไขมัน (Fat)	0.1 กรัม
เถ้า (Ash)	0.5 กรัม
แร่ธาตุ	
แคลเซียม (Calcium)	24 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	22 มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	0.6 มิลลิกรัม
โซเดียม (Sodium)	4 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม (Potassium)	230 มิลลิกรัม
วิตามิน	
วิตามิน B1 (Thiamine)	0.04 มิลลิกรัม
วิตามิน B2 (Riboflavin)	0.04 มิลลิกรัม
วิตามิน B3 (Niacin)	0.4 มิลลิกรัม
วิตามิน C (Ascorbic Acid)	70 มิลลิกรัม

ที่มา : Philippine Herbal Medicine (2016)

## 2.2 เมล็ดมะละกอ

มะละกามีเมล็ดอยู่ภายในผลจำนวนมาก เมล็ดจะติดอยู่กับผนังด้านในของผล เมล็ดจะมีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร สีดำหรือเทา ผิวเปลือกย่น รอบๆเมล็ดจะมีสารชนิดหนึ่งที่เป็นเนื้อเยื่อบางๆหุ้มอยู่ มีชื่อว่า กีลาติน (gelatin) ที่ประเทศอินเดียกล่าวสืบทอดกันมาแต่บรรพ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุรุษว่าเมล็ดมะละกอใช้รักษาโรคมะเร็งได้ งานวิจัยจากประเทศญี่ปุ่นรายงานเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2550 นี้ว่า เมล็ดมะละกอมีเอนไซม์ไมโรซิเนส และสารเบนซิลกลูโคซิโนเลตในปริมาณมาก สารเบนซิลกลูโคซิโนเลตนี้ส่วนใหญ่พบในพืชวงศ์กะน้า มีฤทธิ์ขับไล่สัตว์กินพืชในธรรมชาติ แต่มนุษย์ย่อยสารนี้โดยใช้เอนไซม์ไมโรซิเนส ได้สารต้านมะเร็ง งานวิจัยยังพบว่าสารสกัดเฮกเซนของเมล็ดมะละกอมีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสารซูเปอร์ออกไซด์ และมีฤทธิ์ฆ่าเซลล์มะเร็งแบบอะปอโทซิส จะเห็นว่าเมล็ดมะละกอมีฤทธิ์ต้านมะเร็งได้จริงตามภูมิปัญญาการแพทย์อินเดีย แต่ต้องใช้เวลาอีกมากกว่าจะมีการพัฒนาเป็นยาแผนปัจจุบันได้ต่อไป (สุรชาติพ ภมรประวัตติ, 2552)

เนื่องจากการบริโภคมะละกอที่สูงมากในแต่ละปีทำให้มีเมล็ดมะละกอที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปซึ่งเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้ง (Samaram และคณะ, 2015) และมีปริมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลไม้ (Samaram และคณะ, 2014) นอกจากนี้ภายในเมล็ดมะละกอยังมีน้ำมันอยู่ประมาณ 30-34 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 2.1) ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและการทำงานคล้ายกับน้ำมันมะกอก (Puangsri และคณะ, 2005 ; Lee และคณะ, 2011) แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ยืนยันว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอสามารถบริโภคได้ (Puangsri และคณะ, 2005) อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้เมล็ดมะละกอถูกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยการสกัด เนื่องจากภายในเมล็ดมะละกอมีน้ำมันอยู่มากและการใช้น้ำมันพืชมีบทบาทมานานหลายศตวรรษทั้งในการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมากในอุตสาหกรรมและอาหาร ปัจจุบันการสกัดน้ำมันมีอยู่ 2 วิธีหลักๆคือ การใช้กระบวนการไฮโดรลิกแล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์และกระบวนการทางเคมี โดยการใช้ตัวทำละลายในการสกัด (McGlone และคณะ, 1986) ถึงแม้ในเวลาต่อมาจะมีกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดที่ทำได้ผลผลิตน้ำมันที่สูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายรวมถึงการลงทุนในการดำเนินการสูงขึ้นเช่นเดียวกันและยังเป็นสาเหตุให้เกิดผลที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์สุดท้าย เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการสกัด (Christensen, 1991) นอกจากนี้กระบวนการสกัดแบบเดิมยังมีข้อดีตรงที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงของไฟไหม้หรือการระเบิด ไม่เป็นพิษ และให้ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง (Dominguez และคณะ, 1995)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอสุก

Parameters	Content
Moisture (g 100 g <sup>-1</sup> )	6.43 ± 0.12
Protein (g 100 g <sup>-1</sup> )	25.63 ± 0.29
Lipid (g 100 g <sup>-1</sup> )	29.16 ± 0.88
Ash (g 100 g <sup>-1</sup> )	8.27 ± 0.01
Carbohydrate (g 100 g <sup>-1</sup> )	30.51

ที่มา : Malacrida และคณะ (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 น้ำมันเมล็ดมะละกอ

เมล็ดมะละกอเป็นแหล่งน้ำมันที่ดี โดยมีปริมาณน้ำมันภายในเมล็ดมากถึง 30-34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มาก น้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณลักษณะเป็นกึ่งของเหลวที่มีสีเหลืองแดง เป็นน้ำมันที่อุดมไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีประโยชน์ เช่น มีไตรโอเลอีนมากกว่า 37 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันอิ่มตัวเชิงเดี่ยว เช่น กรดโอเลอิกมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ (Samaram และคณะ, 2014) นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอยังมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมาก

น้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณสมบัติทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและการทำงานคล้ายกับน้ำมันมะกอก (Puangsri และคณะ, 2005 ; Lee และคณะ, 2011) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์สำหรับการผลิตยา ใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพและทางด้านอุตสาหกรรมได้ (Afolabi และคณะ, 2011) โดยสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพและความเหมาะสมสำหรับการบริโภค ซึ่งในปัจจุบันยังไม่พบงานวิจัยที่ยืนยันว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอสามารถบริโภคได้ (Puangsri และคณะ, 2005)

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอสั้นมาก (Puangsri และคณะ 2005 ; Malacrida และคณะ 2010 ; Dakare และคณะ, 2011) ได้แนะนำว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่น่าสนใจในการเป็นน้ำมันเพื่อบริโภค แต่สิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือสารพิษที่ควรมีการศึกษาก่อนนำน้ำมันเมล็ดมะละกอดังกล่าวมาบริโภคหรือเข้าสู่การค้า โดยสารพิษดังกล่าว ได้แก่ Carpain (an alkaloid), Carpasemine (ภายหลังระบุว่า เป็น benzyl thiourea โดย Panse และ Paranjpe, 1943) และ Benzyl isothiocyanate (Krishnakumari และ Majumder, 1960 ; Tang, 1971) โดย Benzyl isothiocyanate มีพิษร้ายแรงมากที่สุด (Dar และคณะ, 1965) โดย Benzyl isothiocyanate เกิดจากการทำปฏิกิริยา Glucosinolate (ไม่เป็นพิษ) โดยเอนไซม์ไมโรซิเนส จากงานวิจัยของ Malathi และ Vasugi (2015) พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะละกอสามารถกำจัดลูกน้ำได้ โดยจากผลการทดลองพบว่า เป็นผลมาจาก flavanoids, tannins, alkaloids, saponins, phenolic compounds และ coumarins ในทางตรงกันข้ามมีงานวิจัยหลายฉบับได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของ BITC ต่อมนุษย์ ซึ่งส่วนมากเป็นผลในแง่บวก เช่น งานวิจัยของ Kermanshai และคณะ (2001) ศึกษาความสามารถในการทำลายปรสิตของสารสกัดจากเมล็ดมะละกอ โดยสารสกัดดังกล่าวได้มาจากการสกัดเมล็ดมะละกอโดยไดเอทิล อีเทอร์ จากการทดลองพบว่าสารประกอบตัวหลักๆในสารละลายดังกล่าวที่มีความสามารถในการทำลายปรสิต ได้แก่ Benzyl isothiocyanate (BITC) นอกจากความสามารถในการทำลายปรสิตแล้ว จากงานวิจัยของ Liu และคณะ (2015) ได้ศึกษาความสามารถของ Benzyl isothiocyanate ในการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านม จากการทดลองพบว่า Benzyl isothiocyanate สามารถยับยั้ง tumorigenesis ของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ โดยจากการศึกษาพบว่า Benzyl isothiocyanate สามารถละลายได้ในไดเอทิล อีเทอร์ ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีสี ดังนั้นในน้ำมันเมล็ดมะละกอจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะมี Benzyl isothiocyanate อยู่ แต่เนื่องจาก BITC ไม่เสถียรต่ออุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าแม้ BITC สามารถถูกสกัดออกมาได้พร้อมการสกัดน้ำมัน แต่ในสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ BITC เสียสภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การสกัดน้ำมัน

ปัจจุบันกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชที่ใช้กันทางอุตสาหกรรมมี 2 วิธี คือวิธีการบีบ โดยใช้วิธีทางกลและวิธีการใช้สารทำละลาย (ดารณี เจริญสุข, 2554)

### 2.4.1 การสกัดเชิงกล (mechanical extraction)

คือการใช้แรงเชิงกลบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมัน ซึ่งเป็นการอัดแบบธรรมชาติ โดยวิธีการบีบอัดน้ำมันมี 2 แบบ คือ การบีบอัดแบบเย็น (cold pressing) และการบีบอัดแบบร้อน (hot pressing) เครื่องมือที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบ Hydraulic Pressure Extractors หรือใช้แบบ Screw Type Expeller เป็นการอัดโดยใช้หลักการเปลี่ยนปริมาตรของวัตถุดิบที่เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียว (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2544)

### ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสกัดน้ำมันพืชโดยการบีบอัด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ต้นทุนสกัดต่ำ	1. ปริมาณน้ำมันที่ติดกาก อาจมีถึง 10-15%
2. ไม่มีกรรมวิธีการผลิตที่ยุ่งยาก	2. ปริมาณน้ำมันได้น้อย สกัดได้ไม่หมด
3. สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมภายในครัวได้	3. ไม่สามารถสกัดสิ่งเจือปนภายในวัตถุดิบ
4. ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้สามารถนำไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ได้	4. ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำมันได้

#### 2.4.1.1 ชนิดของการสกัดน้ำมันโดยการบีบอัดเชิงกลมี 2 แบบคือ

1) วิธีการบีบอัดแบบเย็น การแยกส่วนของน้ำมันออกมาจากส่วนต่างๆ ของพืช อย่างเช่น เมล็ด หัว ใบ ดอก ผล และเปลือกโดยการบีบอัดด้วยอุณหภูมิปกติโดยที่พืชน้ำมันจะต้องไม่ผ่านความร้อนหรือสารเคมีมาก่อนแล้วตั้งทิ้งไว้จนตกตะกอน จากนั้นจึงกรองเอาเฉพาะส่วนของน้ำมันที่บริสุทธิ์มาใช้ น้ำมันที่ได้จากวิธีการบีบอัดแบบเย็นนี้สามารถนำน้ำมันมาใช้ได้เลย น้ำมันที่ได้จะใสสะอาดไม่มีกลิ่นหืนและยังคงสภาพวิตามินตามธรรมชาติไว้อย่างครบถ้วน ผลิตภัณฑ์หลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องสำอาง แชมพู ครีมขนาดผมและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารชนิดแคปซูลบางอย่าง ล้วนทำมาจากน้ำมันสดเย็น แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือ จะได้น้ำมันในปริมาณน้อยและมีน้ำมันตกค้างในกากสูง

2) วิธีการบีบอัดแบบร้อน เป็นการใช้แรงเชิงกลบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมันร่วมกับการใช้ความร้อนทำให้น้ำมันเกิดการละลายตัวออกมาแล้วน้ำมันที่ได้ก็จะไม่บริสุทธิ์ จึงไม่นิยมใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (นพกร ดวงอินทร์ และคณะ, 2556)

### 2.4.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)

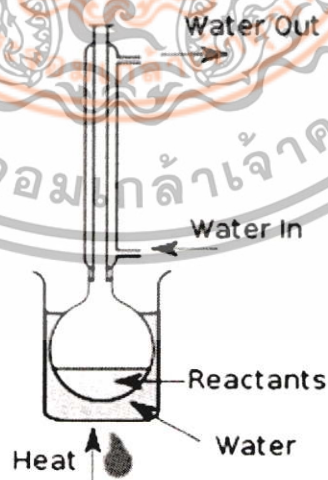
การสกัดด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตน้ำมันพืชเพื่อใช้ในการบริโภค เพราะให้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าวิธีการสกัดเชิงกล ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ อะซีโทน และเฮกเซน เมื่อสกัดเสร็จแล้ว นำของเหลวที่สกัดได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออก การสกัดด้วยวิธีนี้จึงมีน้ำมันติดที่กากเพียงเล็กน้อย คือประมาณร้อยละ 0.5 การสกัดด้วยตัวทำละลายอาศัยหลักการที่พืชน้ำมันและไขมันสามารถละลายได้โดยตัวทำละลาย จากนั้นจึงระเหยตัวทำละลายออก ได้น้ำมันพืชดิบซึ่งต้องไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป โรงสกัดน้ำมันพืชขนาดใหญ่นิยมใช้วิธีการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะได้ ผลผลิตมากกว่า และเครื่องมือเครื่องจักรสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลากหลายชนิด แม้ว่าจะต้องลงทุนด้านเครื่องจักรและครุภัณฑ์ในราคาสูงและต้องเสียค่าจ้างผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญการให้เหมาะสมกับเทคนิคขั้นสูงในการผลิต ก็ยังนับว่าคุ้มค่าเพราะให้ผลตอบแทนสูงเช่นกัน

## 2.5 การสกัดแบบรีฟลักซ์ (Reflux extraction)

การสกัดแบบรีฟลักซ์เป็นการสกัดที่ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของสารละลายให้สารละลายระเหยแล้วทำการกลั่นกลับมา ภายในคอลัมน์จะมีของเหลวเย็นที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนอุณหภูมิให้สารละลายที่ใช้ในการกลั่นเย็นลงและควบแน่นลงมา ในทางทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดแบบรีฟลักซ์ขึ้นอยู่กับคอลัมน์ที่ใช้แยกวัตถุดิบที่อุณหภูมิยังไม่ถึงจุดเดือดของสารละลายและวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารละลาย ภาชนะจะได้รับอุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ โดยวัตถุประสงค์ของการสกัดดังกล่าวเพื่อใช้อุณหภูมิสูงเร่งปฏิกิริยา (เช่น ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย) ประโยชน์ของการสกัดแบบรีฟลักซ์คือ สามารถดำเนินการเป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยไม่ต้องเติมสารละลายเพิ่มหรือจะไม่เกิดการแห้งของสารละลายขึ้น เนื่องจากไอที่ระเหยจะถูกกลั่นให้เป็นของเหลวโดยทันทีที่ condenser นอกจากนี้สารละลายมักจะได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิที่คงที่ ทำให้มั่นใจได้ว่าในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเดือดที่ต่อเนื่องดังกล่าวจะช่วยคงปฏิกิริยาให้เกิดอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการสกัดแบบรีฟลักซ์เป็นวิธีการสกัดที่ดำเนินการในสภาวะอุณหภูมิสูง จึงมีข้อจำกัดในการสกัดสารประกอบที่ไม่เสถียรต่อความร้อน รูปภาพด้านล่างจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของ reflux apparatus ซึ่งควรตั้งนํ้าหนักค่อนข้างจำเป็นที่จะต้องระมัดระวังเมื่อต้องใช้สารละลายที่ไวไฟหรือเกิดประกายไฟได้ง่าย โดยการสกัดดังกล่าวต้องระมัดระวังการใช้ไฟโดยตรง อาจใช้อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแทน



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของ reflux apparatus

ที่มา : King (1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การสกัดแบบซอท์กเลต (Sohxlet extraction)

การสกัดแบบซอท์กเลตถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสกัดระหว่างของแข็ง-ของเหลว sohxlet apparatus กลายเป็นอุปกรณ์ที่พบได้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานหรือใช้เป็นวิธีการอ้างอิงสำหรับการสกัดแบบของแข็ง-ของเหลว (ISO 659-1988) การสกัดแบบซอท์กเลตยังมีข้อเสียบางอย่าง เช่น การใช้ระยะเวลาดำเนินงานมาก, ความเข้มข้นที่จำเป็นในตอนท้ายของการสกัดและ thermolabile ที่ไม่เพียงพอแก่การวิเคราะห์

## 2.7 การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิค (Ultrasound-assisted extraction)

การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูง, คลื่นอัลตราซาวด์หรืออัลตราโซนิคส์ หมายถึงการสกัดที่ประยุกต์ใช้คลื่นเสียงหรืออัลตราโซนิคในช่วงความถี่ดังกล่าวซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินมาเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ในปัจจุบันอัลตราโซนิคส์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหารอย่างหลากหลาย โดยสามารถแบ่งออกได้สองประเภท ได้แก่

- การใช้อัลตราโซนิคส์กำลังต่ำและความถี่สูง (low power and high frequency) ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 5-10 MHz และให้พลังงานเสียงอยู่ในระดับ 100 mW/cm<sup>2</sup> - 1 mW/cm<sup>2</sup> ซึ่งใช้ในด้านการวิเคราะห์ (diagnostic ultrasound) เป็นส่วนใหญ่

การใช้อัลตราโซนิคส์กำลังสูงและความถี่ต่ำ (high power and low frequencies) หรือที่เรียกว่า power ultrasonic ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 20-100 kHz และให้พลังงานเสียงอยู่ในระดับ 10-1000 W/cm<sup>2</sup> ลักษณะเครื่องผลิตดังกล่าวเป็นแบบ probe (Baumann และคณะ, 2005) มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

ในการประยุกต์อัลตราโซนิคส์เพื่อสกัดเนื้อเยื่อพืช จะใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ต่ำ (low frequency ultrasound) ช่วง 20-100 kHz ช่วยในการสกัด การสกัดจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ กระบวนการแพร่ผ่านผนังเซลล์ของตัวทำละลายและการชะสลายที่ต้องการออกจากเซลล์เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายลง ส่วนการสกัดพืชแห้งจะเพิ่มอีกหนึ่งกระบวนการ คือ กระบวนการดูดน้ำกลับ (Hydration and swelling) โดยอัลตราซาวด์จะช่วยให้ swelling index สูงขึ้น อัลตราซาวด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวโดยการเกิด cavitation โดย cavitation เกิดมาจากคลื่นที่ประกอบด้วยช่วงอัดและขยาย ในช่วงขยายภายในตัวกลางที่ยึดหยุ่นจะเกิดโพรงอากาศเล็กๆขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงอัดของคลื่นโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงขยายดังกล่าวจะแตกออก ทำให้เกิด microjet ทำลายผนังเซลล์ทำให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะสลายสำคัญออกจากเซลล์ที่ถูกทำลายได้มากขึ้น การสกัดโดยวิธีอัลตราซาวด์ช่วยสกัด มี 3 รูปแบบ คือ

1. การสกัดทางอ้อมโดยอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านคลื่น เช่น น้ำ
2. การสกัดโดยตรงแบบใช้ ultrasound horn หรือ probe เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น
3. การสกัดโดยตรงแบบให้แหล่งกำเนิดคลื่นติดกับถังสกัด (สุเมธ, 2555)

อัลตราซาวด์มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการรบกวนเซลล์ (lysis) หรือการสลายตัวของผนังเซลล์ (Allinger และคณะ, 1975) เมื่อเกิด Sonication ในของเหลวที่ความหนาแน่นสูง คลื่นเสียงที่แพร่อยู่ในของเหลวตัวกลางจะส่งผลให้เกิดการบีบอัด (เมื่อแรงดันสูง) และขยาย (เมื่อแรงดันต่ำ) เป็นวัฏจักร

โดยระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับความถี่ ในระหว่างช่วงความดันต่ำคลื่นอัลตราซาวด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะสร้างฟองอากาศที่เป็นสุญญากาศเล็กๆหรือเกิดช่องว่างขึ้นในของเหลว เมื่อฟองอากาศขยายตัวถึงจุดที่ไม่สามารถรับพลังงานเพิ่มขึ้นอีกได้ ฟองอากาศดังกล่าวจะเกิดการแตกตัวหรือเกิดการยุบอย่างรุนแรงในระหว่างสภาวะความดันสูง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการเกิด cavitation หรือการเกิดโพรงอากาศ ในระหว่างการระเบิดของฟองอากาศในสภาวะอุณหภูมิสูง (~ 5,000 K) และความดัน (~ 2,000 atm) จะเกิดขึ้นตามมา การระเบิดของฟองอากาศยังส่งผลต่อการสับฉีดของของเหลวได้สูงถึง 280 m/s ผลของการเกิดแรงกลเฉือนจะไปทำลายเซลล์และปรับปรุงการถ่ายโอนของสารละลายสู่ตัวอย่าง ความสามารถของอัลตราซาวด์ในการทำละลายหรือก่อให้เกิดผลต่อเซลล์ขึ้นกับตัวแปรของ Sonication ที่ใช้ โดยทั่วไปอัลตราซาวด์สามารถนำไปสู่การเจาะของ cell membrane (Mummery และคณะ, 1978) และสามารถลดความสามารถในการเลือกผ่านของผนังเซลล์ ผลทางกลของอัลตราซาวด์ช่วยสนับสนุนการแพร่กระจายของสารละลายหรือตัวทำละลายสู่เนื้อเยื่อ นอกจากนี้อัลตราซาวด์ยังทำลายผนังเซลล์โดยแรงกลของ cavitation ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกต่อการถ่ายโอนสารประกอบจากเซลล์สู่สารละลาย นอกจากนี้ cavitation ที่เกิดจากอัลตราซาวด์ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในบริเวณที่สัมผัสกันระหว่างส่วนของของแข็งและส่วนของของเหลว (Kim และคณะ, 1989) ในการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการสกัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในส่วนต่างๆของพืชและเมล็ดทำให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การยับยั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ (preservation) เป็นความสามารถอีกหนึ่งอย่างของอัลตราซาวด์ในกระบวนการผลิตอาหาร ปัจจุบันการ preservation โดยการใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น (Pasteurization) ยังคงเป็นวิธีที่พบได้มากที่สุดในการควบคุมการยับยั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ซึ่งนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น แต่เนื่องจากการสัมผัสอุณหภูมิสูงก็มีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การเกิดสารประกอบใหม่จากความร้อนและการเกิดการเปลี่ยนแปลงของ macromolecules ซึ่งอาจนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพลดลง ดังนั้นการใช้ความร้อนจึงสามารถเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ทางประสาทสัมผัส เช่น รสชาติ สี กลิ่นและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินและโปรตีน อัลตราซาวด์เป็นวิธีการทางเลือกที่ปราศจากความร้อน (ใช้ความร้อนเล็กน้อย) ความร้อนจะถูกสร้างจากการเกิด cavitation และ การเกิดอนุมูลอิสระสามารถนำไปสู่การยับยั้งเอนไซม์โดยการเกิด sonication (El'piner, 1964) การใช้ sonication ในระดับต่ำ โครงสร้างและ metabolites จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ก่อให้เกิดการทำลาย ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ peroxidase ที่พบในวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการ blanching ที่อาจเกี่ยวข้องกับเกิดการกลืนที่ไม่พึงประสงค์และสีน้ำตาล สามารถลดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวได้โดยการใช้อัลตราซาวด์ นอกจากนี้เอนไซม์ทนร้อน เช่น lipase และ protease สามารถถูกยับยั้งแบบมีประสิทธิภาพได้โดยการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับความดัน นอกจากนี้อัลตราซาวด์ยังมีความสามารถในการทำลาย food-borne pathogens เช่น E.coli, Salmonellae, Ascaris, Giargia, Cryptosporidium cysts และ Pliovirus การประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์เพื่อต้านจุลินทรีย์มักดำเนินการร่วมกับอุณหภูมิและความดัน เช่น

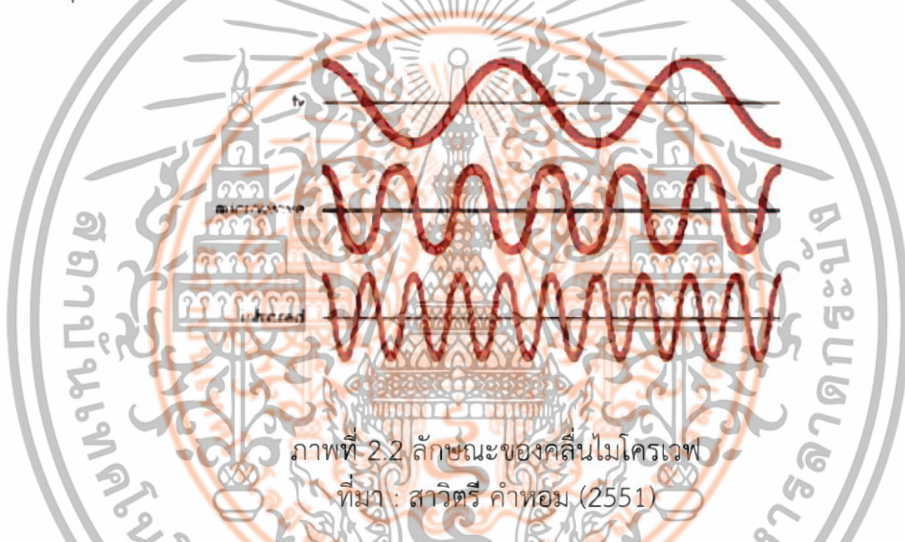
- thermo-sonication (ความร้อนและอัลตราซาวด์)
- mano-sonication (ความดันและอัลตราซาวด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- mano-thermo-sonicator (ความดัน, ความร้อนและอัลตราซาวนด์)

## 2.8 การสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น โดยลักษณะของคลื่นเป็นไปตามภาพที่ 2.2 ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกับกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ  
ที่มา : สาวิตรี คำหอม (2551)

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แมกนีตรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีกำลังวัตต์สูงและทนความร้อนสูงเพื่อจะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องมีราคาสูงอยู่ในช่วง 50,000-100,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทยซึ่งแตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass production ทำให้ราคาต่ำมากอยู่ในช่วง 1,500-2,500 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าแมกนีตรอนที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

### 2.8.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขึ้นเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมา ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น ซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชั้นวัสดุ ความหนาแน่นและองค์ประกอบอื่น (สาวิตรี คำหอม, 2551)

### 2.8.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

จากการศึกษาหลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุในที่นี้จะอ้างถึง“พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ” ของผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ที่อธิบายถึงกลไกการเกิดความร้อน (Heating mechanism) ไว้ว่าในกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะต้องอาศัยกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงาน 2 กลไก คือ การเหนี่ยวนำเชิงไอออนและกลไกการหมุนทั้งสองข้าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.8.2.1 กลไกการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือในน้ำ ซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) คลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) ไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{H}^+$ ) และไฮดรอกซิลไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่งและส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นคล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอน คือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิหรือความถี่

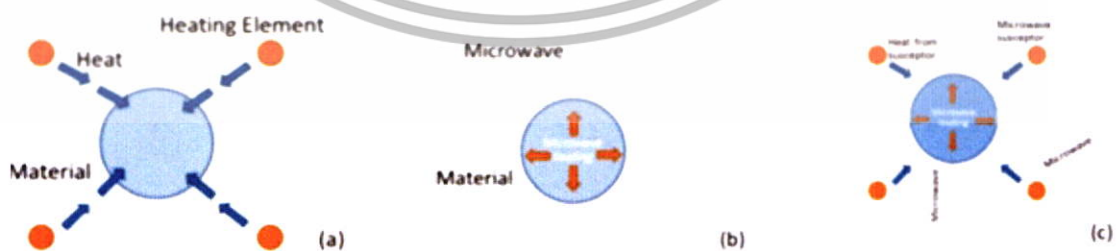
2.8.2.2 กลไกการขิดการหมุนของทั้งสองข้าง (Dipolar rotation) สำหรับโมเลกุลหลายๆชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองข้าง (Dipole) โดยธรรมชาติ หมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสารชนิดอื่นจะเกิดความไม่สมมาตรได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่บ่อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงคั้นภายในโมเลกุล โดยข้างทั้งสองได้รับอิทธิพลจากกลไกดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากกระทำ ตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2450 MHz สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนเริ่มประจุโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มากกระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามไฟฟ้าที่มากกระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้างกล่าวเปลี่ยนกลับมามีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเช่นเดิม คือ การคลายสนาม (Pelaxes) เช่นกัน เมื่อสนามไฟฟ้ามากกระทำในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นการสร้างหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้งในหนึ่งวินาที เป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์หรือพลังงานความร้อนนั่นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียงและการคายสนามไฟฟ้านั้นจะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคายสนาม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำ และโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลง ในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลีเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะ ซึ่งนั่นก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูงและนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่าย มีข้อเสนอสนับสนุนถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าโพลีเมอร์ เหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสกัดที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลวและโมโนเมอร์ได้

### 2.8.3 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (Microwave heating)

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างวัสดุหรือสารที่ต้องการทำให้ร้อนโดยไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่อากาศรอบๆ วัสดุหรือสารนั้น ซึ่งต่างกับการให้ความร้อนตามปกติในเตาเผาทั่วไป ภาพที่ 2.3(a) และ (b) แสดงการให้ความร้อนตามปกติและแบบใช้ไมโครเวฟ ในการให้ความร้อนตามปกติอุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นโดยความร้อนที่มาจากเส้นลวดให้ความร้อน (Heating element) โดยการพาความร้อน (Convection) หรือการแผ่ความร้อน (Radiation) และการนำความร้อน (Conduction) ที่ได้รับจากเส้นลวดให้ความร้อนจากผิววัสดุไปสู่แกนกลางของวัสดุนั้น สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบนี้ นอกจากวัสดุจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแล้วอากาศรอบๆ ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ซึ่งต่างกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุโดยอันตรกิริยาระหว่างวัสดุและไมโครเวฟเท่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องทำให้อากาศรอบๆ วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงมีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy efficient) ที่ดีกว่าการให้ความร้อนตามปกติ นอกจากนี้ในภาพที่ 2.2(c) แสดงวิธีการให้ความร้อนแบบไฮบริดโดยความร้อนจะมาจาก (1) อันตรกิริยาระหว่าง วัสดุและไมโครเวฟ และ (2) ความร้อนที่มาจาก ตัวรับไมโครเวฟ (Microwave susceptor) ซึ่งทำจากวัสดุที่ดูดคลื่นไมโครเวฟได้ดี โดยวิธีการนี้เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับวัสดุที่ดูดคลื่นไมโครเวฟได้น้อย (Gupta และ Leong, 2007)



ภาพที่ 2.3 วิธีการให้ความร้อน (a) การให้ความร้อนตามปกติ (Conventional heating) (b) การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (Microwave heating) (c) การให้ความร้อนแบบไฮบริด (Hybrid heating)

ที่มา : ปริญญา ฉากจนโรดม (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.8.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ

จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ ในที่นี้จะอ้างถึง “พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ” ของผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ซึ่งได้แบ่งประเภทของวัสดุที่มีอันตรกิริยากับคลื่นไมโครเวฟเป็น 4 ชนิด คือ

2.8.4.1 วัสดุนำไฟฟ้า (Conductors) วัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free electrons) เช่น โลหะที่สามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคล้ายกับแสงซึ่งสะท้อนเมื่อกระทบกับกระจก ปกติวัสดุเหล่านี้ถูกใช้ออกแบบเป็นบริเวณกักเก็บคลื่นเพื่อควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่น เป็นผนังท่อนำคลื่น และควอเตอร์หรือแอฟฟลิเคเตอร์

2.8.4.2 วัสดุฉนวนไฟฟ้า (Insulators) วัสดุประเภทไม่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่น เซรามิกและอากาศ โดยฉนวนนี้จะสามารถสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไปจนถึงส่งผ่านคลื่นได้ โดยปกติจะถูกใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มหรือบรรจุวัสดุที่ต้องการทำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฐานรองรับจาน และวัสดุอื่นๆ

2.8.4.3 วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) วัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น น้ำ น้ำมัน ไม้ และอาหารที่มีความชื้น เป็นต้น

2.8.4.4 วัสดุที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็ก (Magnetic compounds) วัสดุประเภทนี้ เช่น แร่เหล็ก จะมีอันตรกิริยากับองค์ประกอบของคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กแปลงสภาพจนเกิดเป็นความร้อนอย่างรวดเร็ว

#### 2.8.5 ข้อดีของการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.8.5.1 ใช้เวลาน้อย ประหยัดเนื้อที่และแรงงาน สดล้าวนวัสดุที่เสียเนื่องจากอุปกรณ์ทำงานส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary part)

2.8.5.2 การทะลุทะลวงของพลังงานไมโครเวฟ สามารถทะลุทะลวงเข้าไปกำเนิดพลังงานความร้อนภายในวัสดุทำให้มีความร้อนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ การให้ความร้อนแบบอื่นจะให้ความร้อนจากผิวนอกวัสดุจากก่อให้เกิดความเสียหายที่ผิวนอกเพราะมีอุณหภูมิสูงเกินไป ในขณะที่ภายในเนื้อวัสดุยังไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ นอกจากนั้นยังใช้เวลานาน เพราะข้อจำกัดทางการนำความร้อน ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า

2.8.5.3 ความสามารถในการเลือกวัสดุรับความร้อน วัสดุบางชนิดสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ทันที แต่วัสดุบางชนิดไม่สามารถดูดซับพลังงานได้ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของกระบวนการไมโครเวฟ ตัวอย่างเช่น สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อโดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น

2.8.5.4 การควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างทันทีทันใด อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเก่า เช่น เตาอบ ต้องใช้เวลานานในการปรับอุณหภูมิ แต่เตาไมโครเวฟสามารถปรับอุณหภูมิด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้เวลาน้อยมาก (ภายในเศษเสี้ยววินาที)

2.8.5.5 มีประสิทธิภาพสูง การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟใช้พลังงานน้อยกว่าการทำความร้อนแบบเก่ามากเมื่อให้ปริมาณความร้อนเท่ากัน (การทำความร้อนแบบเก่ามีประสิทธิภาพโดยประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5.6 ไมโครเวฟเป็นกระบวนการสะอาด กระบวนการทางไมโครเวฟไม่สร้างมลภาวะ ต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบอื่นที่ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

#### 2.8.6 เทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

กระบวนการสกัดด้วยไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถทดแทนการให้ความร้อนโดยการสกัดแบบดั้งเดิมที่อาศัยกลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ และการพาความร้อน โดยการให้ความร้อนของกระบวนการสกัดแบบเดิมมีขีดจำกัดของเวลา คือถ้าต้องการให้ความร้อนแก่ตัวทำละลายและตัวอย่างที่ใช้ในสกัดใน จะต้องผ่านภาชนะที่บรรจุก่อน จึงจะผ่านเข้าสู่สารละลายได้ (ความร้อนถ่ายเทแบบลูกโซ่) ทำให้ต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง จนกว่าทุกโมเลกุลของตัวทำละลายและตัวอย่างจะมีความร้อนเท่าที่ต้องการ แต่การใช้เทคนิคไมโครเวฟ จะอาศัยคุณสมบัติการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ และเปลี่ยนพลังงานที่ดูดซับไปเป็นพลังงานความร้อน โดยโมเลกุลของน้ำที่มีขั้วทางไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปมาหลายล้านครั้งในหนึ่งวินาทีตามความถี่ของไมโครเวฟที่ใช้ ส่งผลให้เกิดการเสียดสีและเกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุอย่างรวดเร็ว ทำให้ตัวทำละลายและตัวอย่างได้รับความร้อนโดยตรง ดังนั้นทุกโมเลกุลจะเกิดความร้อนขึ้นพร้อมกันในทันทีเมื่อให้พลังงานเข้าไป โดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และ ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการสกัดแบบเดิม ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด อีกทั้งการสกัดด้วยวิธีนี้ยังสามารถช่วยลดเวลาในการเตรียมตัวอย่างและลดปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการสกัดตัวอย่างแบบเดิมด้วย

ปัจจัยที่ผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ กำลังของคลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติวัสดุตัวสกัด องค์ประกอบที่เป็นความชื้น ความคงตัวของวัสดุตัวสกัด สมบัติของตัวทำละลาย และสมบัติสารที่ต้องการสกัด (ดวงกมล เรืองงาม, 2557)

2.8.6.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ทำได้โดยลดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุดูดซับไมโครเวฟ (Microwave absorbing material; MAM) (Singh และคณะ, 2006; Qiu และคณะ, 2007) เช่น วัสดุคาร์บอนซึ่งถือว่าเป็นวัสดุดูดซับที่น่าสนใจมากที่สุดนับตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สองและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย (Xie และคณะ, 2005; Zhang และ Zhu, 2009) เนื่องจากสามารถเพิ่มระดับอุณหภูมิและความดันได้อย่างรวดเร็วในการสกัดแบบระบบปิดและช่วยปรับปรุงความเร็วในการสกัดและประสิทธิภาพอย่างมาก

## 2.9 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการ โดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า ( One Factor at a Time) จะให้ผลตอบเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยตัวเอง หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดลองซ้ำ (Replication) ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งการทดลองซ้ำ ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

2. การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้อง เป็นปัจจัยแบบสุ่มที่มีการกระจายตัวของปัจจัยแบบอิสระ การที่เราสุ่มการทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

3. การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง คือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มาก โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้ามีปัจจัยในการทดลองอยู่ 10 ปัจจัย ซึ่งในกระบวนการทดลองคว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงต่อกระบวนการ ด้วยวิธีแบบ One Factor at a Time จะใช้เวลานานถึง 1 ปี ในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่การใช้วิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง จะใช้เวลาเพียง 1-3 สัปดาห์เท่านั้น ในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าวการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง จะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้มานั้นอย่างไร (วีรเทพ เฉลิมสมิทธิชัย, 2550)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ที่ต้องการจะศึกษาถึงผลรวมที่มีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น ซึ่งการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

1. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ  $a \times b$  การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

2. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ  $2^k$  เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้ จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ ใน 1 ซ้ำที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น  $2^k$  ข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ โดยปกติในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ  $2^k$  เป็นการออกแบบการทดลองที่ผู้ทดลองสามารถละเอียดอันตรกิริยาขั้นสูงบางตัวได้ เนื่องจากถ้าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ  $2^k$  แบบเต็มมีจำนวนปัจจัยมาก จำนวนการทดลองอาจจะเพิ่มขึ้นมากเกินไปกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้ เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง  $k$  ชนิดได้อย่างครบถ้วนการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลจึงถูกนำมาใช้ในการกรอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบ กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ ของผู้ทดลอง จึงใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ใน ตอนเริ่มต้นการทดลองเนื่องจากโดยมากแล้ว ในขณะที่นั้นจะมีปัจจัยจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

4. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ หรือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล  $3^k$  หมายถึงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็นต่ำ ปานกลางและสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข (-1), 0 และ 1 ตามลำดับ สิ่งเกิดว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบที่สนใจ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบพหุนามกำลังสอง (Quadratic Model) การออกแบบ  $3^k$  จะเหมาะสม เมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง แต่การออกแบบนี้ไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลังสอง โดยการออกแบบการทดลองที่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า คือ การออกแบบพื้นผิวผลตอบสอง

## 2.10 วิธีพื้นผิวตอบสนอง

วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายตัวแปร เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของความสัมพันธระหว่างตัวแปร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis ซึ่งหากตัวแปรใดมีผลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ตัวแปรนั้นจะปรากฏในสมการอันดับสอง (second order model) ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปกราฟิกสามมิติ (จุฑามาต ธธา, 2552) มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และผู้ทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบนี้ ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากมักจะไม่นิยามความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นแรก คือ ผู้ทดลองต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง  $y$  และกลุ่มของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือ แบบจำลองพหุนามกำลังหนึ่ง ดังสมการ 2.1 (วีรเทพ เฉลิมสมิทธิชัย, 2550)

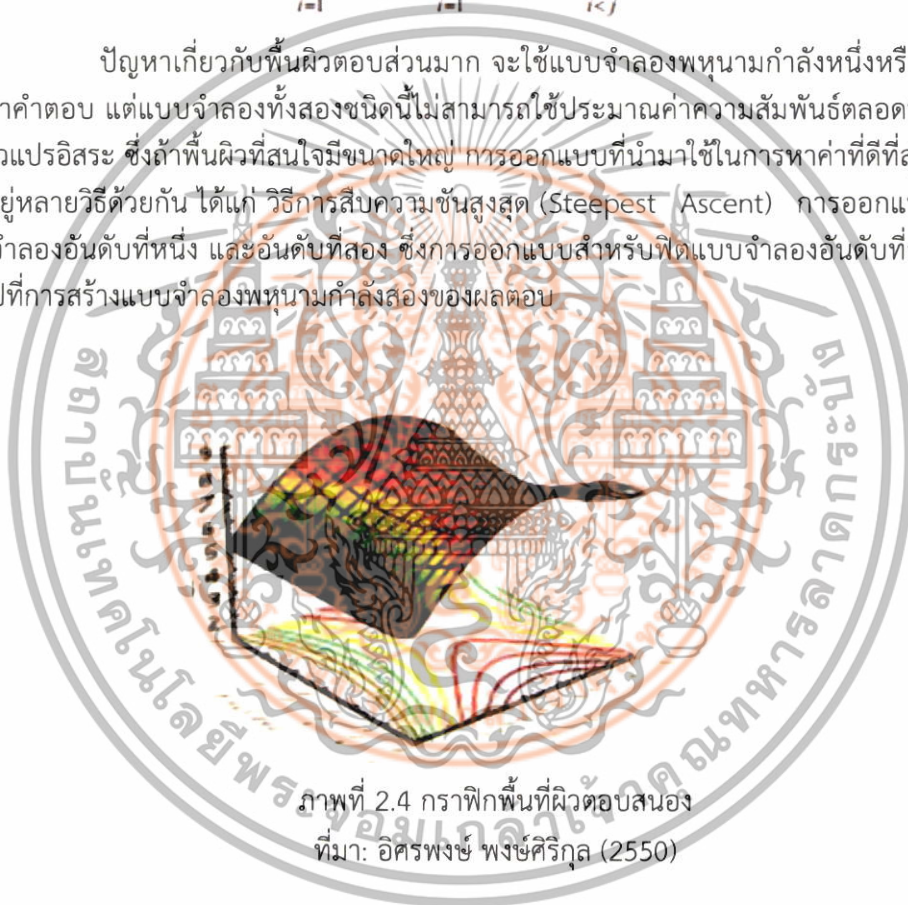
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จึงใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการ 2.2

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบส่วนมาก จะใช้แบบจำลองพหุนามกำลังหนึ่งหรือกำลังสองในการหาคำตอบ แต่แบบจำลองทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ ซึ่งถ้าพื้นผิวที่สนใจมีขนาดใหญ่ การออกแบบที่นำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบจะมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีการสืบความชันสูงสุด (Steepest Ascent) การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง และอันดับที่สอง ซึ่งการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับที่สองนี้เป็นการเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองพหุนามกำลังสองของผลตอบ



ภาพที่ 2.4 กราฟิกรพื้นที่ผิวตอบสอง  
ที่มา: อัครพงษ์ พงษ์ศรีกุล (2550)

ทั้งนี้หากกราฟิกที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตลอดพื้นที่ผิวทั้งหมดมีขนาดใหญ่ การเลือกการออกแบบแผนการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมด สำหรับนำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง

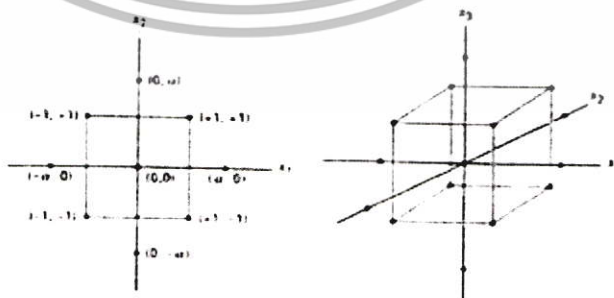
เทคนิค RSM นับว่ามีประโยชน์และสะดวกกว่าการทดลองแบบเดิม สิ่งสำคัญของเทคนิคนี้คือจำนวนชุดการทดลองจะมีจำนวนที่น้อยกว่าแบบเดิม เนื่องจาก RSM จะนำเสนอข้อมูลได้จำนวนมากจากการทดลองเพียงไม่กี่การทดลอง สมการของ RSM จะช่วยเพิ่มความเข้าใจต่อผลที่เกิดจากปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกันของตัวแปรอิสระต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหาจุดที่เหมาะสมในการทดลอง (อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2550)

### 2.10.1 การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central composite design)

เป็นการออกแบบการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรอื่นอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้ต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (quadratic relationship) การกำหนดสภาวะการทดลองที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร ว่าควรมีจำนวนการทดลองที่การทดลองจึงเหมาะสมและครอบคลุม เช่น ถ้าต้องการศึกษาตัวแปร 3 ตัว จำนวนการทดลองคือ  $3^3 = 27$  การทดลอง ดังนั้นหากมีการศึกษาตัวแปร 5 ตัวแปร จำนวนการทดลองคือ  $3^5 = 234$  การทดลอง ซึ่งไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันที่มีทรัพยากรจำกัด ทางออกของการแก้ปัญหาคือ การใช้การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งเป็นการออกแบบแผนการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงเส้นโค้ง แต่ใช้จำนวนการทดลองไม่มาก เช่น กรณี 3 ตัวแปรจะใช้เพียง 16 แผนการทดลอง เป็นต้น การออกแบบการทดลองแบบประสมกลางเป็นการทดลองที่ 3 ระดับ นิยามแทนด้วยสัญลักษณ์  $-1, 0, +1$  คือ จะมีการปรับตัวแปรที่ศึกษาตัวแปรละ 3 ค่า โดยทำการเลือกสภาวะการทดลองบางการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติ รูปแบบที่ได้จะยังคงมีผลของตัวแปรหลัก (main effect) ความสัมพันธ์ของตัวแปร (interaction) และสมการกำลังสอง (quadratic terms) โดยใช้ทรัพยากรไม่มาก (จรัส ทรัพย์เสรี, 2552) มีประสิทธิภาพสูงในกรณีที่แบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่ 2 ตัว ในการออกแบบต้องกำหนด คือ ระยะทาง  $\alpha$  ของการรันในแนวแกนจากจุดศูนย์กลางของการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง  $n_c$  โดยทั่วไปการออกแบบนี้จะประกอบด้วย  $2^k$  แฟคทอเรียลที่มี  $n_c$  รัน  $2^k$  รัน ในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว และ  $n_c$  รัน ที่จุดศูนย์กลาง การเลือก  $\alpha$  ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่สนใจ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลมการออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางของการรันเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อจะทำให้ค่าความแปรปรวนของผลตอบที่พยากรณ์มีเสถียรภาพเป็นที่ยอมรับ ซึ่งการทดลองที่บริเวณของการออกแบบส่วนประสมกลางจะมีการเพิ่มข้อมูลเพื่อให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองกำลังสองได้ เช่น  $(x_1 = 0, x_2 = +1.414)$   $(x_1 = +1.414, x_2 = 0)$  (วีรเทพ เฉลิมสมิทธิชัย, 2550)

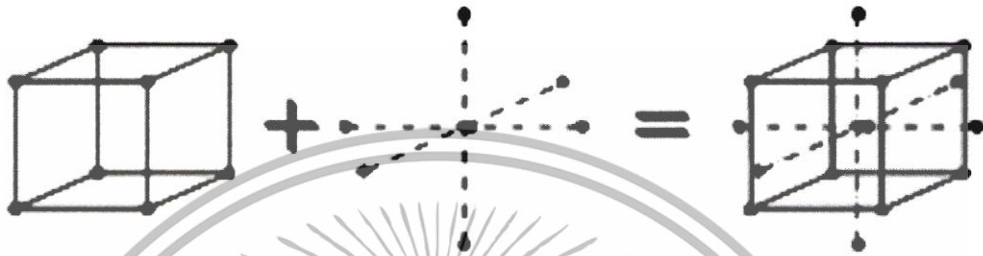


ภาพที่ 2.5 ภาพแสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับ  $k = 2$  และ  $k = 3$

ที่มา: วีรเทพ เฉลิมสมิทธิชัย (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางสำหรับ 3 ตัวแปรประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. Factorial points เป็นการนำ level full factorial มาเป็นส่วนหนึ่งในการทดลอง 2. Axial points เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง โดยให้ตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลางคือ 0 และ 3. Center points เป็นการปรับค่าตัวแปรทุกตัวแปรเป็นค่ากลาง (พรหมทิพย์และราตรี, 2558) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



Factorial points

Center points & Axial points Design

Central Composite

ภาพที่ 2.6 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ตัวแปร  
ที่มา: จรัล ทรัพย์เสรี (2552)

## 2.11 สมบัติทางเคมีของน้ำมัน

### 2.11.1 ค่าแอซิดหรือพีเอช (Acid value, A.V.)

เป็นการตรวจสอบการสลายตัวและการหืนของไขมันและน้ำมัน Acid value ของไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม เป็นกลางพอดี ผลการทดลองอาจนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระก็ได้ ค่า Acid value ที่วิเคราะห์ได้ใช้เป็นตัวบ่งบอกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า A.V. สูง แสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่ามี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมันนั้น โดยความร้อนและแสงช่วยเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น

### 2.11.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, P.V.)

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัด degree of lipid oxidation โดยการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด Oxidation rancidity เป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด oxidation rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้ป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน เพราะเปอร์ออกไซด์เป็นอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา มนุษย์มีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพ และความงามมากขึ้น การศึกษาวิจัยเพื่อหาสารที่มีผลเสียต่อร่างกายและสารที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเสริมสุขภาพที่ดีของร่างกายจึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานวิจัยเกี่ยวกับอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

### 2.12.1 อนุมูลอิสระ (free radical หรือ oxidant)

คือ โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่บนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิด จนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติ (Ame และคณะ, 1993) เป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด (Nakabeppu และคณะ, 2006 ; Valko และคณะ, 2007) อนุมูลอิสระ เกิดจากผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนของกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ รวมทั้งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ มลพิษ การติดเชื้อโรค รังสียูวี (UV-ray) โอโซน (ozone) ควันท่อไอเสียรถยนต์ และควันทูบรี่ (Denisov, 2006 ; Scott และคณะ, 2005) อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรมากกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ได้ (Denisov, 2006) ความเข้าใจถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ กลไกหรือปฏิกิริยาเคมีรวมถึงบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง ที่จะช่วยให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับร่างกายได้

ภาวะที่อนุมูลอิสระมากเกินไปจะก่ออันตรายแก่ร่างกาย เรียกว่าภาวะนี้ว่า oxidative stress ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Arteriosclerosis) เป็นสาเหตุร่วมในการเกิดโรคมะเร็ง (cancer) ทำให้ผิวหนังเกิดรอยเหี่ยวย่น (wrinkle) และเกิดเป็นจุดสี (lipofuscin spot) เป็นต้น (Papus, 1998)

#### 2.12.1.1 แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ (Sources of free radical)

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ จะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจน เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ มีสาเหตุมาจากปัจจัย ทั้งภายในและภายนอกร่างกายดังนี้

1. ปัจจัยภายในร่างกาย ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะมีปฏิกิริยามากมายที่เกี่ยวข้องกับทั้งการสร้างและการสลายโมเลกุลของสารที่เรียกว่า กระบวนการเมแทบอลิซึมซึ่งถือเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ตัวอย่างปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้แก่

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (Autooxidation) (Nawar, 1996) เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1) ระยะเหนี่ยวนำเริ่มต้น (initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระโดยมีแสงหรืออุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



2) ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) (2.4) แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydro peroxide) และอนุมูลอิสระ (2.5) ซึ่งถ้ามีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่งก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แล้วอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่ได้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการ



3) ระยะสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกันกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร ดังสมการ



## 2. ปัจจัยภายนอกในร่างกาย

1) ยาต้านมะเร็ง ยาบางชนิดที่รับประทานเข้าไปในร่างกายสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยาในกลุ่มต้านจุลชีพและต้านมะเร็ง เช่น บลีโอไมซิน (bleomycin), แอนทราไซคลินส์ (anthracyclines) (Voest และคณะ, 1995) และ เมโททรีเสต (methotrexate) (Gressier และคณะ, 1994) เนื่องจากมีฤทธิ์เสริมปฏิกิริยาออกซิเดชัน (prooxidation)

2) รังสี การใช้รังสีรักษาโรค เช่น รังสีเอกซ์ (Xray), รังสีแกมมา (γ-ray) อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายจากการถ่ายทอดพลังงานให้กับน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาขั้นต่อไป (secondary reaction) กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเซลล์นั้นได้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น (Halliwell และคณะ, 1995)

3) คิวบุนทรีย์ ในคิวบุนทรีย์มีส่วนประกอบของ ไนตริกออกไซด์ (NO), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และ เพอรอกซีไนไตรท์ (ONOO<sup>-</sup>) รวมทั้งสารมลพิษได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการทำงานของเอนไซม์ไซโทโครม P-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

450 ไฮดรอกซีเจส (cytochrome P-450 hydroxylase) ที่มีอยู่มากในเซลล์ตับและพบได้บ้างในเซลล์ปอดและลำไส้เล็ก ทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ภายในเซลล์ดังกล่าว (Bast และคณะ, 1991)

4) โอโซน โอโซนไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระแต่จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้จากการกระตุ้นของคลื่นแสง (Valacchi และคณะ, 2004)

#### 2.12.2 สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

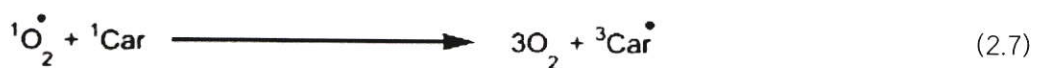
คือสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารที่สามารถขจัดอนุมูลอิสระออกจากร่างกาย ร่างกายมีระบบต้านออกซิเดชัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ประเภทแรกป้องกันการเกิดสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase, glutathione peroxidase, catalase, peroxidase, cytochrome C peroxidase ทองแดง สังกะสี ซีเลเนียมโปรตีนซึ่งมีทองแดงอยู่ในโมเลกุล (ceruloplasmin) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มที่ทำลายปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ วิตามินอีเบต้า-แคโรทีน วิตามินซี ubiquinone, uric acid, bilirubin, albumin, sulfhydryl groups ในกรดอะมิโน cysteine ซึ่งมีอยู่ในโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) และสารกลุ่ม flavonoids ที่เป็นสารต้านออกซิเดชันที่น่าสนใจอีกด้วย (มลศิริวิโรทัย, 2540)

สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีค่าสำคัญต่อ กระบวนการออกซิไดส์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน

2.12.2.1 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ จากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีหลายกลไกดังนี้ (เลนจิวาและประสงค์, 2553)

1. ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Valacchi และคณะ, 2004)

2. การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ( $^1O_2^*$ ) ให้อยู่ในรูปทริปเปอริท (triplet oxygen ( $^3O_2$ )) และ ปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกิ้ลออกซิเจน ได้ถึง 1,000 โมเลกุล (Sies และคณะ, 1992)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation) (Sanchez-Moreno และคณะ, 2000) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ  $Fe^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$  ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



4. หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chainbreaking) วิตามินอี ( $\alpha$ -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลาย จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxyl ( $ROO\cdot$ ) (Burton และ Traber, 1990)

5. เสริมฤทธิ์ (synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี ( $\alpha$ -tocopherol) กับ วิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอลเปอร์ออกไซด์ ( $\alpha$ -tocopherol peroxyl) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-โทโคฟีรอลกับอนุมูลเปอร์ออกไซด์ ( $ROO\cdot$ ) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟา-โทโคฟีรอลที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1998)

6. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิพอกซิจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็ก ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (Puerta, 1999)

ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในตลาดด้วยเหตุผลที่ว่าสารต้านอนุมูลอิสระคือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็ยังเกิดโทษเช่นกัน ดังนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบอันซับซ้อนของปฏิกิริยา โดยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี และวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากเกินไป จะส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ได้ สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าปฏิบัติปฏิกิริยาถูกโซ่เหล่านี้ ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์

ผู้คิดค้นวิจัยต่างๆจึงนิยมนำสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด ด้วยคาดหวังในการรักษาสุขภาพและป้องกันโรคอย่างโรคมะเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ รวมไปถึงโรคกลัวความสูง แม้การศึกษาในช่วงแรกให้การสนับสนุนถึงการเติมสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ช่วยให้สุขภาพ ภายหลังจากการศึกษาในระยะคลินิกพบว่าสารที่เติมลงไปไม่ได้ช่วยหรือก่อให้เกิดประโยชน์อันใดแก่ผู้บริโภค ซ้ำยังผลมาซึ่งอันตรายจากการรับประทานที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเภสัชภัณฑ์ และส่วนประกอบอื่นๆในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สารกันบูดในอาหารและเครื่องสำอาง

#### 2.12.2.2 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

1. Primary antioxidant ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และโทโคฟีรอล (tocopherol) รวมถึงสารโทโคฟีรอลสังเคราะห์ที่บางชนิด เช่น alkyl gallate, BHA, BHT และ TBHQ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยการให้อิเล็กตรอนแก่โมเลกุลของอนุมูลอิสระให้เป็นสารที่มีความเสถียร สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารที่พบได้ในผักและผลไม้ทั่วไปไม่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวน hydroxyl group อย่างน้อยหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล ส่วนมากสารประกอบฟีนอลมักเชื่อมอยู่กับ mono- และ polysaccharides เกิดเป็นโครงสร้างที่หลากหลาย สารประกอบฟีนอลในธรรมชาติจึงมีอยู่หลายชนิด สามารถละลายได้ในน้ำ ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลมักพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาล สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และลิกนิน เป็นต้น นอกจากนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกฤต ชนิด และพันธุ์ และปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอลในการรักษาโรค เช่น มีฤทธิ์ต่อต้านอาการอักเสบ และอาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและไวรัส

2. Oxygen scavenger ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) และอนุพันธ์ เช่น ascorbyl palmitate, erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้เข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งจะเป็นการกำจัดโมเลกุลของออกซิเจนส่วนเกินในระบบปิด

3. Secondary antioxidant ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่สลาย lipid hydroperoxide ให้กลายเป็นสารที่มีความเสถียร

4. Enzymic antioxidant ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ เอนไซม์เหล่านี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ primary antioxidant enzyme และ ancillary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

antioxidant enzyme ซึ่งสารเหล่านี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนและอนุพันธ์ โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )

5. Chelating agent หรือ Sequestrant ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดอะมิโน (amino acid) และ ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะเช่น เหล็กและทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียร

### 2.12.3 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกมีโพลีฟีนอลเป็นส่วนประกอบหลักของเมทาบอลิท์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ในพืชและยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ช็อกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ปัจจุบันนี้พบสารประกอบฟีนอลิกในธรรมชาติมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่สารที่มีโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก และ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น และสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และ แทนนิน เป็นต้น สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเพราะมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ มีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด และเป็นสารต้านการเกิดมะเร็ง อีกทั้งสามารถลดความดันโลหิตโดยมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด จึงคุณสมบัติดังกล่าวสัมพันธ์กับลักษณะของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทั่วไปที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่และสามารถละลายน้ำได้ ปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆทั้งโรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคหัวใจ รวมทั้งโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น เนื่องจากสารที่พบในพืช (phytonutrients) เป็นสารที่เข้าไปทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น รังควัตถุและ สารฟีนอลิกต่างๆ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (peroxidation) ในเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการกำจัดออกซิเจนเพื่อป้องกันการเป็นโรคต่างๆ (Tesoriere และคณะ, 2009) โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิลและกลุ่มอะโรมาติกริง เช่น เบนซีนริง เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในพืช สารประกอบฟีนอลิกมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก เช่น สารฟีนอล กรดฟีนอลและโพลีฟีนอลซึ่งทำหน้าที่ที่แตกต่างกันไปในพืช เช่น เป็นสารรงควัตถุ หรือส่งผลทางประสาทสัมผัส หรือเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Ignat และคณะ, 2011; Parr และ Bolwell, 2000 ; Jaiswal และคณะ, 2011 ; Nagasaka และคณะ, 2007 ; Maestri และคณะ, 2006)

การทำงานบางส่วนของมะละกอมีความเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH, hydroxyl และ superoxide ของผลไม้เมืองร้อนบางชนิดและสารสกัดจากเมล็ดมะละกอซึ่งระบุว่าให้ผลการยับยั้งที่รุนแรง (Zhou และคณะ, 2011) ถึงตอนนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเมล็ดมะละกอยังไม่ได้รับการศึกษามากนัก ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสิ่งที่จำเป็นในการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดมะละกอเพื่อวัตถุประสงค์ของการประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียนี้

ในปัจจุบันเมล็ดมะละกอพันธุ์ *Carica papaya* L. ที่อุดมไปด้วยน้ำมันได้ถูกยกเลิกว่าเป็นของเสียที่ไม่มีประโยชน์ เนื่องจากมีงานวิจัยของ Afolabi และคณะ (2014) ที่ศึกษาหาไขมันและคุณภาพของน้ำมันในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย เมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง โดยทดลองกับหนูเป็นเวลา 32 วัน พบว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกอมีคุณภาพที่เทียบเท่ากับน้ำมันถั่วลิสงแต่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า โดยปริมาณเพียง 5-7% ของน้ำมันเมล็ดมะละกอในอาหารอาจจะเพียงพอและเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบที่เป็นอันตรายที่มีต่อสมองได้

## 2.13 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity determination)

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท และมีกลไกในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติเฉพาะตัวตั้งรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การวิเคราะห์หรือทดสอบความสามารถในการยับยั้งหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจึงไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงวิธีเดียว เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมีความซับซ้อนของคุณสมบัติในทางเคมี

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

### 2.13.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น การทำให้เกิดสี การทำให้เกิดตะกอนความสามารถของการละลายในตัวทำละลายและการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่นิยมได้แก่ การตรวจวัดสารโพลีฟีนอลชนิดต่างๆ เช่น Shinoda test และ Pew test), โครมาโตกราฟแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) และการตรวจหาสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC)

### 2.13.2 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่างๆ โดยวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ 2, 2-azobis (3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ the oxygen radical absorption capacity (ORAC) และอื่นๆ ซึ่งมักนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันในผักและผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดนิยมใช้วิธี Folin-Ciocalteu เป็นวิธีโดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอน มีการใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการหาปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมดในพืชผัก เนื่องจากความสะดวก ความเรียบง่ายและให้ผลวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับ (Prior และคณะ, 2005) ปฏิกริยาของสาร Folin-Ciocalteu กับกลุ่มไฮดรอกซิลของสารประกอบฟีนอลิกในสถานะที่เป็นต่าง จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธี spectrophotometry ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 750 และ 765 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน แสดงผลเป็นปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างเทียบเท่ากับกรดแกลลิก (Karadag และคณะ, 2009 ; Lim และคณะ, 2007) การทดสอบนี้มีความน่าเชื่อถือเทียบเคียงกับผลที่ได้ด้วยวิธี HPLC มีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากสารเคมีมีราคาไม่สูงนักและใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าวิธี HPLC (Hrnčirik และ Fritsche, 2004)

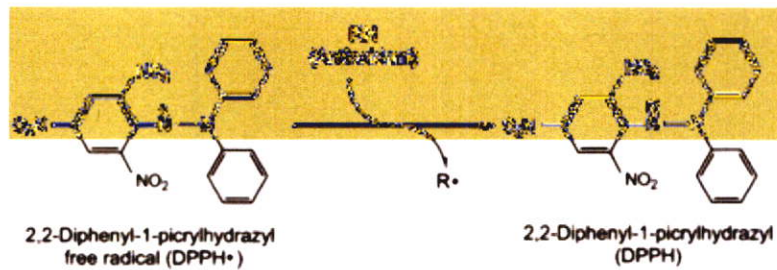
### 2.13.4 วิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS)

โดย decolorization assay เป็นการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการ คือ สร้างอนุมูลอิสระที่มีสีขึ้น โดยสร้างอนุมูลอิสระจากการทำปฏิกิริยาของสารละลาย ABTS กับ oxidizing agent คือ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) เมื่อ ABTS ถูกออกซิไดซ์ ด้วย oxidizing agent จะเกิด ABTS free radical ( $ABTS^{\cdot+}$ ) สารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการนำมาทดสอบจะขจัด  $ABTS^{\cdot+}$  ที่เกิดขึ้นแล้ว ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยหากค่าการดูดกลืนแสงลดลงมาก หรือสีของสารละลายจางลงมากจะแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี

### 2.13.5 วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay (DPPH assay)

เป็นการทดสอบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นวิธีที่เรียบง่ายและมีความไวสูง (Moon และ Shibamoto, 2009 ; Karadag และคณะ, 2009) วิธี DPPH ขึ้นอยู่กับกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและเฉพาะเจาะจงมากขึ้นสำหรับสารต้านอนุมูลอิสระชนิด lipophilic ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH นั้น สารต้านอนุมูลอิสระสามารถบริจาคอิเล็กตรอนหรือโปรตอนให้กับ  $DPPH^{\cdot}$  จะได้ DPPH ที่เป็นสารสีม่วงเข้ม แสดงดังภาพที่ 2.6 (Ebada และคณะ, 2008 ; Molyneux, 2004 ; Gressler และคณะ, 2010 ; Moon และ Shibamoto, 2009) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้ สามารถประเมินได้โดยการตรวจสอบการดูดกลืนแสงที่ลดลงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 515 และ 528 นาโนเมตร (Giada และ Mancini-Filho, 2009 ; Wu และคณะ, 2006 ; Karadag และคณะ, 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 ปฏิกริยาระหว่าง DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระ  
ที่มา : Moon และ Shibamoto (2009)

## 2.14 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Marfo และคณะ (1986) ทำการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญในเมล็ดมะละกอสายพันธุ์ carica พบว่าในเมล็ดมะละกอเป็นแหล่งของโปรตีน (27.3-28.3 %), ลิพิด (28.2-30.7 %), และไฟเบอร์ (19.1-22.6 %) นอกจากนี้ ในเมล็ดมะละกอยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุจำนวนมาก เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส รวมถึงใช้เป็นยาขับพยาธิและยาพื้นบ้านต่างอีกทั้งเมล็ดมะละกอยังมีรสชาติที่เผ็ดร้อนสามารถใช้ผสมกับพริกไทยดำในการปรุงอาหารได้ (Adebiyi และคณะ, 2003) แต่อย่างไรก็ตามในเมล็ดมะละกอก็ยังพบสารพิษเช่นกัน เช่น กลูโคซิโนเลต เป็นต้น

Li และคณะ (2012) ได้นำเปลือกและเมล็ดมะละกอ สายพันธุ์ carica มาศึกษาในทุกช่วงระยะของการเจริญเติบโต พบว่า เมล็ดมะละกามีเอนไซม์ไมโรซิเนสและสารเบนซิลกลูโคซิโนเลตในปริมาณมาก ซึ่งสารเบนซิลกลูโคซิโนเลตนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วได้เป็น Benzyl isothiocyanate (BITC) โดยสารชนิดนี้มีฤทธิ์ต่อต้านและยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็งได้ โดยในการศึกษาพบว่า สามารถต้านการเกิดเซลล์มะเร็งชนิด H69 ได้ถึง 80% แต่การศึกษานี้ก็เป็นเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการทำในหลอดทดลองเท่านั้น ซึ่งต้องใช้เวลาอีกมากเพื่อที่จะมีการพัฒนาเป็นยาแผนปัจจุบันต่อไป

Puang Sri และคณะ (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันจากมะละกอพันธุ์ Carica จากการสกัดด้วย ปิโตรเลียมอีเทอร์และวิธีการใช้น้ำและเอนไซม์ พบว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันคือ 9.7-10.5°C และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ระหว่างน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์และการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยทั่วไปสีของน้ำมันเป็นสีเหลืองสีแดง ในการสกัดด้วยตัวทำละลายจะให้สีเหลืองและสีแดง มากขึ้น ( $24 + Y 4.0 R$ ) เมื่อเทียบกับ น้ำมันที่สกัดด้วยเอนไซม์ ( $20 + Y 3.0 R$ ) ค่าไอโอดีนและค่าสะaponifi เคชันของน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพบว่ามีค่า 66.0 และ 154.7 ตามลำดับ ในขณะที่การใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำมันได้ 66.2-69.3 และ 154.2-161.7 ตามลำดับ ค่า unsaponifiable ของน้ำมันที่สกัดโดยใช้เอนไซม์มีค่าอยู่ระหว่าง 2.07 และ 2.90 % และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย (1.39 %) ค่าของกรดไขมันที่สำคัญเช่นกรดโอเลอิก (72-78 %), ปาล์มติกบางส่วน (12-14 %), สเตียริก (4-5 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไลโนเลอิก (2.5-3.5 %) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบระหว่างน้ำมันที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายกับน้ำมันที่สกัดด้วยเอนไซม์

Lee และคณะ (2011) น้ำมันเมล็ดมะละกอบอกว่ามีลักษณะเฉพาะหลายประการรวมถึงค่าของกรดโอเลอิกสูง, ค่าความสัมพันธ์อัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว / กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวไม่อิ่มตัว/ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 29/68/3, โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนมีค่า 3.34 % และองค์ประกอบของ triacylglycerol นั้นคล้ายกับน้ำมันมะกอก นอกจากนี้น้ำมันยังอุดมไปด้วย คีโมไฟรเวนท์ฟีน เบนซิล ไอโซโทยานาต ระดับตั้งแต่ 4.0-23.3 กรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตที่หลากหลายสำหรับการปรับสภาพของเมล็ดมะละกอก จากการศึกษาพบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอกถือได้ว่าเป็นน้ำมันที่มีค่าโอเลอิกสูงและมีผลต่อค่า chemoprotective ซึ่งอาจถูกมองว่าเป็นทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพในอุตสาหกรรมอาหาร

Malacrida และคณะ (2011) ทำการศึกษา ลักษณะทางเคมีกายภาพ, กรดไขมัน, โทโคฟีรอล และองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอก พบว่า น้ำมันที่ได้มีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูงถึง 77.97 ชั่วโมง กรดไขมันที่สำคัญ พบโอเลอิก (71.30 %), ปาล์มมิติก (16.16 %), ลิโนเลอิก (6.06 %) และสเตียริก (4.73 %) รวมถึงพบว่ามี  $\alpha$  และ  $\delta$  โทโคฟีรอล สูงถึง 51.85 และ 18.89 mg.kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ และยังพบ  $\beta$ -cryptoxanthin (4.29 mg.kg<sup>-1</sup>),  $\beta$ -แคโรทีน (2.76 mg.kg<sup>-1</sup>) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (957.60 mg.kg<sup>-1</sup>) ซึ่งถือว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอกให้ผลลัพธ์ที่ดีมาก อย่างไรก็ตามควรนำไปใช้ประโยชน์ในอาหาร ก็ควรมีการศึกษาทางพิษวิทยาของเมล็ดมะละกอกก่อนเสมอ

Samaram และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำมัน องค์ประกอบของกรดไขมัน และ ชนิดของไตรกลีเซอไรด์ ที่ได้จากน้ำมันเมล็ดมะละกอกพันธุ์ Sekakt โดยใช้วิธีอัลตราโซนิกช่วยในการสกัด จากการวิเคราะห์พบว่าในน้ำมันเมล็ดมะละกอกประกอบด้วย กรดโอเลอิก (18:1, 70.5% -74.7 %) กรดปาล์มมิติก (16:0, 14.9% -17.9%) กรดสเตียริก (18:0, 4.50% -5.25%) และกรดลิโนเลอิก (18:2, 3.63% -4.6%) นอกจากนี้ในน้ำมันมะละกอยังอุดมไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิด triolein (OOO), palmitoyl diolein (POO) และ stearoyl oleoyl linolein (SOL) โดยในการศึกษาได้เปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอกกับน้ำมันที่สกัดได้จากผลไม้ชนิดอื่น ดังแสดงในตาราง 2.4 โดยพบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอก มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันมะกอก แต่มีค่า PUFA ต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดองุ่น (50.0% - 83.0%), น้ำมันเมล็ดส้ม (59.6%) และ น้ำมันเมล็ดฟักทอง (55.6%) นอกจากนี้น้ำมันมะกอกกับน้ำมันเมล็ดมะละกอก มีค่าของกรดโอเลอิก(18:1) ที่สูงซึ่งมีประโยชน์สำหรับร่างกายมนุษย์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 น้ำมันจากเมล็ดผลไม้ต่างๆ

Oil Source	Oil content %	PUFA <sup>1</sup> %	MUFA <sup>2</sup> %	SFA <sup>3</sup> %	Reference
Papaya seed oil	30–34	2.1–6.3	67.5–77.6	18.6–29.0	Puang Sri <i>et al.</i> [5]; Lee <i>et al.</i> [6]
Olive oil <sup>4</sup>	22–24	3.5–22.5	55.3–86.5	10.5–20.0	Salvador <i>et al.</i> [14]; Codex [16]
Grape seed oil	8–15	50.0–83.0	13.7–36.5	5.8.0–23.5	Passos <i>et al.</i> [15]; Shahidi [17]
Orange seed oil	32–35	43.5–45.0	26.0–27.0	28.0–29.0	Shahidi [17]; Ajewole [18]
Apple seed oil	21–24	48.4–65.3	24.7–43.0	6.3–12.4	Shahidi [17]; Tian <i>et al.</i> [19]
Watermelon seed oil	50	60.0	18.4	21.6	Baboli and Kordi [20]
Pumpkin seed oil	42–45	55.6	20.8	23.5	Shahidi [21]; Schinas <i>et al.</i> [22]

<sup>1</sup> PUFA, polyunsaturated fatty acids; <sup>2</sup> MUFA, monounsaturated fatty acids; <sup>3</sup> SFA, saturated fatty acids;

<sup>4</sup> olive oil from the fresh fruit.

ที่มา : Samaram และคณะ (2013)

Zhang และคณะ (2008) ทำการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดมาใช้ในการสกัดน้ำมันจาก flaxseed โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (การสกัดแบบแช่) จากการทดลองพบว่า ณ ระยะเวลาการสกัดเดียวกัน การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดสามารถให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดได้สูงกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมสูงถึง 18% จากการทดลองพบว่าคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดได้

ภาพที่ 2.8 ผลของวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิคต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จาก flax seed

วสุธรและฮูตา (2015) ได้ศึกษาปัจจัยในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด พบว่าการสกัดที่ประมาณ 6 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 1:10 เป็นระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซนที่สมเหตุสมผลในการดำเนินการสกัดที่สุด เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาและสารละลายที่เสียไปกับปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.5 ผลของอัตราส่วนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ

สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเขน	Yield (%)
1:2.5	3.60±0.53 <sup>c</sup>
1:5	15.73±2.33 <sup>b</sup>
1:10	25.13±1.02 <sup>a</sup>
1:15	26.40±1.21 <sup>a</sup>

หมายเหตุ a, b, c คืออักษรกำกับในแนวนอน ต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )  
ที่มา : วสุธรและชุตดา (2015)

ภาพที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับผลผลิตที่ได้จากการสกัดแบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง  
ที่มา : วสุธรและชุตดา (2015)

Pan และคณะ (2000) ศึกษาการสกัดสาร glycyrrhizic acid (GA) จากรากของชะเอมเทศด้วยวิธีไมโครเวฟ ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสกัด เช่น เวลาในการสกัดคือ 4-5 นาที, ความเข้มข้นของเอทานอล 50-60%, ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1-2% และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 10/1 ml/g เมื่อเปรียบเทียบผลของ GA กับวิธีการสกัดพื้นฐาน คือ การสกัดที่อุณหภูมิห้อง, การสกัดด้วยชอกเลต, การสกัดแบบไหลย้อนกลับ และการสกัดด้วยอัลตราโซนิค พบว่าวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟให้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการสกัดพื้นฐานทั้งหมด

Trusheva และ Bankova (2007) ศึกษาวิธีการสกัดสารประกอบที่ต่างกันของโพรพอลิส ได้แก่ วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (การสกัดแบบแช่), การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดและการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด จากการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของวิธีการสกัด การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดเป็นวิธีการสกัดที่รวดเร็ว ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าแต่สารสกัดที่ได้มีแนวโน้มที่จะมีองค์ประกอบของฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์น้อยกว่า ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารที่สกัดได้ ระยะเวลาในการสกัดและการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดยังประกอบด้วยพินอลิกในปริมาณที่สูงที่สุด

**ตาราง 2.6** เปรียบเทียบผลตอบรับจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

Extraction type	Propolis/Solvent (m/V)	Time	Total phenolics,%	Total flavones/flavonols,%	Total flavonnes/dihydroflavonols,%	Total extract/%
ME	1:20	72 h	44 ± 2	8.6 ± 0.1	18 ± 1	58 ± 3
	1:10	72 h	43 ± 2	8.8 ± 0.1	19 ± 2	55 ± 1
UE	1:20	10 min	35.9 ± 0.5	9.4 ± 0.2	20 ± 5	41 ± 1
	1:20	30 min	50 ± 1	8.6 ± 0.1	23 ± 2	50 ± 1
MAE	1:10	30 min	52 ± 3 <sup>a,b,c</sup>	9.6 ± 0.8 <sup>a</sup>	22 ± 2 <sup>b</sup>	53 ± 3 <sup>a,b,c</sup>
	1:20	2 × 10 s	40 ± 1	9.3 ± 0.1	23 ± 3	73 ± 2
	1:10	2 × 10 s	40.4 ± 0.6 <sup>a,b</sup>	8.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	20 ± 1 <sup>b</sup>	75 ± 0 <sup>a,b,c</sup>
	1:10	3 × 10 s	24.4 ± 0.4	10.7 ± 1.7	7.5 ± 0.6	66 ± 5

Means values of three extraction ± SD;

<sup>a</sup> values compared with those obtained via maceration, (propolis/solvent 1:10).

<sup>B</sup> values significantly different from those obtained by maceration(propolis/solvent 1:10), $p < 0.05$  (Student's t-test).

<sup>C</sup> values compared and found significantly different $p < 0.05$  (Student's t test).

ที่มา : Trusheva และ Bankova (2007)

Amarni และ Kadi (2010) ได้ทำการวิจัยเรื่องการใช้ไมโครเวฟช่วยในการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Microwave-assisted solvent extraction; MASE) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (Conventional solvent extraction) เพื่อสกัดน้ำมันจากเค้กมะกอก โดยได้ทำการศึกษามลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัด (180, 360, 540 และ 720 วัตต์) กับระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (0-3 นาที) ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต (yield) ของน้ำมันมะกอกที่สกัดได้ โดยใช้อัตราส่วนตัวทำละลายขอแข็ง 3:1 และได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (25, 35 และ 45 °C) กับระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (0-60 นาที) จากการศึกษาพบว่ากำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ส่วนผลของการเปรียบเทียบในแต่ละวิธีการสกัดพบว่า การสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันได้ดีกว่าการสกัดแบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้เวลาในการสกัดที่สั้นกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการดังกล่าวเป็นตัวเลือกใหม่ในการสกัด เมื่อเทียบกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพื้นฐาน โดยพบว่า การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยนั้นให้ปริมาณผลผลิตดีกว่าและใช้ระยะเวลาสั้น

บุญยานุช และสุภาพร (2557) พบว่า จากการทดลองเรื่องผลของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาของการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่น โดยใช้ระดับกำลังไฟฟ้าที่ 100, 300, 600 และ 800 W พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) โดยเมื่อพิจารณาผลการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงระยะเวลา 10 นาทีแรก (ซึ่งทำให้ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) พบว่าการสกัดที่ กำลังไฟฟ้า 300, 600 และ 800 W ให้ผลผลิตมากกว่าการสกัดที่ กำลังไฟฟ้าต่ำสุด (100 W) ไม่ต่างกัน มาก และเมื่อทำการทดลองเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพบว่าระหว่างการใช้ เวลาที่ 10, 20 และ 30 นาที ที่ทุกระดับกำลังไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันส่วนมากจะสกัดได้ในช่วง 10 นาทีแรก ซึ่งได้ ปริมาณน้ำมันมากถึง 97.99-99.31% ของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ในเวลา 30 นาที ซึ่งจากการทดลองนี้ อาจแนะนำได้ว่าในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟที่ทุกระดับกำลังไฟฟ้า สามารถใช้เวลาสกัด น้ำมันเพียง 10 นาทีได้

Singh และคณะ (2014) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 2 วิธี คือ Microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) และวิธี Solvent free microwave extraction (SFME) โดย ศึกษาผลของกำลังไฟฟ้า, เวลาและขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัด ได้ โดยใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 3 ระดับคือ 288, 464 และ 640 วัตต์ สำหรับวิธี MAHD ใช้เวลาในการ สกัดนาน 120 นาทีและในวิธี SFME ใช้เวลาในการสกัด 20 นาที ขนาดของตัวอย่างตะไคร้ที่ใช้ในการสกัด มีขนาด 1, 2 และ 3 เซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าและ ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดและปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลงตามขนาดของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น สำหรับวิธี MAHD ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 464 และ 640 วัตต์นั้นใช้เวลาในการสกัดนาน 90 นาทีจึงจะสกัดได้ปริมาณ ผลผลิตน้ำมันออกมาจนหมด สำหรับในการสกัดทั้ง 2 วิธีนี้ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันใกล้เคียงกัน ในวิธี MAHD ได้ปริมาณน้ำมัน 1.72% (w/w) และได้ 1.61% (w/w) ในวิธี SFME แต่ในวิธี MAHD ใช้เวลาใน การสกัดยาวนานซึ่งวิธี SFME ใช้เวลาในการสกัด 20 นาทีเท่านั้น

Lianfu และ Zelong (2008) ได้อธิบายว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายในการสกัด น้ำมัน (Microwave-assisted solvent extraction; MASE) ทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดย วิธีการนี้จะเป็นการเร่งความร้อนของน้ำที่อยู่ภายในตัวอย่าง ทำให้เซลล์พืชแตกออกอย่างรวดเร็วเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำมันที่อยู่ภายในถูกชะออกมาในตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น

Wang และคณะ (2006) ได้มีการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบใหม่จากวัสดุพืชแห้ง โดยการเพิ่มวัสดุดูดซับไมโครเวฟ (MAM) เข้าไป เพื่อปรับปรุงการสกัด วิธีไมโครเวฟแบบไม่ใช้ตัวทำ ละลาย (SFME) และสามารถนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัสดุพืชแห้งได้ ด้วยพลังงานคลื่น ไมโครเวฟที่ 85 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้ำมันหอมระเหยเพียงประมาณ 30 นาทีเท่านั้น กระบวนการ สกัดทั้งหมดสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและประหยัด ชนิดของ MAM ที่ใช้มีอยู่ 3 ชนิดคือ Iron carbonyl powder (ICP), Graphite powder (GP) และ Activated carbon powder (ACP) นอกจากนี้ยังได้ ทำการศึกษา ผลการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการใช้ SFME แบบดั้งเดิม, Microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) และ conventional hydrodistillation (HD) สรุปได้ว่าการ ปรับปรุง SFME เป็นวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัสดุจากพืชที่แห้ง มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ระหว่างส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้โดยการปรับปรุง SFME และโดยวิธีการอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yu และคณะ (2007) ได้ใช้วิธีการใหม่ในการสกัด คือการสกัดด้วยไมโครเวฟที่ตัวทำละลายไม่มีขี้ (NPSMAE) ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *Zingiber officinale* Rosc ในระบบปิด โดยการเติมวัสดุดูดซับไมโครเวฟ Carbonyl iron powders (CIP) เข้าไปในระบบ น้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยตัวทำละลายไม่มีขี้ (อีเทอร์) ถูกทำให้ร้อนโดย CIP ซึ่งส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จาก NPSMAE เทียบกับที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS ซึ่งแสดงให้เห็นว่า NPSMAE เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัสดุแห้ง NPSMAE ใช้เวลาในการเพียงแค่ 5 นาที ซึ่งน้อยกว่า HD ที่ใช้เวลาถึง 180 นาที และประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟที่ใช้ตัวทำละลายมีขี้ (PSMAE) และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ตัวทำละลายแบบผสม (MSMAE) ดังนั้นจึงถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการสกัดสารระเหยจากตัวอย่างพืชแห้ง

Akuiyibo และคณะ (2011) ทดลองให้อาหารหนูที่มีการผสมน้ำมันเมล็ดมะละกอ จุดประสงค์ของการทดลองเพื่อค้นหาไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีผลต่อร่างกาย (เปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง) ทดลองให้อาหารหนูขาวอายุ 32 วัน โดยอาหารดังกล่าวมีน้ำมันเมล็ดมะละกอเป็นส่วนผสมอยู่สี่ระดับ ได้แก่ 3, 5, 7 และ 10% จากการทดลองพบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอมีผลต่อการลดลงของน้ำหนักตัวของหนูขาวอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้าม erythrocyte peroxidase activity, cholesterol และระดับของ phospholipids ในสมองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอที่เพิ่มขึ้น, มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของ reduced glutathione ในเม็ดเลือดแดงและมีผลต่อน้ำหนักของสมองที่เพิ่มขึ้นของหนูขาว จากการทดลองพบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณภาพดีและเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอยังมีผลต่อการป้องกันอันตรายที่ส่งผลต่อสมอง

ตาราง 2.7 น้ำหนักตัวและสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ

Biochemical Parameters	Weight Gain (%)					
	Groundnut oil (5%)		Carica Papaya Seed Oil Diet			
	Baseline diet	Control diet	3%	5%	7%	10%
Whole body	0	20.6±6.5	19.4±4.0	13.4±0.1	7.1±1.8	9.9±2.7
Brain	0	19.7±4.4	24.8±3.3	15.6±4.7	25.2±3.5	39.9±4.4

Values within the same column with superscripts(\*) are significantly different at  $P < 0.05$ .

ที่มา : Akuiyibo และคณะ (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.8 เมทาบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงของสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ

Biochemical Parameters	Groundnut oil (5%)		Carica Papaya Seed Oil Diet			
	Baseline diet	Control diet	3%	5%	7%	10%
Chloesterol (mg/dl)	32.2±9.3	101.8±8.2	113.8±5.8	90.1±8.1	83.2±3.3	86.9±3.9
Triglycerides (mg/g)	67.7±4.5	74.7±5.8	83.4±5.5	70.6±8.5	67.9±7.9	68.3±5.9
Phopholipid (mg/g)	183.3±4.8	236.1±7.3	233.7±4.1	183.5±2.3	201.0±10.0	202.4±4.4
Reduced glutathione(μmol/g)	24.0±6.2	17.0±0.4	18.0±1.0	17.0±1.0	19.0±0.2	23.0±4.0
TBARS (mmol/100g)	9.6±1.0	7.2±5.7	9.1±1.2	11.0±1.0	10.7±0.4	10.2±1.0
SOD (U/mg) Protein	4.5±1.0	4.0±0.4	4.0±0.1	4.5±1.4	4.0±0.1	4.1±0.1
PER activity (Unit/mg protein)	8.5±1.3	7.1±0.6	9.1±1.6	6.3±1.6	5.5±0.1	6.4±0.2
Free fatty acids	77.3±20.0	73.0±9.0	74.6±3.3	79.1±3.5	70.5±11.1	75.9±13.5

ที่มา : Akuiyibo และคณะ (2011)

พรรณทิพย์ และราตรี (2558) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชัน โดยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ( $X_1$ ) คือ 45, 60, 90 และ 120 นาที (2) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ( $X_2$ ) คือ 29, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และ (3) ปริมาณกลีบดอกอัญชัน ( $X_3$ ) คือ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ได้ปัจจัยค่ามุม 8 จุด และปัจจัยค่าแกน 5 ระดับ (1.682, 1, 0, -1 และ -1.682) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วย RSM มาออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (CCD) ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม RGui386version 3.2.0 การประมวลผลข้อมูลทำให้ได้แผนการทดลองที่เหมาะสมในการศึกษาการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชัน 20 แผนการทดลอง และนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร มาใช้ในการสร้างสมการถดถอยกำลังสองได้สมการ คือ  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_2X_3 + b_6X_1X_3 + b_7X_1^2 + b_8X_2^2 + b_9X_3^2$  และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.94 สภาวะที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ได้จากสมการถดถอยกำลังสองคือ สภาวะที่ใช้ระยะเวลาในการสกัด 88 นาที อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส และปริมาณกลีบดอกอัญชัน 1.68 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ได้จากการประมวลผลและจากการทดลองจริงพบว่า ทั้งสองวิธีให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน

อริชฐาน และคณะ (2556) ได้ทำการพัฒนาวิธีการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากขยะน้ำมันปาล์มในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้สถิติ RSM (Response surface methodology) ในการศึกษาและออกแบบการทดลอง สำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับลดกรดไขมันอิสระในขยะน้ำมันปาล์มให้ลดต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ได้ทำการศึกษา 3 ตัวแปรคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระของขยะน้ำมันปาล์ม, ปริมาณของกรดตัวเร่งปฏิกิริยา (ซัลฟูริก) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยศึกษาทั้งหมด 20 การทดลอง ส่วนการศึกษาหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็น fatty acid methyl ester (FAME) หรือไบโอดีเซล ศึกษา 3 ตัวแปรคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันของขยะ น้ำมันปาล์ม (ขยะน้ำมันปาล์มที่มีความเป็นกรดต่ำได้จากขั้นตอนการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน), ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทั้งหมด 20 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าขยะน้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 65.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันเท่ากับ 271 กรัมต่อโมล น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของขยะน้ำมันปาล์มเท่ากับ 885 กรัมต่อโมล ซึ่งพบกรดปาล์มริกสูงที่สุด สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันถูกศึกษาโดยใช้สถิติ RSM และคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากขยะน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ในสภาวะที่เหมาะสมภายใต้กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสองขั้นตอนถูกศึกษาตามมาตรฐาน ASTM

ธงชัย พุฒทองศิริ (2557) ทำการศึกษาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา จากหัวและหางปลาแมคเคอเรล ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง โดยสัดส่วนของวัสดุเศษเหลือต่อน้ำที่ใช้ในการสกัด คือ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ เวลา ( $X_1$ ) 8-30 นาทีและ อุณหภูมิ ( $X_2$ ) 80-100°C ในการสกัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดคืออุณหภูมิ 100°C นาน 8 นาที ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 13.44% เมื่อศึกษาผลของการเติมน้ำมันปลาในส่วนผสมของสมะเชื้อเห็ดที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง พบว่าปริมาณน้ำมันปลาที่เหมาะสมในการเติมในซอสคือ 10% และยิ่งพบว่าคาร์เดมิม้ำมันปลาและระยะเวลาการเก็บปลากระป๋องทำให้ปลากระป๋องมีปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมดสูงขึ้น

กาญจนาและนิรมล (2558) ศึกษาผลของการใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัดเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันโดยผันแปรกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดที่ 400 และ 800 วัตต์ และระยะเวลาการสกัดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการสกัด มีผลต่อร้อยละผลผลิตของสารสกัด ปริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมด ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ ) ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วย เคอร์คูมิน เดเมทอกซีเคอร์คูมินและบิสเดเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยกำลังไฟฟ้าในการสกัดที่ 800 วัตต์ ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินทั้งหมดที่มากกว่า 400 วัตต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้สารเคอร์คูมินอยด์มีปริมาณที่สูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ สภาวะที่เหมาะสมคือการใช้กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ระยะเวลา 3 นาที โดยมีร้อยละผลผลิตที่ได้เท่ากับ 21 ปริมาณเคอร์คูมินเดเมทอกซีเคอร์คูมินและบิสเดเมทอกซีเคอร์คูมิน เท่ากับ 227.86, 136.26 และ 67.08 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ ดังนั้นการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสกัดเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันได้

Taghvaei และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave-assisted extraction, MAE) พร้อมกับการประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัด, ปริมาณความเข้มข้นของเมล็ดฝ้ายและอัตราส่วนเมล็ดฝ้ายต่อตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายคือ การใช้เวลาในการสกัด 3.57 นาที, ปริมาณความเข้มข้น 14% และอัตราส่วนเมล็ดฝ้ายต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการสกัด 32.6%, ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมทั้งหมด 46 ppm, กรดไขมันอิสระ 0.7%, ค่า Peroxide เท่ากับ 0.2 และมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 110°C นานถึง 11.5 ชั่วโมง ผลจากการวิเคราะห์ด้วย Gas chromatography (GC) สำหรับน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่สกัดด้วยวิธี MAE พบว่าน้ำมันเมล็ดฝ้ายมีองค์ประกอบที่เป็น palmitic acid (23.6%), stearic acid (2.3%), กรดโอเลอิก (15.6%) และกรด linoleic (55.1%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) กับน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีสกัดแบบดั้งเดิม (Conventional solvent extraction) ซึ่งจากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า Microwave-assisted extraction เป็นกระบวนการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอย่างรวดเร็วของน้ำมันพืช ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Zhou และคณะ (2011) ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดมะละกอที่สกัดจากสารละลายที่ต่างกัน ได้แก่ ethanol, petroleum ether, ethyl acetate, n-butanol และน้ำ จากการศึกษาพบว่า การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดมะละกอโดย ethyl acetate ให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ hydroxyl radical scavenging activities การสกัดโดย n-butanol ให้ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุดเมื่อวิเคราะห์โดยวิธี ABTS radical scavenging activity การสกัดโดยใช้ ethyl acetate และ n-butanol ไม่เพียงแสดงถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดโดยใช้ petroleum ether, น้ำและ ethanol เท่านั้น แต่ยังแสดงถึง superoxide anion และ hydrogen peroxide radicals scavenging activities ที่สูงกว่าการสกัดโดยสารละลายอื่นๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในงานวิจัยนี้จึงใช้ ethyl acetate ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ภาพที่ 2.10 การถดถอยเชิงเส้นของความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ OH

ที่มา : Zhou และคณะ (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่า ผลงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอ ซึ่งทำให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณสมบัติเคมีกายภาพที่ดี มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่คล้ายคลึงกับน้ำมันมะกอก โดยมีกรดโอเลอิกที่สูง นอกจากนี้ยังมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกอจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพในอุตสาหกรรมอาหาร และจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการนำเทคนิคการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงและไม่โครเวฟมาใช้ พบว่า มีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย ทั้งการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช การสกัดสารสี การสกัดน้ำมันหอมระเหย รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัด การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้ดีขึ้นด้วยการใช้วัสดุดูดซับพลังงานไม่โครเวฟและการนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการสกัดที่ดีกว่าทั้งในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ ปริมาณของตัวทำละลาย และปริมาณของผลผลิตที่ได้จากการสกัด ด้วยข้อดีเหล่านี้ผู้วิจัยจึงได้นำทฤษฎีความรู้มาประยุกต์ในงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงยังไม่มีการวิจัยใดที่ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีไม่โครเวฟช่วยสกัด ผู้วิจัยจึงเห็นถึงศักยภาพ โดยการวิจัยครั้งนี้จะเน้นที่การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงและการสกัดแบบใช้ไม่โครเวฟช่วยสกัด โดยวิธีการสกัดแบบแช่เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมเพื่อใช้ศึกษาผลของปัจจัยในการสกัดแต่ละปัจจัยต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และใช้เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบประยุกต์ ส่วนวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด เป็นวิธีการสกัดที่ประยุกต์ให้ sonication ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด และวิธีการสกัดแบบใช้ไม่โครเวฟช่วยสกัดประกอบด้วยวิธีการสกัด 2 วิธีคือ วิธีปกติกับวิธีแบบมีอ่างน้ำ โดยวิธีการสกัดแบบใช้ไม่โครเวฟแบบมีอ่างน้ำถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้ใช้น้ำในอ่างเป็นตัวดูดซับพลังงานจากคลื่นไม่โครเวฟแทน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดของวิธีการสกัดด้วยไม่โครเวฟแบบปกติ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ ซึ่งคาดว่าจะประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในทางที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติการ เช่น เกษตรกร ผู้ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1.1 วัตถุดิบ

เมล็ดมะละกอ (*Carica papaya linn.*) พันธุ์ฮอลแลนด์ จากร้านขายผลไม้ที่ตลาดนัด  
สุวรรณภูมิ

#### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 3.1.2.1 เครื่องบดหยาบ (Hammer mill)                |                              |
| 3.1.2.2 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)             |                              |
| 3.1.2.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)                 | Memmert (UM 400), Germany    |
| 3.1.2.4 เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)          | Sahaburapa (SP-1A), Thailand |
| 3.1.2.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง               | Denver (SI-324), Germany     |
| 3.1.2.6 เครื่องสกัดไมโครเวฟตัดแปลง                 | Samsung(ME711K/XST)1150W     |
| 3.1.2.7 เครื่องสกัดอ่างอัลตราโซนิก                 | Daihan(WUC-D22H) 872W        |
| 3.1.2.8 เครื่องสกัดอ่างควบคุมอุณหภูมิ              | Wisd(WSB-30) 800W, Korea     |
| 3.1.2.9 เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm)                | Gerhardt (S306AK), Germany   |
| 3.1.2.10 UV-Vis Spectrophotometer                  | Shimadzu (UV-1601), Japan    |
| 3.1.2.11 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry | MEITLER-TOLEDO (DSC 2),      |
| 3.1.2.12 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)           | Beckman Coulter, USA         |
| 3.1.2.13 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)           | Hettich zentrifugen, Germany |
| 3.1.2.14 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator)  | Buchi (R-215), Switzerland   |
| 3.1.2.15 Vortex mixer                              |                              |
| 3.1.2.16 Micropipettes และ Tips                    |                              |
| 3.1.2.17 โถสำหรับดูดความชื้น (Desiccator)          |                              |
| 3.1.2.18 Aluminium cans                            |                              |
| 3.1.2.19 อุปกรณ์เครื่องแก้ว                        |                              |

#### 3.1.3 สารเคมี

- |                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| 3.1.3.1 Hexane (Commercial grade) | Etalmar, Thailand |
| 3.1.3.2 Folin-Ciocalteu's Reagent | Carlo Erba, Italy |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.3 Ethyl alcohol 95%	Etalmar, Thailand
3.1.3.4 Methanol 95%	Sigma, USA
3.1.3.5 Sodium carbonate	Merck, Germany
3.1.3.6 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	Sigma, USA
3.1.3.7 Potassium persulfate	Carlo Erba, Italy
3.1.3.8 ABTS (2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)	Sigma, USA
3.1.3.9 Gallic acid monohydrate	Sigma, USA
3.1.3.10 Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8- tetramethylchroman-2-carboxylic acid)	Sigma, USA
3.1.3.11 Potassium hydroxide	Ajax Finechem, Australia
3.1.3.12 Phynolphthaline	Carlo Erba, Italy
3.1.3.13 Potassium iodide	Carlo Erba, Italy
3.1.3.14 Chloroform	RCI Labscan, Thailand
3.1.3.15 Sodium thiosulfate	Carlo Erba, Italy
3.1.3.16 Starch	Fluka, Germany

## 3.2 วิธีการดำเนินงาน

### 3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเมล็ดมะละกอมาล้างทำความสะอาด น้ำไปทำให้แห้งโดยการนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าเมล็ดจะแห้งสนิท จากนั้นทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดหยาบ (Hammer mill) และนำมาร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.067 มิลลิเมตร ผงเมล็ดมะละกจะถูกเก็บใส่ถุงที่ปิดสนิทและใส่ใตตู้ความชื้นเพื่อรอการสกัดต่อไป

### 3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ

วิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำแห้ง โดยองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture) ตามวิธี, ไขมัน (crude fat), โปรตีน (crude protein), เถ้า (ash), เยื่อใย (crude fiber) และคาร์โบไฮเดรต (crude carbohydrate) ตามวิธี AOAC (2011)

### 3.2.3 การออกแบบการทดลอง

#### 3.2.3.1 การสกัดแบบแช่ (ME)

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 trial โดยเลือกการออกแบบแบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ ( $X_1$ ), ระยะเวลาการสกัด ( $X_2$ ) และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) โดยมีช่วงของปัจจัยตั้งแต่  $-\alpha$  ถึง  $+\alpha$  เป็น อุณหภูมิ ( $X_1$ ) ในช่วง  $31.18-64.82^\circ\text{C}$ , เวลาในการสกัด ( $X_2$ ) ในช่วง  $0.95-11.05$  ชั่วโมง และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) ในช่วง  $1.59-18.40$  กรัม/100 มิลลิลิตร หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 3.1 และออกแบบการทดลองได้การทดลองออกมา 15 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลางอีก 5 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 20 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ ME

ปัจจัย	ระดับ				
	Axial ( $-\alpha$ )	Low	Center	High	Axial ( $+\alpha$ )
	1.682	-1	0	+1	+1.682
อุณหภูมิ ( $X_1$ , $^\circ\text{C}$ )	31.18	38.00	48.00	58.00	64.82
เวลา ( $X_2$ , ชั่วโมง)	0.95	3.00	6.00	9.00	11.05
อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ , กรัม / 100 มิลลิลิตร)	1.59	5.00	10.00	15.00	18.41

ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ ME

Std	Run	อุณหภูมิ ( $^\circ\text{C}$ , $X_1$ )	เวลา (ชั่วโมง, $X_2$ )	อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย (กรัม/100มิลลิลิตร, $X_3$ )
13	1	48 (0)	6 (0)	1.59 (-1.682)
20	2	48 (0)	6 (0)	10 (0)
18	3	48 (0)	6 (0)	10 (0)
2	4	58 (+1)	3 (-1)	5 (-1)
17	5	48 (0)	6 (0)	10 (0)
15	6	48 (0)	6 (0)	10 (0)
16	7	48 (0)	6 (0)	10 (0)
5	8	38 (-1)	3 (-1)	15 (+1)
1	9	38 (-1)	3 (-1)	5 (-1)
7	10	38 (-1)	9 (+1)	15 (+1)
3	11	38 (-1)	9 (+1)	5 (-1)
6	12	58 (+1)	3 (-1)	15 (+1)
12	13	48 (0)	11.05 (+1.682)	10 (0)
14	14	48 (0)	6 (0)	18.41 (+1.682)
4	15	58 (+1)	9 (+1)	5 (-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19	16	48 (0)	6 (0)	10 (0)
8	17	58 (+1)	9 (+1)	15 (+1)
11	18	48 (0)	0.95 (-1.682)	10 (0)
9	19	31.18 (-1.682)	6 (0)	10 (0)
10	20	64.82 (+1.682)	6 (0)	10 (0)

### 3.2.3.2 การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิค (UAE)

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 trial โดยเลือกการออกแบบแบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่มีอิทธิพลจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ ( $X_1$ ), ระยะเวลาการสกัด ( $X_2$ ) และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) โดยมีช่วงของปัจจัยตั้งแต่  $-\alpha$  ถึง  $+\alpha$  เป็น อุณหภูมิ ( $X_1$ ) ในช่วง 31.18-64.82°C, เวลาในการสกัด ( $X_2$ ) ในช่วง 4.77-55.23 นาที และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) ในช่วง 1.59-18.40 กรัม/100 มิลลิลิตร หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และออกแบบการทดลองได้การทดลองออกมา 15 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลางอีก 5 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 20 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ UAE

ปัจจัย	ระดับ				
	Axial ( $-\alpha$ )	Low	Center	High	Axial ( $+\alpha$ )
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
อุณหภูมิ ( $X_1$ , °C)	31.18	38.00	48.00	58.00	64.82
เวลา ( $X_2$ , ชั่วโมง)	4.77	15.00	30.00	45.00	55.23
อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ , กรัม / 100 มิลลิลิตร)	1.59	5.00	10.00	15.00	18.41

ตารางที่ 3.4 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ UAE

Std	Run	อุณหภูมิ (°C, $X_1$ )	เวลา (นาที, $X_2$ )	อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำ ละลาย (กรัม/100มิลลิลิตร, $X_3$ )
12	1	48 (0)	55.23 (+1.682)	10 (0)
7	2	38 (-1)	45 (+1)	15 (+1)
20	3	48 (0)	30 (0)	10 (0)
19	4	48 (0)	30 (0)	10 (0)
9	5	31.18 (-1.682)	30 (0)	10 (0)
5	6	38 (-1)	15 (-1)	15 (+1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	7	48 (0)	30 (0)	18.41 (+1.682)
3	8	38 (-1)	45 (+1)	5 (-1)
10	9	64.82 (+1.682)	30 (0)	10 (0)
6	10	58 (+1)	15 (-1)	15 (+1)
2	11	58 (+1)	15 (-1)	5 (-1)
18	12	48 (0)	30 (0)	10 (0)
4	13	58 (+1)	45 (+1)	5 (-1)
1	14	38 (-1)	15 (-1)	5 (-1)
17	15	48 (0)	30 (0)	10 (0)
8	16	58 (+1)	45 (+1)	15 (+1)
16	17	48 (0)	30 (0)	10 (0)
11	18	48 (0)	4.77 (-1.682)	10 (0)
15	19	48 (0)	30 (0)	10 (0)
13	20	48 (0)	30 (0)	1.59 (-1.682)

### 3.2.3.3 การสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE)

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 trial โดยเลือกการออกแบบแบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่มีอิทธิพลจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ ระยะเวลาการสกัด ( $X_1$ ), กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ ( $X_2$ ) และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อบริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) โดยมีช่วงของปัจจัยตั้งแต่  $-\alpha$  ถึง  $+\alpha$  เป็นระยะเวลาการสกัด ( $X_1$ ) ในช่วง 1.6-8.4 นาที กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ ( $X_2$ ) ในช่วง 200-700 วัตต์ และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อบริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ ) ในช่วง 1.6-18.4 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 3.5 และออกแบบการทดลองได้การทดลองออกมา 15 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลางอีก 5 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 20 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ MAE

ปัจจัย	ระดับ				
	Axial ( $-\alpha$ )	Low	Center	High	Axial ( $+\alpha$ )
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
เวลา ( $X_1$ , นาที)	1.6	3	5	7	8.4
กำลังไฟฟ้า ( $X_2$ , วัตต์)	200	300	450	600	700
อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อบริมาณตัวทำละลาย ( $X_3$ , เปอร์เซ็นต์)	1.6	5	10	15	18.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ของการสกัดแบบ MAE

Run	ระยะเวลา (นาที, $X_1$ )	กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ (วัตต์, $X_2$ )	อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อปริมาณตัว ทำละลาย (เปอร์เซ็นต์, $X_3$ )
1	7 (+1)	300 (-1)	5 (-1)
2	3 (-1)	300 (-1)	15 (+1)
3	7 (+1)	300 (-1)	15 (+1)
4	5 (0)	197.73 (-1.682)	10 (0)
5	5 (0)	450 (0)	10 (0)
6	5 (0)	450 (0)	10 (0)
7	3 (-1)	600 (+1)	15 (+1)
8	3 (-1)	600 (+1)	5 (-1)
9	1.64 (-1.682)	450 (0)	10 (0)
10	5 (0)	450 (0)	18.41 (+1.682)
11	3 (-1)	300 (-1)	5 (0)
12	5 (0)	450 (0)	1.59 (-1.682)
13	8.36 (+1.682)	450 (0)	10 (0)
14	5 (0)	450 (0)	10 (0)
15	5 (0)	450 (0)	10 (0)
16	7 (+1)	600 (+1)	5 (-1)
17	5 (0)	450 (0)	10 (0)
18	5 (0)	702.27 (+1.682)	10 (0)
19	7 (+1)	600 (+1)	15 (+1)
20	5 (0)	450 (0)	10 (0)

### 3.2.4 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

การวิจัยครั้งนี้ได้สกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ 3 วิธี คือวิธีการสกัดแบบแช่ (ME), การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก (UAE) และการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE)

#### 3.2.4.1 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME)

นำเมล็ดมะละกอใส่ลงยังขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมหกเซนปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำขวดรูปชมพู่จุ่มลงยังอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณเมล็ดมะละกอตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ดังตาราง 3.2 เมื่อครบเวลานำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เพื่อกรองแยกเมล็ดมะละกอบดออกจากสารละลายโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วย rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสหรือจนกว่าหกเซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะระเหยออกไปหมด นำน้ำมันที่ได้ไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละผลผลิตน้ำมัน (%yield) ที่ได้จากการสกัด โดยใช้สูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.1)

$$\text{ร้อยละผลผลิตน้ำมันที่ได้ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบ}} \times 100 \quad (3.1)$$

### 3.2.4.2 การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก (UAE)

นำเมล็ดมะละกอใส่ลงยังขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมหอกเซนปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำขวดรูปชมพู่จุ่มลงยังอ่างอัลตราโซนิก โดยวิธีการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิกในการศึกษานี้เป็นการสกัดแบบทางอ้อม จึงใช้แหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกแบบอ้อม โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่านคลื่นเสียงความถี่สูง ในการสกัดใช้อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณเมล็ดมะละกอตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ดังตาราง 3.4 เมื่อครบเวลาทำการกรอง ระเหยเอทิลเอเซนและคำนวณร้อยละผลผลิตน้ำมันเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.2.4.1

### 3.2.4.3 การสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE)

นำเมล็ดมะละกอบดใส่ขวดกันกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมหอกเซนปริมาณ 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปสกัดด้วยไมโครเวฟตัดแปลง โดยใช้ระยะเวลา กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟและปริมาณเมล็ดมะละกอตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ในตารางที่ 3.6 เมื่อครบเวลาทำการกรอง ระเหยเอทิลเอเซนและคำนวณร้อยละผลผลิตน้ำมันเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.2.4.1

### 3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและทวนสอบสมการ

ข้อมูลจากการสกัดในข้อ 3.2.4 จะถูกวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของการสกัด และเพื่อสร้างรูปแบบสมการลำดับที่ 2 รวมถึงแผนภาพพื้นผิวตอบสนองของทั้ง 3 วิธีการสกัด โดยมีรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 \quad (3.2)$$

โดยที่ Y คือ ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)

$\beta_0$  คือ สัมประสิทธิ์ของโมเดลทดลอง

$\beta_i$  คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร

$\beta_{ij}$  คือ สัมประสิทธิ์ของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

$\beta_{ii}$  คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้งของตัวแปร

การทวนสอบสมการทำได้โดยสุ่มการทดลอง 7 การทดลองจาก 15 การทดลอง ซึ่งคิดเป็น 47% ของการทดลองทั้งหมดเพื่อสร้างความแน่ใจในสมการว่ามีความเหมาะสมกับผลการทดลองจริง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแผนภาพ Normal plot ด้วยโปรแกรม SPSS 16.0 trial เพื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Pearson correlation) เทียบระหว่างค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

### 3.2.6 เปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

เปรียบเทียบผลกระทบของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันที่สกัดได้ วิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะมีภาวะในการสกัดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การสกัดแต่ละวิธีมีชนิดและปริมาณของปัจจัยที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ 5 วิธี ได้แก่ การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ปราศจากการใช้ความร้อนและใช้ระยะเวลาในการสกัดมาก, การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ใช้ความร้อนปานกลางและใช้ระยะเวลาในการสกัดมาก, การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาในการสกัดปานกลาง, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก (UAE) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดทางเลือกที่มีการนำการเกิด sonication มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่ำ และการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดทางเลือกที่มีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการสกัดต่ำ โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดของ MH, UAE และ MAE ได้มาจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 3.2.3 สภาวะการสกัดแบบ ML และ MH ใช้เวลาและสัดส่วนของเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซนเหมือนกัน แต่ต่างกันเพียงอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เพื่อพิจารณาว่าอุณหภูมิมีผลต่อสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลผลิตน้ำมันมากน้อยเพียงใด ส่วนสภาวะการสกัดแบบ RE เป็นสภาวะที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อความสะดวกต่อการดำเนินงาน

3.2.6.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) โดยใช้วิธีของ AOAC (1997) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันหากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัม เติมน้ำละลายที่นอลิฟธาไลน์ 2 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที คำนวณหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์หรือค่าแอกซิดดิงสมการที่ (3.3) และ (3.4)

$$\text{Acid Value (\%)} = \frac{\text{OH (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH(N)} \times \text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน}}{10 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.3)$$

$$\text{Free Fatty Acid} = \frac{\text{ปริมาตรของ KOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH (N)} \times 56.1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.4)$$

3.2.6.2 วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; PV) โดยใช้วิธีของ AOCS (1997) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมัน ทำได้โดยการชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม เติมน้ำละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร และเติมน้ำละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิมตัว 0.5 มิลลิลิตร เขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเป็นเวลา 1 นาทีในที่มืดและเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 N จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแข็งความเข้มข้น 1% 2 มิลลิลิตรและไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย สามารถคำนวณค่าเปอร์ออกไซด์ตั้งสมการที่ (3.5)

$$PV \text{ (mEq peroxide /Kg)} = \frac{(\text{ปริมาตร Na}_2\text{H}_2\text{O}_3 \text{ ของตัวอย่าง} - \text{blank, ml}) \times (N) \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.5)$$

3.2.6.3 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม (Total phenolic compounds) โดยดัดแปลงวิธีของ Hrnčirik และ Fritsche (2004) โดยนำตัวอย่างน้ำมันมา 2.5 กรัมละลายในเฮกเซน 5 มิลลิลิตร เติมน้ำผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำในอัตราส่วน 3:2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการเขย่าเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อัตราการหมุน 3500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของชั้นที่เป็นเฮกเซนกับชั้นที่เป็นสารผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ นำส่วนใสในชั้นสารผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำมา 0.20 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำผสมระหว่าง Folin-Ciocalteu Reagent ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที เติมน้ำ 35 เปอร์เซ็นต์  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกันและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากกราฟมาตรฐานปริมาณกรดแกลลิกในช่วง 2 – 20 ไมโครกรัม

3.2.6.4 วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ใช้วิธีของ Lee และคณะ (2007) โดยการนำน้ำมัน 1 กรัม ละลายในเอทิลอะซิเตท 10 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร เตรียม DPPH เข้มข้น  $10^{-4}$  M ในเอทิลอะซิเตททำได้โดยชั่ง DPPH มา 0.0039 กรัมมาละลายในเอทิลอะซิเตทปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย DPPH เข้มข้น  $10^{-3}$  M จากนั้นดูดสารละลาย DPPH เข้มข้น  $10^{-3}$  M มา 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในเอทิลอะซิเตท จนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 50 มิลลิลิตรจะได้สารละลายมาตรฐาน DPPH เข้มข้น  $10^{-4}$  M นำสารละลายที่มีน้ำมัน มา 2 มิลลิลิตรใสในขวดวัดปริมาตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น DPPH 9 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 10 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 60 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

3.2.6.5 วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS อ้างอิงการวิเคราะห์โดยวิธีของ Sevim และคณะ (2013) โดยเริ่มจากการเตรียมสาร ABTS ให้อยู่ในรูปอนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  โดยการเตรียม ABTS 7 mM ผสมกับ  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  2.45 mM ในอัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้ในที่มืดและที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง แล้วทำการเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลจนมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( $\pm 0.02$ ) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำตัวอย่างหรือสารมาตรฐานมา 0.3 มิลลิกรัมและเติมอนุภาค ABTS<sup>•+</sup> ที่เจือจางแล้ว 4 มิลลิกรัม ใส่ลงไปในห้องทดลอง ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร

3.2.6.6 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ในแต่ละวิธี โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC 2 Mettler Toledo ตามกรรมวิธีของ Yanty และคณะ (2014) เริ่มจากนำน้ำมันตัวอย่างบรรจุใส่ภาชนะลึมนิยมประมาณ 8-12 มิลลิกรัม เทียบกับภาชนะลึมนิยมเปล่าที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่าง เพื่อใช้อ้างอิง ซึ่งในการทดสอบ DSC ใช้ซอฟต์แวร์ Start up STARe ในการคำนวณและบันทึกค่า ซึ่งทุกตัวอย่างจะถูกตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน ด้วยการให้ความร้อนในอัตรา 5 องศาเซลเซียส/นาที โดยเริ่มจากการให้ความร้อนแรกจากอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส คงที่ไว้เป็นเวลา 5 นาที ไปจนถึงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คงที่ไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกิดขึ้นกับน้ำมันตัวอย่าง แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไปที่ -80 องศาเซลเซียส อีกครั้ง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

### 3.2.7 วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

หัวข้อที่ 3.2.3 วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design พิจารณาปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการสกัดและอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อปริมาณตัวทำละลาย ในการสกัดแบบแช่และการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิค และระยะเวลาการสกัด, กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อปริมาณตัวทำละลายในการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ

หัวข้อที่ 3.2.5 หาความสัมพันธ์ของค่าทำนายและค่าจากการทดลองโดย Pearson correlation วิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

หัวข้อ 3.2.6 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ให้วิธีการสกัดเป็นทรีทเมนต์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย New Duncan's Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดมะละกอแห้งสายพันธุ์ฮอลล์แลนด์ (*Carica papaya* Linn.) ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกล็ดเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต จากการทดลองพบว่าเมล็ดมะละกอมีไขมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีสัดส่วนสูงถึง  $29.34 \pm 0.32$  และ  $36.52 \pm 0.00$  % ตามลำดับ และประกอบด้วยโปรตีน เกล็ดเยื่อใย  $5.75 \pm 0.04$ ,  $28.04 \pm 0.51$ ,  $0.09 \pm 0.00$  และ  $0.26 \pm 0.0$  % ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malacrida และคณะ (2010) พบว่าในเมล็ดมะละกอมีสัดส่วนของไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและเถ้า เท่ากับ  $29.16 \pm 0.88$ ,  $30.51$ ,  $6.43 \pm 0.12$ ,  $25.63 \pm 0.29$  และ  $8.27 \pm 0.01$  โดยจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมล็ดมะละกอมีปริมาณไขมันในเมล็ดมะละกอสูงกว่ามะกอก, เมล็ดองุ่นและเมล็ดแอปเปิล (22-24, 8-15 และ 21-24%) แต่น้อยกว่าในเมล็ดแตงโมและเมล็ดฟักทอง (50 และ 42-45%)

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอสุก

องค์ประกอบ	สัดส่วน (%)
ความชื้น	$5.75 \pm 0.04$
โปรตีน	$28.04 \pm 0.51$
ไขมัน	$29.34 \pm 0.32$
เยื่อใย (crude fiber)	$0.26 \pm 0.00$
เถ้า	$0.09 \pm 0.00$
คาร์โบไฮเดรต	$36.52 \pm 0.00$

#### 4.2 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

##### 4.2.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

##### 4.2.1.1 การสกัดแบบแช่

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) สำหรับผลการทดลองของการออกแบบ CCD ของการสกัดแบบแช่ แสดงในตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่าการสกัดแบบแช่เหมาะสมตรงกับแบบเชิงเส้น (Linear) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8206 ได้รับการยอมรับให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ค่า p-value ของรูปแบบสมการมีความเหมาะสม (Model fit) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล (Lack-of-fit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามเชิงเส้นของ ME

Source	Sum of Square	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F	
Model	345.25	3	115.08	30.31	<0.0001	significant
X <sub>1</sub> -Temperature	11.73	1	11.73	3.09	0.0980	
X <sub>2</sub> -Time	68.16	1	68.16	17.95	0.0006	
X <sub>3</sub> -Sample to hexane ratio	265.36	1	265.36	69.89	<0.0001	
Residual	60.75	16	3.80			
Lack of Fit	51.12	11	4.65	2.41	0.1708	Not significant
Pure Error	9.63	5	1.93			
Cor Total	406.00	19				
Adjusted R <sup>2</sup> = 0.8206						

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองแบบกำลังหนึ่ง (Linear) ของ ME ดังแสดงในสมการที่ 3.2 มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนจำลองที่จะใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบ ME และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆกับค่าผลตอบสนองหลังจากตัวตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติออกได้ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$Y = 20.99887 + 0.092666X_1 + 0.74470X_2 - 0.88160X_3 \quad (4.1)$$

#### 4.2.1.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) สำหรับผลการทดลองของการออกแบบ CCD ของการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด แสดงในตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแทนจำลองเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่าการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเหมาะสมตรงกับแบบกำลังสอง (Quadratic) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9580 ได้รับการยอมรับให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ค่า p-value ของรูปแบบสมการมีความเหมาะสม (Model fit) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล (Lack-of-fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.05) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ทำการศึกษา

**ตารางที่ 4.3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสองของ UAE

Source	Sum of Square	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F	
Model	134.61	9	14.96	25.37	<0.0001	significant
X <sub>1</sub> -Temperature	4.73	1	4.73	8.02	0.0178	
X <sub>2</sub> -Time	7.46	1	7.46	12.66	0.0052	
X <sub>3</sub> -Sample to hexane ratio	101.29	1	101.29	171.83	<0.0001	
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	3.50	1	3.50	5.93	0.0351	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	7.09	1	7.09	12.02	0.0060	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.95	1	0.95	1.60	0.2341	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	7.25	1	7.25	12.31	0.0057	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	3.19	1	3.19	5.42	0.0422	
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.21	1	0.21	0.36	0.5636	
Residual	5.89	10	0.59			
Lack of Fit	4.40	5	0.88	2.96	0.1297	Not significant
Pure Error	1.49	5	0.30			
Cor Total	140.50	19				
Adjusted R <sup>2</sup>	=0.9580					

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองแบบกำลังสอง (Quadratic) ของ UAE ดังแสดงในสมการที่ 3.2 มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนจำลองที่จะใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบ UAE และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆกับค่าผลตอบหลังจากตัวตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติออกได้ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$Y = 23.95100 + 0.41943X_1 - 0.082593X_2 - 148.91344X_3 + 0.00440833X_1X_2 + 1.8825X_2X_3 + 0.45833X_1X_3 - 0.0070948X_1^2 - 0.0020925X_2^2 - 48.32547X_3^2 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.3 การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) สำหรับผลการทดลองของการออกแบบ CCD ของการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด แสดงในตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่าการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเหมาะสมตรงกับแบบกำลังสอง (Quadratic) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9522 ได้รับการยอมรับให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ค่า p-value ของรูปแบบสมการมีความเหมาะสม (Model fit) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล (Lack-of-fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสองของ MAE

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F value	p-value Prob > F	Significance
Model	159.62	9	17.74	43.11	< 0.0001	significant
X <sub>1</sub> -Time	45.89	1	45.89	111.56	< 0.0001	
X <sub>2</sub> -Power	20.98	1	20.98	51.01	< 0.0001	
X <sub>3</sub> -Ratio	39.41	1	39.41	95.81	< 0.0001	
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	3.70	1	3.70	8.99	0.0134	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1.36	1	1.36	3.31	0.0989	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1.33	1	1.33	3.23	0.1025	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	9.26	1	9.26	22.51	0.0008	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	18.47	1	18.47	44.91	< 0.0001	
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	27.72	1	27.72	67.37	< 0.0001	
Residual	4.11	10	0.41			
Lack of Fit	2.88	5	0.58	2.33	0.1876	not significant
R <sup>2</sup>				0.9749		
Adjust R <sup>2</sup>				0.9522		

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองแบบกำลังสอง (Quadratic) ของ MAE ดังแสดงในสมการที่ 3.2 มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแบบจำลองที่จะใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบ MAE และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆกับค่าผลตอบสนองหลังจากตัวตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติออกได้ดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$Y = 36.76 - 1.70X_1 - 0.04X_2 - 0.99X_3 + 0.002X_1X_2 + 0.20X_1^2 + 0.00005X_2^2 + 0.06X_3^2 \quad (4.3)$$

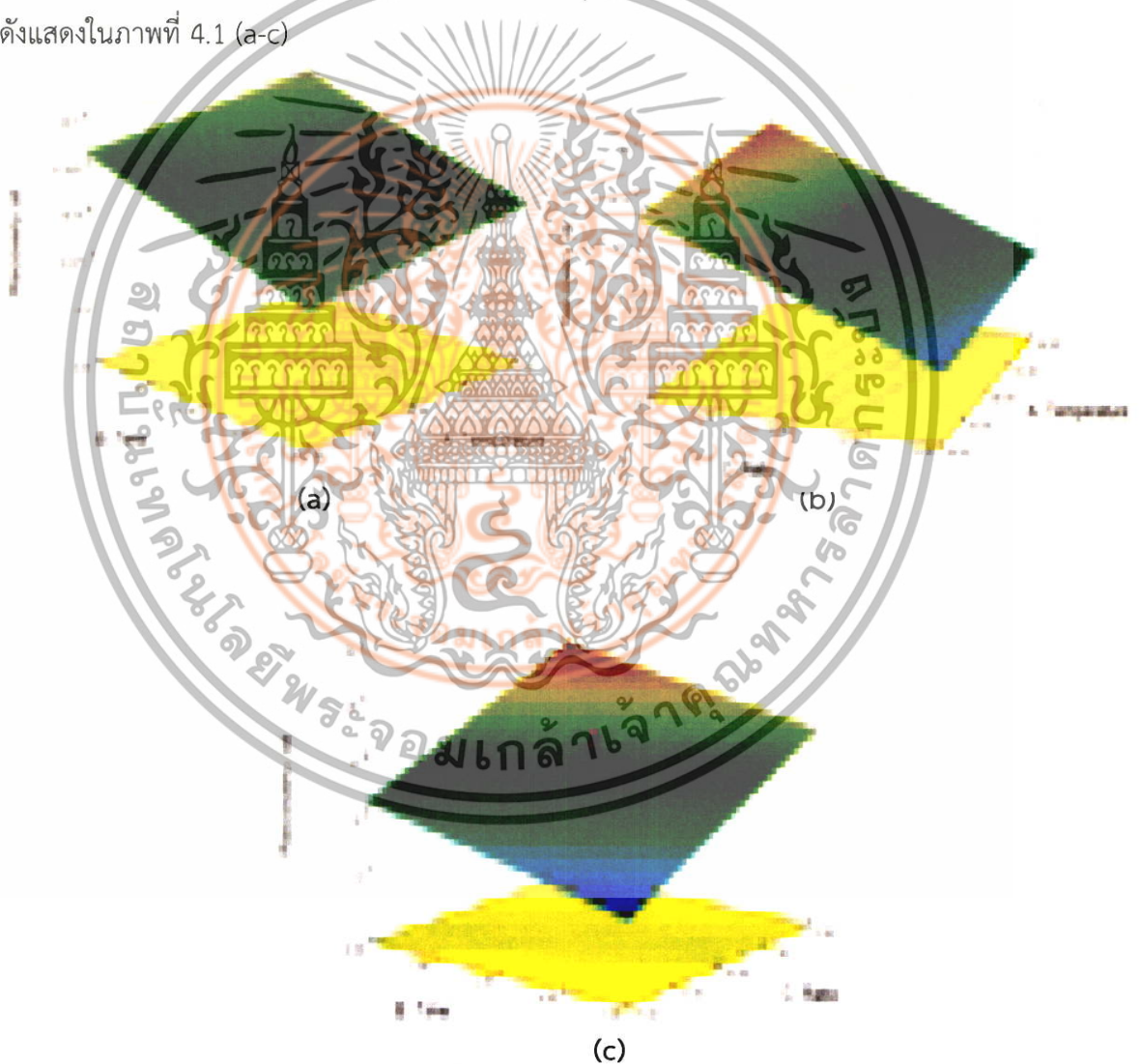
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

จากการสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME), การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) และการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE) โดยใช้แผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) สร้างเป็น 20 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย 3 ตัวแปรต้น และ 1 ตัวแปรตาม สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ สภาวะการสกัดแบบประหยัดระยะเวลาและสารละลายในการสกัด

##### 4.2.2.1 การสกัดแบบแช่

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (สมการที่ 4.1) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอดังแสดงในภาพที่ 4.1 (a-c)



ภาพที่ 4.1 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด (a) ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (b) และระยะเวลาในการสกัดและ

อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (c) ของการสกัดแบบแช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 (a) และ (c) จากภาพแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดที่มากขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นส่งผลให้สารละลายสามารถเข้าสู่เมล็ดมะละกอได้มากขึ้น ส่งผลให้สารละลายดังกล่าวสามารถชะน้ำมันออกจากเมล็ดมะละกอสู่อ่างละลายได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mani และ Vadivambalthe (2007) จากภาพที่ 4.1 (a) และ (c) พบว่า จากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้น ตั้งแต่ 0.95-11.05 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดสูงขึ้นต่อเนื่องอย่างไม่สิ้นสุด สามารถอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้โดย Fick's second law ที่กล่าวไว้ว่า สมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นไม่ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าช่วงของระยะเวลาในการสกัดระหว่าง 0.95-11.05 ชั่วโมง ยังไม่ครอบคลุมสมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและเมล็ดมะละกอ

ผลของสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเซน ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 (b) และ (c) พบว่าสัดส่วนเมล็ดมะละกอต่อกะเซนที่น้อยลงหรือการใช้กะเซนในการสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากปริมาณสารละลายในการสกัดมีผลต่อการแพร่และการลดความหนืดของสารละลายในการสกัด การใช้สารละลายที่มากหรือการใช้สัดส่วนเมล็ดมะละกอต่อกะเซนน้อย ส่งผลให้เกิดการทำละลายที่เพียงพอ ช่วยเพิ่มการแพร่และช่วยลดความหนืดของสารละลาย ทำให้สารละลายสามารถเข้าสู่เมล็ดมะละกอได้มากขึ้นส่งผลให้กะเซนสามารถชะน้ำมันในเมล็ดมะละกอได้มากขึ้น ส่งผลให้การสกัดดังกล่าวได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดที่สูงขึ้น

ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 (a) และ (b) จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิสูงส่งผลให้น้ำมันในการสกัดมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้เนื้อเยื่อของเมล็ดมะละกออ่อนตัวลงและเพิ่มการแพร่ของสารละลาย ด้วยเหตุนี้สารละลายจึงสามารถเข้าสู่เมล็ดมะละกอและชะน้ำมันออกจากเมล็ดมะละกอมาสู่อ่างละลายได้สูงขึ้น ส่งผลให้ในการสกัดได้ปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) อาจเนื่องมาจากสองสาเหตุด้วยกัน สาเหตุแรกได้แก่ ช่วงของอุณหภูมิในการสกัดในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันน้อยเกินไปส่งผลให้ไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณน้ำมันในการสกัด แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของจุดเดือด (Boiling point) ของสารละลาย (กะเซน) จึงไม่สามารถขยายช่วงของอุณหภูมิในการสกัดให้กว้างกว่านี้ได้ ส่วนสาเหตุที่สองคือ อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ แต่ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยการสกัดอีกสองปัจจัย (ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเซน) ทำให้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) แล้วพบว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) จากสมการที่สร้างขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัด ได้แก่ อุณหภูมิ  $58^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันต่อรับในการสกัด (ค่าทำนาย ณ สภาวะการสกัดที่เหมาะสม) เท่ากับ 28.67 % หรือร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด 97.72% โดยสมการและสภาวะที่ถูกสร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำมา ทวนสอบความเที่ยงตรงในการทำนายอีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าสมการและสภาวะที่เหมาะสมที่ ทำนายสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ มีความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใด

#### 4.2.2.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (สมการที่ 4.2) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟ พื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (a-c)



ภาพที่ 4.2 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด (a) ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (b) และระยะเวลาในการสกัดและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (c) ของการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก

ผลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังภาพ 4.2 จากภาพแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4.77 ถึง 30 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดที่สูงขึ้น แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการสกัดเป็นระยะเวลา 30 นาทีขึ้นไป การสกัดให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดประมาณ 30 นาที คือสมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและเมล็ดมะละกอ กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้น (มากกว่า 30 นาที) ไม่ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ตาม Fick's second law เช่นเดียวกับการสกัดแบบแช่

ผลของสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซนและอุณหภูมิ ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังภาพ 4.3 พบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการสกัดแบบแช่ (ME)

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) จากสมการที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 4.2.1.2 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัดเวลาและสารละลายในการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 47°C เป็นเวลา 35.47 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันต่อรับ (ค่าทำนาย) ในการสกัดเท่ากับ 27.45 % หรือ ร้อยละ 93.56 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ตามลำดับ โดยสมการและสภาวะที่ถูกสร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำมาทวนสอบความเที่ยงตรงในการทำนายอีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าสมการและสภาวะที่เหมาะสมที่ทำนายสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

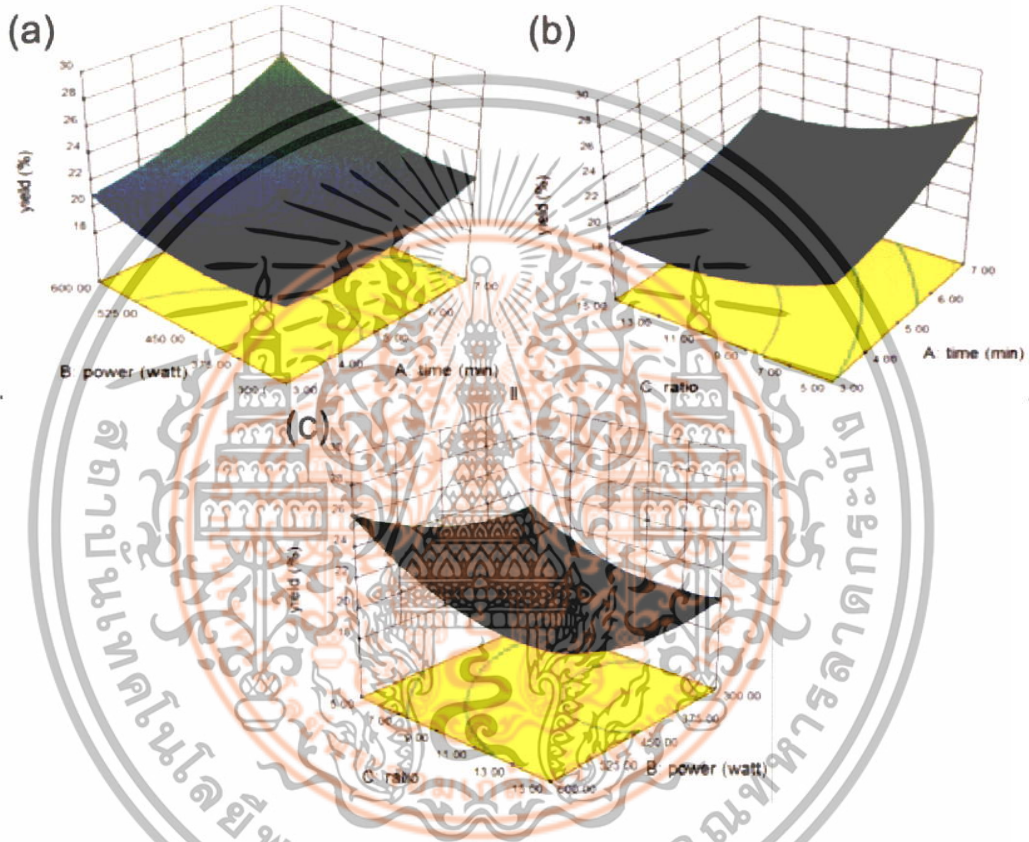
เมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) พบว่าการสกัดแบบ UAE ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดน้อยกว่าวิธีการสกัดแบบ ME เนื่องจากการสั่นสะเทือนของตัวกลางที่เกิดจากคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดหรืออัลตราซาวนด์ช่วยส่งเสริมให้พื้นที่สัมผัสระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายมากขึ้น ดังนั้นในการสกัดดังกล่าวสารละลายจึงสามารถเข้าสู่ตัวถูกละลายได้มากขึ้น ส่งผลให้ได้รับผลตอบแทนในการสกัดสูงขึ้นตามไปด้วย (Samaram และคณะ., 2015) นอกจากนี้การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากคลื่นเสียงความถี่สูงยังช่วยเพิ่ม hydrodynamic force ส่งผลให้ผนังเซลล์ของตัวถูกละลายถูกรบกวนได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลตอบแทนในการสกัดสูงขึ้น (Knorr และคณะ., 2002) และคลื่นเสียงความถี่สูงยังก่อให้เกิด Cavitation เมื่อเกิดฟองอากาศแล้วแตกออกจะเกิดความดันขึ้น โดยความดันที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อของตัวถูกละลาย ดังนั้นจึงทำให้ตัวถูกละลายสามารถปลดปล่อยสารประกอบต่างๆภายในเซลล์ออกสู่สารละลายได้สูงขึ้น จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าวิธีการสกัดแบบ UAE เป็นวิธีการสกัดทางเลือกที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดได้ โดยสมการที่สร้างขึ้นและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดที่ถูกทำนายขึ้นจะถูกนำมาทวนสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันว่าสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้แม่นยำเพียงใด และสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นตัวแทนของสภาวะการสกัดของวิธีการสกัดนั้นๆเพื่อศึกษาว่าวิธีการสกัดแบบ UAE หรือการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด มีผลกระทบต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเคมี, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนหรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมเช่นการสกัดแบบ ME

#### 4.2.2.3 การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (สมการที่ 4.3) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (a-c)



ภาพที่ 4.3 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้า (a) ผลของระยะเวลาและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (b) และผลของกำลังไฟฟ้าและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (c) ของการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ

จากภาพที่ 4.3(a) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ โดยกำหนดให้ระดับของอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลายอยู่ที่ระดับกลาง (10 %w/v) พบว่าการใช้เวลาในการสกัดนานจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.0001 เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ระดับของตัวแปรทั้งสองที่ค่าสูงๆ จะให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ (Interaction effect) ระหว่างตัวแปรคือระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ภาพที่ 4.3(b) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของระยะเวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นหาประโยชน์จากเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดและอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย โดยกำหนดให้ระดับของกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ระดับกลาง (450 วัตต์) พบว่าการใช้เวลาในการสกัดนานจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย พบว่าการใช้อัตราส่วนที่ต่ำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงกว่าการใช้อัตราส่วนที่สูงและภาพที่ 4.2(c) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟและอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย โดยกำหนดให้ระดับของระยะเวลาในการสกัดอยู่ที่ระดับกลาง (5 นาที) พบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงขึ้นและการใช้อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลายต่ำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุง

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอมากที่สุดโดยการนำสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.3) มาคำนวณพบว่าค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอดัวด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด คือ การสกัดโดยใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 7 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 600 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย 7% (w/v) ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุง 28% โดยมีค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ (Desirability) เท่ากับ 1.000 ถึงแม้สถานะที่ได้นี้จะเป็นสถานะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอมากที่สุด แต่จะเห็นได้ว่าต้องใช้เวลาในการสกัดนานถึง 7 นาทีกับการสกัดด้วยปริมาณน้อย (อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน 7 %w/v) ซึ่งถือว่าสิ้นเปลืองพลังงานและตัวทำละลายมาก

สถานะที่เหมาะสมเป็นสถานะที่ใช้ในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงที่ทำให้ได้ผลผลิตมากที่สุด แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอดัวด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองระยะเวลาการสกัดน้อยที่สุด เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ข้อมูลปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงจึงได้ถูกเลือกมาเป็นปริมาณผลผลิตเป้าหมาย (29.34%) เนื่องจากเป็นค่าสูงสุดที่จะสามารถสกัดได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.1) และได้ใช้สมการที่ 4.3 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ในการคำนวณหาความแตกต่างของระยะเวลาในการสกัดจากการกำหนดให้ใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) ซึ่งได้แสดงผลในตารางที่ 4.4 พบว่าการสกัดที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าการสกัดที่กำลังไฟฟ้า 600 และ 700 วัตต์ ถึง 280 และ 180 วินาที ตามลำดับ แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยลง

**ตารางที่ 4.5** เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงเท่ากัน

เวลา (นาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน (% w/v)	Yield (%)
2.32	800	7	28
5.32	700	7	28
6.99	600	7	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย ที่แผนภาพพื้นผิวตอบสนอง (ภาพที่ 4.3) แสดงผลว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสุงกว่า แต่การใช้อัตราส่วนเมล็ดต่ำ เป็นการสิ้นเปลืองการใช้เฮกเซน เนื่องจากใช้ปริมาณของเฮกเซนเท่ากันในการสกัดทุกครั้ง คือ 150 มิลลิลิตร แต่สกัดวัตถุดิบได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงได้ทำการคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดจากการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนสูง (15 %w/v) ด้วยสมการที่ 4.3 ซึ่งได้แสดงผลในตารางที่ 4.5 และพบว่าการสกัดที่ก่ำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าการสกัดที่ก่ำลังไฟฟ้า 600 และ 700 วัตต์ 212 และ 127 วินาทีตามลำดับ แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยลง แต่การมีผลลดลงของระยะเวลาในการสกัดน้อยกว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v)

**ตารางที่ 4.6** เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนระดับสูงเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน

เวลา (นาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน (% w/v)	Yield (%)
4.92	800	15	28
7.05	700	15	28
8.46	600	15	28

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าการสกัดโดยใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อตัวทำละลายในอัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน 15 %w/v สามารถให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอตามเป้าหมาย (28 %) ได้เช่นเดียวกับการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) แต่ระยะเวลาในการสกัดของการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนสูง (15 %w/v) มากกว่าอัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) อยู่ถึง 156 วินาทีหรือคิดเป็น 2.6 นาที ซึ่งหมายความว่า การใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) ให้ผลการสกัดที่ดีกว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนสูง (15 %w/v) เพราะใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยกว่า

ในกรณีที่ใช้เวลาในการสกัดเท่ากัน คือ 2.32 นาที การลดกำลังไฟฟ้าลงเหลือ 700 และ 600 วัตต์ ส่งผลให้สกัดวัตถุดิบได้น้อยลงถึง 2 เท่าและ 7 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าในการสกัดสูงขึ้นให้ประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ

**ตารางที่ 4.7** เปรียบเทียบอัตราส่วนเมล็ดมะละกเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันแต่ระยะเวลาในการสกัดเท่ากันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน

เวลา (นาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน (% w/v)	Yield (%)
2.32	800	7	28
2.32	700	3.2	28
2.32	600	1	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยคือ การสกัดโดยใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 2.32 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย 7% ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 28%

#### 4.2.3 การทวนสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ทำการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการของการสกัดแบบแช่ (ME) การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) และการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE) โดยทำการสุ่มสถานะการสกัด 7 สถานะ จาก 15 สถานะ (การทดลอง 1 ซ้ำ) หรือคิดเป็นประมาณ 46% ของการทดลองทั้งหมด เพื่อทวนสอบความเที่ยงตรงในการทำนายปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสมการ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.7, 4.8 และ 4.9

##### 4.2.3.1 การสกัดแบบแช่

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้นโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้ออกมาจากการสกัดกับปริมาณน้ำมันที่ได้ออกมาจากการทำนายในสถานะการสกัดเดียวกัน วิเคราะห์สหสัมพันธ์โดยพิจารณาจากค่า Pearson correlation ( $r$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) จากการทดลองพบว่าค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ),  $r$  และ MSE เท่ากับ 0.979, 0.989 และ 2.25 ( $R^2$ ) พบว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในการสกัดจากการทดลองจริงสูง โดยค่าสหสัมพันธ์ในการสกัดแบบแช่ มีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ของสมการที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดจากข้าวสาลีในงานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) ที่มีค่าสหสัมพันธ์ของสมการที่สร้างขึ้นเท่ากับ 0.89-0.94 ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการการสกัดแบบแช่ที่สร้างขึ้นดังกล่าวพบว่า สมการที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในการสกัดเพียงพอ เมื่อพิจารณาค่า  $r$  แสดงให้เห็นว่าค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กันทางเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.29 ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และ Rajaei และคณะ (2010) ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.66 และ 1.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความเที่ยงตรงเพียงพอ สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่

Std	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วนระหว่างเมล็ด มะละกอต่อกเฮกเซน (g/100 ml)	ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	
				ค่าทำนาย	ค่าทดลอง
9	31.18	6.00	10.00	19.54	18.54
5	38.00	3.00	15.00	13.53	12.93
13	48.00	6.00	1.59	28.51	27.59
14	48.00	6.00	18.41	13.69	12.17
2	58.00	3.00	5.00	24.20	25.51
6	58.00	3.00	15.00	15.38	14.38
10	64.82	6.00	10.00	22.66	21.31
				MSE =	1.29

#### 4.2.3.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้นโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอต่อกโดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันต่อรับที่ได้จากการสกัดกับปริมาณน้ำมันต่อรับที่ได้จากการทำนายในสภาวะการสกัดเดียวกัน จากการทดลองพบว่ามีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ),  $r$  และ MSE เท่ากับ 0.894, 0.896 และ 2.25 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า  $r$  แสดงให้ทราบว่าค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กันทางเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.25 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และงานวิจัยของ Rajaei และคณะ (2010) ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.66 และ 1.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้ แต่มีค่าความคาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสมการจากงานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นสมการที่สร้างขึ้นจึงเหมาะกับการทำนายแบบคร่าวๆ ที่ไม่ต้องการความละเอียดนัก

ตาราง 4.9 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

Std	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนระหว่างเมล็ด มะละกอต่อกเฮกเซน (g /100 ml)	ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	
				ค่าทำนาย	ค่าทดลอง
11	31.18	30.00	10.00	21.76	21.54
1	38.00	15.00	5.00	26.80	26.46
2	38.00	45.00	5.00	26.27	25.11
6	38.00	45.00	15.00	19.63	22.80
13	48.00	30.00	1.57	29.00	28.20
14	48.00	30.00	18.41	19.84	21.50
7	58.00	15.00	15.00	20.52	21.41

MSE = 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.3 การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้นโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้ออกมาจากการสกัดกับปริมาณน้ำมันที่ได้ออกมาจากการทำนายในสภาวะการสกัดเดียวกัน จากการทดลองพบว่ามีความสัมพันธ์ ( $R^2$ ),  $r$  และ MSE เท่ากับ 0.892, 0.945 และ 0.63 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า  $r$  แสดงให้เห็นว่าค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กันทางเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.25 ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และงานวิจัยของ Rajaei และคณะ (2010) ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.66 และ 1.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้ดีเมื่อเทียบกับสมการจากงานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นสมการที่สร้างขึ้นจึงเหมาะกับการทำนายแบบคร่าวๆ ที่ไม่ต้องการความละเอียดนัก

ตาราง 4.10 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด

Std.	เวลา (นาท.)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน (%w/v)	ปริมาณผลผลิตน้ำมัน (%)	
				ค่าทำนาย	ค่าทดลอง
8	3.00	600	5.00	24.07	25.76
10	5.00	450	18.41	21.39	21.72
11	3.00	300	5.00	22.13	22.29
12	5.00	450	1.59	27.11	27.58
13	8.36	450	10.00	25.67	24.85
19	7.00	600	15.00	24.88	24.2
20	5.00	450	10.00	20.33	20.12
				MSE =	0.63

#### 4.2.4 การทวนสอบความเที่ยงตรงของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME), การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) และการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE) แสดงดังตารางที่ 4.10 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE โดยกำหนดเงื่อนไขใช้อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและเฮกเซนในการสกัดน้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดการใช้พลังงานและสารละลาย โดยยังคงให้ปริมาณน้ำมันที่ได้ออกมาสูงสุด คือ ณ สภาวะ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร, 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35.47 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที โดยใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 7 กรัม/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร ตามลำดับ ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับ  $27.99 \pm 1.16$ ,  $MSE = 1.54$ ,  $26.66 \pm 0.24$ ,  $MSE = 0.42$  และ  $27.29 \pm 0.58$  ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.11** สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแบบ ME และ UAE

วิธีการสกัด	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ค่าจริง (ค่าเฉลี่ย)	ค่าทำนาย	MSE	Error (%)
ME	58.00 °C	9.00 ชั่วโมง	5 g/100ml	$27.99 \pm 1.16$	28.67	1.54	5.37
UAE	47.00 °C	35.47 นาที	5 g/100ml	$26.66 \pm 0.24$	27.45	0.42	1.53
MAE	2.32 นาที	800 วัตต์	7 g/150ml	$27.29 \pm 0.58$	28.00	0.73	2.55

จากการทดลองเมื่อพิจารณาจาก mean square of error หรือ MSE พบว่า สมการการสกัดน้ำมันจากวิธี ME และ UAE มีค่า MSE ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับ MSE จากงานวิจัยของ ของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และงานวิจัยของ Rajaei และคณะ (2010) ดังแสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอของวิธีการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สามารถนำไปใช้ได้จริง

#### 4.2.5 ผลของวิธีสกัดต่อปริมาณน้ำมันและการใช้พลังงาน

ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีแช่, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิและการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ ที่สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.2 แสดงดังตารางที่ 4.12

**ตารางที่ 4.12** ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดที่สภาวะที่เหมาะสม

วิธีการสกัด	ปริมาณผลผลิตน้ำมันในการสกัด (%)
ME (5g/100ml, 58°C, 9 ช.ม.)	27.99
UAE (5g/100ml, 47°C, 35.47 นาที)	26.66
MAE (10.5g/100ml, 2.32 นาที, 800 วัตต์)	27.29

จากผลการทดลองพบว่า การแช่ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดสูงสุด ตามด้วยการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟและการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิค คือ 27.99, 27.29 และ 26.66% ตามลำดับ แต่เนื่องจากการแช่ใช้ระยะเวลาในการสกัดนานกว่าการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิคและไมโครเวฟถึง 15 และ 233 เท่า ตามลำดับ จึงสิ้นเปลืองพลังงานในการสกัดสูงกว่าวิธีการสกัดอีกสองวิธีมาก ( ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการสกัดสูงกว่าวิธีการสกัดทั้งสองวิธี (UAE, MAE) จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าเทคนิคอัลตราโซนิคและไมโครเวฟเป็นเทคนิคที่สามารถประยุกต์ใช้ในการสกัดได้จริง สามารถลดระยะเวลาในการสกัดได้ ซึ่งทำให้ลดการใช้พลังงานในการสกัดลงส่งผลให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในการสกัดน้อยกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลของวิธีการสกัดต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML), การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH), การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE), การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก (UAE) และการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE) แสดงดังตารางที่ 4.13 โดยสมบัติทางเคมีของน้ำมันเป็นดัชนีที่บอกรถึงคุณภาพของน้ำมัน

ตารางที่ 4.13 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	AV (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	PV (mequiv./kg)
ML (30°C, 9 ชม.)	1.01 ± 0.00 <sup>b</sup>	2.42 ± 0.01 <sup>c</sup>
MH (58°C, 9 ชม.)	1.32 ± 0.03 <sup>c</sup>	4.47 ± 0.23 <sup>d</sup>
RE (70°C, 6 ชม.)	1.03 ± 0.03 <sup>b</sup>	NA
UAE (47°C, 35.47 นาที)	0.94 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.49 <sup>a</sup>
MAE (2.32 นาที, 800 วัตต์)	1.61 ± 0.05 <sup>d</sup>	1.80 ± 0.20 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : a, b, c คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ), NA คือ ไม่มีข้อมูล

Acid Value (AV) เป็นตัวชี้วัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่เกิดจากการแตกตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอล (Pellegrini และคณะ., 2011) โดยกรดไขมันจะส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพลดลง จากงานวิจัยของ Tamzid และคณะ (2007) พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ UAE มี AV น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ตามด้วย ML, RE, MH และ MAE ตามลำดับ โดยการสกัดแบบ ML และ RE มี AV ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดทั้งสองมีผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) จากผลการทดลองพบว่าการสกัดแบบ UAE มีผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลน้อยที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่า AV อาจเกิดจากสภาวะการสกัดที่มีปัจจัยที่ช่วยเร่งการเกิดออกซิเดชัน เช่น การสัมผัสออกซิเจน ความร้อนและแสง (Ulu, 2004 ; Liu และคณะ, 2014) น้อยกว่าวิธีการสกัดอื่นๆ ความร้อนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพลดลง (Ulu, 2004) และอุณหภูมิที่สูงยังส่งผลให้น้ำมันมี Acid Value สูงขึ้น (Atinafu และ Bedemo, 2011) ซึ่ง UAE เป็นวิธีการสกัดที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (47°C) เมื่อเทียบกับการสกัดอื่นๆ (RE = 70°C, MH = 58°C และ MAE) นอกจากนี้จากงานวิจัยนี้ยังพบว่าการประยุกต์ sonication เพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันไม่ส่งผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไม่ช่วยเร่งให้เกิดการออกซิเดชันในน้ำมันที่สกัดได้ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ค่า Peroxide Value (PV) ของน้ำมันที่สกัดได้ทั้งห้าวิธีแสดงดังตารางที่ 4.13 จากงานวิจัยนี้พบว่าการสกัดแบบ UAE ให้น้ำมันที่มีค่า PV น้อยที่สุด คือ 1.08 mequiv / kg ตามด้วยการสกัดแบบ MAE, ML และ MH คือ 1.80, 2.42 และ 4.47 mequiv / kg ตามลำดับ โดยน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ RE มีค่า PV น้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ ค่า Peroxide Value หรือ PV เป็น

ดัชนีบ่งชี้ขั้นเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืนและตรวจวัดผลิตภัณฑ์ขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันในเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมัน (Pellegrini และคณะ., 2011) โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดนี้จำเพาะกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Fernandes และคณะ., 2012) ซึ่งนำไปสู่การลดลงของคุณภาพน้ำมัน (Babalola และ Apata, 2011) จากงานวิจัยนี้พบว่า PV ของน้ำมันที่สกัดจาก UAE มีค่าน้อยที่สุด เป็นไปในทิศทางเดียวกับ AV เนื่องจากการสกัดแบบ UAE ส่งผลให้น้ำมันเกิดการออกซิเดชันน้อยที่สุด โดย AV หรือกรดไขมันอิสระ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมัน ซึ่ง PV เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากน้ำมันที่สกัดได้มีค่า PV สูง แสดงถึงการเกิดออกซิเดชันมาก ซึ่งส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีค่า AV มากตามไปด้วย จากงานวิจัยของ Onyeike และ Acheru (2002) พบว่า น้ำมันละหุ่ง, มะพร้าว, ถั่วลิสงค้, เมล่อน, ถั่ว และเมล็ดปาล์ม มีค่า PV เท่ากับ 22.7, 40.0, 20.0, 21.3, 23.3 และ 20.0 mg/g ของตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่า PV ของเมล็ดปาล์มจากงานวิจัยของ (Okogeri และ Okoro, 2014) คือ 3.35-16.00 meq/kg พบว่าค่า PV ที่แตกต่างกันไม่ได้ขึ้นกับชนิดของน้ำมันเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันด้วย (Moreno และคณะ., 2003) โดยเปอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนเป็น secondary product เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ได้ (Dawodu และคณะ., 2015) จากงานวิจัยนี้พบว่า น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ RE มีค่า PV น้อยมาก อาจเกิดจากการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ไปเป็น secondary product ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้อยกว่าปริมาณการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน โดย p-Anisidine Value (p-AV) เป็นดัชนีบ่งชี้ระดับ Secondary product ที่เกิดจากปฏิกิริยา Lipid oxidation ต่อจากการเกิด Peroxide หรือสารประกอบที่เกิดจากการแตกตัวของ Peroxide และอาจมีความสัมพันธ์กับค่า PV ของน้ำมันที่สกัดได้จาก RE ที่มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ จากงานวิจัยของ Guillermo และคณะ. (1999) พบว่า ระยะเวลาที่มีผลต่อการแตกตัวของ PV เป็น p-Anisidine น้อยมาก ดังนั้นในผลการวิจัยนี้การแตกตัวของ PV เป็น p-Anisidine ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเกิดจากผลกระทบบของอนุมูลที่ใช้ในการสกัดเป็นหลัก

#### 4.4 ผลของวิธีการสกัดต่อสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ปริมาณฟีนอลิกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธี ML , MH , RE, UAE และ MAE แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าผลผลิตน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบ RE มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด ตามด้วยวิธีการสกัดแบบ MH , UAE, ML และ MAE น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดแบบ RE มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเนื่องจากความร้อนและเวลาในการสกัดที่มากของ RE ช่วยเอื้ออำนวยให้สารประกอบในเนื้อเยื่อพืชออกสู่สารละลายได้มากขึ้น จากงานวิจัยของ Zuzana (2012) ได้ทำการศึกษาผลของอนุมูลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ที่สุดในเมล็ดมะละกอ (Malacrida และคณะ., 2011) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกสามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 90°C โดยการสกัดแบบ RE ใช้อุณหภูมิเพียง 70°C ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากอนุมูลที่ใช้พบว่าสภาวะในการสกัดของ RE ไม่มีผลต่อปริมาณฟีนอลิกในน้ำมันที่สกัดได้ ในทางกลับกันการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด (ไม่เกิน 90°C) ยังส่งเสริมให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกจากตัวอย่างได้มากขึ้น

ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธี ML , MH , RE และ UAE โดยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าผลผลิตน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบ RE มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระสูงสุด ตามด้วย วิธีการสกัดแบบ MH , UAE และ ML จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอพบว่าค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกที่ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากฟีนอลิกเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ที่สุดในเมล็ดมะละกอ (Malacrida และคณะ., 2011)

**ตารางที่ 4.14** ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	Total phenolic ( $\mu\text{g GAE/g}$ )	DPPH ( $\mu\text{Eq Trolox/g}$ )	ABTS ( $\mu\text{Eq Trolox/g}$ )
ML (30°C, 9 ชม.)	188.43 $\pm$ 10.58 <sup>b</sup>	6.47 $\pm$ 1.06 <sup>a</sup>	11.35 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>
MH (58°C, 9 ชม.)	204.62 $\pm$ 15.65 <sup>b</sup>	10.36 $\pm$ 2.36 <sup>b</sup>	14.61 $\pm$ 1.71 <sup>c</sup>
RE (70°C, 6 ชม.)	276.05 $\pm$ 31.12 <sup>c</sup>	19.89 $\pm$ 0.37 <sup>d</sup>	25.39 $\pm$ 0.32 <sup>e</sup>
UAE (47°C, 35.47 นาที)	195.33 $\pm$ 15.49 <sup>b</sup>	14.59 $\pm$ 0.48 <sup>c</sup>	19.87 $\pm$ 1.35 <sup>d</sup>
MAE (2.32 นาที, 800 วัตต์)	112.80 $\pm$ 2.44 <sup>a</sup>	8.02 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	8.29 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : a, b, c คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \geq 0.05$ ) ; NA คือ ไม่มีข้อมูล

#### 4.5 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่ได้จากวิธีการสกัดแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค Differential Scanning Colorimetry (DSC) เป็นวิธีในการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลวของไขมัน โดยอาศัยหลักการที่ว่าไขมันมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงเฟส จะมีการดูดหรือคายความร้อน โดยสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างจะถูกวัดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป โดย DSC จะช่วยสามารถศึกษาพฤติกรรมของการหลอมเหลวที่สมบูรณ์และการแข็งตัวของไขมัน ซึ่งจะมีประโยชน์ในการอธิบายคุณลักษณะของพฤติกรรมโดยรวมของผลิตภัณฑ์ได้ (Lidefelt, 2007)

จากภาพที่ 4.4a, 4.4b และ 4.4d เป็น DSC thermogram การหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดแบบแช่ (ME), การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิก (UAE) และการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ (MAE) หลังจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก -80 องศาเซลเซียส จนถึง 30 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยอุณหภูมิที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการหลอมเหลวได้แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME, UAE และ MAE เริ่มมีการหลอมเหลว (onset temperature,  $T_o$ ) ที่อุณหภูมิประมาณ -12.52, -13.00 และ -25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยจะมีการหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature,  $T_p$ ) ที่อุณหภูมิ -3.79, -7.54 และ -5.47 องศาเซลเซียส และเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ (offset temperature,  $T_f$ ) ที่ 5.96, 0.77 และ 3.57 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเอนทาลปีของการหลอมเหลวเท่ากับ 74.68, 79.68 และ 82.16 จูลต่อกรัม ตามลำดับ

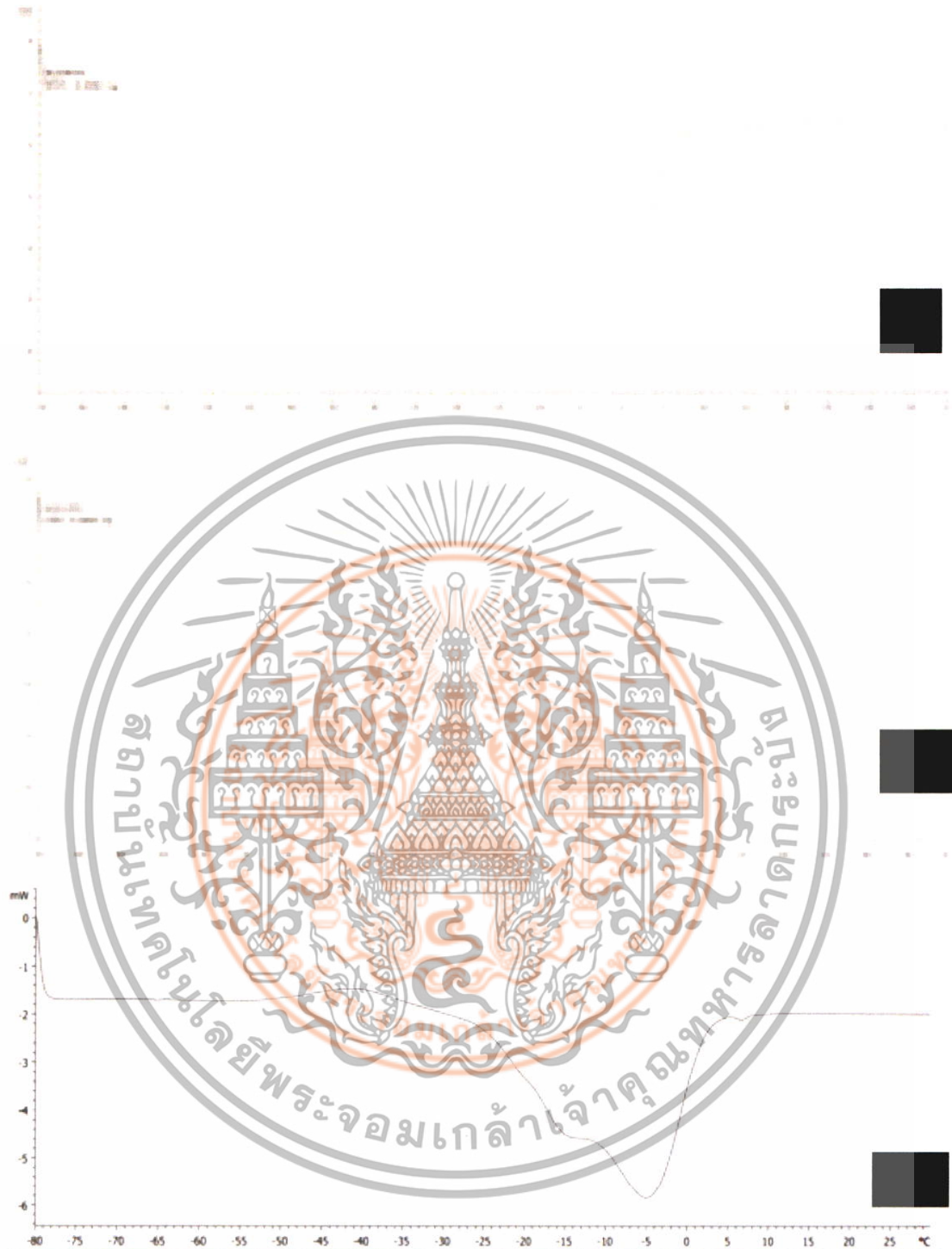
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากงานวิจัยของ Yanty และคณะ (2014) กล่าวว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ชนิด 000 ในปริมาณสูง (40.4 เปอร์เซ็นต์) รองมาคือไตรกลีเซอไรด์ชนิด POO และ SOO ที่มีปริมาณ 29.1 และ 9.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ชนิด 000 และ POO จะมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ  $\pm 5$  องศาเซลเซียสและ  $\pm 18$  องศาเซลเซียสตามลำดับ จากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จาก DSC thermogram โดยพีคที่อุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ชัดเจนที่สุดใน DSC thermogram ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ 000 ที่วิเคราะห์ได้ในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์เปรียบเทียบกับระหว่างน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME, UAE และ MAE พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดต่างกันมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกัน โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบ UAE และ MAE ซึ่งจากงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2014) กล่าวว่าพฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกามีผลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและการเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลวอาจมีผลมาจากการมีไตรกลีเซอไรด์อิมิตัวที่ไม่สามารถตรวจจับได้ เช่น distearoyl palmitin (SSP), dipalmitoyl linolein (PLP) หรือ dipalmitoyl olein (POP) (Samaram และคณะ, 2013)

จากพฤติกรรมการตกผลึกที่แสดงในภาพที่ 4.5 หลังจากการให้ความร้อนที่ 30 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที และทำการลดอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส จนถึง -80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยอุณหภูมิที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการตกผลึกได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME, UAE และ MAE มีพีคของการตกผลึกปรากฏขึ้นมา 2 พีค พบพีคแรกในการตกผลึกที่อุณหภูมิช่วง -5 ถึง -10 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากการตกผลึกของกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงหรือกรดไขมันชนิดอิมิตัว (พรรณิพรประชาชนวัฒน์, 2554 ; Samaram และคณะ, 2014) ในขณะที่กรดไขมันไม่อิมิตัวซึ่งมีประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เริ่มมีการตกผลึก (onset temperature,  $T_o$ ) ที่อุณหภูมิประมาณ -39 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นพีคที่สองที่มีการตกผลึกสูงสุด (peak temperature,  $T_p$ )

ในงานวิจัยของ Solis-Fuentes และ Durán-de-Bazúa (2007) กล่าวว่าน้ำมันที่มีกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิมิตัวในปริมาณสูง จะส่งผลให้เกิดการเจือจางกับกรดไขมันอิมิตัวในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิมิตัวในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งตกผลึกได้ง่ายกว่าลดลง ซึ่งในแง่ของพลังงานความร้อนในการตกผลึกอาจกล่าวได้ว่าไตรกลีเซอไรด์ต้องคายพลังงานสูงขึ้นในการตกผลึก เพราะกรดโอเลอิกต้องคายพลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงกว่ากรดไขมันอิมิตัวเพื่อให้เกิดการตกผลึก



ภาพที่ 4.4 พฤติกรรมการไหลของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME (a), UAE (b) และ MAE (c)

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการตกผลึก เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME, UAE และ MAE พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดต่างกันมีการตกผลึกแตกต่างกัน โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ MAE สามารถเกิดการตกผลึกได้เร็วกว่าน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME และ UAE ซึ่งจากงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2014) กล่าวว่า พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันมะละกออาจมีผลกระทบมาจากวิธีการสกัดและสภาวะในการสกัด และอาจมีผลมาจากการที่มีไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัวที่ไม่สามารถตรวจจับได้ เช่น linolenoyl diolein (LnOO) และ trilinolein (LLL) (Samaram และคณะ, 2013) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันเมล็ดมะละกอดิบ การศึกษาก่อนหน้านี้ (Puangsri และคณะ, 2005) ได้ศึกษาพฤติกรรมความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอพันธุ์ Batek Batu ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายและวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ การหลอมหลอมและการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทดลองนี้ มีความคล้ายคลึงกับของ Puangsri และคณะ (2005) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่ามีความแตกต่างของอุณหภูมิการหลอมเหลวและการตกผลึก ซึ่งอาจเกิดจากการใช้พันธุ์มะละกอและสภาวะในการสกัดแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (การหลอมเหลว)

วิธีการสกัด	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub>	พลังงานที่ดูดเพื่อหลอมละลาย (J/g)
	(°C)			
ME (58°C, 9 ชั่วโมง)	-12.52	-3.79	5.96	74.68
UAE (47°C, 35.47 นาที)	-13.00	-7.54	0.77	79.68
MAE (2.32 นาที, 800 วัตต์)	-25.90	-5.47	3.57	82.16

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (การตกผลึก)

วิธีการสกัด	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub>	พลังงานที่ดูดเพื่อหลอมละลาย (J/g)
	(°C)			
ME (58°C, 9 ชั่วโมง)	-35.13	-39.24	-44.64	72.17
UAE (47°C, 35.47 นาที)	-35.98	-38.37	-41.26	68.27
MAE (2.32 นาที, 800 วัตต์)	-39.03	-42.15	-45.50	77.51



ภาพที่ 4.5 พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ ME (a), UAE (b) และ MAE (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบแช่, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิคและการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอก คือ อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อเฮกเซน ในการสกัดแบบ ME และ UAE และเวลาที่ใช้ในการสกัด, กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อเฮกเซน ในการสกัดแบบ MAE โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้ ณ สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE จะถูกนำไปเปรียบเทียบกัน รวมถึงวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี, ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

#### สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอก

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอกสูงสุด โดยใช้ระยะเวลาและเฮกเซนในการสกัดน้อยที่สุดในการสกัดแบบ ME, UAE และ MAE คือ ณ สภาวะ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร, 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที โดยใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อเฮกเซน 7กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอก 27.99, 26.66 และ 27.29 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 95.40, 90.87 และ 93.01 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอกทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัดระยะเวลาและสารละลายพบว่า วิธีการสกัดแบบ ME ให้น้ำมันปริมาณมากที่สุด ตามด้วยวิธีการสกัดแบบ MAE และ UAE แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการสกัดพบว่าวิธีการสกัดแบบ MAE ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยที่สุด ตามด้วยวิธีการสกัดแบบ UAE และ ME โดย UAE และ ME ใช้ระยะเวลาในการสกัดมากกว่าวิธีการสกัดแบบ MAE ถึง 14 และ 216 เท่า ตามลำดับ

#### คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอก

สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อประเมินคุณภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดได้ โดยการตรวจ Acid value (AV) และ Peroxide value (PV) สามารถสรุปได้ว่าการสกัดแบบให้น้ำมันที่มีค่า AV และ PV สูงกว่าการสกัดแบบ ME, MH, RE และ UAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p < 0.05$ ) ส่วนการหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่าวิธีการสกัดทั้งห้าแบบนั้นมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยที่การสกัดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RE ให้ปริมาณฟีนอลิกมากกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดแบบ ML, MH, UAE และ MAE เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าวิธีการสกัดทั้งห้าแบบนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เนื่องจากความร้อนที่สูงจะส่งผลกระทบต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเพราะเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน รวมถึงส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย ทำให้ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง DPPH และ ABTS ของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดแบบ MAE น้อยกว่าการสกัดแบบ ML, MH, RE และ UAE และจากการทดลองยังว่าการเกิด Sonication จากการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

### คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบมีอ่างน้ำ โดยโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC 2 Mettler Toledo เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ในแต่ละวิธี จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากทั้งสามวิธีการสกัดมีจุดหลอมเหลวและสามารถเกิดผลึกได้ที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อการหลอมเหลวและการตกผลึกของน้ำมันคือ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกามีกรดโอเลอิกปริมาณมาก (ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความคงตัวต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีพันธะคู่เพียงแค่ตำแหน่งเดียวในโครงสร้าง เพราะฉะนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้ในการต้มหรือทอดแบบน้ำมันท่วม อีกทั้งยังเหมาะสำหรับใช้เป็นสเปรย์น้ำมันสำหรับอบอาหารว่าง, แครกเกอร์, คุกกี้, ผลไม้แห้งและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ นอกจากนี้ น้ำมันที่มีสัดส่วนไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงมักใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวที่ทำให้ผิวววล, ครีมนวดผมหและการแต่งหน้า คุณสมบัติเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะละกออาจมีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งน้ำมันโอเลอิกสูง สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารได้

### ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (CCD) มีปัจจัยที่ระดับ  $\pm\alpha$  เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้เกิดปัญหาในการกำหนดช่วงของปัจจัยให้พอดี เช่น กำลังไฟฟ้าในการสกัดที่ไม่สามารถกำหนดช่วงให้ครอบคลุม กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เครื่องไมโครเวฟสามารถตั้งได้ (100-800 วัตต์) จึงต้องอาศัยสมการทำนายในการคำนวณปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับแผนการทดลองที่สามารถแก้ปัญหาตรงจุดนี้ได้ เช่น แผนแบบบ็อกซ์-เบห์นกัน (Box-Behnken design, BBD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ก่อนที่น้ำมันเมล็ดมะละกจะสามารถนำไปใช้ ควรมีการการตรวจวิเคราะห์ทางด้านพิษวิทยาก่อน เพื่อยืนยันว่ามีปลอดภัยในทุกระดับการใช้งาน เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการใช้ น้ำมันเมล็ดมะละกอสําหรับอาหารหรือเพื่อวัตถุประสงค์ด้านอาหาร
3. เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการที่สถานประกอบการจะนำไปใช้ จึงต้องมีศึกษาเพิ่มเติมในระดับที่กว้างมากขึ้นเพื่อความเหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

#### 6.1 ผลผลิตประเภทกระบวนการใหม่ ระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 กระบวนการ

1) การสกัดแบบ ME คือ ณ สภาวะ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 27.99เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 95.40, เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอทั้งหมด แต่วิธี ME ใช้ระยะเวลาในการสกัดมากกว่าวิธีการสกัดแบบ MAE ถึง 14 และ 216 เท่า

2) การสกัดแบบ UAE 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 26.66 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 90.87 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอทั้งหมด

3) การสกัดแบบ MAE ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที โดยใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 7กรัม/100 มิลลิลิตร จะได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 27.29 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 93.01 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอทั้งหมด

ส่วนข้อดีข้อด้อยของวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (การสกัดแบบแช่, การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิค และการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ) มีการใช้อุปกรณ์, สภาวะในการสกัดและผลกระทบต่อสารสกัดที่แตกต่างกัน โดยการสกัดแบบแช่เป็นวิธีการสกัดที่ดำเนินการง่ายและไม่ต้องการอุปกรณ์ที่จำเพาะ การสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิคเป็นวิธีการสกัดที่มีผลกระทบต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันน้อยที่สุดและวิธีการสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟเป็นวิธีการสกัดที่ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยที่สุด ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการสกัดจึงขึ้นอยู่กับลักษณะของสารสกัดที่ต้องการสกัดและข้อจำกัดในการดำเนินการสกัด เช่น อุปกรณ์ในการสกัดหรือความเร็วของการดำเนินการสกัดเป็นต้น และจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมล็ดมะละกอเป็นแหล่งของไขมันจากพืชทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาจากปริมาณและคุณภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอ และการสกัดโดยเทคนิคอัลตราโซนิคและไมโครเวฟเป็นวิธีการสกัดที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการสกัด, ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ โดยทั้ง 3 กระบวนการเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงที่สุด โดยใช้ระยะเวลา และเฮกเซนในการสกัดน้อยที่สุดในการสกัด

#### 6.2 ผลผลิตประเภทบทความทางวิชาการ วารสารระดับชาติ TCI (เฉพาะกลุ่ม 1) จำนวน 1 เรื่อง

1) หนึ่งฤทัย หนูนยศ และ กิตติชัย บรรจง. 2561. ผลของวิธีการสกัดต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันคุณสมบัติทางเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 10(20): (ผ่านการพิจารณาแล้วอยู่ระหว่างรอการตีพิมพ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ผลผลิตประเภทบทความทางวิชาการ ในการประชุมระดับนานาชาติ จำนวน 2 เรื่อง

1) Pontip Katsuwan, Rachit Suwapanich, and Kittichai Banjong. Optimization of microwave-assisted extraction of papaya seed oil and evaluation of its antioxidant activity. Proceeding of The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017) 15-17 June 2017: 490-497.

2) Nuengruethai Noonyos, Rachit Suwapanich and Kittichai Banjong. Optimization of maceration and ultrasound-assisted extraction of papaya seeds oil by response surface methodology. Proceeding of The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017) 15-17 June 2017: 498-507.

### 6.4 ผลผลิตประเภทการพัฒนากำลังคน น.ศ. ระดับปริญญาโท สำเร็จการศึกษา จำนวน 2 คน

- 1) หนึ่งฤทัย หนูนยศ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) พรทิพย์ กาศสุวรรณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กาญจนา ชิงห์ และนิรมล อุตมอ่าง. 2558. ผลของการใช้ไมโครเวฟต่อการสกัดเคอคูมินอย์จากขมิ้นชัน. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

จรัล ทรัพย์เสรี. 2552. DOE Central Composite Design. [ออนไลน์]. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). เข้าถึงได้จาก : [www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145\\_p72-74.pdf](http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf). 26 มิถุนายน 2560.

จุฑามาศ ธรธา. 2552. การผลิตเอนโดกลูคาเนสโดยเชื้อราที่แยกจากดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหนาม. 2553. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มา และกลไกการเกิดปฏิกิริยา.” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1(1) : 59- 70.

ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2533. การปลูกมะละกอ. หน้า 20-32. ในสำนักสวัสดิการสังคม กองสวนสาธารณะ. วันต้นไม้ประจำปีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: กองสวนสาธารณะ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ดารณี เจริญสุข. 2554. น้ำมันเมล็ดยางพารากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ. ปีที่ 5(3) : 25.

ดวงกมล เรืองงาม. 2557. การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ (Extraction of Antioxidants). วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. ปีที่ 23(2) : 120-134.

ธงชัย พุฒทองศิริ. 2557. การผลิตน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมกเคอเรลกระป๋องและการใช้ประโยชน์. ทูลสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นพพร ดวงอินทร์, วราพงษ์ ยาใจ และอัครวัฒน์ เกตุพิรศิษฐ์. 2556. การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบร้อนด้วยสกรูอัด. ปรินูญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

บุญยานุช ชำนาญดี และสุภาพร ชูแจ่ม. 2557. การเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันเมล็ดองุ่นสกัดด้วยวิธีตั้งทิ้งไว้อัลตราโซนิก และไมโครเวฟ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริญญา ฉกาจนโรดม. 2557. การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟและการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปวัสดุ. วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 27(87) : 57-68.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2551. พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรรณี พรประชาชนวัฒน์. 2554. การศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ส่งมาเพื่อขอรับการพิจารณาและพิจารณาอนุมัติการตีพิมพ์ของนิตยสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลายสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พรรณทิพย์ แสงสุขเอี่ยม และราตรี ชูยศิริ. 2558. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชันโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง. หน้า 1-8. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราช-ภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7. นครปฐม.
- มลศิริ วิโรทัย. 2540. ส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่ๆ. วารสารมหาวิทยาลัยศรีครินทรวิโรฒ. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 13(2) : 69-75.
- วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย. 2550. การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สาวิตรี คำหอม. 2551. การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนี้ งปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุธาทิพ ภมรประวัตติ. 2552. มะละกอ ต้านอนุมูลอิสระ. หน้า 28-34. ในนิตยสารหมอชาวบ้าน. ฉบับที่ 360.
- สุเมธ บุญเกิด. 2555. การใช้อัลตราซาวด์ในการช่วยสกัดพืชสมุนไพร [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.gpo.or.th/rdi/html/Ulytasound/html> (วันที่สืบค้น 4 พฤษภาคม 2557)
- สุวรรณา อินทร์คงแก้ว. 2539. การปลูกมะละกอ. เล่มที่ 63. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพฯ : ยูนิเวอร์แซลกราฟิก.
- เสาวลักษณ์ ภูมิวนะ. ผู้แปล. 2527. ไม้ผลที่น่าสนใจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.
- วสุธร วรสุทธยางกูร และ ฮูดา เงาะไพรรวรรณ. 2559. การเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันเมล็ดมะละกอสกัดแบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอัลตราโซนิก และไมโครเวฟ. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อิชฐฐาน ทิมแย้มประเสริฐ, วิทยา ปั้นสุวรรณ และเกษม จันทรแก้ว. 2556. การใช้ขยะน้ำมันปาล์มในบ่อน้ำเสียเพื่อผลิตไบโอดีเซลชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 18(2) : 215-221.
- อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพย์าวงค์ และวสันต์ จอมภักดี. 2544. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 11(3) : 9-20.
- อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. 2550. การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://202.28.24.44/e\\_books/issrapong/stat\\_for\\_agro\\_industry.pdf](http://202.28.24.44/e_books/issrapong/stat_for_agro_industry.pdf). 28 มิถุนายน 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Adebiyi, A., Adaikan, P. G. and Prasad, R. N. V. 2003. Tocolytic and toxic activity of papaya seed extract on isolated rat uterus. *Life sciences*. 74(5) : 581-592.
- Afolabi, I. S. and Ofobrukmeta, K. 2011. Physicochemical and nutritional qualities of *Carica papaya* seed products. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(14) : 3113-3117.
- Akuiyibo, S., Afolabi, I. and Rotimi, S. 2011. In vivo evaluation of lipid and antioxidants qualities of *Carica papaya* seed oil. *Journal of Natural Products*. 4: 125-135.
- Allinger, H. 1975. *American Laboratory*. 7 (10), 75 (1975).
- Amarni, F. and Kadi, H. 2010. Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane: comparison with the conventional extraction. *Innovative food science and emerging technologies*. 11(2) : 322-327.
- Ame, S. N., Shigrenaga, M. K., and Hagen, T. M. 1993. Oxidants, antioxidants and degenerative diseases of ageing. in *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America*. 90(17) : 7915-7922.
- AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemistry.
- AOAC. 2011. *Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* 19<sup>th</sup> ed. Virginia: Gaithersburg, Md.
- AOCS. 1997. *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. Vol.5. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Atinafu, D.G. and Bedemo, B. 2011. Estimation of total free fatty acid and cholesterol content in some commercial edible oils in Ethiopia, Bahir DAR. *Journal of Cereals and Oil Seeds*. 2: 71-76.
- Babalola, T.O.O. and Apata, D.F. 2011. Chemical and quality evaluation of some alternative lipid sources for aqua feed production. *Agriculture and biology journal of America*. 2(6): 935-943.
- Bast, A., Haenen, G. R. and Doelman, C. J. 1991. Oxidants and antioxidants: state of the art. *The American journal of medicine*. 91(3) : S2-S13.
- Briones-Labarca, V., Plaza-Morales, M., Giovagnoli-Vicu, C. and Jamett, F. 2015. High hydrostatic pressure and ultrasound extractions of antioxidant compounds, sulforaphane and fatty acids from Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) seeds: Effects of extraction conditions and methods. *Journal of Food Science and Technology*. 60: 525-534.
- Buamann, A.R., Martin, S.E. and Feng, H. 2005. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. *Journal of Food Prot.* 11: 2333-2340.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Burton, G. W. and Traber, M. G. 1990. Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. *Annual review of nutrition*. 10(1) : 357-382.
- Chielle, D.P., Bertuol, D.A., Meili, L., Tanabe, E.H. and Dotto, G.L. 2016. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. *Industrial Crops and Products*. 85: 221–228.
- Christensen, F.M. 1991. Extraction by aqueous enzymatic process. *Inform*. 2 : 984–987.
- Dakare, M.A., Ameh, D.A. and Agbaji, A.S. 2011. Biochemical Assessment of ‘Daddawa’ Food Seasoning Produced by Fermentation of Pawpaw (*Carica papaya*)Seeds. *Journal of Nutrition*. 10(3): 220-223.
- Dar, R.N., Garg, L.C. and Pathak, R.D. 1965. Anthelmintic activity of *Carica papaya* seeds. *Indian Journal of Pharmacy*. 27: 335–336.
- Dawodu, M.O., Olutona, G.O. and Obimakinde, S.O. 2015. Effect of Temperature on the Chemical Characteristics of Vegetable Oils Consumed in Ibadan. *Journal of Nutrition*. 14(10): 698-707.
- Denisov, E. T. and Afanas' ev, I. B. 2005. Oxidation and antioxidants in organic chemistry and biology. Florida : Chemical Rubber Company press.
- Denisov, E. T. 2006. Reactivity of quinones as alkyl radical acceptors. *Kinetics and catalysis*. 47(5) : 662-671.
- Dominguez, H., Nunez, M.J. and Lema, J.M. 1995. Enzymatic pretreatment to enhance oil extraction from fruits and oilseeds: A review. *Food Chemistry*. 49 : 271–286.
- Ebada, S. S., Edrada, R. A., Lin, W. and Proksch, P. 2008. Methods for isolation, purification and structural elucidation of bioactive secondary metabolites from marine invertebrates. *Nature protocols*. 3(12) : 1820-1831.
- El'piner, I.E. 1964. *Ultrasound: Physical, Chemical, and Biological Effects* (Consultants Bureau). New York: Consultants Bureau. 53-78.
- Fernandes, D.M., Serqueira, D.S., Portela, F.M., Assuncao, R., Munoz, R.A. and Terrones, M.G. 2012. Preparation and characterization of methylic and ethylic biodiesel from cottonseed oil and effect of tert-butylhydroquinone on its oxidative stability. *Journal of Fuel*. 97: 658-661.
- Frankel, E. N., Bosanek, C. A., Meyer, A. S., Silliman, K. and Kirk, L. L. 1998. Commercial grape juices inhibit the in vitro oxidation of human low-density lipoproteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(3) : 834-838.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Giada, M. D. and Mancini-Filho, J. 2009. Antioxidant capacity of the striped sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed extracts evaluated by three in vitro methods. *International journal of food sciences and nutrition*. 60(5) : 395-401.
- Gressler, V., Yokoya, N. S., Fujii, M. T., Colepicolo, P., Mancini Filho, J., Torres, R. P. and Pinto, E. 2010. Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food Chemistry*. 120(2) : 585-590.
- Guillermo, H.C., Marta, I.V. and Amalia, A.C. 1999. Oxidation of Sunflower Oil During Storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 76(12): 1437-1443.
- Gupta, M. and Leong, E. W. W. 2008. *Microwaves and metals*. Singapore : John Wiley and Sons.
- Halliwel, B., Aeschbach, R., Löliger, J. and Aruoma, O. I. 1995. The characterization of antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*. 33(7) : 601-617.
- Hrnčirik, K. and Fritsche, S. 2004. Comparability and reliability of different techniques for the determination of phenolic compounds in virgin olive oil. *European journal of lipid science and technology*. 106(8) : 540-549.
- Ignat, I., Volf, I. and Popa, V. I. 2011. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry*. 126(4) : 1821-1835.
- Jaiswal, A., Rajauria, G., Abu-Ghannam, N. and Gupta, S. 2011. Phenolic composition, antioxidant capacity and antibacterial activity of selected Irish Brassica vegetables. *Natural Product Communications*. 6 : 1299-1304.
- Karadag, A., Ozcelik, B. and Saner, S. 2009. Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food analytical methods*. 2(1) : 41-60.
- Kermanshaia, R., McCarry, B.E., Rosenfeld, J., Summers, P.S., Elizabeth, A., George, W. and Sorger, J. 2001. Benzyl isothiocyanate is the chief or sole anthelmintic in papaya seed extracts. *Journal of Phytochemistry*. 57: 427-435.
- Kim, S.M. and Zayas, J.F. 1989. Processing parameter of chymosin extraction by ultrasound. *Journal of Food Science*. 54: 700.
- King, C.J. 1980. *Separation Processes* (2nd ed.). USA: McGraw Hill.
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B.I.O. and Heinz, V. 2002. Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Journal of Proceedings of the Nutrition Society*. 61: 311-318.
- Krishnakumari, M.K. and Majumder, S.K. 1960. Studies on anthelmintic activities of seeds of *Carica papaya* Linn. *Annals of Biochemistry and Experimental Medicine*. 20: 551-556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lee, J., Chung, H., Chang, P-S. and Lee, J. 2007. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). *Food Chemistry*. 103 : 662–669.
- Lee, W.-J., Lee, M.-H. and Su, N.-W. 2011. Characteristics of papaya seed oils obtained by extrusion-expelling processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91(13) : 2348–2354.
- Li, Z. Y., Wang, Y., Shen, W. T. and Zhou, P. 2012. Content determination of benzyl glucosinolate and anti-cancer activity of its hydrolysis product in *Carica papaya* L. *Asian Pacific journal of tropical medicine*. 5(3) : 231-233.
- Lianfu, Z. and Zelong, L. 2008. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*. 15(5) : 731-737.
- Lidefelt, J.O. 2007. Vegetable oils and fat. [Online]. Available from : <http://www.annaochanna.se/pdf/Vegetabilisk%20Handbok.pdf>.
- Lim, Y. Y., Lim, T. T. and Tee, J. J. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food chemistry*. 103(3) : 1003-1008.
- Liu, L., Liu, Z., Tang, G. and Tan, W. 2014. Esterification of free fatty acids in waste cooking oil by heterogeneous catalysts. *Transactions of Tianjin University*. 20: 266-272.
- Liu, Y., Zhang, L., Meng, Y. and Huang, L. 2015. Benzyl isothiocyanate inhibits breast cancer cell tumorigenesis via repression of the FoxH1-Mediated Wnt/ $\beta$ -catenin pathway. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 8(10): 17601–17611.
- Liyana-Pathirana, C. and Shahidi, F. 2005. Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. *Journal of Food chemistry*. 93: 47–56.
- Maestri, D. M., Nepote, V., Lamarque, A. L. and Zygodlo, J. A. 2006. Natural products as antioxidants. *Phytochemistry: Advances in research*. 37(661) : 105-135.
- Malacrida, C. R., Kimura, M. and Jorge, N. 2011. Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds. *Food Science and Technology (Campinas)*. 31(4) : 929-934.
- Malathi, P. and Vasugi, S.R. 2015. Evaluation of mosquito larvicidal effect of *Carica Papaya* against *Aedes Aegypti*. *International Journal of Mosquito Research*. 2(3): 21-24.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mani, S., Jaya, S. and Vadivambal, R. 2007. Food Bioprod. Process. United Kingdom: Institution of Chemical Engineers.
- Marfo, E. K., Oke, O. L. and Afolabi, O. A. 1986. Chemical composition of papaya (*Carica papaya*) seeds. Food chemistry. 22(4) : 259-266.
- Mcglone, O.C., Lopez-munguia, C. and Carter, J.C. 1986. Coconut oil extraction by a new enzymatic process. Journal of Food Science. 51 : 695-697.
- Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 26(2) : 211-219.
- Moon, J. K. and Shibamoto, T. 2009. Antioxidant assays for plant and food components. Journal of agricultural and food chemistry. 57(5) : 1655-1666.
- Moreno, A.O., Dorantes, L., Galindez, J. and Guzmán, R.I. 2003. Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. Journal of Agric Food Chemistry. 8: 16-21.
- Mummery, C.L. 1978. The effect of ultrasound on fibroblasts in vitro. Ph.D. Thesis, University of London, London, England.
- Nakabeppu, Y., Sakumi, K., Sakamoto, K., Tsuchimoto, D., Tsuzuki, T. and Nakatsu, Y. 2006. Mutagenesis and carcinogenesis caused by the oxidation of nucleic acids. Biological chemistry. 387(4) : 373-379.
- Nagasaka, H., Hirano, K. J., Ohtake, A., Miida, T., Takatani, T., Murayama, K. and Takayanagi, M. 2007. Improvements of hypertriglyceridemia and hyperlactacemia in Japanese children with glycogen storage disease type Ia by medium-chain triglyceride milk. European journal of pediatrics. 166(10) : 1009-1016.
- Nawar, W.F. 1996. Lipids. Food Chemistry, 3<sup>rd</sup> ed. (Fennema, O.R.ed.). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Okogeri, O. and Okoro, B. 2014. Storage stability and sensory attributes of crude palm oil adulterated with red dye. Journal of Agriculture and Forestry Science. 2: 10-17.
- Onyeike, E.N. and Acheru, G.N. 2002. Chemical composition of selected Nigerian oil seeds and physicochemical properties of the oil extracts. Journal of Food Chemistry. 77: 431- 437.
- Pan, X., Liu, H., Jia, G. and Shu, Y. Y. 2000. Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. Journal of Biochemical Engineering. 5(3) : 173-177.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Papas, A. M. (Ed.). 1998. Antioxidant status, diet, nutrition, and health. Vol. 9. Florida : Chemical Rubber Company press.
- Panse, T.B. and Paranjpe, A.S. 1943. Isolation of carpasemine from papaya seeds. Proceedings of the Indian Academy of Science. 18: 140.
- Papas, A. M. (Ed.). 1998. Antioxidant status, diet, nutrition, and health. Vol. 9. Florida : Chemical Rubber Company press.
- Parr, A. J. and Bolwell, G. P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. Journal of the Science of Food and Agriculture. 80(7) : 985-1012.
- Pellegrini, N., Visioli, F., Buratti, S. and Brighenti, F. 2011. Direct analysis of total antioxidant activity of olive oil and studies on the influence. Journal of Agricultural Food Chemistry. 49: 2532-2538.
- Philippine Herbal Medicine. 2016. Papaya Fruit Nutrition Facts. [Online]. Available : <http://www.philippineherbalmedicine.org/papaya.htm>. 28 June 2017.
- Prior, R. L., Wu, X. and Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of agricultural and food chemistry. 53(10) : 4290-4302.
- Puangri, T., Abdulkarim, S.M. and Ghazali, H.M. 2005. Properties of carica papaya l. (papaya) seed oil following extractions using solvent and aqueous enzymatic methods. Journal of Food Lipids. 12(1) : 62-76.
- Puerta, R., Gutierrez, V. R. and Hoult, J. R. S. 1999. Inhibition of leukocyte 5-lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil. Biochemical pharmacology. 57(4) : 445-449.
- Rajaei, A., Barzegar, M., Hamidi<sup>1</sup>, Z. and Sahari<sup>1</sup>, M.A. 2010. Optimization of Extraction Conditions of Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistachia vera*) Green Hull through Response Surface Method. Journal of Agricultural Science and Technology. 12: 605-615.
- Qiu, J., Wang, Y. and Gu, M. 2007. Microwave absorption properties of substituted BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposite multilayer film. Journal of materials science. 42(1) : 166-169.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C. P. and Ghazali, H. M. 2013. Ultrasound-assisted extraction (UAE) and solvent extraction of papaya seed oil: yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile. Molecules. 18(10) : 12474-12487.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P. and Ghazali, H.M. 2014. Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability. *Industrial Crops and Products*. 52 : 702-708.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M., Bordbar, S. and Serjouie, A. 2015. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. *Food Chemistry*. 172 : 7-17.
- Sánchez-Moreno, C., Jiménez-Escrig, A. and Saura-Calixto, F. 2000. Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. *Nutrition Research*. 20(7) : 941-953.
- Sevim D., Tuncay, O. and Koseoglu, O. 2013. The Effect of Olive Leaf Addition on Antioxidant Content and Antioxidant Activity of “Memecik” Olive Oils at Two Maturity Stages. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 90 : 1359.
- Sies, H., Stahl, W. and Sundquist, A. R. 1992. Antioxidant functions of vitamins. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 669(1) : 7-20.
- Singh, P., Babbar, V. K., Razdan, A., Srivastava, S. L., Agrawal, V. K. and Goel, T. C. 2006. Dielectric constant, magnetic permeability and microwave absorption studies of hot-pressed Ba-CoTi hexaferrite composites in X-band. *Journal of materials science*. 41(21) : 7190-7196.
- Singh, N., Shrivastava, P. and Shah, M. 2014. Microwave-assisted extraction of lemongrass essential oil: study of the influence of extraction method and process parameters on extraction process. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 6 : 385-9.
- Scott, D. A., Poston, R. N., Wilson, R. F., Coward, P. Y. and Palmer, R. M. 2005. The influence of vitamin C on systemic markers of endothelial and inflammatory cell activation in smokers and non-smokers. *Inflammation Research*. 54(3) : 138-144.
- Solis-Fuentes, J. A., Hernández-Medel, M. R. and Duran-de-Bazua, M. C. 2007. Isothermal Crystallization Kinetics of Mango (*Mangifera indica*) Almond Seed Fat. *Journal of Applied Sciences*. 7(11) : 1538-1542.
- Taghvaei, M., Jafari, S. M., Assadpoor, E., Nowrouzieh, S. and Alishah, O. 2014. Optimization of microwave-assisted extraction of cottonseed oil and evaluation of its oxidative stability and physicochemical properties. *Food chemistry*. 160 : 90-97.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tamzid, H.M., Alam, M.T. and Islam, M.A.U. 2007. Physico-chemical and nutritional studies of Terminaliabelericaroxb. Seed oil and seed kernel. *Journal of Bioscience*. 15: 117-126.
- Tang, C.S. 1971. Benzyl isothiocyanate of papaya fruit. *Journal of Phytochemistry*. 10: 117-121.
- Tesoriere, L., Allegra, M., Gentile, C. and Livrea, M. A. 2009. Betacyanins as phenol antioxidants. Chemistry and mechanistic aspects of the lipoperoxyl radical-scavenging activity in solution and liposomes. *Free radical research*. 43(8) : 706-717.
- Tian, Q.G., Rosselot, R.A. and Schwartz, S.J. 2005. Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Journal of Analytical Biochemistry*. 343(1): 93-99.
- Trusheva, B. and Bankova, V. 2007. Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study. *Journal of Chemistry Central*. 1-13.
- Ulu, H. 2004. Evaluation of three 2-thiobarbituric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products. *Journal of Meat Science*. 67: 683-687.
- Valacchi, G., Pagnin, E., Corbacho, A. M., Olano, E., Davis, P. A., Packer, L. and Cross, C. E. 2004. In vivo ozone exposure induces antioxidant/stress-related responses in murine lung and skin. *Free Radical Biology and Medicine*. 36(5) : 673-681.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M. and Telser, J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*. 39(1) : 44-84.
- Voest, E. E., Kenyon, B. M., O'Reilly, M. S., Truitt, G., D'Amato, R. J. and Folkman, J. 1995. Inhibition of angiogenesis in vivo by interleukin 12. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*. 87(8) : 581-586.
- Wang, Z., Wang, L., Li, T., Zhou, X., Ding, L., Yu, Y. and Zhang, H. 2006. Rapid analysis of the essential oils from dried *Illicium verum* Hook. f. and *Zingiber officinale* Rosc. by improved solvent-free microwave extraction with three types of microwave-absorption medium. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 386(6) : 1863-1868.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E. and Prior, R. L. 2006. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of agricultural and food chemistry*. 54(11) : 4069- 4075.
- Xie, G., Wang, Z., Cui, Z. and Shi, Y. 2005. Ni-Fe-Co-P coatings on coiled carbon nanofibers. *Carbon*. 43(15) : 3181-3183.
- Yu, Y., Wang, Z. M., Wang, Y. T., Li, T. C., Cheng, J. H., Liu, Z. Y. and Zhang, H. Q. 2007. Non-polar Solvent Microwave-Assisted Extraction of Volatile Constituents from Dried Zingiber Officinale Rosc. *Chinese Journal of Chemistry*. 25(3) : 346-350.
- Yanty, N. A. M., Marikkar, J. M. N., Nusantoro, B. P., Long, K. and Ghazali, H. M. 2014. Physico-chemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.) seed oil of the Hong Kong/Sekaki variety. *Journal of oleo science*. 63(9) : 885-892.
- Zhang, L. and Zhu, H. 2009. Dielectric, magnetic, and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes filled with  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  nanoparticles. *Materials Letters*. 63(2) : 272-274.
- Zhou, K., Wang, H., Mei, W., Li, X., Luo, Y. and Dai, H. 2011. Antioxidant activity of papaya seed extracts. *Molecules*. 16(8) : 6179-6192.
- Zuzana, Reblova. 2012. Effect of Temperature on the Antioxidant Activity of Phenolic Acids. *Journal of Food Science*. 2: 171-177.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ

## 1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2011)

ทดลองหาความชื้นของตัวอย่างเมล็ดมะละกอแบบสดและแบบผ่านการทำแห้งแล้วเพื่อหาว่าเมล็ดมะละกอดังกล่าวประกอบด้วยน้ำที่เปอร์เซ็นต์ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาเก็บรักษาและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยปริมาณน้ำที่คงเหลือในเมล็ดดังกล่าวอาจขัดขวางพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันภายในเมล็ดและสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางในการสกัด ทำการหาความชื้นโดยการนำเมล็ดมะละกอที่ทำความสะอาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว (เมล็ดมะละกอแบบสด) และเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำแห้งและบดแล้ว (เมล็ดมะละกอแบบแห้ง) ใส่ในอะลูมิเนียมแค่น 5 กรัม ปิดฝานำไปใส่ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 135 °C นาน 2 ชั่วโมงเมื่อครบกำหนดเวลา ปิดฝาลงแล้วนำถ้วยอบออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

## อุปกรณ์

1. ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
2. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น

## วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปชั่งโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
  2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้ว  $3 \pm 0.1$  กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอะลูมิเนียมออก เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง
  3. เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดฝาลงถ้วยอะลูมิเนียม ก่อนนำตัวอย่างบรรจุลงในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง จากนั้นนำไปอบซ้ำอีกครั้ง ครึ่งละครึ่งชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักที่ชั่งได้จะมีความแตกต่างหรือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.005 กรัม
  4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
- การคำนวณหาปริมาณความชื้นในตัวอย่าง

$$\text{ความชื้น} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

$$\text{เมื่อ } W_1 = \text{น้ำหนักก่อนอบ}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักหลังอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาความชื้นในตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{ซ้ำที่ 1 : ความชื้น} &= \frac{(17.86 - 17.75)}{17.86} \times 100 = 5.73 \\ \text{ซ้ำที่ 2 : ความชื้น} &= \frac{(19.22 - 19.11)}{19.22} \times 100 = 5.72 \\ \text{ซ้ำที่ 3 : ความชื้น} &= \frac{(18.05 - 17.93)}{18.05} \times 100 = 5.80 \\ \text{ปริมาณความชื้นเฉลี่ย} &= \frac{5.73 + 5.72 + 5.80}{3} = 5.75\% \end{aligned}$$

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า(AOAC,2011)

อุปกรณ์

1. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า
2. เตาเผาไฟฟ้า
3. เตาไฟฟ้า
4. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นซึ่งน้ำหนักละเอียด (4 ตำแหน่ง) บนทีก (W)
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 3-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (W<sub>1</sub>)
3. เผาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้า (ทำในตู้ดูดควัน) จนหมดควัน
4. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา
5. รอให้เตาเผาไฟฟ้าเย็นลง จึงคืบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาไฟฟ้า ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา (W<sub>2</sub>)
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหาร จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{W_2 - W}{W_1 - W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง

W<sub>1</sub> = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

W<sub>2</sub> = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเถ้าในตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซ็นต์เถ้า} &= \frac{25.6637 - 25.3933}{28.4015 - 25.3933} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซ็นต์เถ้า} &= \frac{24.1816 - 23.9118}{26.9198 - 23.9118} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซ็นต์เถ้า} &= \frac{35.6138 - 35.3443}{38.3470 - 35.3443} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ปริมาณเถ้าเฉลี่ย} &= \frac{0.09 + 0.09 + 0.09}{3} = 0.09\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (kjeldahl method;AOAC,2011)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. หลอดย่อยโปรตีน
3. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl apparatus)
4. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ขวดชมพูขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. Boiling chip

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2 เปอร์เซนต์ เตรียมได้จากการละลายกรดบอริก 2 กรัมลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 1 นอโมลล์ ปิเปต 37% กรดไฮโดรคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% เตรียมจากซิงโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. ตัวเร่ง (catalyst)(เตรียมจาก 1:8 ของ  $\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4$ )
6. สารละลายอินดิเคเตอร์
7. เตรียม 0.1% เมทิลกรีนใน alcohol 95 เปอร์เซนต์
8. เตรียม 0.2% เมทิลเรดใน alcohol 95 เปอร์เซนต์

#### วิธีการทดลอง

1. การย่อย
  - 1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ถ้าเป็นของเหลว 10-30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน พยายามอย่าให้ตัวอย่างเป็นช่องขวด (ปริมาณของตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง ถ้าปริมาณโปรตีนน้อยให้ใช้ตัวอย่างมาก) เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก (ปริมาณ ตัวเร่ง และ กรดซัลฟูริกที่ใช้ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องย่อยที่ใช้)
  - 1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแลค ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด ก่อนเปิดสวิตช์
  - 1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 380-400 องศาเซลเซียส (ถ้าตัวอย่างเป็นของเหลวหรือมีฟองขณะทำการย่อย อาจลดอุณหภูมิมาที่ 250 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) ก่อนปรับไปที่อุณหภูมิที่ใช้ย่อย
  - 1.4 ทำการย่อยจนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส ซึ่งเวลาในการย่อยขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ปิดสวิทช์ พร้อมยกแกลคที่มีหลอดย่อยตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายใสสีฟ้าเย็นลง ซึ่งในช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด (สังเกตจากควีนสีขาว) ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

## 2. การกลั่น

2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจสอบเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังของน้ำกลั่นหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสอง อย่างละ 1 หยดจะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพูลงในชุดกลั่นเสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงกรดบอริก เพื่อตักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

## 3. การไตเตรท

3.1 นำขวดชมพูที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 หรือ 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูม่วง บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

## 4. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(A-B) \times N \times 14}{W \times 1000} \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (N)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

## 5. ค่ารวมเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

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

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.54) \times 1 \times 14}{1.0814 \times 1000} \times 100 = 4.58$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.58 \times 6.25 = 28.63$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.35) \times 1 \times 14}{1.0584 \times 1000} \times 100 = 4.43$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.43 \times 6.25 = 27.69$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.20) \times 1 \times 14}{1.0078 \times 1000} \times 100 = 4.45$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.45 \times 6.25 = 27.81$$

$$\text{ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย} = \frac{28.69 + 27.69 + 27.81}{3} = 28.06\%$$

#### 4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2011)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดซอกท์เลตพร้อมทิมเบล
2. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น
5. ที่คืบ
6. Boiling chip

##### สารเคมี

1. ปิโตรเลียม อีเทอร์

##### วิธีวิเคราะห์

1. นำบีกเกอร์ไขมันพร้อม Boiling chip ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำมาบรรจุในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปชั่งโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว 5 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนใส่ลงยังกระดาษกรองเบอร์ 1 บรรจุลงในทิมเบล ก่อนบรรจุลงยังบีกเกอร์ไขมัน
3. เติปิโตรเลียม อีเทอร์ 140 มิลลิลิตรลงยังบีกเกอร์ไขมัน
4. ต่อบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ก่อนทำการสกัดตามโปรแกรมดังนี้
  - Program 00
  - Temperature limit 200 Degree celcius
  - Boiling temperature 150 Degree celcius
  - Boiling time 30 minute
  - Sol A 5 X 15
  - Extract time 120 minute
  - S.I.B 8 minute
  - S.I.C 5 minute
  - Reduce indoual 4 minute
  - Pulse 3 minute

5. เมื่อเครื่องทำการสกัดเรียบร้อยแล้ว นำบีกเกอร์ไขมันออกจากเครื่องสกัด แล้วนำไปอบโดยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

6. นำบีกเกอร์ไขมันใส่ลงยังโถดูดความชื้น จากนั้นถอดทิมเบลที่ใช้ในการสกัดออกแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันตัวอย่าง

$$\text{ไขมัน (\%)} = \left( \frac{W_2 - W_1}{W} \right) \times 100$$

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1$  = น้ำหนักก่อนอบ

$W_2$  = น้ำหนักหลังอบ

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : ไขมัน (\%)} = \left( \frac{145.7554 - 144.2543}{5.1184} \right) \times 100 = 29.33$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : ไขมัน (\%)} = \left( \frac{147.5213 - 146.0272}{5.0365} \right) \times 100 = 29.67$$

$$\text{ซ้ำที่ 1 : ไขมัน (\%)} = \left( \frac{148.5484 - 147.0930}{5.0130} \right) \times 100 = 29.0325$$

$$\text{ปริมาณไขมันเฉลี่ย} = \frac{29.33 + 29.67 + 29.03}{3} = 29.34\%$$

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2011)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แห้งและสกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในถ้วยชนิดทนความร้อน (ในกรณีตัวอย่างกรอกได้ยาก อาจมีการเติมสารช่วยกรองหรือซีไรท์ ประมาณ 1 กรัมลงบนตัวอย่าง)
2. นำถ้วยชนิดทนไฟต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร ในส่วนของ hot extraction unit ปิดล็อคให้แน่น
3. เปิดฝาด้านบนของเครื่อง เติมกรดซัลฟูริก 0.255 N ที่อุณหภูมิ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง
4. เติม n-Octanol ปริมาณ 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟองล้น ให้ความร้อนจนเดือด
5. ลดความร้อนลง และต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที
6. กรองเอากรวดออก โดยเลื่อนคั่นโยกไปที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้แรงดันที่ตำแหน่ง pressure ช่วย
7. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนสามครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
8. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 N
9. ทำซ้ำข้อ 5-7
10. ล้างกากด้วยอะซีโตน 25 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
11. นำถ้วยชนิดทนไฟ ไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_2$ )
13. คำนวณเปอร์เซ็นต์ใยอาหารของอาหาร จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1$  = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและเถ้าหลังอบแห้ง (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณใยอาหารในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{29.1678 - 28.7731}{1.5116} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{31.0507 - 30.6502}{1.5323} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{29.6306 - 29.2260}{1.5447} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ปริมาณเยื่อใยเฉลี่ย} = \frac{0.26 + 0.26 + 0.26}{3} = 0.26\%$$

#### 6. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

หาเปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างโดยคำนวณจากปริมาณองค์ประกอบความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใยลบกับ 100

$$\begin{aligned} (\%) \text{ คาร์โบไฮเดรต} &= 100 - [(\% \text{moisture}) + (\% \text{protein}) + (\% \text{fat}) + (\% \text{Ash}) + (\% \text{Fiber})] \\ &= 100 - [(5.75) + (28.04) + (29.34) + (0.26) + (0.09)] \\ &= 26.52 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## การคำนวณการสิ้นเปลืองพลังงานของวิธีการสกัด

การศึกษาเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของวิธีการสกัดแต่ละวิธีในรายงานวิจัยนี้ โดยการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยอัลตราโซนิก (UAE) วิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟ (MAE) และวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) โดยที่การศึกษานี้ทำการทดลองกับเครื่องสกัดด้วยไมโครเวฟ เครื่องอัลตราโซนิก และอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิธีการสกัดทั้ง 3 วิธี โดยที่

$$\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Wh)} = \text{กำลังไฟฟ้าของเครื่องสกัด (W)} \times \text{ระยะเวลาสกัด (h)}$$

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมและระยะเวลาที่ใช้มาคำนวณการสิ้นเปลืองพลังงานเปรียบเทียบได้ผลดังแสดงในตาราง

ตารางแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง

วิธีการสกัด	ผลผลิตน้ำมัน (กรัม/100กรัม)	ระยะเวลา เดินเครื่อง (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง)
ME	27.99	9.00	800	7200
UAE	26.66	0.591	872	515.4
MAE	27.29	0.039	1150	44.9

การคำนวณนี้เป็นการคิดในเชิงเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของแต่ละวิธี ในการสกัด 1 ครั้ง ในการทดลองนี้ ME, UAE และ MAE ใช้สกัดตัวอย่างครั้งละ 90, 20 และ 10 กรัม ตามลำดับ เมื่อคำนวณการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นต่อตัวอย่าง 100 กรัมเท่ากันจะได้ดังนี้

ตารางแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดต่อ 100 กรัม

วิธีการสกัด	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง)
ME	8000
UAE	2577
MAE	449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างการคำนวณ

## 1. เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (Yield, %)

$$\text{Yield (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ขวดรูปชมพู่พร้อมน้ำมัน} - \text{น้ำหนักขวดรูปชมพู่เปล่า}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะละกอบด}} \times 100$$

## ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักขวดรูปชมพู่เปล่า = 97.9342 กรัม

น้ำหนักขวดรูปชมพู่พร้อมน้ำมัน = 101.9823 กรัม

น้ำหนักเมล็ดมะละกอบด = 15.2469 กรัม

## จะได้ว่า

$$\text{Yield (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{101.9823 - 97.9342}{15.2469} \times 100 = 26.5503 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

## 2. การคำนวณค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) (AOCS, 1997)

## สารเคมี

1. เอทานอล 95% : เตรียมได้จากการทำให้เอทานอล 95% เป็นกลางโดยหยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด แล้วเติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์จนได้สีชมพูจาง (ควรเตรียมก่อนใช้)
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้น 1% : เตรียมได้จากละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% ในเอทานอล 95%
3. สารละลายมาตรฐานของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล

## วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน (ในกรณีที่เป็นของแข็งควรสกัดน้ำมันออกก่อน) 10 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ประมาณ 60°C เป็นเวลา 10 นาที
3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด นำไปไทเทรตกับสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เขย่าแรงๆจนได้สารละลายสีชมพูจางเหมือนกับสีของเอทานอล และสีต้องคงที่เป็นเวลา 30 วินาที
4. คำนวณหา Acid value จากสูตรได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ

$$\text{Acid Value (\%)} = \frac{\text{OH (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH(N)} \times \text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน}}{10 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

## 3. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; PV) (AOCS Cd 8-53, 1997)

## สารเคมี

1. สารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2)
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
3. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
4. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
5. สารละลายน้ำแบ่งความเข้มข้น 1 %

## วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $5 \pm 0.05$  กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
4. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร
5. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต
7. ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
8. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์ จากสูตรได้ดังนี้

## การคำนวณ

$$\text{PV (mEq peroxide /Kg)} = \frac{(\text{ปริมาตร Na}_2\text{H}_2\text{O}_3 \text{ ของตัวอย่าง} - \text{blank, ml}) \times (\text{N}) \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

## 4. การตรวจหาปริมาณฟีนอลิก ตามการทดลองของ Selvim และคณะ ( 2013)

## สารเคมี

1. Gallic acid
2. Folin-Ciocalteu reagent
3. Methanol
4. Sodium carbonate

## การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น  $400 \mu\text{g/ml}$
- ปิเปตต์สารละลายดังกล่าวใส่หลอดทดลองที่ความเข้มข้น 0 , 4 , 8 , 12 , 16 , 20 , 24

และ  $28 \mu\text{g/ml}$  โดยการปิเปตต์สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น  $400 \mu\text{g/ml}$  หลอด

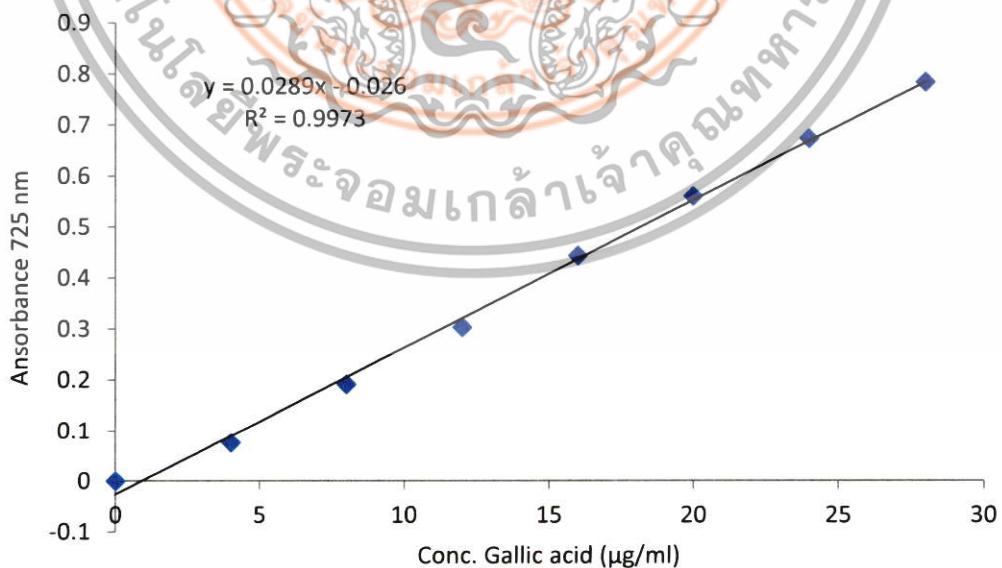
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปขอประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 0 , 0.25 , 0.05 , 0.75 , 1.00 , 1.25 , 1.50 และ 1.75 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมทานอล/น้ำกลั่นให้ได้ ปริมาตรรวม 2.5 มิลลิลิตร

- เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองให้ได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที
- เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (35% w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer
- สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

- ปิเปตต์ตัวอย่างน้ำมัน 2.5 กรัม เติมหอกเซน 5 มิลลิลิตร และสารละลายเมทานอล/น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงโดยเครื่อง centrifuge ที่ 3500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- ปิเปตต์ส่วนใส 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ 3 นาที
- เติมสารละลาย Sodium carbonate(35% w/v) 1 มิลลิลิตร
- เติมน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง
- ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 nm โดย UV-VIS spectrophotometer



ภาพภาคผนวก ค 1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ TPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$Y = 0.0289X - 0.026 \quad (R^2 = 0.9973)$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

X = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

C = จุดตัดแกน Y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.05 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร เท่ากับ 0.266 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพที่ ซ-1) จะได้

$$0.266 = 0.0289X - 0.026$$

$$X = 10.10 \text{ ไมโครกรัม/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$

ตัวอย่างน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด = 10.10 ไมโครกรัม/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง

#### 5. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดทั้งสี่วิธีเพื่อศึกษาว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหรือไม่

วิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical scavenging activity และ Abts

#### 5.1. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ตามการทดลองของ Lee และคณะ (2007)

สารเคมี

1. DPPH
2. เอทิล อะซิเตท
3. Trolox

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- เตรียมสารละลายมาตรฐาน DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์
- เตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 0 , 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 , 2.5 , 3.0 , 3.5 , 4.0 และ 4.5  $\mu\text{g/ml}$  โดยเตรียม trolox ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง Trolox 0.0125 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทิล อะซิ

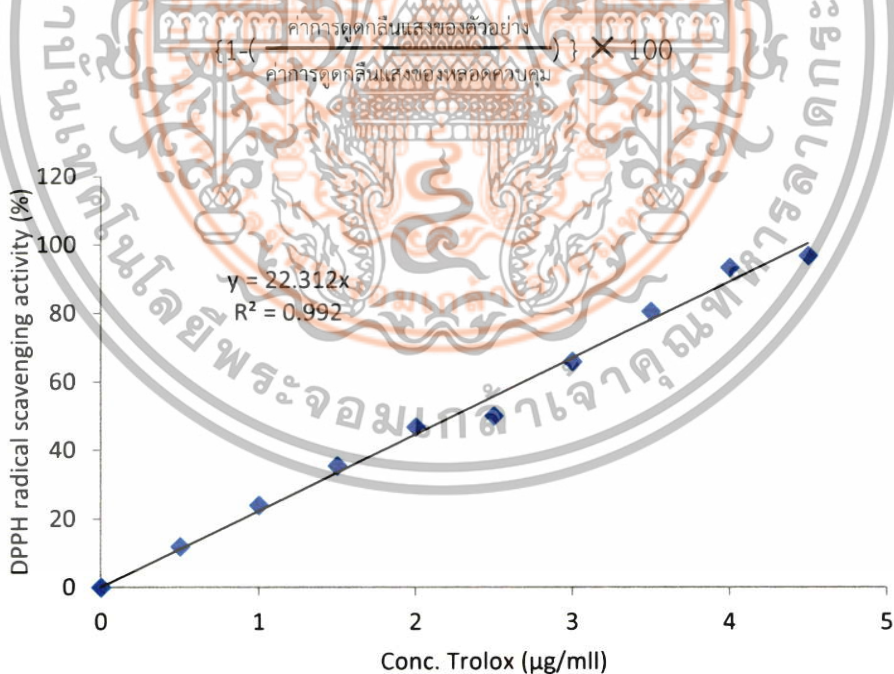
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตปให้ไ้ 50 มิลลิลิตร โดยปีเปตต์มา 0 , 0.02 , 0.04 , 0.06 , 0.08 , 0.10 , 0.12 , 0.14 , 0.16 และ 0.18 มิลลิลิตร ตามลำดับ

- ปรับปริมาตรด้วยเอทิล อะซิเตท ให้ปริมาตรในแต่ละหลอดเป็น 1 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย DPPH 4.5 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาทีในที่มืด
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้ เอทิลอะซิเตทเป็นแบลนด์
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยมิลลิกรัม

#### การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- นำน้ำมัน 0.2 กรัม ใส่ลงยังหลอดทดลอง ก่อนปรับปริมาตรรวมด้วยเอทิลอะซิเตท ให้ได้ 1 มิลลิลิตร
  - เติมสารละลาย DPPH 4.5 มิลลิลิตร
  - ผสมให้เข้ากันโดย Vortex mixer ก่อนตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที
  - วัดค่าการดูดกลืนแสง โดย UV-VIS spectrophotometer ที่ 515 nm โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นแบลนด์
- คำนวณ %ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยแทนค่าในสมการดังนี้



ภาพภาคผนวก ค 2 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH  
การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระโดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของ  
โทรลอคซ์

$$\% \text{ ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่  $A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำมัน

$A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

$$Y = 22.312X \quad (R^2 = 0.992)$$

เมื่อ  $Y$  = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

$X$  = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

$C$  = จุดตัดแกน  $Y$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.2 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร  
เท่ากับ 0.800 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ  
1.041 แทนค่าในสมการจะได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \frac{1.041 - 0.800}{1.041} \times 100$$

$$= 23$$

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอคซ์

$$23 = 22.31X$$

$$X = 1.28 \text{ ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์/0.2 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$

5.2. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Abts ตามการทดลองของ Selvim  
และคณะ ( 2013)

สารเคมี

1. เมทานอล
2. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
3. ABTS
4. Trolox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การสร้างกราฟมาตรฐาน

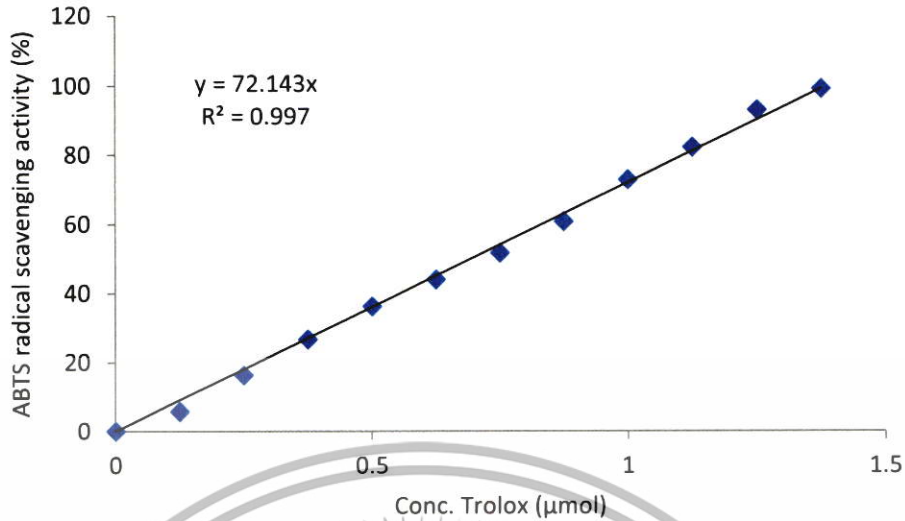
- เตรียมสารละลาย ABTS โดยให้สารละลาย ABTS ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1 นำสารละลายผสมเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน 12-16 ชั่วโมง เมื่อนำมาใช้งานให้เจือจางด้วยเอทานอลจนวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.70 ( $\pm 0.02$ ) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร
- เตรียมสารละลาย Trolox ความเข้มข้น 1 mM โดยผสม Trolox 0.00625 กรัม ในสารละลายเมทานอล/น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
- เตรียม Trolox ที่ความเข้มข้น 0 , 0.125 , 0.250 , 0.375 , 0.500 , 0.625 , 0.750 , 0.875 , 1.000 , 1.125 , 1.250 และ 1.375  $\mu\text{g/ml}$  ตามลำดับ หรือ ปิเปตต์สารละลาย Trolox ความเข้มข้น 1mM ลงยังหลอดทดลอง ปริมาตร 0 , 15 , 30 , 45 , 60 , 75 , 90 , 105 , 120 , 135 , 150 และ 165  $\mu\text{L}$  ตามลำดับ ก่อนปรับปริมาตรรวมโดยเมทานอลให้ได้ 300  $\mu\text{L}$
- เติมสารละลาย Abts 4000  $\mu\text{L}$  ตั้งไว้ในที่มืด 15 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV-VIS spectrophotometer ที่ 734 nm โดยใช้เมทานอลเป็นแบลนด์

### การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- เตรียมสารละลาย ABTS โดยให้สารละลาย ABTS ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1 นำสารละลายผสมเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน 12-16 ชั่วโมง เมื่อนำมาใช้งานให้เจือจางด้วยเอทานอลจนวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.70 ( $\pm 0.02$ ) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร
- ชั่งน้ำมัน 0.5 กรัม ละลายในเฮกเซน 2.5 มิลลิลิตร
- ปิเปตต์สารละลายตัวอย่างน้ำมัน 0.3 มิลลิลิตร และสารละลาย ABTS 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็นแบลนด์
- คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยแทนค่าในสมการดังนี้
- คำนวณ %ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\% \text{ ABTS} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงของแบลนด์} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง})}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของแบลนด์}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวก ค 3 กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ ABTS

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระโดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

$$\% \text{ ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่  $A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำมัน

$A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

$$Y = 72.143X \quad (R^2 = 0.997)$$

เมื่อ  $Y$  = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

$X$  = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

$C$  = จุดตัดแกน  $Y$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.05 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 724 นาโนเมตร เท่ากับ 0.367 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 724 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 0.622 แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS} &= \frac{0.622 - 0.367}{0.622} \times 100 \\ &= 41 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายไตรลอกซ์

$$41 = 72.143X$$

$$X = 0.56 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของไตรลอกซ์/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล นาย กิตติชัย บรรจง  
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 7  
หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง  
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

## ประวัติการศึกษา

วท.บ. (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
M.Sc. (Food Engineering), The Most Outstanding Hizamatsu Prize Asian  
Institute of Technology  
D.Tech.Sc. (Agricultural and Food Engineering), Asian Institute of Technology

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ Food Process Engineering and Physical Properties of Food  
Materials

## การเสนอผลงานวิชาการ

1. Pontip Katsuwan, Rachit Suwapanich, and Kittichai Banjong. Optimization of microwave-assisted extraction of papaya seed oil and evaluation of its antioxidant activity. Proceeding of The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017) 15-17 June 2017: 490-497.
2. Nuengruethai Noonyos, Rachit Suwapanich and Kittichai Banjong. Optimization of maceration and ultrasound-assisted extraction of papaya seeds oil by response surface methodology. Proceeding of The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017) 15-17 June 2017: 498-507.
3. วรัญญา วงศ์วณิช และ กิตติชัย บรรจง. 2559. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยวิธีการแช่และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 34(3): 9-21.
4. พิเศษศักดิ์ วิเศษกุล และ กิตติชัย บรรจง. 2556. การสกัดแยกตัวสีลงเพื่อลดปริมาณอพลาทอกซินด้วยคุณสมบัติความหนาแน่นของเมล็ด. บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์การนำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายและการจัดนิทรรศการทางวิชาการในงานประชุมวิชาการเพื่อท้องถิ่น ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 14-16 กุมภาพันธ์ 2556 :194-199.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้